بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

کابل کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی

رشتهٔ الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ یازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ـ ۲۱۱۲۶۴
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی وتألیف: علی‌اکبر مطیع‌بیرجندی، شهرام خدادادی، مجتبی انصاری‌پور، محمدحسن اسلامی، علیرضا حجرگشت، امیرحسین ترکمانی و نقی اصغری‌آقاباقر (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
علی عراقی، شهرام خدادادی، حمید چراغیان (اعضای گروه تألیف)
شهرام خدادادی، مجتبی انصاری‌پور (ویراستار فنی)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) ـ نیما صابر (صفحه‌آرا) ـ فاطمه رئیسیان‌فیروزآباد (رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهرشمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش‌وپرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)
تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ‌ونشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ سوم ۱۳۹۸

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 به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، 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.

شابک ۹- ۲۸۸۳ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 –2883–9**

اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند باید این ملت اولاً با هم متحد باشد و ثانیاً در هر کاری که اشتغال دارد آن‌را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم، بلکه ان‌شاءالله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الآن عبادتتان این است که کار بکنید. این عبادت است.

امام خمینی (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اول : ۱

- **واحد یادگیری ۱: شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز ۲**
- **ارزشیابی شایستگی شبکه برق و مصرف‌کننده‌های 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 تک‌فاز ۱۹۶**
- **ارزشیابی شایستگی سیم پیچی الکتروموتور تک‌فاز ۲۳۱**

سخنی با هنرجویان عزیز

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 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 داری 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 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 مؤثری شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموزان عزیز

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 هریک 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 بستهٔ 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 درسال 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: کابل‌کشی شامل نصب کابل روی دیوار، سینی کابل، نردبان کابل، مفصل‌بندی کابل و کابل‌دفنی 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 سه‌فاز

واحد یادگیری ۱

شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه‌فاز

آیا می‌دانید:

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

استاندارد عملکرد

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

❋ مقدمه

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

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

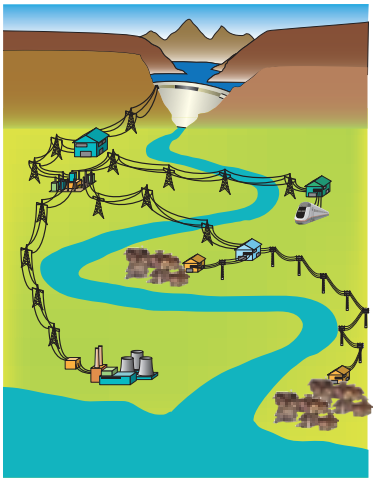
ساختار شبکه‌های الکتریکی

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

۱ـ تولید (Generation)

۲ـ انتقال (Transmission)

۳ـ توزیع (Distribution)



شکل ۱ـ تولید و انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

تولید انرژی الکتریکی

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

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

V_eـ ولتاژ مؤثر برحسب ولت (V)

I_eـ جریان مؤثر برحسب آمپر (A)

Sـ توان برحسب ولت‌آمپر (V.A)

تمرین

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

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

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

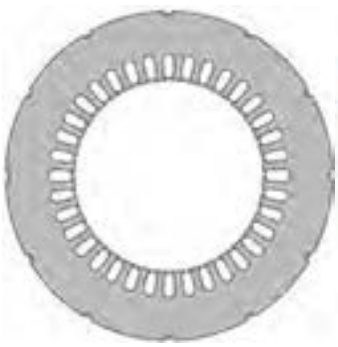
$$[MVA] = \sqrt{3}\,[KV].[KA]$$

شکل ۲ـ ژنراتور سه فاز در نیروگاه

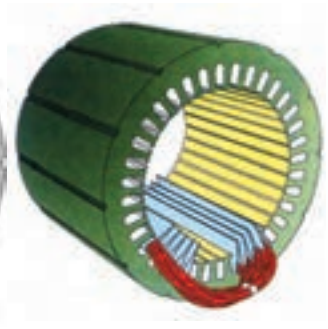
چگونگی تولید جریان‌های سه‌فازه: ژنراتورهای تولیدکننده جریان الکتریکی سه فاز از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند.

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

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

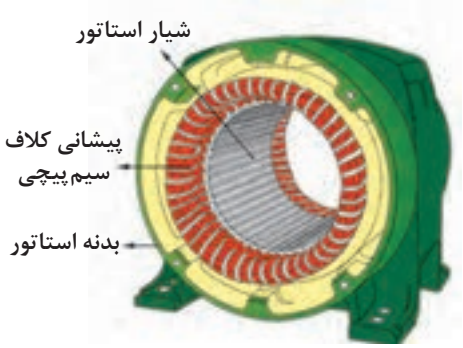


الف) ورق هسته



ب) استوانه هسته استاتور

شکل ۳ـ هسته استاتور



شکل ۴ـ استاتور سیم پیچی

تحقیق

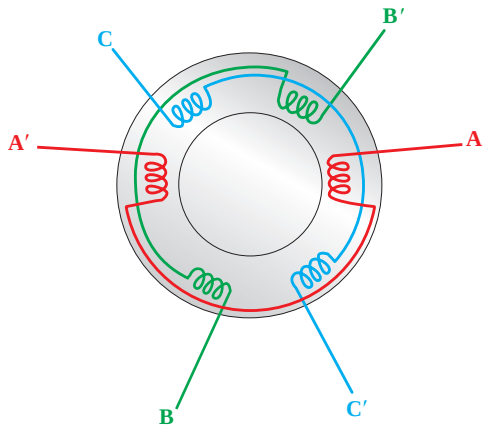
جریان‌های سه فاز را ازنظر دامنه و زمان تناوب و اختلاف‌فاز با یکدیگر مقایسه کنید و به کلاس ارائه کنید.

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

شکل ۵ــ روتور ژنراتور سنکرون

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

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

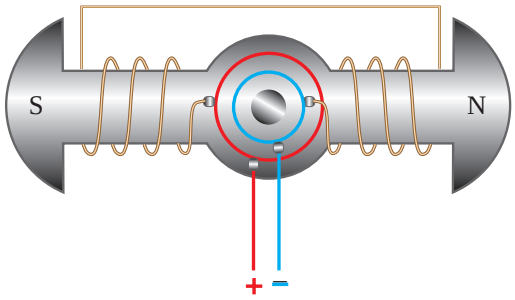


شکل۶ــ استاتور ژنراتور آسنکرون

تحقیق

منظور از ژنراتور سنکرون چیست ؟

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

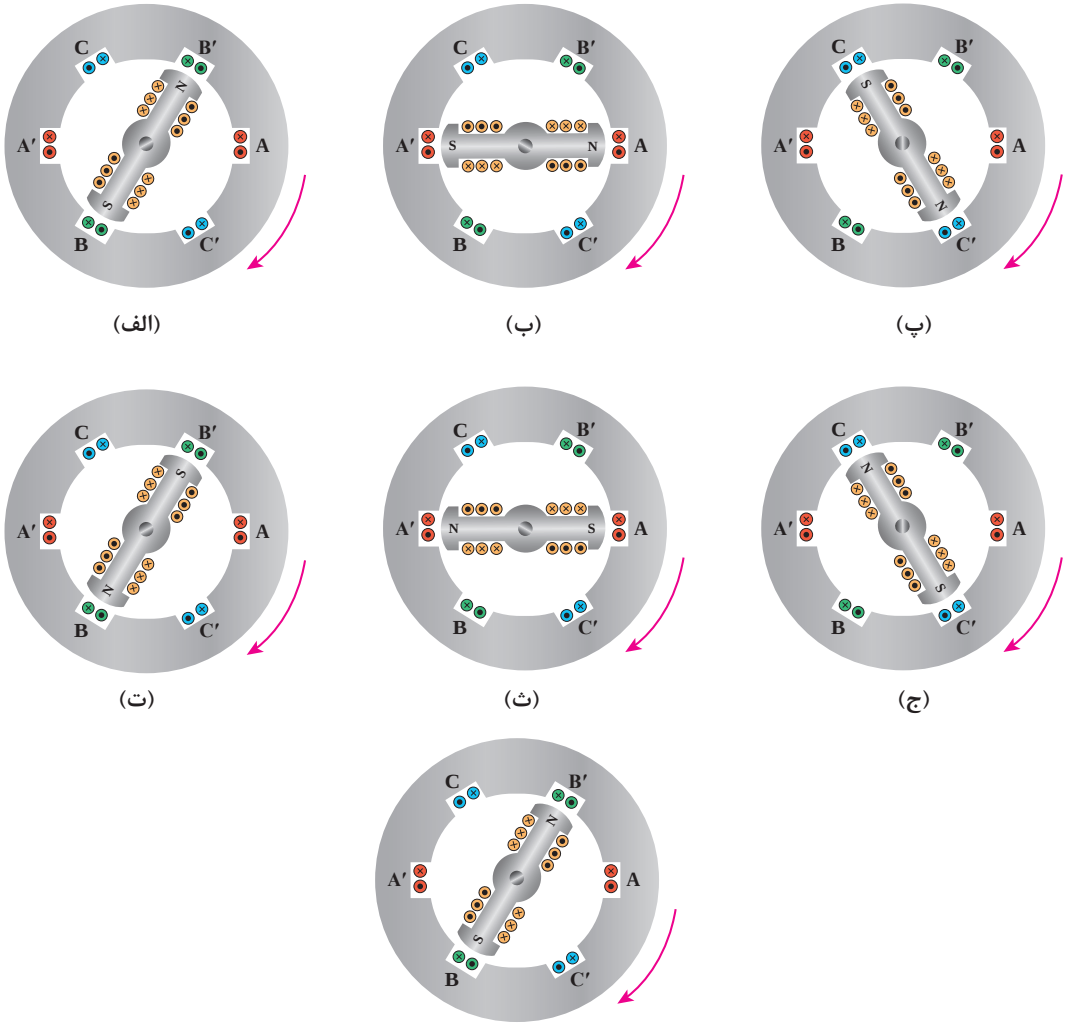


شکل ۷ــ سیم‌پیچ روتور

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

تحقیق

چرا تولید انرژی الکتریکی به‌صورت ۳ فاز انجام می‌شود ؟



(الف) (ب) (پ)

(ت) (ث) (ج)

(چ)

شکل ۸

فیلم

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

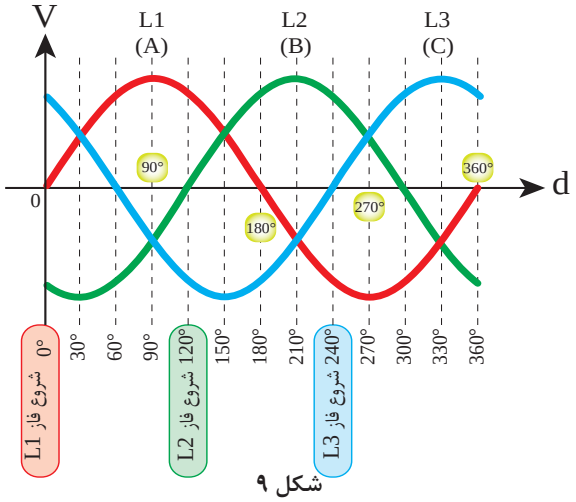
ولتاژ القایی در هرلحظه به سینوس زاویه میدان مغناطیسی روتور و سیم‌پیچی استاتور بستگی دارد و از طرف دیگر چون در استاتور سه گروه سیم‌پیچی با اختلاف‌فاز مکانی ۱۲۰ درجه در داخل شیارها استفاده‌شده لذا در اثر گردش یک دور روتور، ولتاژها و جریان‌های سه فاز با اختلاف‌فاز زمانی ۱۲۰ درجه‌ای طبق معادلات (۱) در سیم‌پیچی‌های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

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

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

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

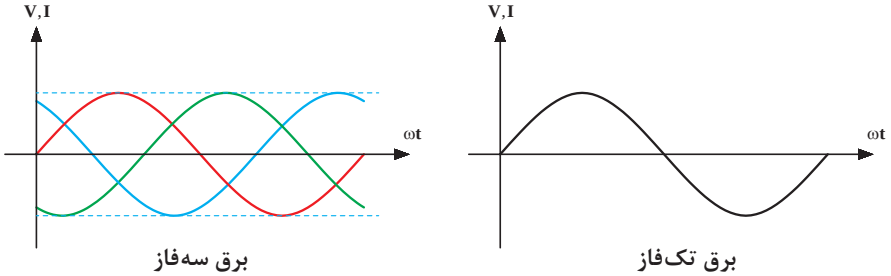
شکل موج ولتاژهای القایی یک شبکه سه فاز را در شکل (۹) مشاهده می‌کنید.



شکل ۹

مزایای برق سه فاز نسبت به تکفاز

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



برق سه‌فاز　　برق تک‌فاز

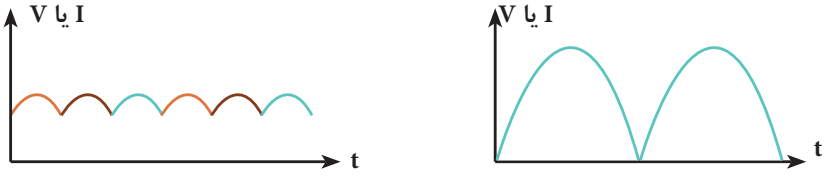
شکل ۱۰ـ منحنی برق سه فاز و تکفاز

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

تمرین

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

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



موج یکسو شده سه‌فاز با ضربان کم

موج یکسو شده تکفاز با ضربان بالا

شکل ۱۱ــ مقایسه یکسو شده برق سه فاز و تکفاز

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

فیلم

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

انتقال انرژی الکتریکی

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

شکل ۱۲ـ پایه های خطوط انتقال انرژی الکتریکی

سـطح ولتاژ در خطوط انتقال انرژی الکتریکی شبکه ایران عبارت‌اند:

۶۳ KV ، ۱۳۲ KV ، ۲۳۰ KV ، ۴۰۰ KV

فیلم

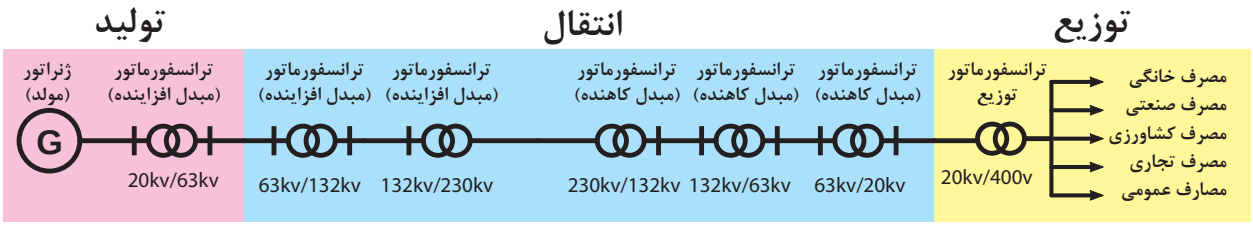
انتقال انرژی الکتریکی از ۴:۳۰ تا ۶:۱۲

فیلم

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

توزیع انرژی الکتریکی

در بخش توزیع انرژی الکتریکی اندازه ولتاژها نسبت به ولتاژهای بخش انتقال کمتر می‌باشد. مقادیر ولتاژهای بالای خطوط انتقال در قسمت توزیع توسط ترانسفورماتورها به ولتاژهای ۴۰۰V سه فاز و ۲۳۰V تکفاز تبدیل می‌شوند تا در مصرف‌کننده‌های سه فاز و تکفاز مورد استفاده قرار گیرد. در بخش توزیع، مصرف‌کننده‌های مختلفی می‌توانند وجود داشته باشند که در اینجا، موتورهای القایی سه فاز را به‌عنوان مصرف‌کننده‌های سه‌فاز و مصارف خانگی، به‌عنوان مصرف‌کننده‌های تکفاز در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۱۳) ساختار کلی ارتباط بین سه قسمت اصلی اجزای شبکه به همراه اعداد واقعی ولتاژ ترانسفورماتورها مشاهده می‌شود.

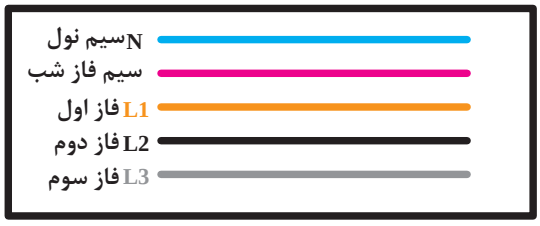


شکل ۱۳ـ نمودار تک خطی تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

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

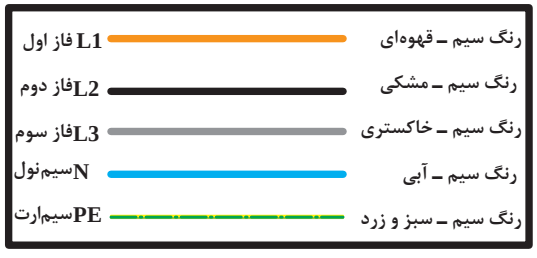
شکل ۱۴ـ خطوط توزیع

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



شکل ۱۵ـ ترتیب فازها در خطوط

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



شکل ۱۶ـ رنگ سیم فازها در نقشه‌کشی

فیلم

خطوط مختلف انرژی الکتریکی ۶:۲۲ تا ۱۱:۲۱

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

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

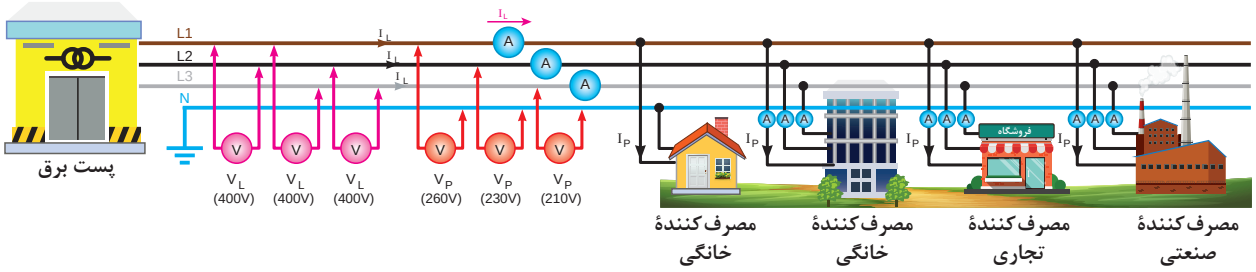
الف) ولتاژ خطی(V_L): به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) بین دو فاز یک شبکه سه فاز "ولتاژ خطی" گویند که در شبکه توزیع ایران مقدار آن ۴۰۰V است.

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

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

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

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



شکل ۱۷ــ ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی

تذکر

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

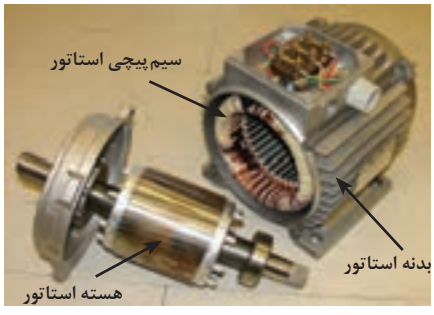
۱ــ چون ولتاژ کار مدار زیاد است و احتمال برق‌گرفتگی شدید وجود دارد همیشه در ضمن توضیح هر کار عملی تذکرات لازم را در خصوص رعایت نکات ایمنی بیان شود.

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

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

موتورهای الکتریکی سه فاز

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



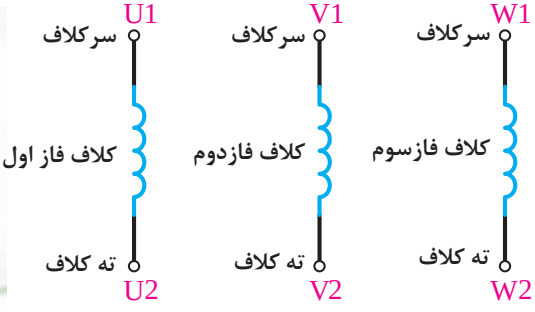
شکل ۱۸ــ موتور الکتریکی

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

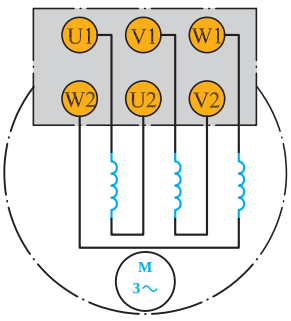
نحوه نام‌گذاری سروته کلاف‌های استاتور و موتور سه‌فاز طبق استاندارد IEC مطابق شکل (۲۰) است.

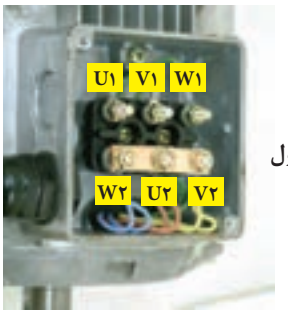
وضعیت قرار گرفتن سروته کلاف‌ها در زیر پیچ‌های تخته کلم موتور طبق استاندارد مطابق شکل (۲۱) است.

شکل ۱۹ـ تخته کلم



شکل ۲۰ـ نام گذاری کلاف‌های استاتور





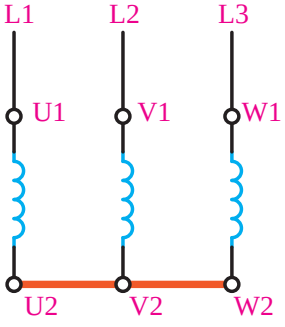
شکل ۲۱ـ اتصال کلاف‌ها

اتصال ستاره سیم‌پیچی موتور سه فاز

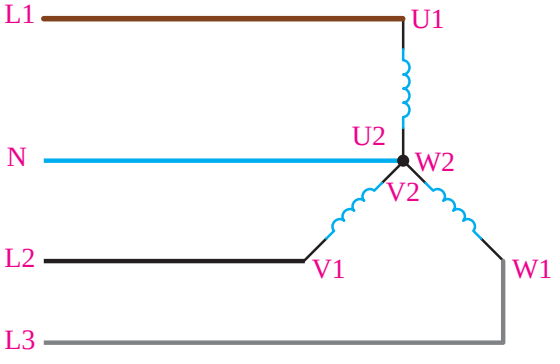
تعریف اتصال ستاره

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

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



شکل ۲۲ـ اتصال ستاره

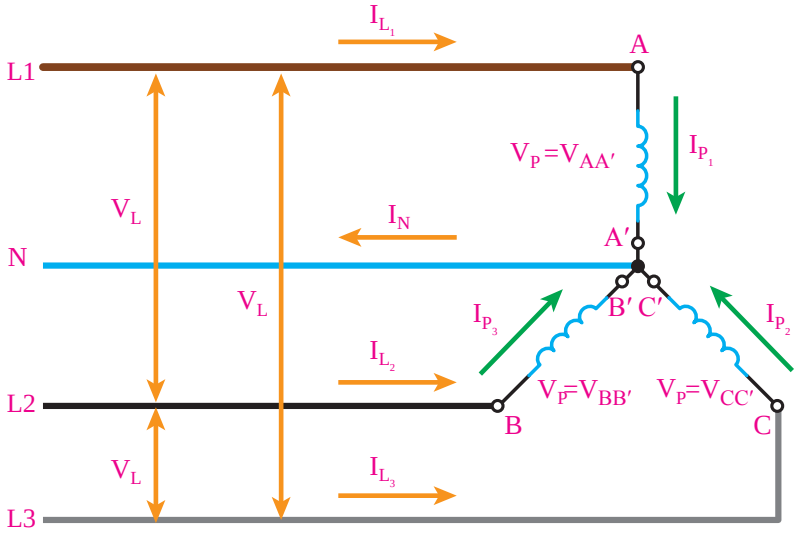


شکل ۲۳ـ اتصال ستاره با سیم نول

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

ولتاژها و جریان‌ها در اتصال ستاره

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



شکل ۲۴ـ ولتاژ و جریان در اتصال ستاره

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

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{۳}}$$

$$I_P = I_L$$

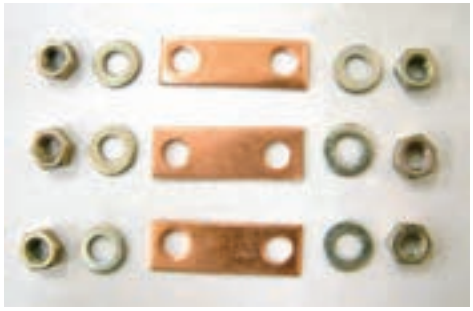
با در نظر گرفتن روابط فوق می‌توان نتیجه گرفت که ولتاژ دو سر هر کلاف در اتصال ستاره یک موتور سه فازه برابر خواهد شد با:

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

$I_P = I_L = I_n$ (جریان نامی موتور)

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

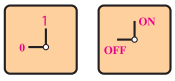
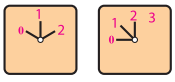
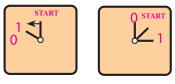
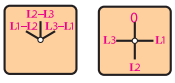
شکل ۲۵ـ تسمه مسی



شکل ۲۶ـ اتصال تسمه مسی

راه‌اندازی موتورهای الکتریکی با کلیدهای سه فاز

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

نام کلید	تصویر
قطع و وصل ساده (۱ـ۰)	
معکوس‌کنندهٔ جهت گردش موتور (چپ گرد، راست گرد) (۲ـ۰ـ۱)	
ستاره ـ مثلث (Δ ـ ⅄ ـ ۰)	
ستاره ـ مثلث، چپ‌گرد، راست گرد	
چند سرعته (۲ـ۱ـ۰) و (۳ـ۲ـ۱ـ۰)	
راه‌اندازی موتورهای تکفاز	
انتخاب‌کنندهٔ فاز (برای دستگاه‌های اندازه‌گیری) (مانند کلید ولت‌متر)	

شکل ۲۷ـ تصاویر کلیدهای متداول راه‌اندازی الکتروموتورها

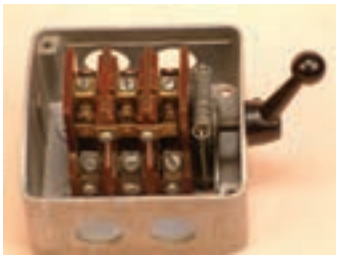
برای راه‌اندازی مصرف‌کننده‌های سه فاز در حالات مختلف از کلیدهای سه فازه با ظاهر و همچنین زمینه‌های کاربردی متفاوت استفاده می‌شود که در این فصل با سه نوع آن آشنا می‌شوید.

کلید قطع و وصل (۱ ـ ۰، صفر و یک)

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

شکل (۲۸) تصویر کلید قطع و وصل (۰ ـ۱) را در دو نوع گردان تابلویی (شکل الف) و اهرمی بدنه چدنی (شکل ب) نشان می‌دهد.

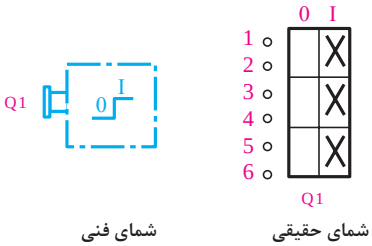
شکل الف) کلید گردان



شکل ب) کلید اهرمی

شکل ۲۸

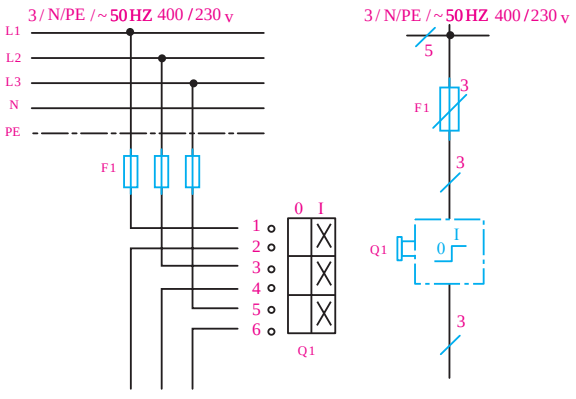
در این کلید با چرخش ۹۰ درجه‌ای کلید گردان تابلویی یا چرخاندن اهرم کلید بدنه چدنی سه کنتاکت بازهم محور، به‌صورت هم‌زمان بسته‌شده و مدار وصل می‌شود. با کلید قطع و وصل امکان راه‌اندازی موتور سه فاز در یک حالت (ستاره یا مثلث) امکان‌پذیر است به همین دلیل ضروری است روی تخته کلم موتور اتصال موتور به‌صورت ثابت ایجاد شود. در شکل (۲۹) شمای حقیقی و فنی کلید قطع و وصل (۰ ـ۱) نشان داده‌شده است.



شمای حقیقی　　شمای فنی

شکل ۲۹ـ شمای حقیقی و فنی کلید قطع زمین

نقشه مدار حقیقی و فنی (تک‌خطی) کلیدهای قطع و وصل (۰ ـ۱) در شکل (۳۰) نشان داده‌شده است. براساس این نقشه‌ها می‌توان کلید را به هر مصرف‌کنندهٔ سه فاز در مدار اتصال داد.

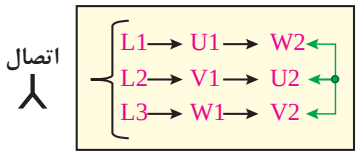


شکل ۳۰ـ نقشه حقیقی و فنی مدار قطع و وصل موتور سه‌فاز با کلید (۱ـ۰)

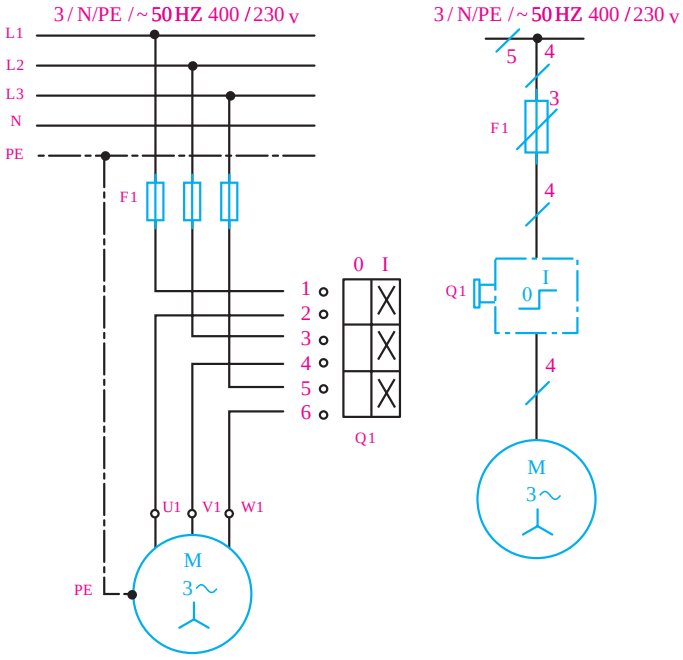
راه‌اندازی موتور سه فاز در اتصال ستاره با کلید قطع و وصل (۱ – ۰)

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

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



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



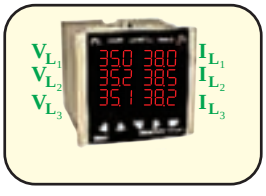
شکل ۳۲ـ شمای حقیقی و فنی

فیلم

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

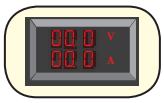
تذکر

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



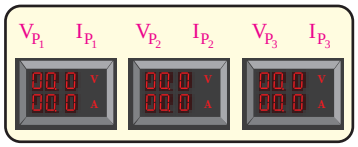
شکل ۳۳

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



شکل ۳۴

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



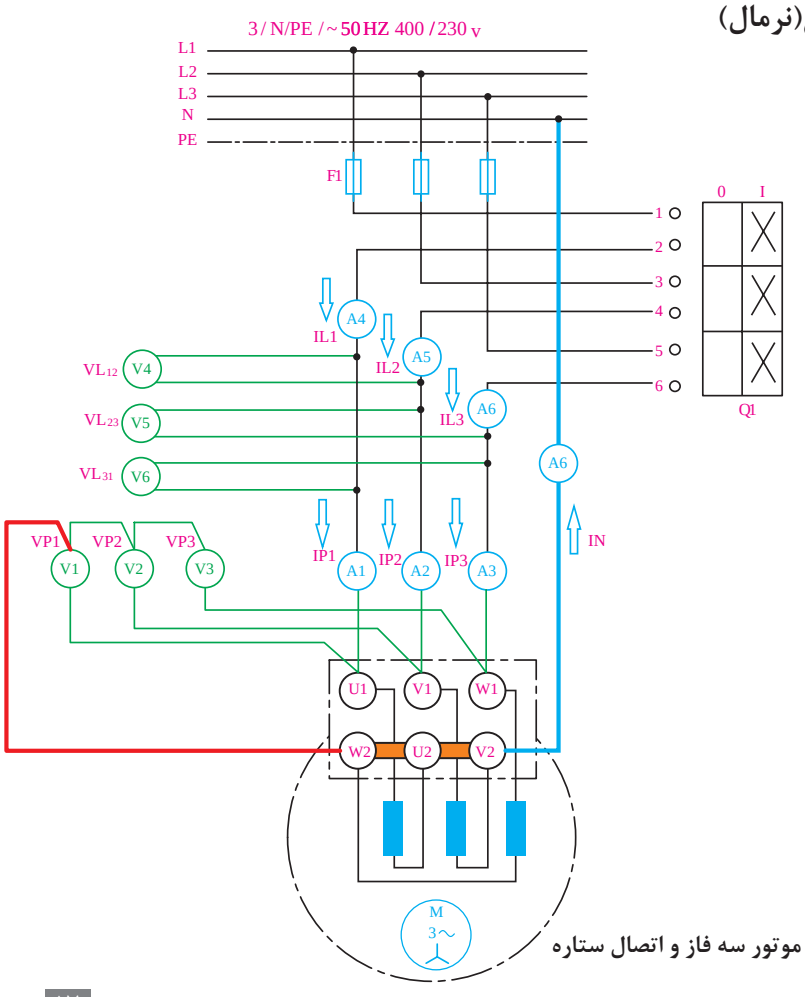
شکل ۳۵

کار عملی۱

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

I ـ مداردرشرایط کار طبیعی(نرمال)

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



شکل ۳۶ـ راه اندازی موتور سه فاز و اتصال ستاره

تذکر

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

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

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

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

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

I_N = ... جریان سیم نول

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

II ـ مداردرشرایط قطع یک‌فاز شبکه

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

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

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

فیلم

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

تحقیق

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

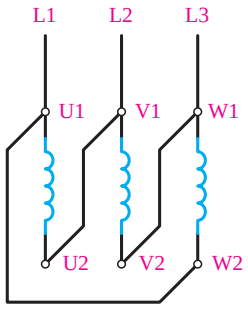
اتصال مثلث سیم‌پیچی موتور سه‌فاز

اتصال مثلث

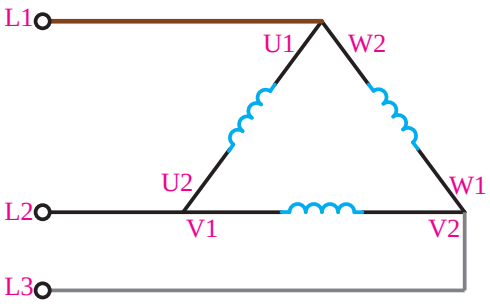
تعریف: هرگاه انتهای سیم‌پیچی اول (U2) را به ابتدای سیم‌پیچی دوم (V1) ؛ انتهای سیم‌پیچی دوم (V2) را به ابتدای سیم‌پیچی سوم (W1) و انتهای سیم‌پیچی سوم (W2) را به ابتدای سیم‌پیچی اول (U1) متصل کرده و به ترتیب شبکه سه فاز ,L1 L2, L3 را به ابتدای هر سیم‌پیچی وصل کنیم این اتصال را "اتصال مثلث" گویند.

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

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



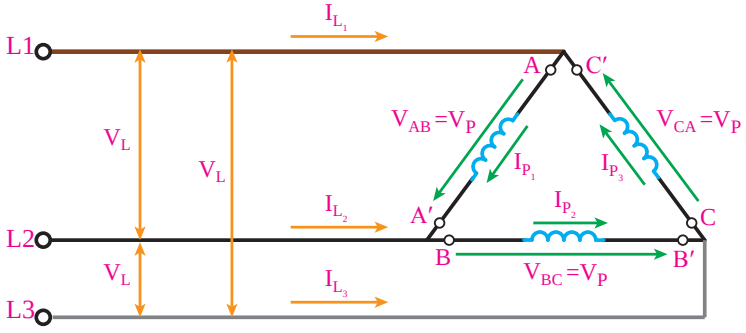
شکل ۳۷ـ اتصال مثث



شکل ۳۸ـ اتصال مثلث

ولتاژها و جریان‌ها در اتصال مثلث

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



شکل ۳۹ـ اتصال مثلث

همان‌طور که در شکل (۳۹) مشاهده می‌شود در اتصال مثلث ولتاژی که در دو سر هر کلاف موتور افت می‌کند برابر ولتاژ شبکه است. جریان جاری در هر کلاف (جریان فازی) با جریان جاری در شبکه (جریان خطی) متفاوت و به نسبت $\sqrt{3}$ برابر از آن کمتر است. لذا به‌اختصار روابط مربوط به اتصالات مثلث را چنین می‌توان نوشت:

$$V_P = V_L$$

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

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:

$$V_P = V_L = ۴۰۰ \quad V$$

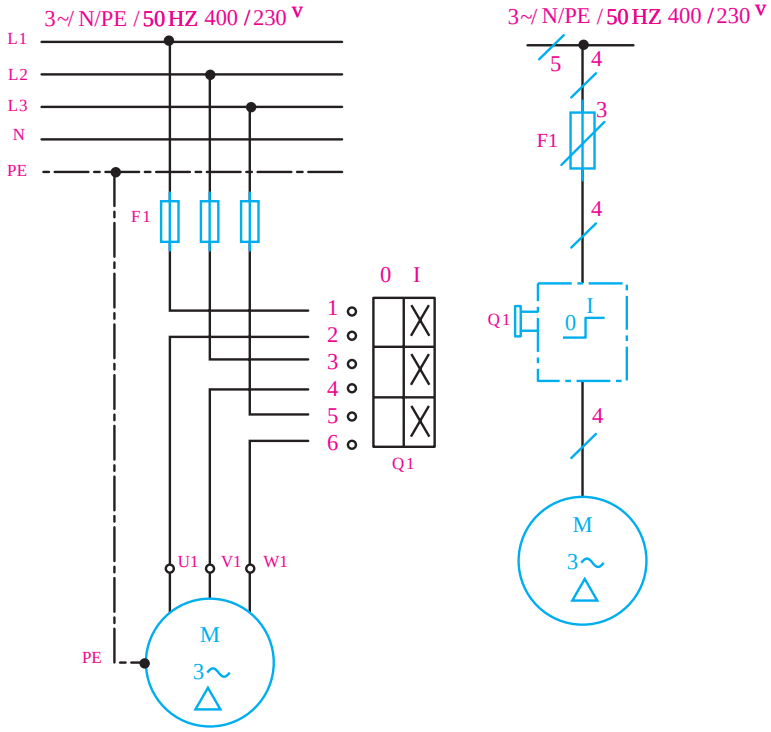
$$I_P = \frac{I_L}{\sqrt{۳}} = \frac{I_n \text{ (جریان نامی موتور)}}{\sqrt{۳}}$$

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

شکل ۴۰ـ اتصال مثلث موتور

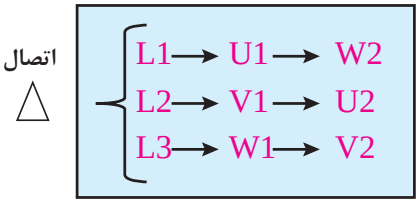
راه‌اندازی موتور سه فاز در اتصال مثلث با کلید قطع و وصل (۰ ـ ۱)

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



شکل ۴۱ـ شمای حقیقی و فنی کلید (۰ـ۱)

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



شکل ۴۲ـ اتصال ترمینال‌ها به‌صورت مثلث

فیلم

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

فیلم

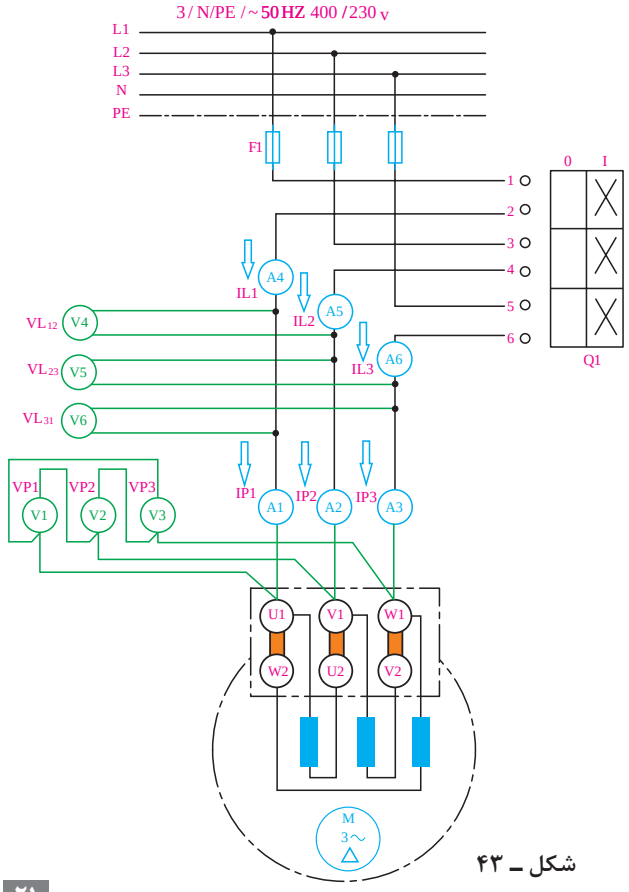
راه‌اندازی الکتروموتورها با کلید از لحظه ۳۵:۴۲ تا ۴۰:۴۰

کار عملی ۲

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

I ـ مداردرشرایط کار طبیعی (نرمال)

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



شکل ـ ۴۳

تذکر

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

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

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

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

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

II ـ مدار در شرایط قطع یکفاز شبکه

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

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

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

تحقیق

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

توان الکتریکی در مدارهای سه فاز

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

توان ظاهری $S = \sqrt{3}\, V_L\, I_L$

توان مفید (حقیقی) $P = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\varphi$

توان غیرمفید(غیرحقیقی) $Q = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \sin\varphi$

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

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

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

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

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

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

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

بار متعادل و نامتعادل

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

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

بار متعادل

P_Tـ توان اکتیو کل مدار
Q_Tـ توان راکتیو کل مدار

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

بررسی توان مصرفی در اتصالات ستاره و مثلث

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

$P_P=V_P.I_P.\cos\varphi$ (۱)

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

$P=3P_P$ توان سه‌فاز (۲)

توان مصرفی در اتصال ستاره

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

در اتصال ستاره داریم:

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

$I_L=I_P$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

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

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

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

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

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

توان مصرفی در اتصال مثلث

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

در اتصال مثلث داریم:

$V_L=V_P$

$I_L=\sqrt{3}\,I_P$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

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

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

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

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

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

مقایسه توان مصرفی اتصال‌های ستاره و مثلث

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

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

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

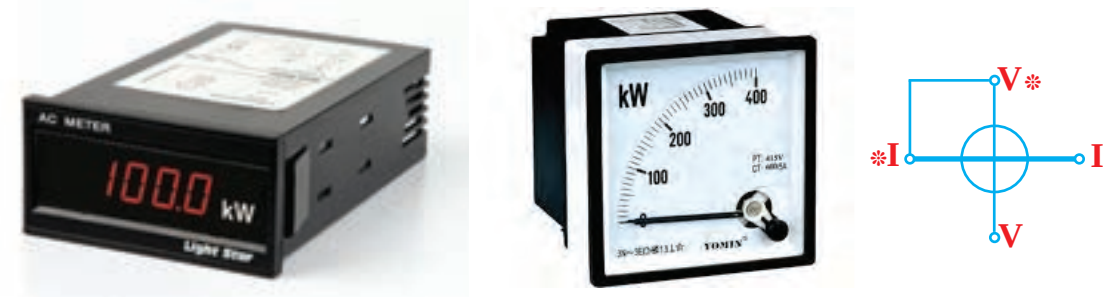
$$P_\lambda=\frac{1}{3}P_\Delta\qquad(۶)$$

تذکر

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

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

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



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

فیلم

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

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

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

جدول شمارهٔ ۵ ـ طرز اتصال موتورهای سه‌فاز با قدرت‌های نامی

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

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

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

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

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

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

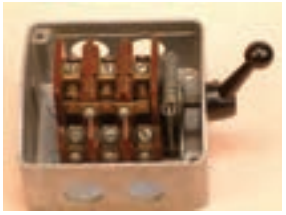
نتیجه: جریان در حالت ستاره، $\frac{1}{3}$ جریان در حالت مثلث است.

کلید ستاره ـ مثلث (O − ⅄ − Δ)

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

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

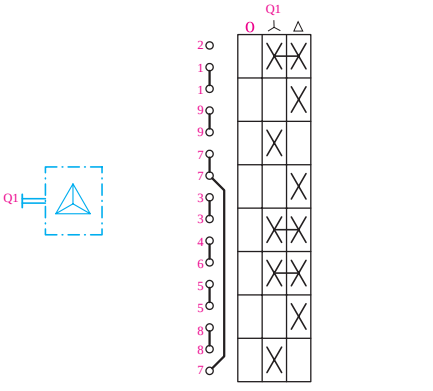
الف) کلید ستاره ـ مثلث زبانه‌ای



ب) کلید ستاره ـ مثلث اهرمی

شکل ۴۵

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

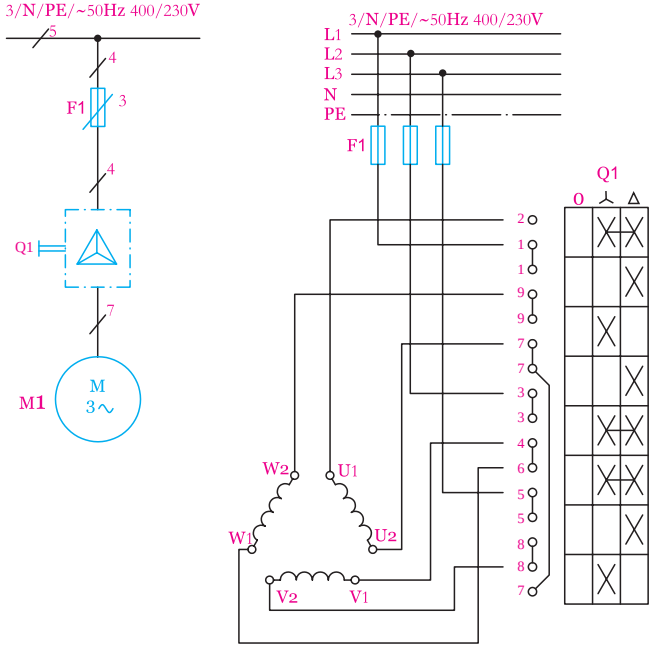


الف ـ شمای حقیقی ب ـ شمای فنی

شکل ۴۶ـ شمای حقیقی و فنی کلید ستاره ـ مثلث

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

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

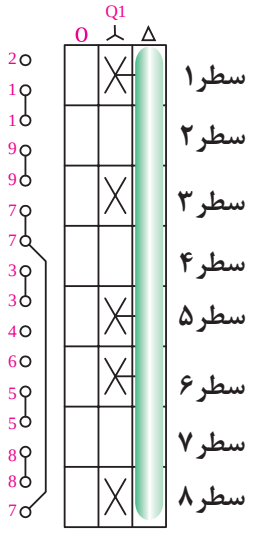


شکل ۴۷ـ شمای حقیقی و فنی اتصال ستاره ـ مثلث

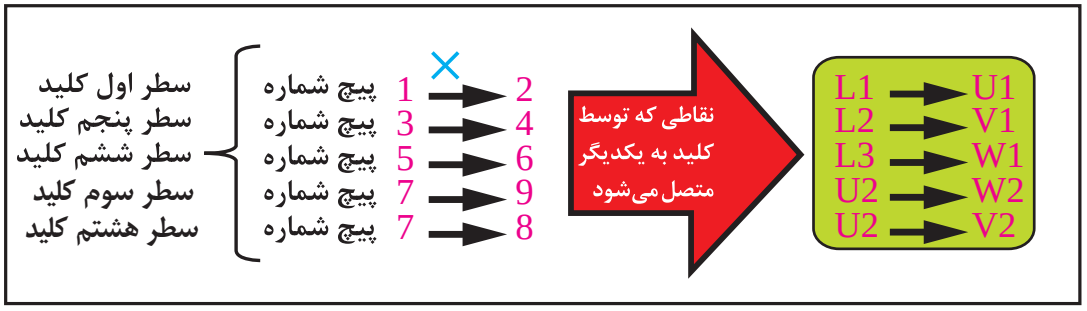
همان‌طور که در شکل (۴۷) مشاهده می‌شود پیچ‌های ۱، ۳، ۵ ورودی فازهای شبکه است و پیچ‌های ۲، ۴، ۶ به سرهای موتور یعنی W1، V1، U1 متصل شده و پیچ‌های ۷، ۸، ۹ به ترتیب به انتهای کلاف‌های موتور یعنی W2، V2، U2 متصل می‌شوند. برای آشنایی با طرز کار کلید و چگونگی عملکرد آن به بررسی و نقشه‌خوانی حالات کاری Y و Δ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

☑ حالت Y کلید

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



شکل۴۸ـ اتصالات کلید در حالت ستاره



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

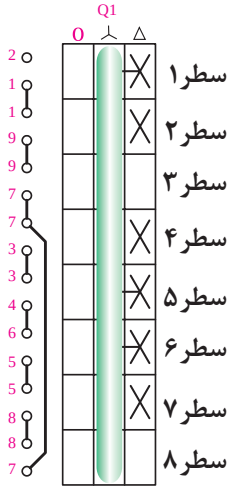
شکل ۴۹

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

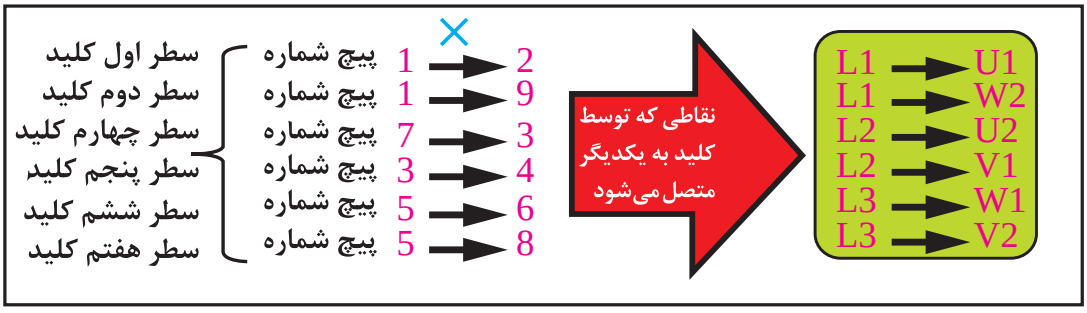
حالت Δ کلید

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

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



شکل ۵۰ ـ اتصالات کلید در حالت مثلث



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

شکل ۵۱

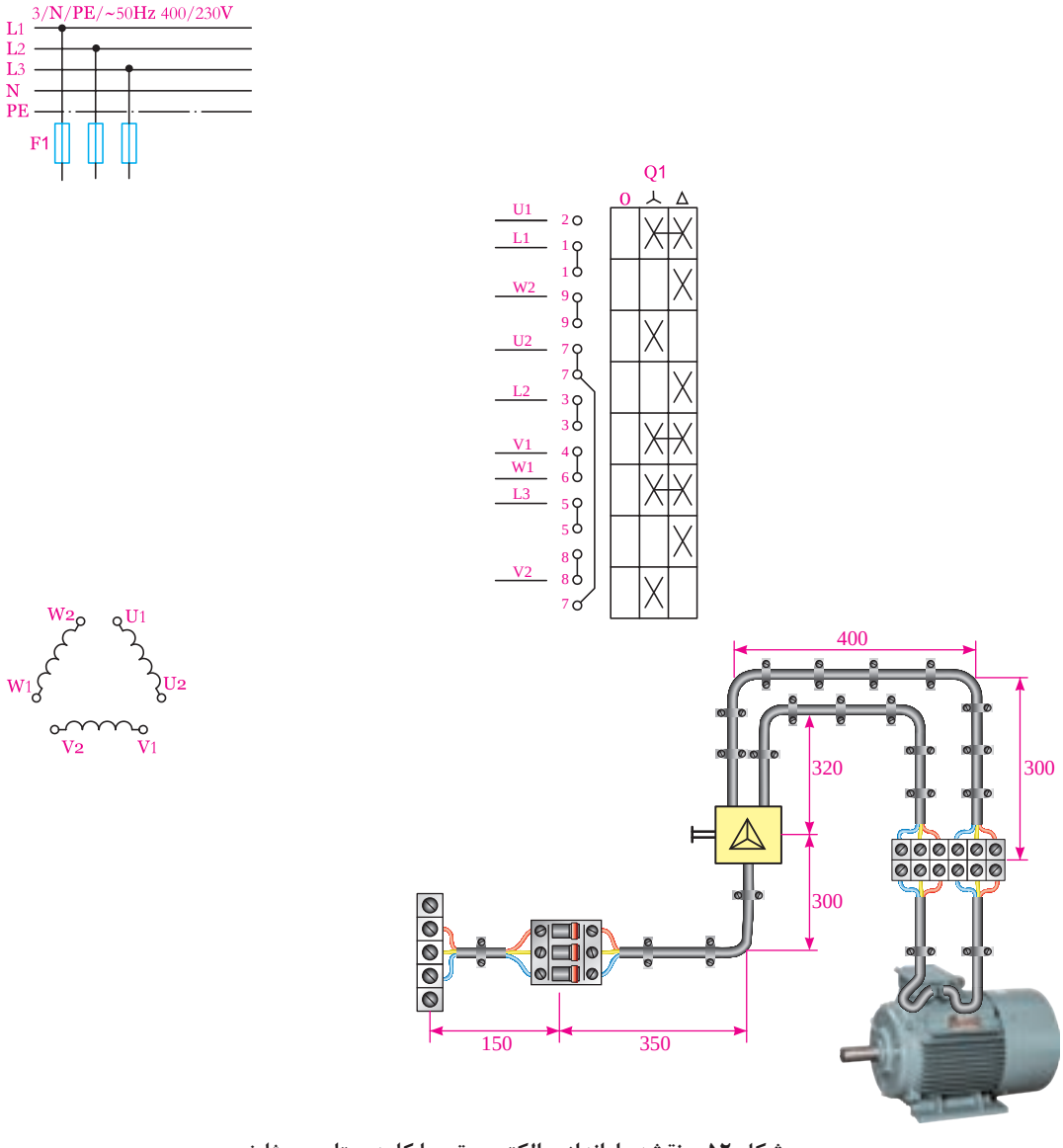
فیلم

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

کار عملی ۳

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

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



شکل ۵۲ ـ نقشه راه‌اندازی الکتروموتور با کلید ستاره ـ مثلث

تذکر

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

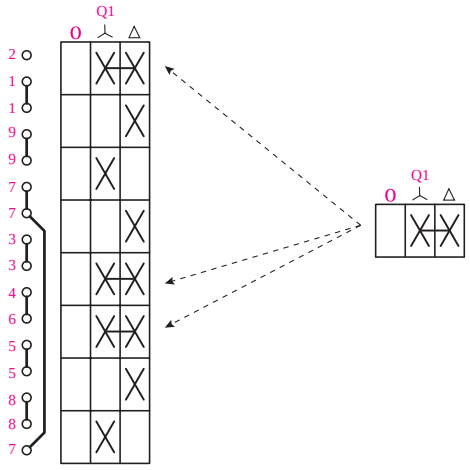
۲ـ مدار کلید ستاره ـ مثلث را با استفاده از شکل (Δ) توسط کابل یا داکت روی تابلو اتصال دهید.

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

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

سؤال:

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

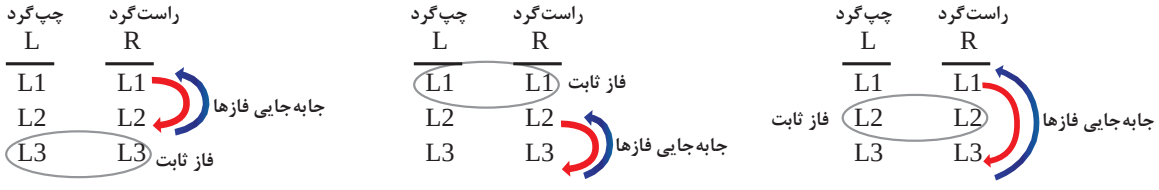


شکل ۵۳ـ اتصالات مختلف کلید

تغییر جهت گردش در موتورهای الکتریکی سه فاز

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

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

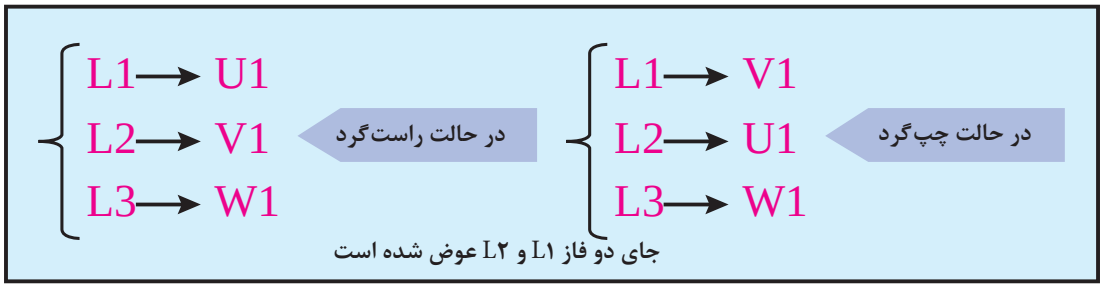


شکل ۵۴ـ تغییر جهت چرخش در موتورهای سه فاز

فیلم

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

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



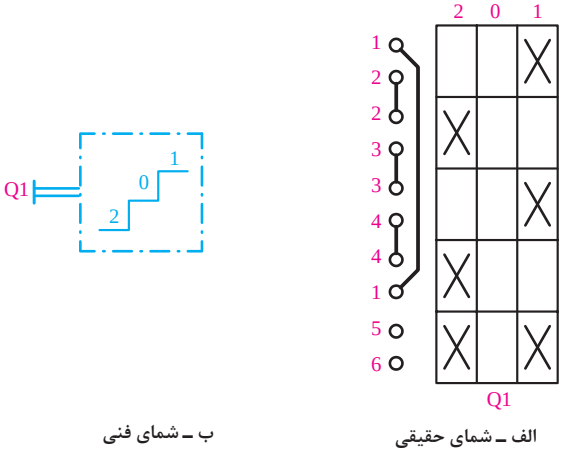
شکل ۵۵ـ جابه‌جایی فازها

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

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

شکل ۵۶ـ کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد

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



ب ـ شمای فنی

الف ـ شمای حقیقی

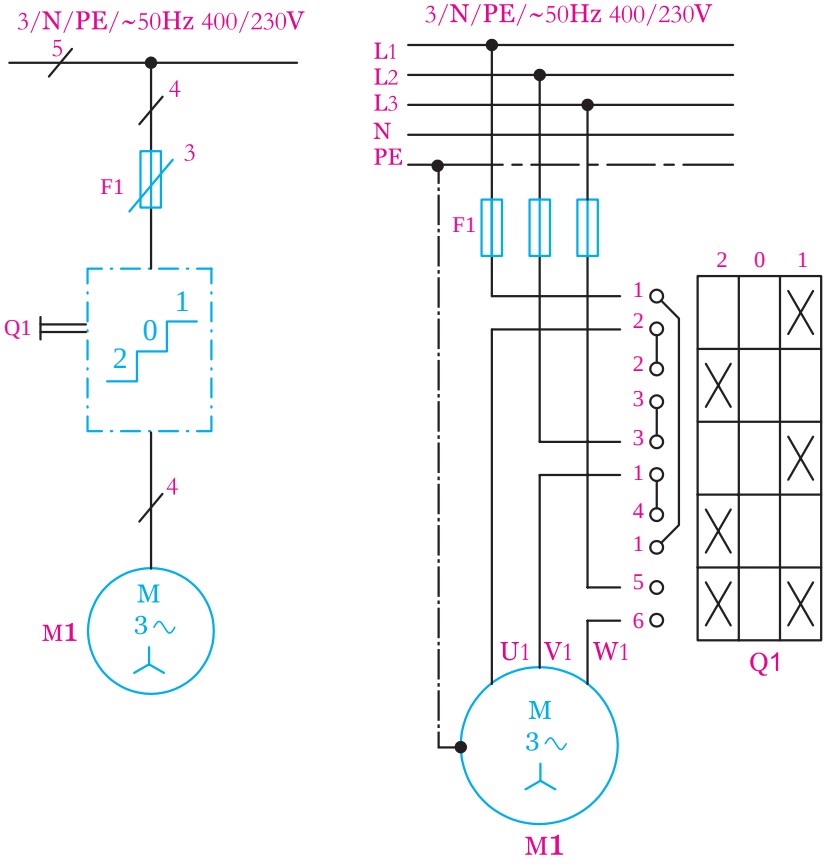
شکل ۵۷ـ کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد

نکته

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

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

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

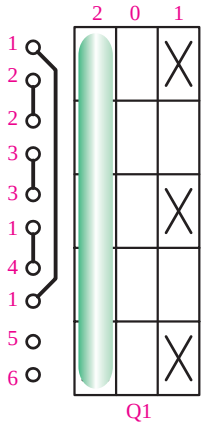


شکل ۵۸ـ شمای حقیقی و فنی مدار راست‌گرد و چپ‌گرد

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

حالت ۱ کلید

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

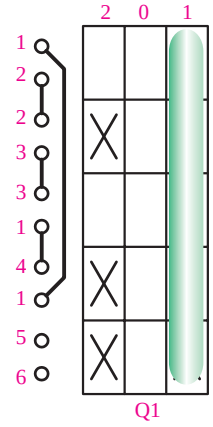


شکل ۵۹ـ اتصالات داخل کلید در حالت راست‌گرد

حالت ۲ کلید

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

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



شکل ۶۰ـ اتصالات داخل کلید در حالت چپ‌گرد

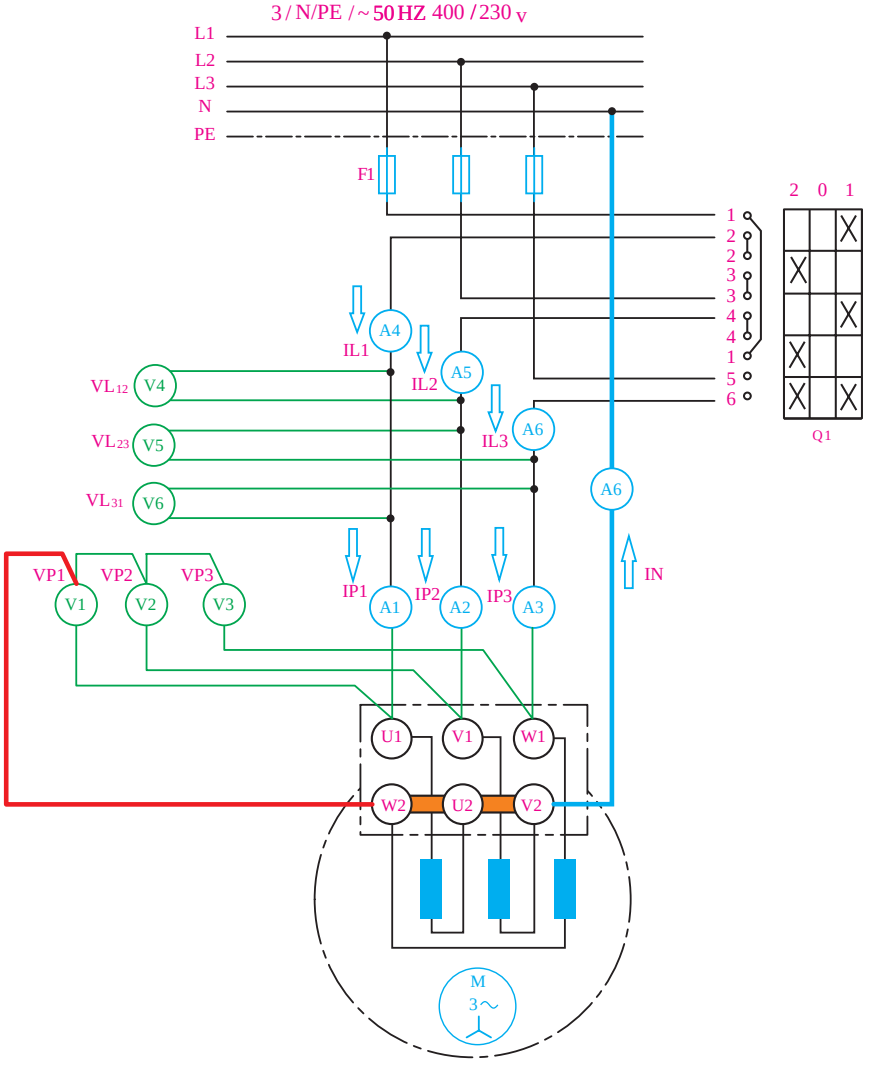
نکته

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

کار عملی ۴

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

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



شکل ۶۱ ـ تغییر جهت گردش با کلید چپ‌گرد ـ راست‌گرد

تذکر

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

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

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

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

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

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

I_N=..... جریان سیم نول

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

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

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

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

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

I_N=..... جریان سیم نول

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

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

بررسی مفاهیم بارهای متعادل و نامتعادل در مصرف‌کننده‌های سه فاز

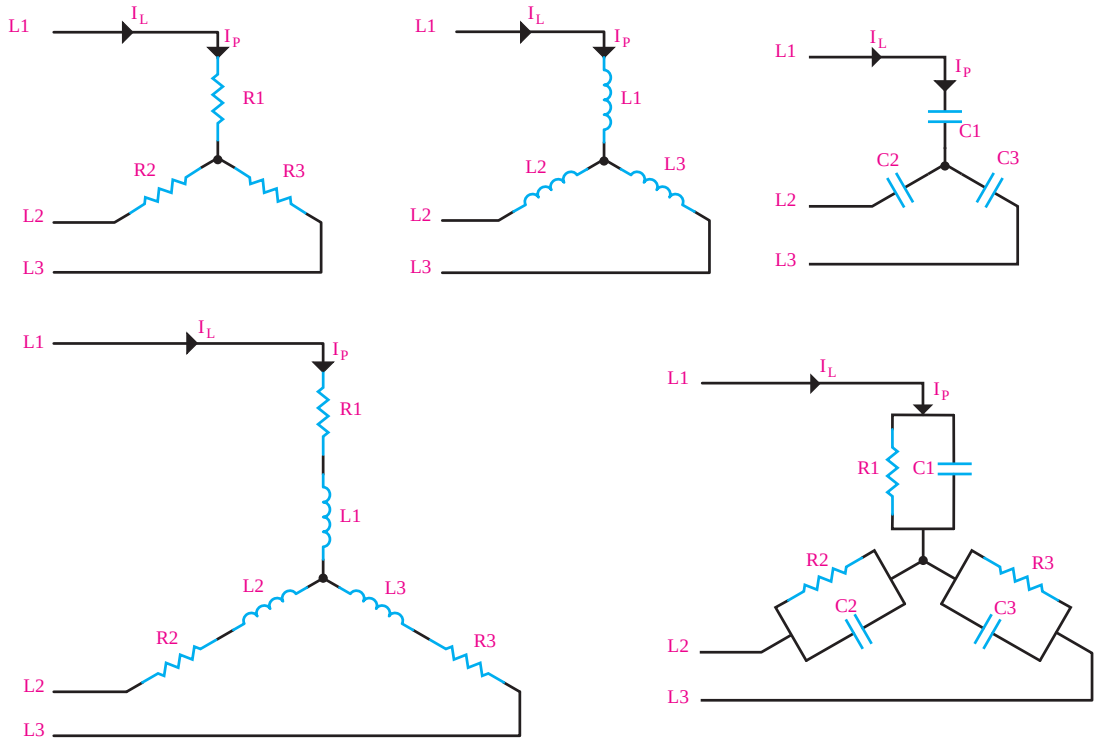
در یک مصرف‌کننده سه فاز هرگاه مشخصات هر سه شاخه که در مسیر سه فاز قرار می‌گیرد با یکدیگر ازنظر نوع، مقدار (اندازه) و زاویه اختلاف‌فاز مساوی باشند آن اتصال را "اتصال متعادل" گویند.

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

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

اتـصال ســـتاره

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

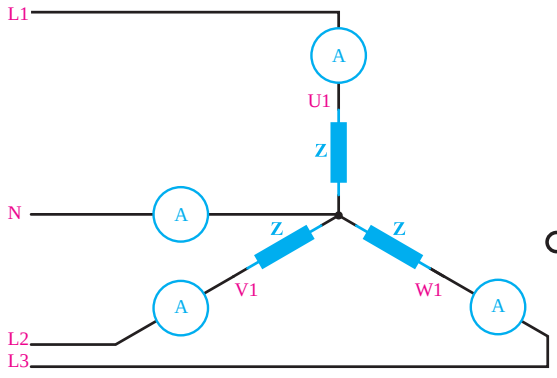


R1=R2=R3 **L1=L2=L3** **C1=C2=C3**

شکل ۶۲ـ ستاره متعادل

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

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



Z_1 ـ بار اهمی خالص

Z_2 ـ بار اهمی خالص

Z_3 ـ بار اهمی خالص

$Z_1 = Z_2 = Z_3$

شکل ۶۳ ـ اتصال ستاره با نول

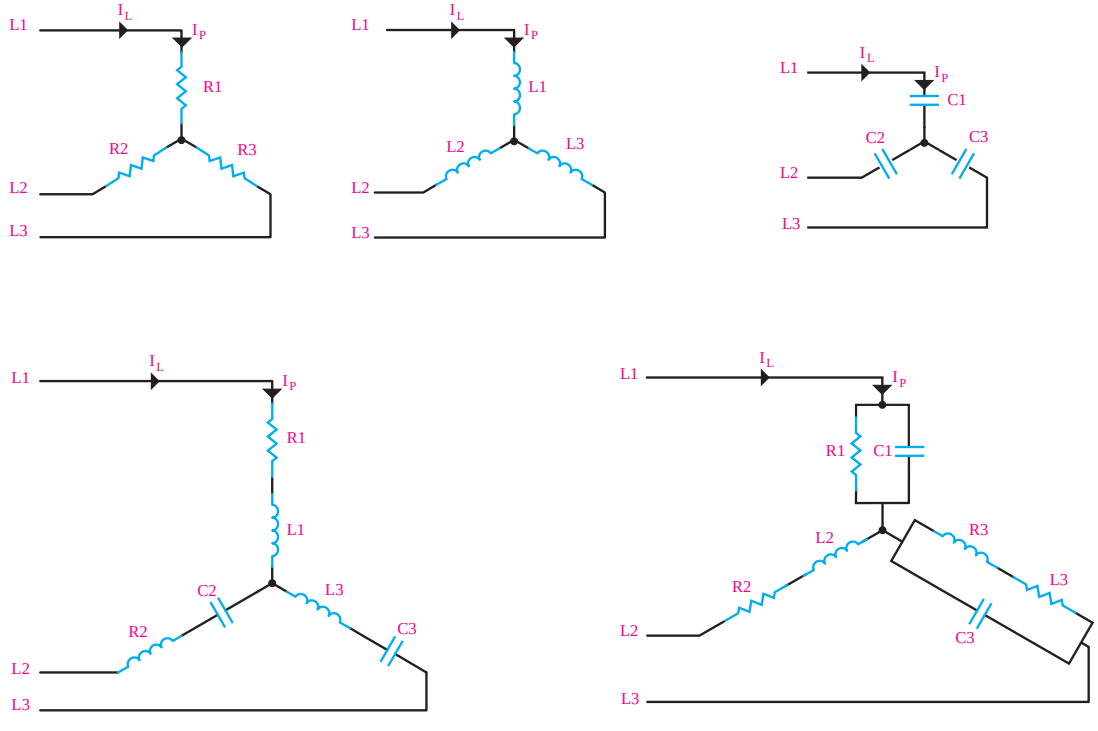
در شرایط ستاره متعادل چون جریان‌های فازی و خطی هر سه فاز برابر است لذا جمع برداری جریان جاری سیم نول (مسیر برگشت جریان فازها) برابر صفر خواهد شد.

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

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

$I_N = 0$ در شرایط بار متعادل

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

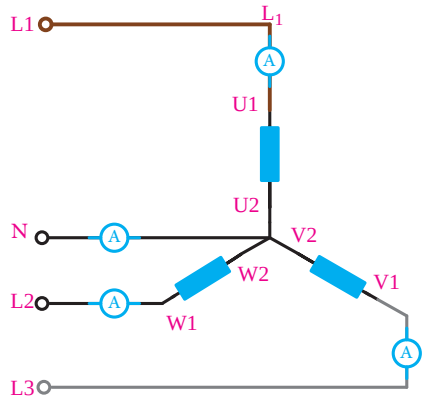


R1≠R2≠R3 **L1≠L2≠L3** **C1≠C2≠C3**

شکل ۶۴ ـ ستاره نامتعادل

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

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



شکل ۶۵ ـ ستاره نامتعادل

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

$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$

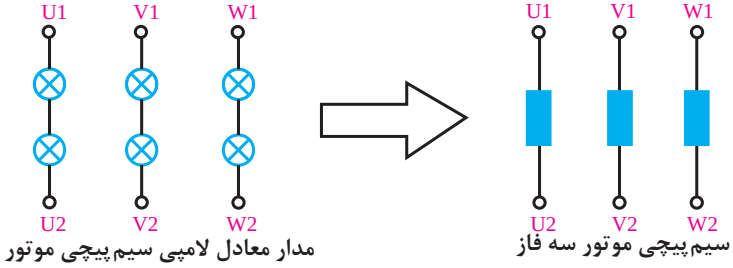
$I_{P_1} \neq I_{P_2} \neq I_{P_3} \quad \Rightarrow \quad I_{L_1} \neq I_{L_2} \neq I_{L_3}$

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

در شرایط بار نامتعادل $I_N \neq 0$

تذکر

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



شکل ۶۶ ـ اتصال مدار لامپ برای حالت مثلث

تحقیق

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

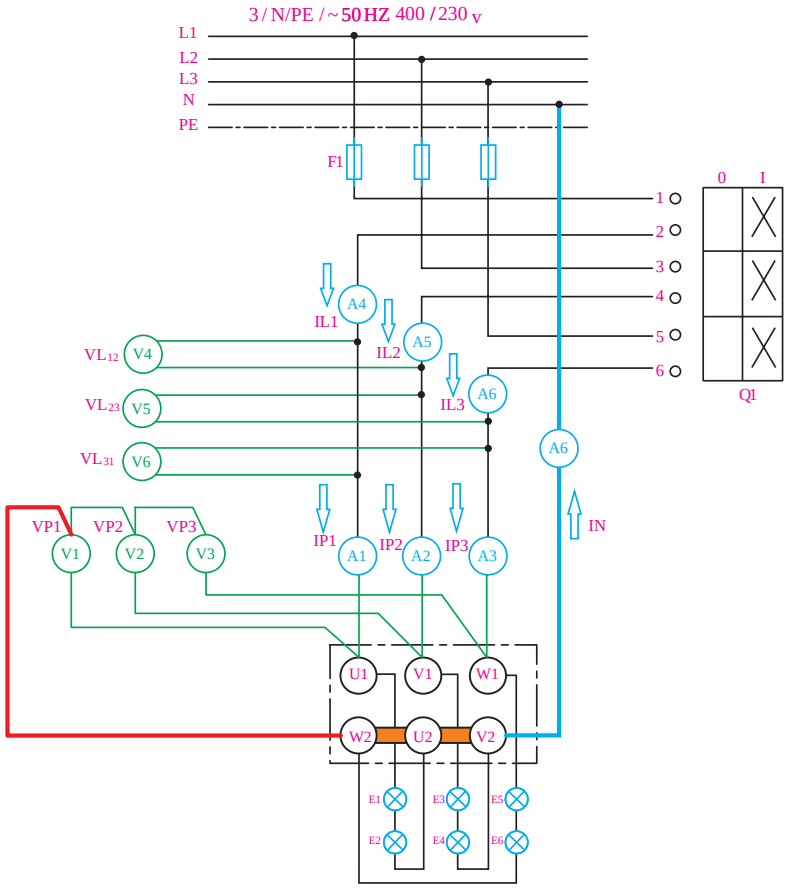
کار عملی ۵

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

الف) اتصال ستاره متعادل

I ـ مداردرشرایط کار طبیعی (نرمال)

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



شکل ۶۷ ــ اتصال مدار ستاره لامپی

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

جدول شماره ۸ ــ ستاره متعادل در شرایط کار طبیعی

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

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

جریان سیم نول = I_N .....

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

II ــ مدار در شرایط قطع یک‌فاز شبکه

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

جدول شماره ۹ـ ستاره متعادل در شرایط قطع یک‌فاز

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

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

جریان سیم نول I_N=.....

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

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

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

جدول شماره ۱۰ـ ستاره متعادل در شرایط قطع یک لامپ

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

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

جریان سیم نول I_N=.....

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

ب) اتصال ستاره نامتعادل

I ـ در شرایط کار طبیعی (نرمال)

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

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

جدول شماره ۱۱ـ ستاره نامتعادل

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

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

I_N=..... جریان سیم نول

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

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

II ـ در شرایط قطع یک‌فاز شبکه

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

جدول شماره ۱۲ـ ستاره نامتعادل در شرایط قطع یک‌فاز

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

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

I_N=..... جریان سیم نول

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

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

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

جدول شماره ۱۳ـ ستاره نامتعادل در شرایط قطع یک لامپ

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

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

جریان سیم نول I_N=.....

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

تمرین

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

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

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

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

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

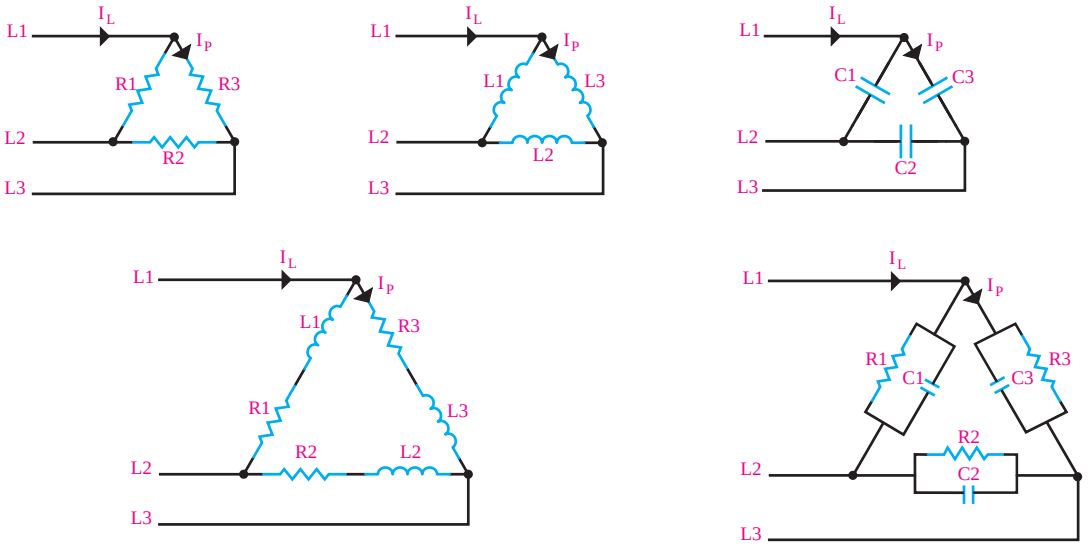
هـ) اتصال ستاره نا متعادل در شرایط قطع یک‌فاز (بر اساس مقادیر جدول ۱۳)

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

اتصال مثلث

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

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



شکل ۶۸ـ مثلث متعادل

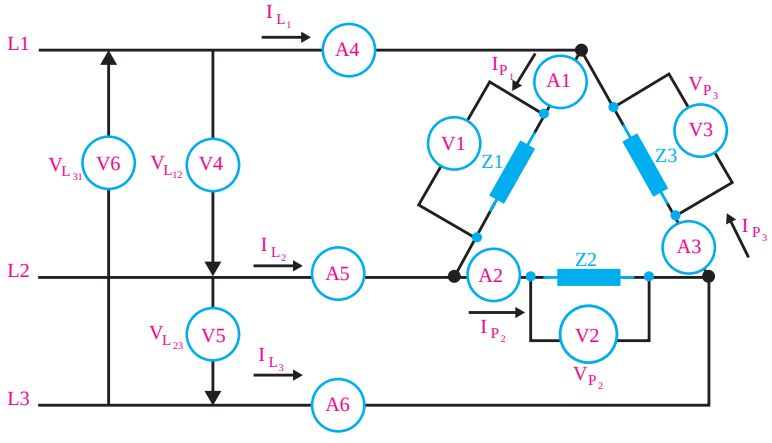
همان‌گونه که در شکل مشخص است در اتصال مثلث از سیم نول استفاده نشده و رابطه $I_N = I_{P_1} + I_{P_2} + I_{P_3}$ در این اتصال به کار نمی رود.

Z_1 ـ بار اهمی خالص

Z_2 ـ بار اهمی خالص

Z_3 ـ بار اهمی خالص

$Z_1 = Z_2 = Z_3$



شکل ۶۹ ـ اتصال مدار مثلث متعادل

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

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

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

نکته

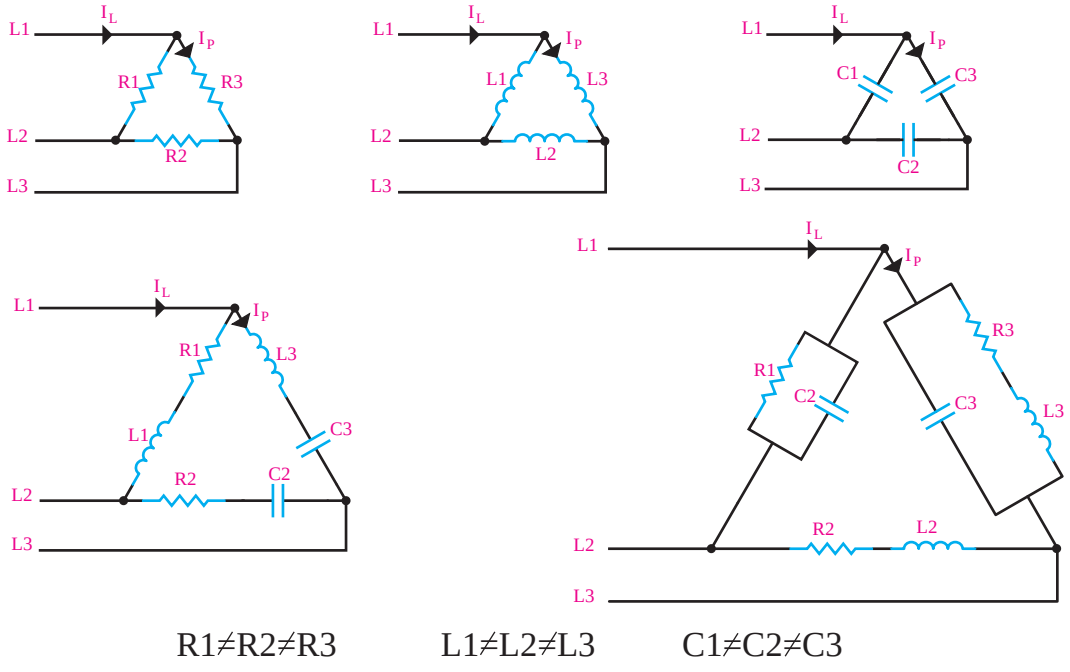
چون جریان‌های هر فاز دارای اندازه و زاویه اختلاف فاز هستند لذا برای جمع یا تفریق جریان‌ها باید به‌صورت جمع و تفریق برداری آنها را محاسبه کرد.

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

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

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

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



شکل ۷۰ـ مثلث نامتعادل

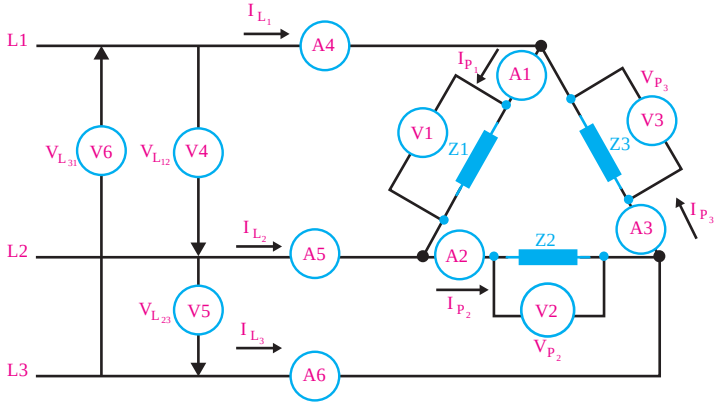
در اتصال مثلث نامتعادل نیز مشابه اتصال ستاره نامتعادل چون مشخصات امپدانسی (مقاومتی) یکسان نیست لذا جریان‌های فازی مساوی نبوده و در نتیجه جریان‌های خطی که از جمع جبری جریان‌های فازی در نقاط

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

$Z_۱$ ـ بار اهمی خالص

$Z_۲$ ـ بار سلفی خالص

$Z_۳$ ـ بار خازنی خالص



شکل ـ ۷۱

$$Z_۱ \neq Z_۲ \neq Z_۳$$

$$I_{P_۱} \neq I_{P_۲} \neq I_{P_۳}$$

$$I_{L_۱} \neq I_{L_۲} \neq I_{L_۳}$$

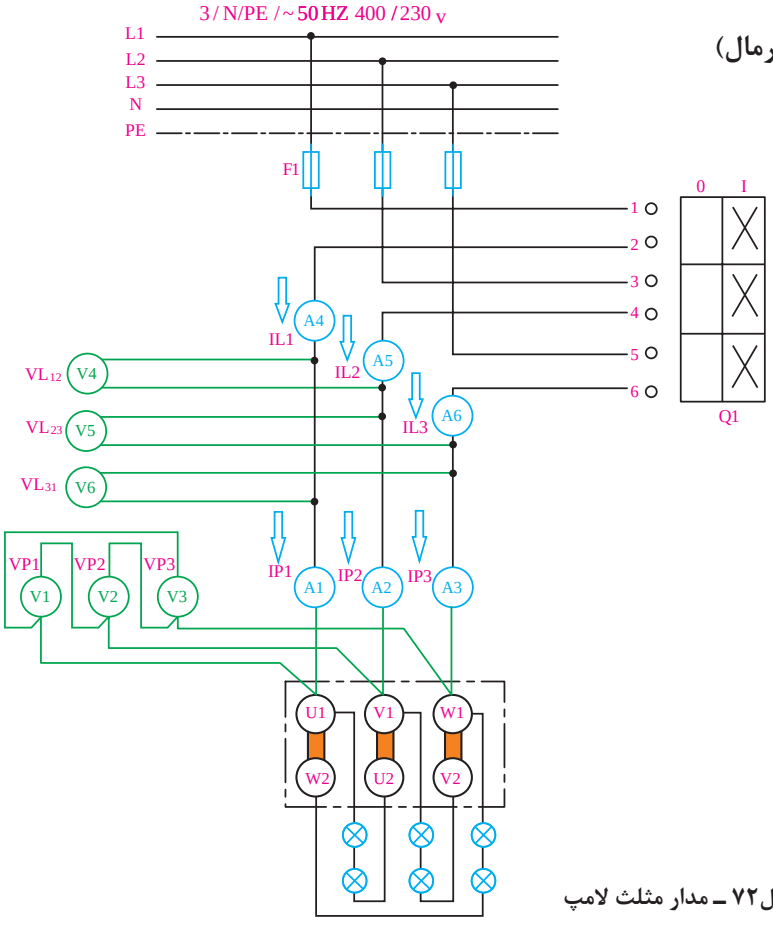
کار عملی۱

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

الف) اتصال مثلث متعادل

I ـ مدار در شرایط کار طبیعی (نرمال)

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



شکل ۷۲ ـ مدار مثلث لامپ

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

جدول شماره ۱۴ـ مثلث متعادل در شرایط کار طبیعی

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

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

II ـ مدار در شرایط قطع یک‌فاز شبکه

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

جدول شماره ۱۵ـ مثلث متعادل درشرایط قطع یک‌فاز

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

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

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

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

جدول شماره ۱۶ـ مثلث متعادل درشرایط قطع یک لامپ

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

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

ب) اتصال مثلث نامتعادل

I ـ در شرایط کار طبیعی (نرمال)

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

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

جدول شماره ۱۷ـ مثلث نا متعادل در شرایط کار طبیعی

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

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

II ـ درشرایط قطع یک‌فاز شبکه

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

جدول شماره ۱۸ـ مثلث نامتعادل درشرایط قطع یک‌فاز

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

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

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

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

جدول شماره ۱۹ـ مثلث نامتعادل درشرایط قطع یک لامپ

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

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

تمرین

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

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

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

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

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

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

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

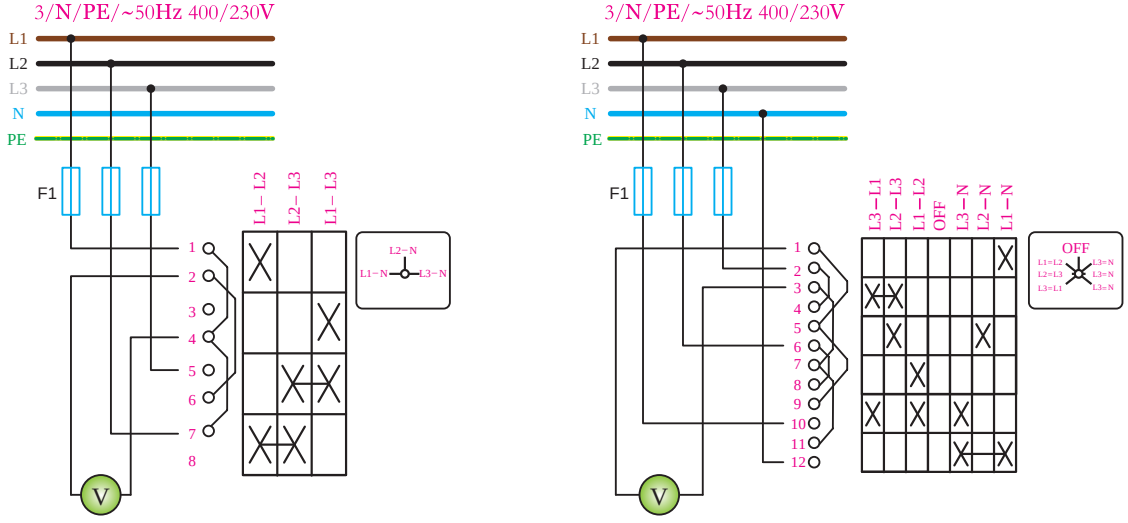
کلید ولت‌متری و لامپ سیگنال

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

توجه: لامپ‌های سیگنال در تابلوهای برق به ترتیب رنگ از سمت چپ، قرمز، زرد و سبز قرار می‌گیرند.

شکل ۷۳ـ کلید ولت‌متری و لامپ سیگنال معمولی

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



شکل ۷۴ــ مدار کلید ولت‌متری

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

شکل ۷۵ــ کلید ولت‌متری

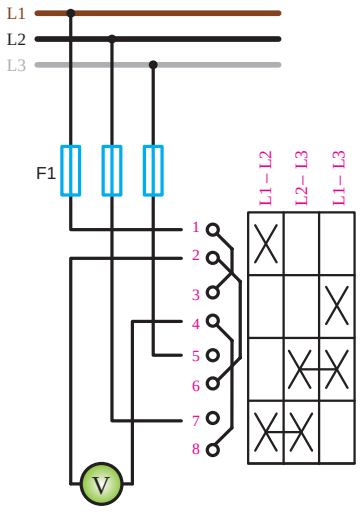
از لامپ‌های سیگنال در تابلوهای برق به‌عنوان نشان‌دهنده (هشداردهنده)، وصل و یا قطع بودن برق تابلوها استفاده می‌شود. لامپ‌های سیگنال از نوع لامپ‌های گازی بوده و از ابعاد و توان مصرفی کمی برخوردار هستند. لامپ‌های سیگنال تک‌رنگ (رنگ سفید) هستند. پس از قرار دادن لامپ در پایه خود، با انتخاب طلق‌های رنگی مختلفی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

شکل ۷۶ ــ انواع لامپ سیگنال

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

نقشه خوانی و بررسی عملکرد کلیدهای ولت‌متری

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



شکل ۷۷ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین دو فاز

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

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

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

حالت ۱ـ ولتاژ بین L1 , L2

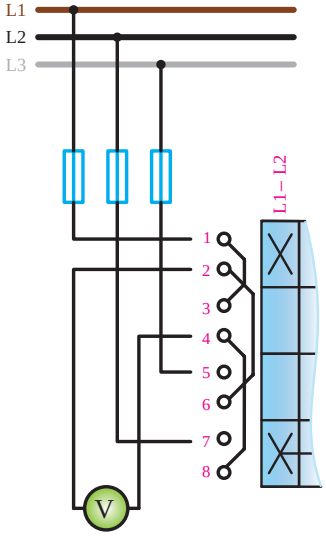
حالت ۲ـ ولتاژ بین L2 , L3

حالت ۳ـ ولتاژ بین L3 , L1

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

حالت ۱ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین L1 , L2

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



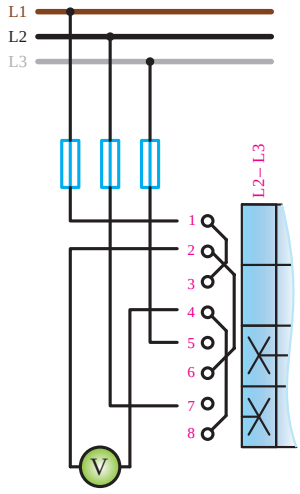
شکل ۷۸ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین L_1 و L_2

حالت ۲ ـ اندازه‌گیری ولتاژ بین L2 , L3

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

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

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

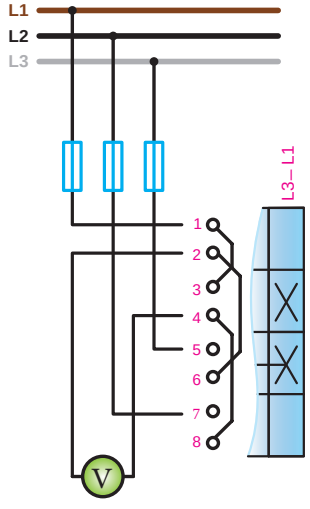


شکل ۷۹ـ اندازه گیری ولتاژ بین $L_۲$ و $L_۳$

حالت ۳ ـ اندازه گیری ولتاژ بین L3 , L1

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

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



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

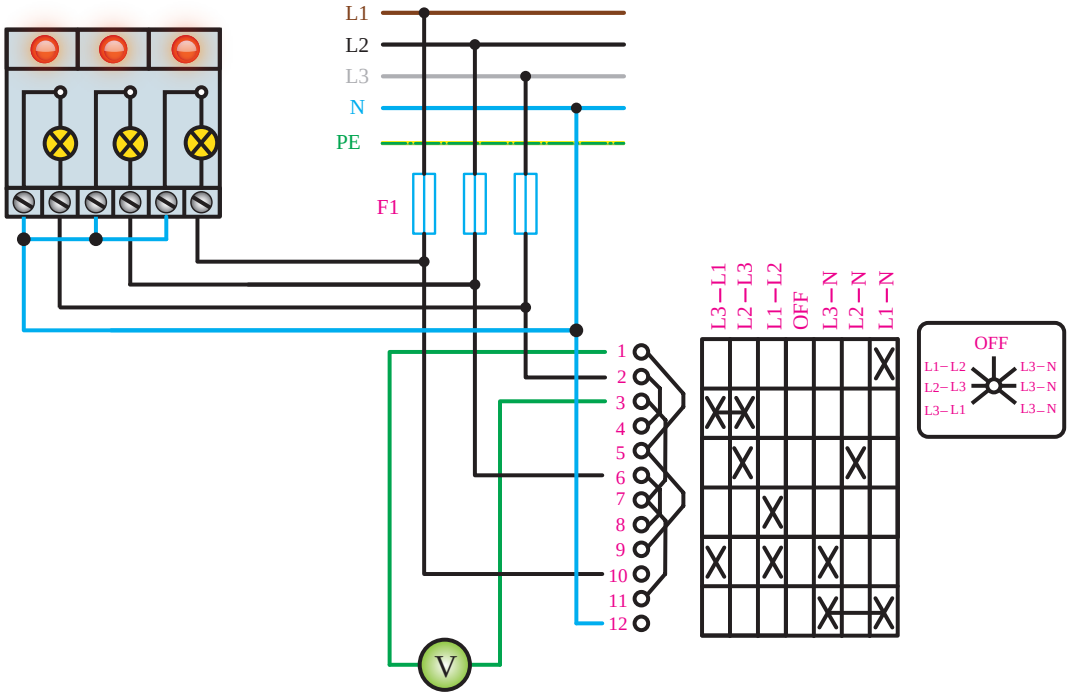
تمرین

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

کار عملی ۷

هدف: اتصال کلید ولت‌متری تابلویی و چراغ سیگنال

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



شکل ۸۱ ــ اتصال کلید ولت‌متری

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

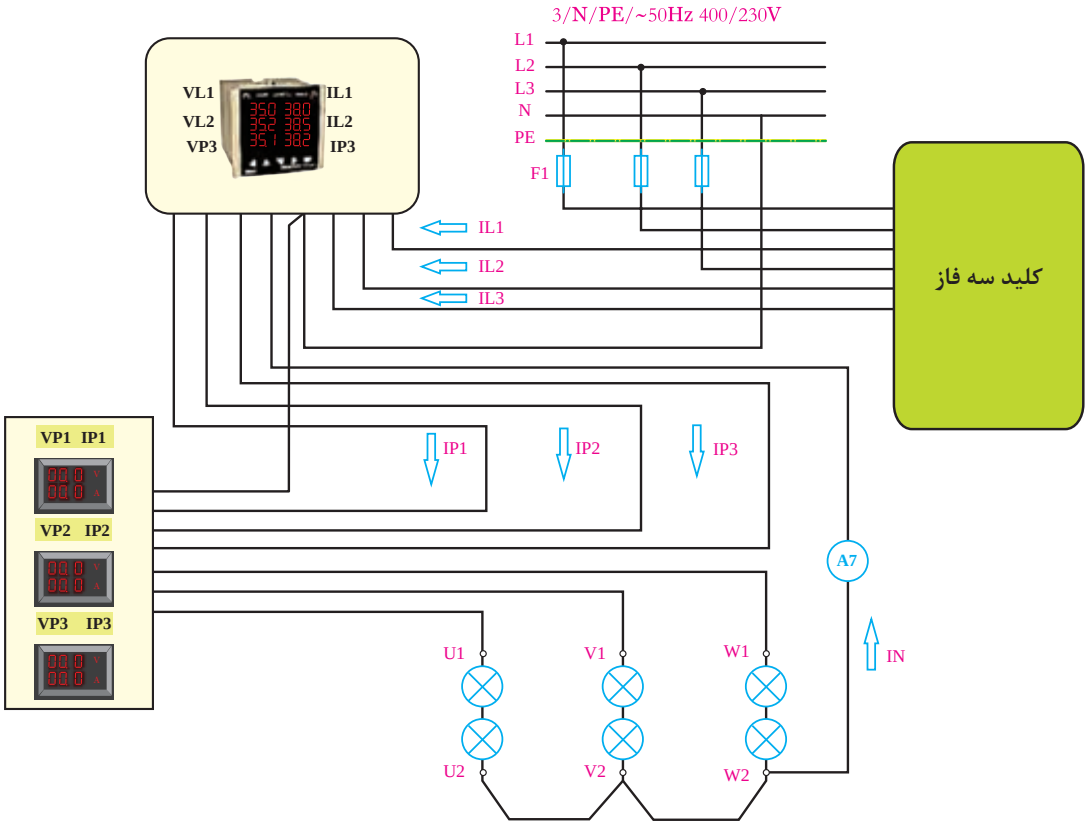
مقادیر اندازه گیری شده توسط ولت‌متر	
$V_{۱۲}=$	$V_{۱N}=$
$V_{۲۳}=$	$V_{۲N}=$
$V_{۳۱}=$	$V_{۳N}=$

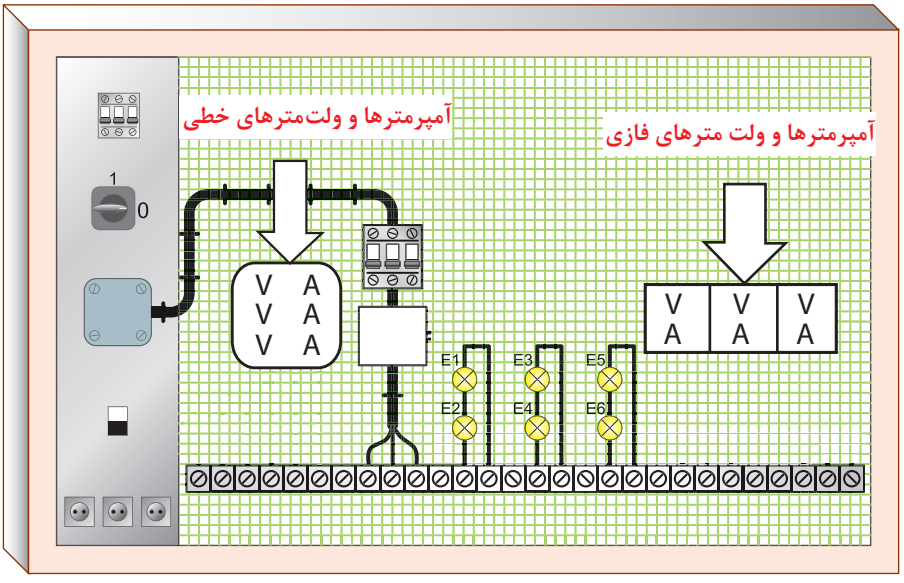
تحقیق

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

ضمیمه:

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





چیدمان پیشنهادی وسایل روی تابلوی مشبک

ارزشیابی شایستگی شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه‌فاز

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

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

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

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

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

معیار شایستگی:

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

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

پودمان ۲

کابل کشی

واحد یادگیری ۲

کابل کشی

آیا می‌دانید:

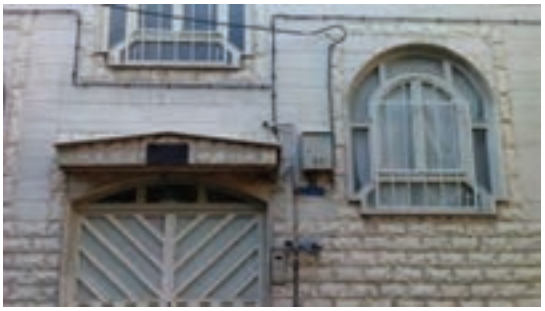
- ضرورت کابل‌کشی در تأسیسات الکتریکی چیست؟
- مزایای کابل‌کشی و تفاوت قیمت آن با سیم‌کشی چیست؟
- کابل‌کشی روی دیوار چگونه انجام می‌شود؟
- سینی کابل و نردبان کابل چه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند؟
- جداکننده در سینی کابل و نربان کابل چه وظیفه‌ای دارند؟
- وظیفه ساپورت (نگهدارنده) سینی کابل چیست؟
- کابل‌کشی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

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود کابل‌کشی 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 مفصل‌بندی 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 کابل‌کشی در برقراری انشعاب برقِ 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 ۱ــ کابل‌کشی روی دیوار

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

کابل

شکل ۲ــ 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 کابل‌کشی 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 روکش‌دار با مقطع ۱۰ میلی‌متر کابل نامیده می‌شود. البته اگر یک یا چند سیم هم در یک غلاف قرارگرفته و روکش دیگری داشته باشند صرف‌نظر از سطح مقطع هادی، کابل محسوب می‌شود در این صورت اندازهٔ کابل، اندازهٔ سطح مقطع هریک از هادی‌ها خواهد بود (شکل ۳).

شکل ۳ــ دو نوع کابل

تحقیق

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

شکل ۴ـ کابل هوایی و خودنگهدار

فعالیت

اتصال نشان داده شده در شکل ۵ چه کاربردی دارد؟

شکل ۵ـ 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 ۶میلی‌متر مربع تا ۱۰۰۰میلی‌متر مربع تولید می‌شوند (شکل ۶).

شکل ۶ـ 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:

۱ـ پرسی ۲ـ پیچی ۳ـ لحیمی.

مقایسه انواع کابلشو

از نظر فنی و استقامت استفاده از کابلشوهای پرسی نسبت به کابلشوهای پیچی و کابلشوهای پیچی نسبت به کابلشوهای لحیمی ارجحیت دارد.

کابلشوهای پرسی انواع مختلفی دارند:

۱ـ کابلشو بی متال

۲ـ کابلشو تک فاز

۱ـ کابلشو بی متال: هنگامی‌که جنس هادی و محل اتصال متفاوت باشد به‌منظور 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 گران‌تر 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 به‌کار رفته در آنها ٪۹۹/۵ 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 ۱ـ 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 ۲ـ 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 ۷ـ انواع کابلشو بی متال

تحقیق

چه عاملی مانع از خوردگی در کابلشو بی متال می‌شود؟

۲ـ 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 ٪۹۹/۵ 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 ۴۰۰میلی‌متر ساخته می‌شود (شکل ۸).

شکل۸ــ 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 ۴۰۰میلی‌متر ساخته می‌شود (شکل ۹).

کابلشو مسی چهار سوراخه

کابلشو مسی پیچی

شکل۹ــ انواع کابلشو مسی

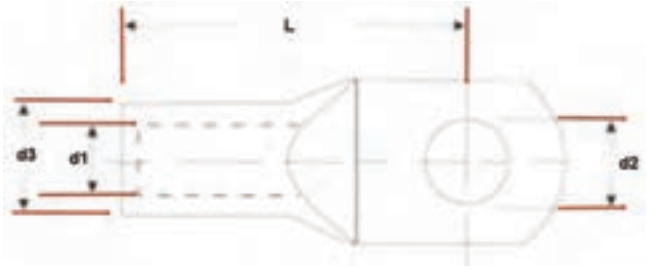
اتصال کابلشو پیچی به کابل

۱ـ کابلشو انتخابی باید با سطح مقطع کابل انتخاب شود.

۲ـ پیچ‌ها یکنواخت و به نحوی محکم شود که سیم تغییر شکل ندهد و فاصلهٔ بین بست‌های بالا و پایین باید در هر دو طرف یکسان باشد.

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

به‌عنوان مثال اگر کابل دارای سطح مقطع $۳۰۰ mm^۲$ 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).



شکل ۱۰ــ اندازه‌های مهم در کابلشو

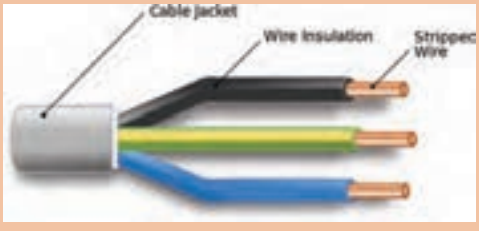
در جدول ۱ـ مشخصات و ابعاد کابلشو به تفکیک اندازه کابلشو ذکر شده است.

جدول۱ـ طول، قطر و ابعاد کابلشو

سطح مقطع هادی (mm^2)	پیچ خور d۲ (mm)	قطر داخلی d۱ (mm)	قطر خارجی d۳ (mm)	طول L (mm)
۶	۶	۳/۸	۵/۵	۲۴
۱۰	۶	۴/۵	۶	۲۷
۱۶	۸	۵/۵	۸/۵	۳۶
۲۵	۸	۷	۱۰	۳۸
۳۵	۱۲	۸/۲	۱۲/۵	۴۲
۵۰	۱۲	۱۱/۹	۱۴/۵	۵۲
۷۰	۱۲	۱۱/۵	۱۶/۵	۵۵
۹۵	۱۲	۱۳/۵	۱۹	۶۵
۱۲۰	۱۲	۱۵/۵	۲۱	۷۰
۱۵۰	۱۲	۱۷	۲۳/۵	۷۸
۱۸۵	۱۲	۱۹	۲۵/۵	۸۲
۲۴۰	۱۶	۲۱/۵	۲۹	۹۲
۳۰۰	۱۶	۲۴/۵	۳۲	۱۰۰
۴۰۰	۲۰	۲۷/۵	۳۸/۵	۱۱۵
۵۰۰	۲۰	۳۱	۴۲	۱۲۵
۶۳۰	۲۰	۳۴/۵	۴۴	۱۳۵

فعالیت

اجزاء نشان داده‌شده کابل را شرح دهید.



شکل ۱۱ـ اجزای کابل

کابل لخت کن

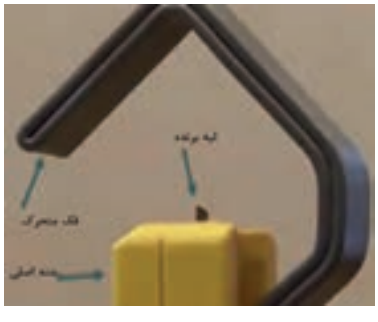
شکل ۱۲ـ کابل لخت کن دستی

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

فعالیت

روکش‌برداری کابل و انجام اتصال کابلشو

توضیح مراحل کار: ۱ـ ابتدا لبهٔ برنده بین فک متحرک و بدنه اصلی قرارگرفته و در روکش کابل فرو می‌رود. سپس مطابق شکل ۱۳ کابل لخت‌کن را روی کابل قرار دهید.



شکل ۱۳

۲ـ در ادامه ابتدا کابل را در جهت عرضی برش داده (شماره ۱۳) و سپس در جهت طولی اقدام به روکش‌برداری 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 ۱۵ــ کابلشو هیدرولیکی و دستی

برای انجام کابلشو زن، ابتدا روکش کابل به اندازه استوانه کابلشو برداشته می‌شود، به‌صورتی‌که بعد از قرار گرفتن قسمت روکش‌برداری 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 عایق‌کاری کنید (شکل ۱۶).

شکل ۱۶ــ عایق حرارتی

عایق حرارتی

عایق حرارتی نوعی عایق است که تحت تأثیر حرارت منقبض‌شده و یک لایهٔ خارجی روی اجسام هادی ایجاد می‌کند. عایق در سایزهای مختلفی برای مصارف مختلف مانند عایق‌کاری 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).

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

شکل ۱۷ــ عایق حرارتی کابلشو

کار عملی۱

کابل $3\times25+16\ mm^2$ نوع NYY را انتخاب کرده و با کابل لخت‌کن روکش آن را متناسب با ورودی کابلشو برداشته و توسط پرس کابلشو عملیات پرس را شبیه شکل ۱۸ انجام دهید.

وسایل مورد نیاز:

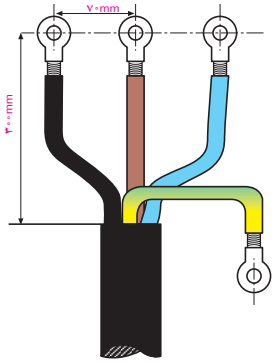
کابلشو ۲۵ سه عدد

کابلشو ۱۶ یک عدد

کابل $3\times25+16$ یک متر

عایق حرارتی به عرض یک سانتی‌متر و طول ۲۰ سانتی‌متر

ابزار موردنیاز: پرس کابلشو، کابل لخت‌کن، سشوار صنعتی، کاتر



شکل۱۸ـ کار عملی ۱

کابل‌کشی

انواع کابل‌کشی را با توجه به سطحی که کابل‌کشی روی آن انجام می‌شود به‌صورت زیر می‌توان تقسیم‌بندی کرد:

۱ـ کابل‌کشی روی دیوار

۲ـ کابل‌کشی در ترانکینگ فلزی

۳ـ کابل‌کشی با سینی کابل

۴ـ کابل‌کشی با نردبان کابل

۵ـ کابل‌کشی زمینی

شکل۱۹ـ انواع کابل‌کشی

ایمنی

انتخاب کوتاه‌ترین مسیر برای اتصال به مصرف‌کننده‌ها در سطح مقطع کابل و طول کابل مؤثر است، با کوتاه‌تر شدن مسیر کابل‌کشی طول کابل نیز کوتاه‌تر می‌شود و با کوتاه‌تر شدن طول کابل سطح مقطع کمتری برای کابل مورد نیاز است. در این صورت کابل‌کشی از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر خواهد بود.

شکل ۲۰ـ کابل‌کشی

فعالیت

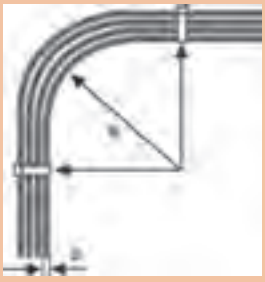
در مورد کابل‌کشی دیده شده در شکل ۲۰ بحث کنید.

حمل و نقل و تخلیه قرقره کابل از مسائلی است که در صورت بی‌توجهی به آن ممکن است به کابل آسیب برسد و کابل‌کشی 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).

شکل۲۱ـ خمش کابل

فعالیت

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



شکل۲۲ـ شعاع خمش کابل

زاویه خمش کابل

در کابل‌کشی بر روی دیوار باید به شعاع خمش کابل در زاویه‌ها و سرپیچ‌ها برای کابل‌های PVC دقت کرد. همچنین درصورتی‌که چند کابل کنار هم قرار می‌گیرند حداقل اندازهٔ قطر کابل بین آنها فاصله داشته باشد. فاصله بست‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که کابل انحنا پیدا نکند و اصطلاحاً شکم ندهد. در موقع کابل‌کشی 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 ۲ـ شعاع حداقل خمش کابل در دمای $(۲۰)^{\circ}C \pm ۱۰$ مطابق استاندارد IEC ۶۲۴۴۰

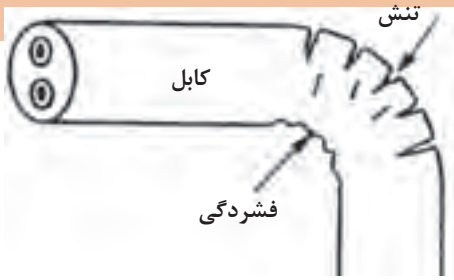
نوع کابل	حداقل شعاع خمش			
	قطر کابل بزرگ‌تر از ۲۰ mm	قطر کابل بین ۱۲ تا ۲۰ mm	قطر کابل بین ۸ تا ۱۲ mm	قطر کابل کوچک‌تر از ۸ mm
کابل برای تأسیسات نصب ثابت				
استفاده عادی	۶D	۶D	۵D	۴D
در هنگام سربندی	۶۴D	۴D	۳D	۲D

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 مشخص‌شده 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 ۲۳ـ 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 ۲۴ـ جداسازی ایمن و برچسب کابل

کابل‌کشی روی دیوار با استفاده از بست

کابل‌کشی روی دیوار: کابل‌ها با توجه به پوشش بیرونی مناسبی که دارند درصورتی‌که در معرض ضربات مکانیکی احتمالی قرار نگیرند می‌توان آنها را به‌راحتی و با هزینهٔ 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 گزینهٔ 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).

شکل ۲۵ـ کابل‌کشی روی دیوار

در این روش کابل توسط بست‌های فلزی یا پلاستیکی به‌وسیلهٔ رول‌پلاک بر روی دیوار نصب می‌شود. بست کابل هم روی دیوار و هم روی سقف قابل‌استفاده است و فقط در این نوع کابل‌کشی‌ها استفاده می‌شود، برای انتخاب بست کابل باید به نکات زیر توجه شود:

۱ـ اندازهٔ کابل (قطر خارجی کابل)

۲ـ انواع کابل‌کشی از نظر قابل دید (روی دیوار) و یا غیرقابل دید (بین سقف)

۳ـ موقعیت مکانی کابل‌کشی

۴ـ محل بست

۵ـ قیمت بست

۶ـ امکان بستن ساده کابل

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. (شکل۲۶)

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).

شکل ۲۶ ـ نصب کابل روی دیوار با بست

شکل ۲۷ـ فاصله بین بست‌ها

توجه

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

در کابل‌کشی 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 سوراخ‌کاری نیاز دارد. ضمناً این بست‌ها در فضای بیرونی در اثر تغییرات جوی دوام خود را از دست داده و از بین رفته و کابل‌کشی چهره زشتی به خود می‌گیرد. در مقابل استفاده از بست ریلی این امکان را می‌دهد تا با تعداد کمی سوراخ‌کاری روی دیوار حجم بیشتری از کابل را روی دیوار نصب کرد، البته در صورت معیوب شدن یکی از کابل‌ها باید کل کابل‌ها باز شود، درصورتی‌که روی این ریل‌ها از بست چنگالی استفاده شود، این مشکل حل‌شده 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 طراحی‌شده است. بست پلاستیکی از جنس پلی آمید و پلی‌پروپیلن (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
هـ) دارای شیارهای نصب
و) مناسب برای انتقال کابل در مسافت‌های طولانی

در شکل انواع بست کابل متداول معرفی شده است. (شکل ۲۹)

شکل ۲۹ـ 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 رول‌پلاک به سطح مورد نظر بسته می‌شود و فک بالایی با پیچ برای نگهداشت کابل به فک پایینی بسته می‌شود (شکل ۳۰).

شکل ۳۰ـ بست کابل نایلونی

شکل۳۱ـ 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 تثبیت‌کننده روی ریل در قسمت پایین آن می‌باشد. ریل این نوع بست در طول‌های یک متری عرضه می‌شود. این کار دریل‌کاری را کمتر می‌کند (شکل ۳۱).

کار عملی۲

هدف: نصب کابل روی دیوار توسط بست پلاستیکی

تجهیزات مورد نیاز:

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

ابزار موردنیاز: ۱ـ دریل ۲ـ پیچ‌گوشتی تخت و چهارسو ۳ـ چکش ۴ـ تراز لیزری یا شیلنگ تراز و ریسمان رنگ ۵ـ متر اندازه‌گیری طول

شکل ۳۲

مراحل انجام کار:

مرحله ۱ـ تراز و ایجاد خط تراز: برای انجام فعالیت کابل‌کشی از هر نوعی که باشد، در جهات عمودی یا افقی، برای زیباتر شدن ظاهر کار نیاز به عمل ترازیابی است. این عمل سبب می‌شود کابل‌کشی 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 ۳۳ـ خط افقی مسیر کابل

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

شکل۳۴ـ تعیین محل نصب

مرحله ۳ـ سوراخ‌کاری: در این مرحله شروع به سوراخ‌کاری در نقاط مشخص‌شده با دریل روی دیوار و به دنبال آن نصب رول‌پلاک‌ها کنید (شکل ۳۵).

شکل ۳۵ـ نصب رول‌پلاک‌ها

مرحله ۴ـ پیچ کردن: قسمت نرینگی و زیرین بست را با پیچ در رول‌پلاک محکم کنید (شکل ۳۶).

شکل ۳۶ـ نصب اولیه بست

مرحله ۵ـ محکم کردن بست و کابل: اکنون بستر کار کابل‌کشی 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 ۳۷ـ کابل نصب‌شده روی دیوار

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

شکل ۳۸ـ نصب کابل

فعالیت

کابل‌کشی نشان داده‌شده در شکل چه ایرادی دارد؟

کابل‌کشی با سینی و نردبان کابل

یکی از روش‌های کابل‌کشی 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 کابل‌کشی 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.

(الف) (ب)

شکل ۳۹ـ سینی و نردبان کابل (الف و ب)

فعالیت

آیا نصب کابل مطابق شکل ۴۰ مجاز است؟

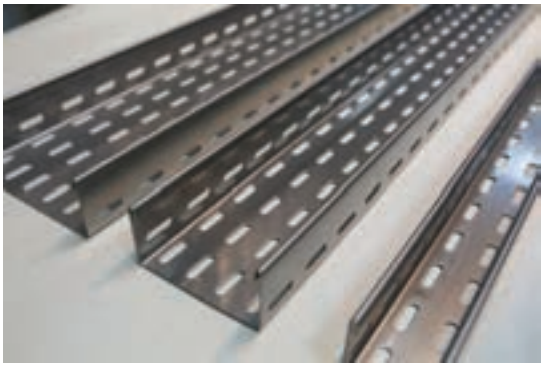
شکل ۴۰ـ کابل‌کشی

سینی کابل

هنگام اجرای کابل‌کشی 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 ۴۱ـ سینی کابل

۱ـ 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).



شکل ۴۲ـ سینی کابل مشبک

فعالیت

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

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

شکل ۴۳ـ سینی کابل با کف یکپارچه

اتصال سربه‌سر سینی کابل

اتصال سربه‌سر سینی کابل با هدف افزایش طول سینی کابل، تغییر جهت حرکت مسیر کابل‌کشی و یا انشعاب مسیر کابل‌کشی 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 گزینهٔ مناسبی برای کابل‌کشی بوده و به‌یک‌باره کل مشکلات کابل‌کشی را حل کند.

شکل ۴۴ـ اتصالات سینی کابل

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

ـ زانوی سینی (۹۰درجه، ۴۵ درجه)

- سه‌راهی سینی یا اتصال T

- چهارراه سینی

- تبدیل سینی

جدول ۳ـ انواع اتصال سینی کابل

ردیف	نام اتصال سینی	کاربرد	شکل اتصال
۱	سربه‌سر	افزایش طول کابل‌کشی	
۲	زانو سینی (۹۰درجه و ۴۵درجه)	تغییر زاویه مسیر کابل‌کشی	
۳	سه‌راهی	تغییر مسیر در دو جهت مختلف	
۴	چهارراهی	تقاطع مسیر کابل‌کشی	
۵	تبدیل سینی	تغییر عرض مسیر کابل‌کشی	

فیلم

مراحل ساخت انواع زاویه‌های اتصال سینی کابل فیلم شماره ۰۱

فیلم

سینی‌کشی فیلم شماره ۰۰۱

کار عملی ۳

ساخت سینی کابل

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

شکل ۴۵

شکل ۴۶

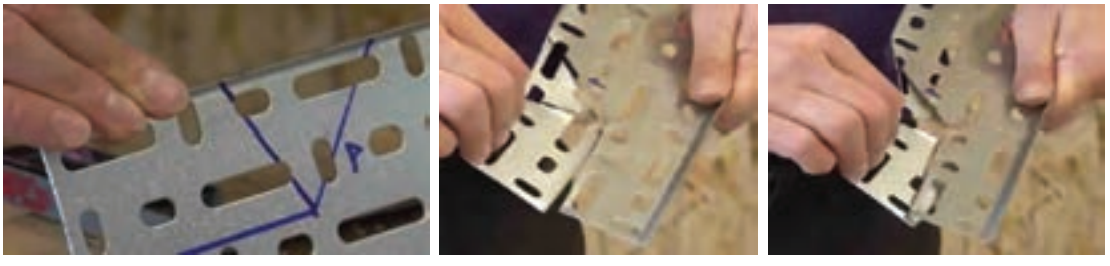
مراحل کار:

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

شکل ۴۷ـ مراحل ساخت تبدیل

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



شکل ۴۸

شکل ۴۹

و در انتها با فشار روی قطعات بریده‌شده، تبدیل سینی را ایجاد کنید.
در ادامه با اتصال یک قطعه دیگر از سینی کوچک‌تر می‌توانید مسیر تبدیل را توسعه دهید.

فیلم

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

ایمنی

هنگام برش قفسه‌های 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.

با توجه به محوطه کارگاهی می‌توانید مسیرهای کابل‌کشی را مشابه شکل ۵۰ بسازید.

شکل ۵۰

مزایای استفاده از سینی کابل

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

می‌توان کابل‌ها را کم و زیاد کرد.
۱۰ـ تحمل حجم بالای کابل‌کشی

فیلم

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

نردبان‌های کابل

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

شکل۵۱ـ 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 کابل‌کشی‌هایی که به اجبار تغییر جهت یا ارتفاع می‌دهند، به‌کار 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

۱ـ 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).
۲ـ در کابل‌کشی 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.

شکل۵۲ـ اتصال کابل به نردبان

۳ـ عدم وجود رطوبت در نردبان کابل به دلیل گردش حجم بالای هوای اطراف کابل‌ها
۴ـ به دلیل فضای باز داخل نردبان ورود و خروج کابل به راحتی امکان‌پذیر است.
۵ـ در محیطی که محدودیت فضای نصب وجود دارد در صورت استفاده از نردبان می‌توان از زیر نیز به کابل‌های داخل نردبان دسترسی داشته و عیب‌یابی راحت‌تر انجام می‌شود(شکل ۵۳).
۶ـفاصله‌مابین‌پله‌های‌نردبان‌به‌طور‌معمول۲۵سانتی‌متر است. این فاصله برای کابل‌های ریز امکان بستزنی در فواصل ۲۵سانتی‌متری را می‌دهد، این ویژگی مناسب برای کابل‌کشی‌های ابزار دقیق باعث می‌شود کابل‌ها در طول نردبان دچار افتادگی و بیرون‌زدگی از نردبان نشوند.
۷ـ ازنظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه تر است.
۸ـ محدودیتی بابت محل نصب ندارد.
۹ـ ضمن راحتی نصب در مسیرهای مستقیم، انعطاف خوبی در برخورد با موانع را دارا می‌باشد (شکل ۵۴).
۱۰ـ از آنجا که اتصالات نردبان کابل روی بدنه خود نردبان قرار می‌گیرند، نیاز به اتصال جانبی نیست. که این امر هزینهٔ نصب و اتصالات نردبان کابل را کاهش می‌دهد (شکل ۵۵).
۱۱ـ سرعت اجرای آن بالا می‌باشد.

شکل ۵۳ـ مسیر عمودی

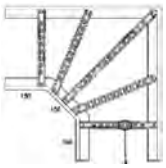
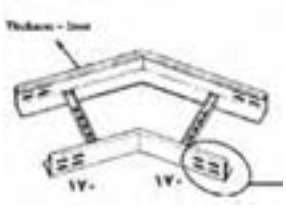
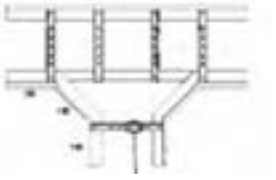
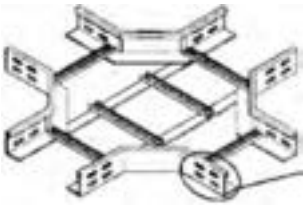
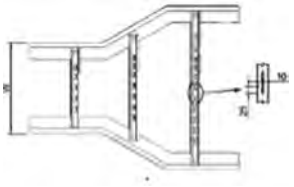
شکل ۵۴ـ مسیر مستقیم

شکل ۵۵ـ مقایسه سینی و نردبان کابل

اتصالات مورد استفاده در نردبان کابل

اتصالات نردبان کابل مطابق با جدول ۴ معرفی‌شده است. متداول‌ترین این اتصالات عبارت است از:

جدول ۴ـ 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	سه‌راه نردبان کابل	تغییر مسیر در دو جهت مختلف	
۴	چهارراه نردبان کابل	تقاطع مسیر کابل‌کشی	
۵	تبدیل نردبان کابل	تغییر عرض مسیر نردبان	
۶	درپوش نردبان کابل	حفاظت کابل نصب‌شده روی نردبان	
۷	سینی کابل‌کش	انتقال حجم زیاد کابل‌های مخابراتی	

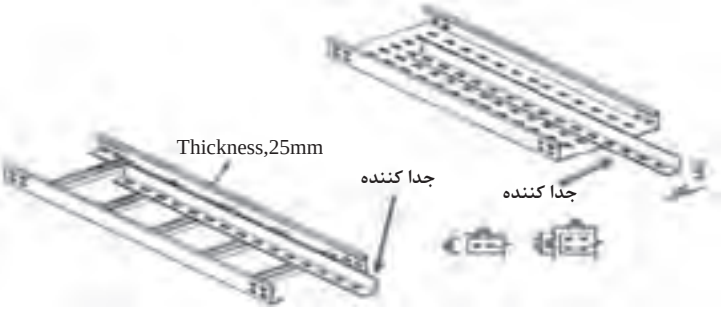
فعالیت

چه مهارت‌های کابل‌کشی در شکل ۵۶ به‌کار گرفته شده است؟

شکل ۵۶ــ 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 ۵۷ــ جدا کننده کابل

کلمپ نردبان

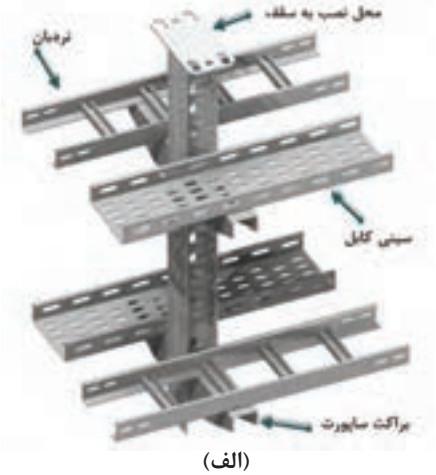
کلمپ برای محکم نگه‌داشتن نردبان روی دسته (براکت) ساپورت مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساپورت، تکیه‌گاه و محل نصب نردبان است (شکل ۵۸).

شکل ۵۸ــ کلمپ نردبان

ساپورت‌ها (نگهدارنده‌ها)

برای نگهداری سینی کابل زیر سقف و یا روی دیوار یا در رایزرها از ساپورت استفاده می‌شود. اندازه نگهدارنده‌ها با توجه به عرض سینی و شرایط نصب، متفاوت است. ساپورت‌ها 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 ساپورت چهار طبقه و شکل ۵۹(ب) یک نمونه سینی زیر سقفی نشان داده‌شده است.

(ب)



(الف)

شکل ۵۹ـ ساپورت

انواع ساپورت‌ها

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

شکل ۶۰ـ پایه نگهدارنده کشویی، براکت، ساپورت سقفی یا زمینی مدل U، نبشی مشبک یا ساپورت L، ناودانی مشبک، ساپورت قابل تنظیم.

پیچ و مهره

شکل۶۱ـ 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 رول‌پلاک تحمل وزن زیاد را ندارد، برای نصب ساپورت‌های نگهدارنده سینی و نردبان روی دیوار یا سقف از رول بولت استفاده می‌شود (شکل ۶۱).

شکل۶۲ـ 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).

کار عملی۴

هدف: ساخت ساپورت L

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

شکل۶۳ ـ ساپورت L

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.

ایمنی

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).

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

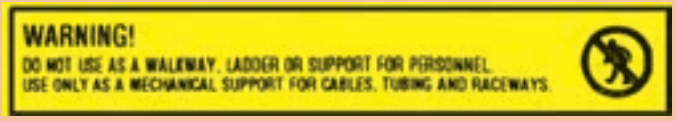
شکل ۶۴ ـ اتصال ساپورت به سینی یکپارچه و نردبان

در هنگام سوراخ‌کاری 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.

فعالیت

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



شکل ۶۵ـ برچسب نردبان کابل

تذکر

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

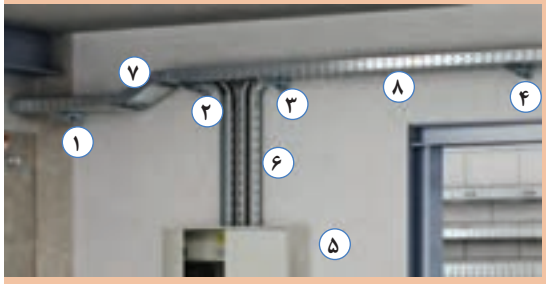
تحقیق

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.

فعالیت

با توجه به شکل زیر محل هر اتصال را در جدول مشخص کنید.

۱ و ۲ و ۳ و ۴ ساپورت سینی ـ ۵ تابلو برق ـ ۶و۸ سینی کابل ـ ۷ اتصال خیزشی



شکل ۶۶ـ قطعات سینی کشی افقی و عمودی

محل اتصال	نوع اتصال			
	سینی	نردبان	ساپورت	خیزشی

فیلم

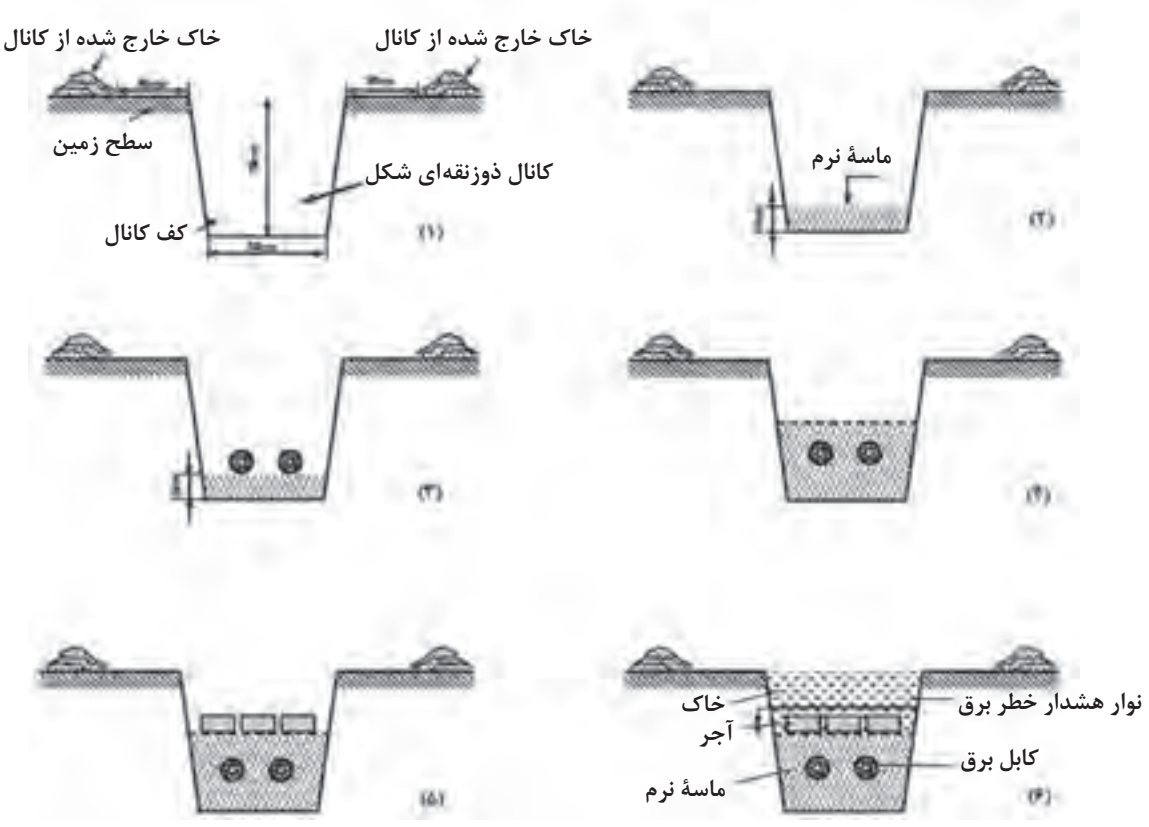
برای مشاهده نحوه اجرای عملیات کار با نگه‌دارنده و ساپورت به فیلم شماره ۰۴ مراجعه شود.

کابل‌کشی زمینی

کابل‌کشی زمینی نوعی از کابل‌کشی است که در آن کابل‌ها از کف و داخل زمین عبور داده می‌شود (شکل ۶۷). به‌طورکلی اگر در جایی بتوان از کابل‌کشی هوایی استفاده نمود کمتر از کابل‌کشی زمینی استفاده می‌شود زیرا کابل‌کشی زمینی ۵ تا ۷ برابر گران‌تر از کابل‌کشی هوایی تمام می‌شود.

در شکل ۶۸ مراحل انجام کابل‌کشی زیرزمینی (دفنی) نشان داده‌شده است.

شکل ۶۷



شکل ۶۸ــ کابل‌کشی زمینی

فیلم

برای آشنایی با کابل‌کشی زمینی به فیلم شماره ۰۵ مراجعه شود.

فیلم

برای آشنایی با تجهیزات روز دنیا در زمینه کابل‌کشی زمینی به فیلم شماره ۰۶ 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. به‌منظور 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 به‌وسیله علائم مخصوصی نیز مشخص می‌شوند. مشخصات داخلی هر مفصل در بروشورهایی توسط کارخانه سازنده ثبت می‌شود.

انواع مفصل‌های رزینی

۱ـ مفصل‌های دوراهه

مفصل دوراهه در شکل ۷۰ نشان داده شده است.

شکل ۷۰ـ مفصل دوراهه کابل

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

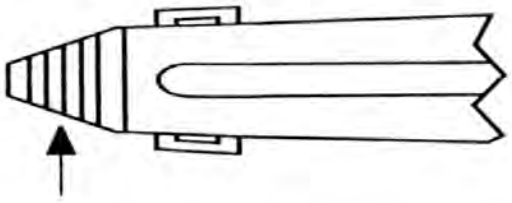
شکل ۷۱ـ مفصل T شکل کابل

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

شکل ۷۲ـ مفصل Y شکل کابل

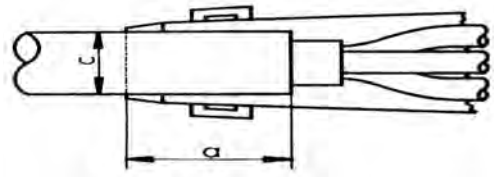
نحوه انجام مفصل رزینی برای کابل‌های PVC

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

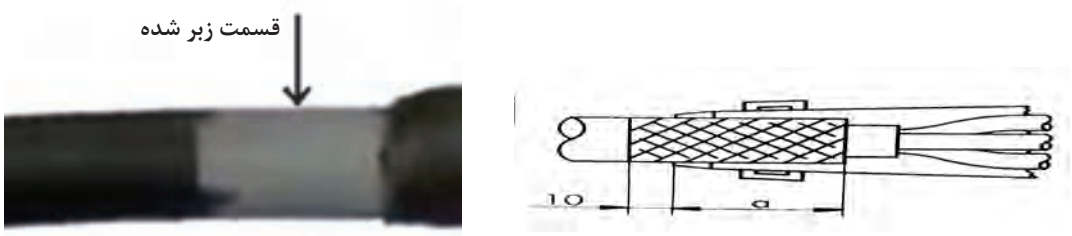


شکل ۷۳

۲ـ زبر کردن سطح کابل با سنباده P۴۰ درصورتی‌که قطر خارجی کابل کوچک‌تر از ۲۰ mm^2 باشد a=۲×c و درصورتی‌که قطر خارجی کابل از ۲۰ mm^2 بیشتر باشد a=۴۰mm



شکل ۷۴



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

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

شکل ۷۶ـ موف

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

شکل ۷۷

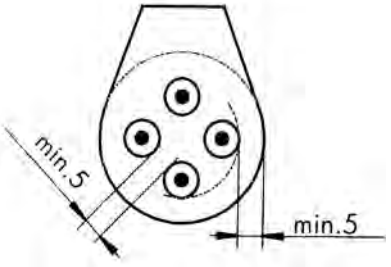
۵ـ هادی لخت شده کابل را در داخل موف قرار داده و آن را پرس کنید.

شکل ۷۸ـ کاربرد موف

۶ـ موف‌های اتصال داده‌شده را با نوارچسب PVC عایق‌بندی کنید.

شکل ۷۹ـ عایق‌کاری موف

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



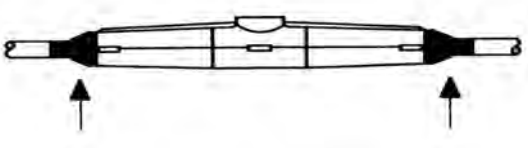
شکل ۸۰

۸ـ دونیمه بدنهٔ اصلی مفصل را به هم وصل کرده و گیره‌ها را چفت کنید.

۹ـ با نوارچسب PVC دو طرف بدنه مفصل را در محل ورود کابل به‌طور کامل آب‌بندی کنید.

شکل ۸۱

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



شکل ۸۲

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

شکل ۸۳

شکل ۸۴

۱۲ـ پس از سخت شدن و گرفتن مواد رزینی، به جریان وصل کردن کابل امکان‌پذیر است.

نکته

حداکثر زمان نگهداری مخلوط رزین برای نیم لیتر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد 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 می‌باشد.

شکل ۸۵

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

فیلم

جهت آشنایی بهتر با نحوه مفصل‌زنی به فیلم مراجعه شود.

تحقیق

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

شکل ۸۶

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 به‌صورت 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

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

نکته

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

کار عملی ۵

اتصال کابل با مفصل رزینی

با انتخاب دوتکه کابل $4\times16\ mm^2$ با استفاده از مفصل رزینی مناسب کابل ذکر شده آنها را با مفصل به هم وصل کنید.

وسایل مورد نیاز:

مفصل رزینی برای کابل ۴×۱۶
دو تکه کابل ۴×۱۶
چهار عدد موف ۱۶
یک ورق سنباده P۴۰

ابزار مورد نیاز:

پرس کابلشو، لخت‌کن، قیچی

ارزشیابی شایستگی کابل‌کشی

شرح کار:
کابل‌کشی روی دیوار و انجام کابل‌شو
نصب سینی و نردبان کابل و اتصالات آن
ساخت ساپورت (نگهدارنده) کابل
مفصل‌بندی کابل و کابل دفنی

استاندارد عملکرد: انجام کابل‌کشی روی دیوار،کابلشو زنی و اتصالات سینی و نردبان کابل و مفصل‌بندی در کارگاه با رعایت موارد ایمنی در کار و استفاده از ابزار

شاخص‌ها:
انتخاب صحیح کابل و کابل‌شو و اتصال آن
کابل‌کشی صحیح روی دیوار
استفاده صحیح از ابزار برای اتصالات سینی و نردبان و مفصل و رعایت نکات ایمنی

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:
شرایط: فضای مناسب ـ ابزار مناسب ـ مدت زمان متناسب با حجم کار
ابزار و تجهیزات: ابزار عمومی‌کابل‌کشی برق ـ سینی ونردبان کابل ـ کابلشو وپرس کابلشو ـ نگهدارنده ـ مفصل کابل ـ لباس کار

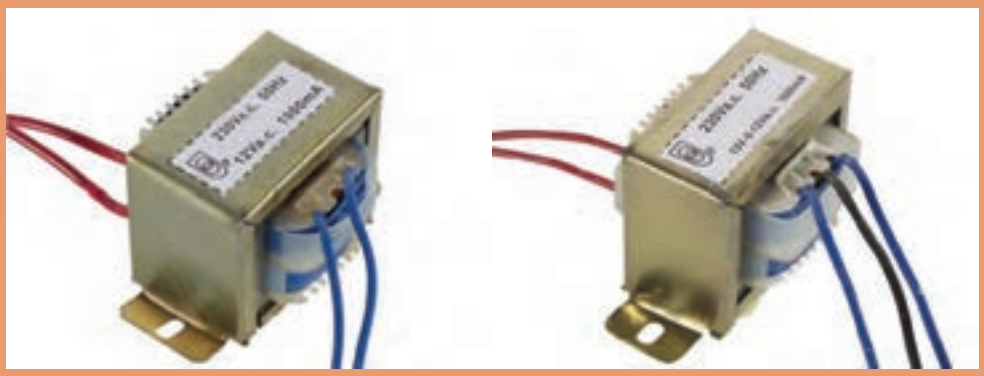
معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	کابل‌کشی روی دیوار (بست و خمش کابل)	۲	
۲	اتصالات سینی و نردبان	۱	
۳	ساپورت کابل	۱	
۴	مفصل‌بندی کابل	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کار تیمی مستند سازی ویژگی شخصیتی	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۳

سیم‌پیچی ترانسفورماتور



واحد یادگیری ۳

سیم‌پیچی ترانسفورماتور

آیا می‌دانید:

- اساس کار ترانسفورماتور چیست؟
- اجزای تشکیل‌دهنده ترانسفورماتور کدام است؟
- تفاوت ترانسفورماتور ایده‌آل و واقعی چیست؟
- آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه چه خصوصیاتی 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 مهندسین 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 درنتیجه 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 تزیینی، 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 ۱ــ ترانسفورماتورهای سه‌فاز و تک‌فاز

فیلم

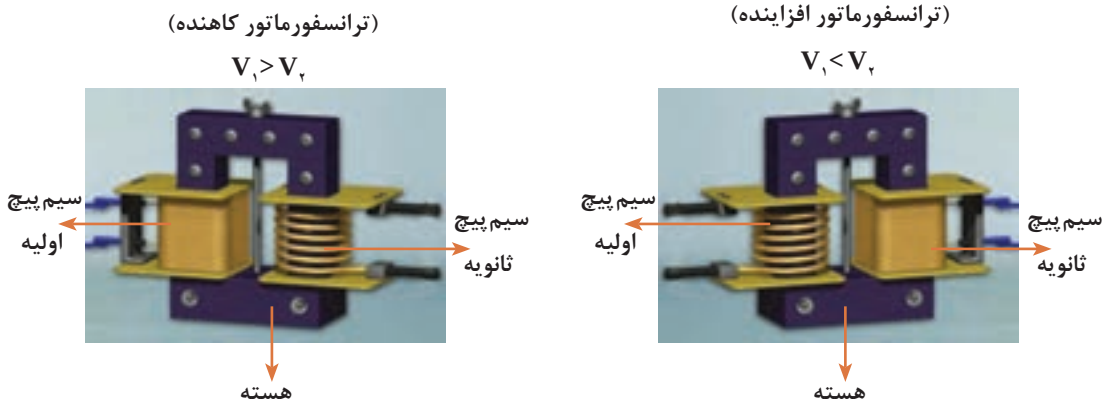
تعریف ترانسفورماتور (دو دقیقه اول فیلم)

ساختمان ترانسفورماتورها

ترانسفورماتور از دو قسمت تشکیل‌شده است. ۱ـ هسته آهنی ۲ـ سیم‌پیچی

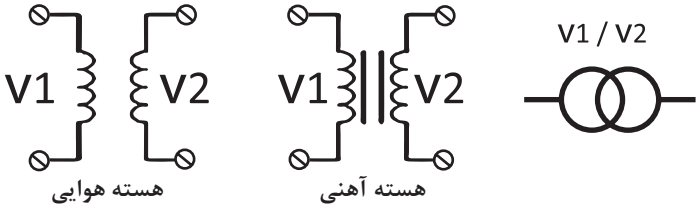
سیم‌پیچی ترانسفورماتورها در ساده‌ترین حالت به دو دسته تقسیم می‌شوند. به سیم‌پیچی که به ولتاژ ورودی متصل می‌شود اصطلاحاً «سیم‌پیچی اولیه» و به سیم‌پیچی که از آن ولتاژ موردنظر (پس از عمل تبدیل ترانسفورماتور) به دست می‌آید «سیم‌پیچی ثانویه» گفته می‌شود. تمامی کمیت‌های الکتریکی و فیزیکی اولیه با اندیس (۱ یا P) و کمیت‌های ثانویه با اندیس (۲ یا S) نشان داده می‌شود.

با توجه به توضیحات داده شده پس می‌توان نتیجه گرفت که ترانسفورماتورها به دو صورت تقسیم‌بندی می‌شوند. در شکل ۲ تصویر ترانسفورماتورهای تک فاز در دو حالت کاهنده و افزاینده نشان داده شده است.



شکل ۲ـ ساختمان یک ترانسفورماتور

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



شکل ۳ـ علائم اختصاری ترانسفورماتور با هسته‌های مختلف

فعالیت

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

فعالیت

یک ترانسفورماتور کاهنده مثلاً $\frac{۲۲۰}{۱۲}$V تهیه کنید. با استفاده از اهم‌متر مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه آن را اندازه‌گیری کنید. چه تفاوتی می‌بینید؟ 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 درسیم‌پیچ اولیه نیز، نیروی محرکه القا می‌کند. این نیروی محرکه براساس قانون لنز با عامل به وجود آورنده آن، یعنی تغییرات شار مخالفت می‌کند. علامت منفی در روابط ۱ـ۳ و ۲ـ۳ به خاطر قانون لنز است.

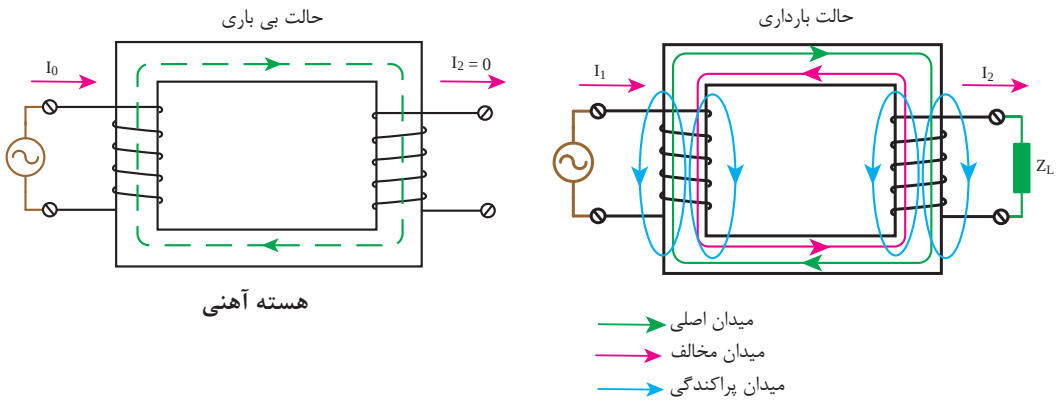
$$E_2 = -N_2 \frac{\Delta\varphi_2}{\Delta t} \qquad (۳ـ۱)$$

$$E_1 = -N_1 \frac{\Delta\varphi_1}{\Delta t} \qquad (۳ـ۲)$$

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. $\frac{\Delta\varphi_1}{\Delta t}$ آهنگ تغییر شار در سیم‌پیچ اولیه و $\frac{\Delta\varphi_2}{\Delta t}$ 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.

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \qquad (۳-۳)$$

φ_1 مقدار شار تولید در سیم‌پیچ اولیه و φ_2 مقدار شار سیم‌پیچ ثانویه است.



شکل ۴ـ 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 φ_1، درسیم‌پیچ اولیه به‌اندازه φ_2، از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند، طبق تعریف :

نسبت $K=\frac{\varphi_2}{\varphi_1}$ را ضریب کوپلینگ می‌گویند و چون همواره $\varphi_2 \leq \varphi_1$ می‌باشد لذا ضریب کوپلینگ $K \leq 1$ می‌باشد. اگر همه شار تولیدشده در سیم پیچ اولیه ازسیم پیچ ثانویه عبور کند ($\varphi_2=\varphi_1$ و $K=1$) دراین صورت کوپلینگ کامل است. با روی هم قرارگرفتن دو سیم‌پیچ روی یک بازوی هسته تا حدودی کوپلینگ کامل اتفاق می‌افتد.

فیلم

عملکرد ترانسفورماتور (بخش اول)

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 کم‌هسته، شار مغناطیسی، مدار خود را از طریق هسته می‌بندد. در شکل ۵ این شار با φ_0 نشان داده شده است. دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتور با شار متغیر φ_0 مواجه می‌شوند. در سیم‌پیچ اولیه نیروی محرکه E_1 و در سیم‌پیچ ثانویه نیروی محرکه E_2، بر اساس قانون فارادی القا می‌شود.

$$E_1=4/44 \times f \times \varphi \times N_1 = 4/44 \times f \times B \times A \times N_1 \qquad (۳-۴)$$

$$E_2=4/44 \times f \times \varphi \times N_2 = 4/44 \times f \times B \times A \times N_2 \qquad (۳-۵)$$

E_1 ـ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه برحسب ولت

E_2 ـ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه برحسب ولت

N_1 ـ تعداد دور سیم‌پیچ اولیه

N_2 ـ تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه

φـ برایند شارهای مغناطیسی متغیر هسته برحسب وبر

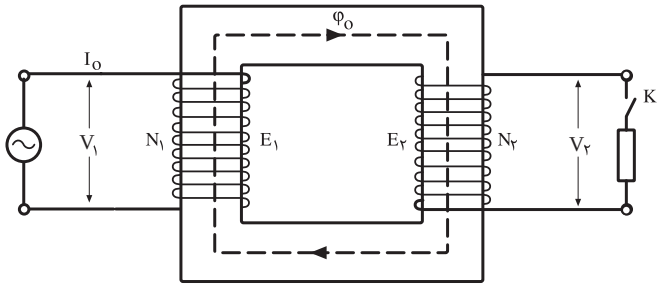
B ـ چگالی میدان در هسته برحسب تسلا

f ـ فرکانس ولتاژ تغذیه برحسب هرتز

تحقیق

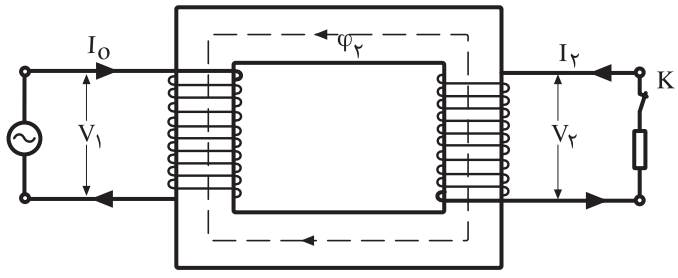
ترانسفورماتوری که تعداد دور اولیه و ثانویه آن برابر باشد ($N_۱ = N_۲$) چه کاربردی دارد؟

در این حالت با توجه به آنکه هنوز بار ثانویه وارد مدار نشده است، در سیم‌پیچ اولیه جریان الکتریکی $I_۰ = \frac{\overrightarrow{V_۱} - \overrightarrow{E_۱}}{Z_۱}$ جاری می‌شود که به آن جریان بی‌باری گفته می‌شود و با $I_۰$ نشان داده می‌شود. در رابطه اخیر $V_۱$ ولتاژ تغذیه سیم‌پیچ اولیه و $E_۱$ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه و $Z_۱$ امپدانس سیم‌پیچ اولیه می‌باشند.



شکل ۵ـ جریان بی‌باری $\varphi_۰$ را تولید می‌کند.

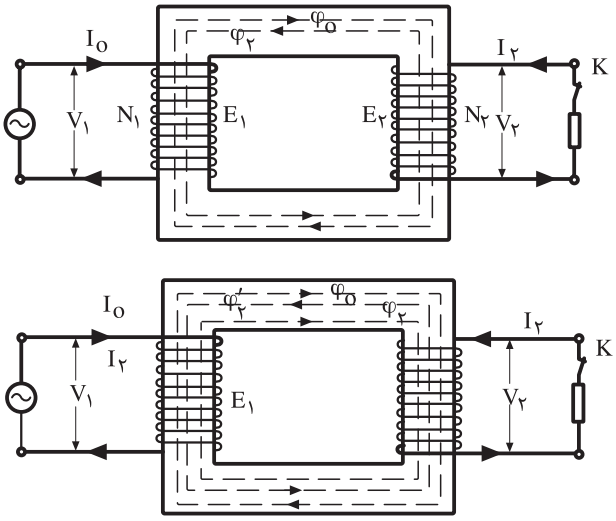
اگر کلید بار را درطرف ثانویه بسته شود نیروی محرکه القایی $E_۲$ در بارجریان الکتریکی $I_۲$ برقرار شده و در دو سر بار اختلاف پتانسیل $V_۲$ ایجاد می‌شود و براساس رابطه $I_۲ = \frac{\overrightarrow{E_۲} - \overrightarrow{V_۲}}{Z_۲}$ اندازه جریان ثانویه معین می‌شود. $V_۲$ ولتاژ دو سر سیم‌پیچ ثانویه و $E_۲$ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه و $Z_۲$ امپدانس سیم‌پیچ ثانویه می‌باشند. جریان $I_۲$، جریان متناوب سینوسی است، به نوبه خود در سیم‌پیچ ثانویه شارمغناطیسی $\varphi_۲$ ایجاد کرده که مدار خود را از طریق هسته بسته و با شارمغناطیسی $\varphi_۰$ براساس قانون لنز مخالفت کرده و موجب کاهش شار در هسته می‌شود.



شکل ۶ـ جریان بار، شار $\varphi_۲$ را تولید می‌کند.

با کاهش شار مغناطیسی در هسته، مقدار $E_۱$ کاهش یافته و با کاهش $E_۱$ با توجه به رابطه $I_۰ = \frac{\overrightarrow{V_۱} - \overrightarrow{E_۱}}{Z_۱}$، مقدار $I_۰$ به مقدار $I_۱$ افزایش می‌یابد و شارمغناطیسی $\varphi'_۲$ تولید می‌کند که $\varphi_۲$ را خنثی کرده و دوباره $\varphi_۰$ را در هسته برقرار می‌کند (شکل ۶).

با بررسی مطالب فوق مشاهده می‌شود تغییرات جریان از I_0 به I_1 متناسب با φ_2 می‌باشد ازآنجایی که φ_2 را I_2 به‌وجود آورده بود و I_2 با امپدانس بار متناسب است. نتیجه می‌گیریم که افزایش I_0 به I_1 متناسب با بارترانسفورماتور می‌باشد، که این فرایند را خود تنظیمی ترانسفورماتورها می‌گویند (شکل ۷).



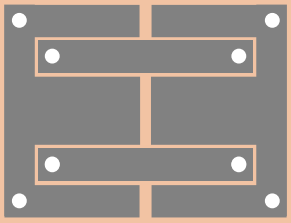
شکل ۷ــ خودتنظیمی ترانسفورماتور

فیلم

اجزای ترانسفورماتور از لحظه ۲ تا ۵:۱۳

فعالیت

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

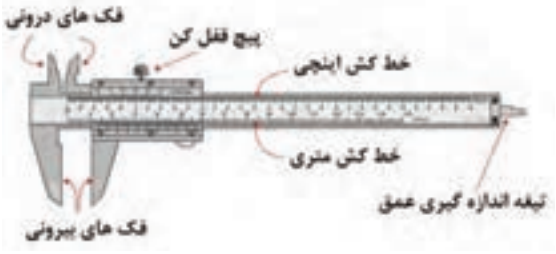


شکل ۸ــ ساخت ورق هسته EI

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

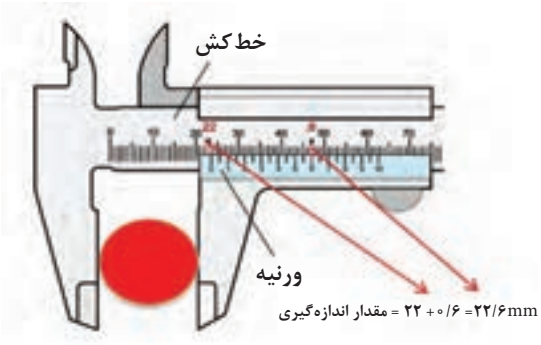
کولیس وسیله اندازه‌گیری، فاصله بین دو نقطه، با دقت اندازه‌گیری یک دهم میلی‌متر می‌باشد. کولیس از یک خط‌کش مدرج، یک ورنیه، دوفک بیرونی، دوفک درونی و یک تیغه تشکیل می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹ــ اجزای تشکیل‌دهنده کولیس

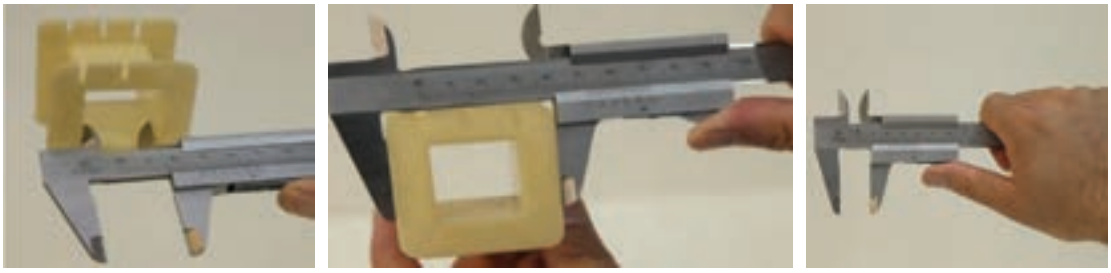
روش اندازه‌گیری با کولیس

قطعه‌ای بین دو فک قرار داده شود (سنجش قطر خارجی). قسمت صحیح را قبل از صفر ورنیه، از خط‌کش برحسب میلی‌متر خوانده می‌شود. قسمت اعشاری را از ورنیه جدا ساخته، در این حالت یکی از اعداد ورنیه، با یکی از اعداد خط‌کش در امتداد هم قرار می‌گیرند، این عدد قسمت اعشاری اندازه‌گیری را نشان خواهد داد. بنابراین، دقت اندازه‌گیری دهم میلی‌متر خواهد بود.



شکل ۱۰ــ اندازه‌گیری قطر خارجی با کولیس

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



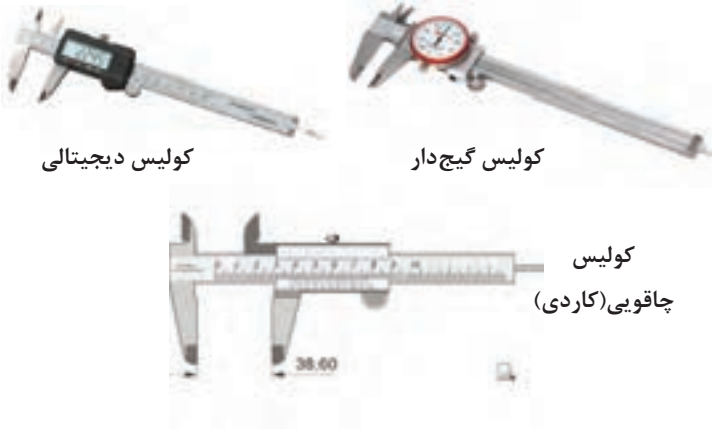
شکل ۱۱ــ نحوه اندازه‌گیری با کولیس

سؤال

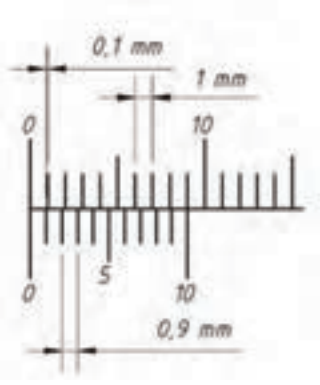
چه تفاوتی در انواع کولیس در شکل ۱۲ دیده می‌شود؟

فعالیت

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



شکل ۱۲ــ انواع کولیس‌ها



شکل ۱۳

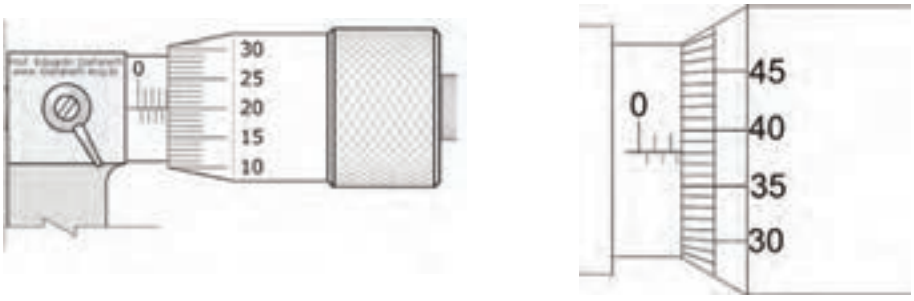
میکرومتر (ریزسنج)

از میکرومتر معمولاً برای اندازه‌گیری قطر سیم‌های با روکش لاکی استفاده می‌شود. دقت اندازه‌گیری آن تا ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد. روش اندازه‌گیری و قرائت مقدار اندازه‌گیری شده در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

شکل ۱۴ــ اندازه‌گیری قطر اجسام با میکرومتر

فعالیت

مقدار نشان داده شده در شکل توسط میکرومتر چقدر است؟



شکل ۱۵ــ اندازه‌گیری با میکرومتر

ایمنی

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

فعالیت

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

الف

ب

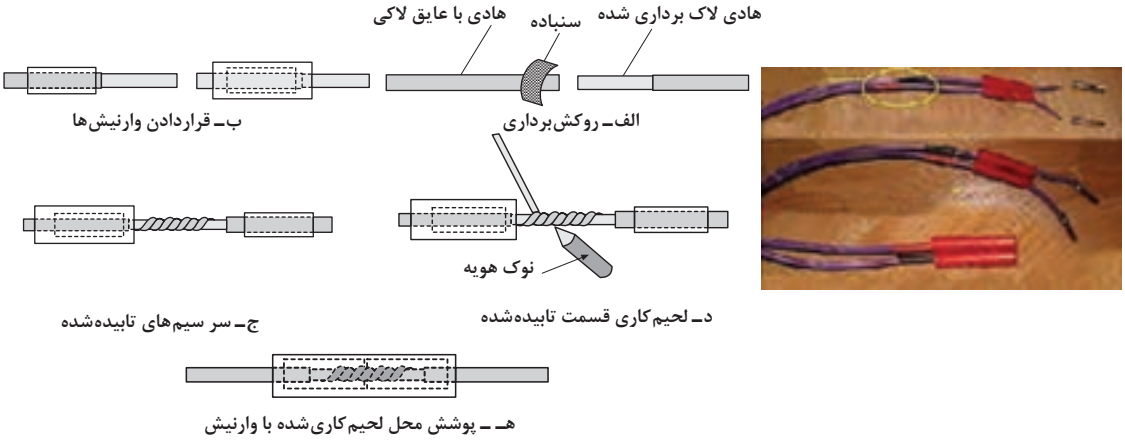
ت

پ

شکل ۱۶ــ مقادیر مختلف اندازه‌گیری‌شده با کولیس

وارنیش

معمولاً برای محکم کردن اتصال سیم‌های لاکی با یکدیگر و یا اتصال سیم‌های لاکی با سیم‌های افشان که از داخـل وسیله سیم‌پیچی شده مانند ترانسفورماتورها و الکتروموتورها خارج می‌شود از روش لحیم‌کاری استـفاده می‌شود. برای عایق‌کاری 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 به‌صورت 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 ۱۷ــ کاربرد وارنیش

کاغذپرشمان

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 ۱۸ــ کاغذ پرشمان

سر سیم

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 ۱۹ـ سرسیم

فیلم

ترانسفورماتور (بخش سوم)

فعالیت

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

سؤال

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

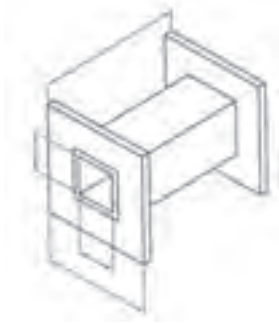
کار عملی۱

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

وسایل و مواد لازم: کولیس، میکرومتر، سیم لاکی، وارنیش، قرقره ترانسفورماتور، انواع ورق‌های EI

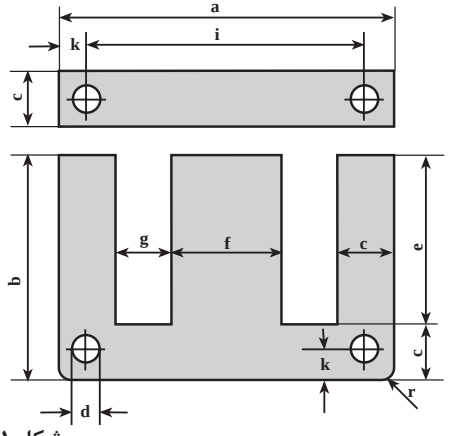
۱ـ دو اندازه مختلف از قرقره‌های آماده ترانسفورماتورها را در اختیار گرفته و مقادیر نشان داده شده در شکل ۲۰ را با کولیس اندازه‌گیری کنید.

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



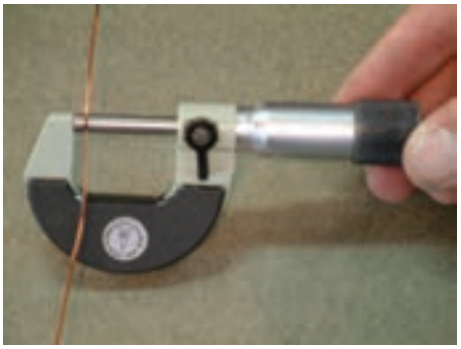
شکل ۲۰ـ ابعاد قرقره ترانسفورماتور

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



شکل ۲۱ـ ابعاد هسته EI

۳ـ چند نمونه قرقره سیم لاکی مختلف را در اختیار گرفته و با میکرومتر قطر سیم لاکی آنها را اندازه‌گیری کنید و جدول ۱ را تکمیل کنید (شکل ۲۲).

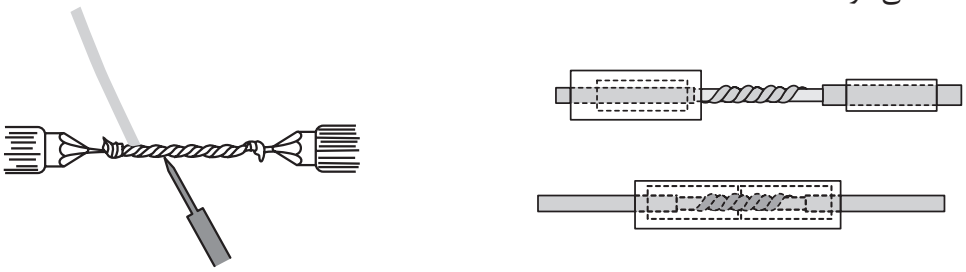


شکل ۲۲ـ اندازه‌گیری قطر سیم لاکی

جدول ۱ـ مقادیر اندازه گیری شده

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

۴ـ چند رشته سیم لاکی را مطابق شکل ۲۳ به یکدیگر اتصال داده و پس از لحیم‌کاری مناسب روی اتصال‌ها را با وارنیش پلاستیکی بپوشانید (اندازه روکش‌برداری و وارنیش‌ها توسط هنرآموز (استادکار) در اختیار شما گذاشته می‌شود).



شکل ۲۳ـ لحیم‌کاری

ترانسفورماتور ایده‌آل

ترانسفورماتوری که تمام شار مغناطیسی تولیدشده در سیم‌پیچ اولیه از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند ایده‌آل 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 ایده‌آل

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

$E_1 = V_1$ ، $E_2 = V_2$ (۳-۴) ، $P_1 = P_2$ (۳-۵)

با توجه به روابط ۴ـ۳ و ۵ـ۳ می‌توان نوشت:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4/44 \times f \times B \times A \times N_1}{4/44 \times f \times B \times A \times N_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (۳-۶)$$

$P_1 = V_2 \times I_1$ $P_2 = V_2 \times I_2$ $P_1 = P_2$

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (۳-۷)$$

در ترانسفورماتورهای ایده‌آل 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 رابطه اساسی ترانسفورماتورهای ایده‌آل می‌گویند. 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:

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

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

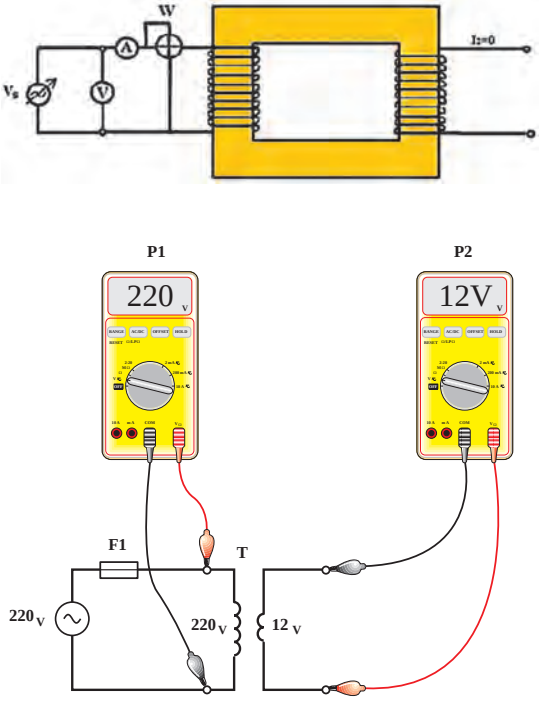
$S_1=V_1\times I_1=1000\times 4=4000VA$

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).



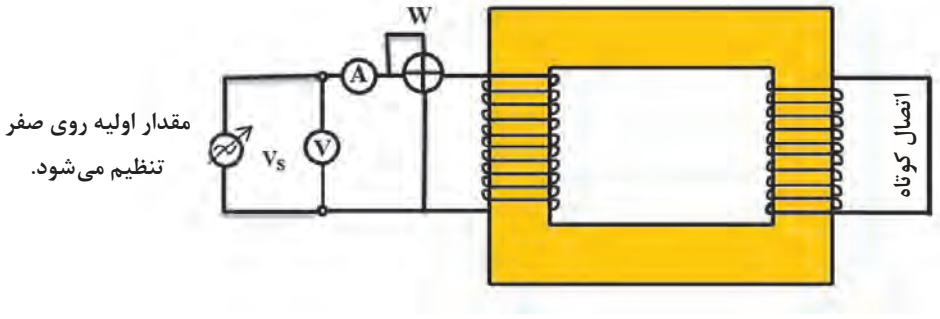
شکل ۲۴ ــ مدار آزمایش بی‌باری

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 آمپرمتر، 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 ۲۵ـ مدار آزمایش اتصال کوتاه

تلفات ترانسفورماتور

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

$$\Delta P = P_{Fe} + P_{cu} \qquad (۳\text{ـ}۸)$$

فیلم

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

راندمان ترانسفورماتور

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

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰ \qquad (۳\text{ـ}۱۰) \qquad P_{in} = P_{out} + \Delta P \qquad (۳\text{ـ}۹)$$

تحقیق

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

ولتاژ اتصال کوتاه

اگر سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور اتصال کوتاه شود، و از سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور جریان نامی‌عبور 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 نامی‌اولیه 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.

$$U_k\% = \frac{V_{SC}}{V_{1n}} \times 100 \qquad (۳-۱۱)$$

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 سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را روی هم می‌پیچند.

فعالیت

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

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.

$$I_{SC} = \frac{I_n}{u_k} \qquad (۳-۱۲)$$

I_{SC} ـ جریان اتصال کوتاه　　I_n ـ جریان نامی　　u_k ـ 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

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

$$u_k = \frac{V_{SC}}{V_{1n}} = \frac{44}{220} = 0/2$$

$$I_{SC} = \frac{I_n}{u_k} = \frac{10}{0/2} = 50A$$

سؤال

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

ایمنی

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

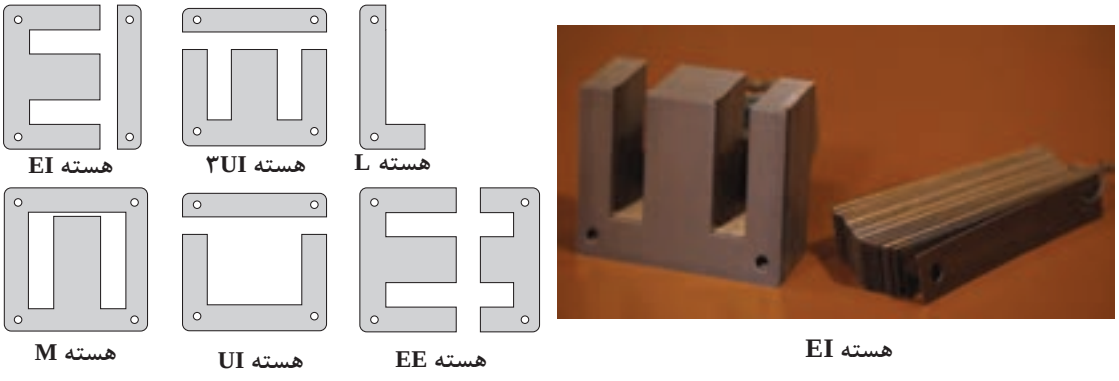
محاسبات عملی ترانسفورماتورهای تک‌فاز

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

۱ـ داشتن حداقل تلفات هیسترزیس (مربوط به جنس هسته می‌شود.)

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

با افزودن ناخالصی سیلیس به آهن می‌توان از هسته مرغوب با حداقل تلفات هیسترزیس 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 ۰/۰۰۵ روی ورق‌ها روکش ورنی می‌دهند. ورقه‌ها در اندازه‌های ۰/۳۵ میلی‌متر و ۰/۵۰ میلی‌مترساخته می‌شوند.ورقه‌های هسته به صورت ۳UI, EE , UI, L, M برش داده می‌شوند. در شکل ۲۶ نمونه‌هایی از هسته‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۲۶ـ 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 نظرگرفته شود.

برای کاهش اثرات فوکو، هسته ترانسفورماتور را از ورقه‌های آهن سیلیس‌دار با ضخامت‌های ۰/۳۵ یا ۰/۵۰ میلی‌متر ساخته می‌شود. سطح مقطع ظاهری حجم بیشتری نسبت به‌سطح 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.

$$S = K\sqrt{P_۲} \qquad (۳-۱۳)$$

سطح مقطع ظاهری هسته‌های ترانسفورماتور از رابطه ۱۴ـ۳ تعیین می‌شود.

$$S' = \frac{S}{\text{ضریب تورق}} \approx ۱/۱ \times S \qquad (۳-۱۴)$$

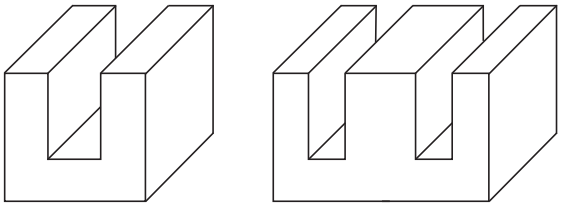
کاهش یافته وK بین ۰/۸ تا ۱/۲۱متغیر است هر چقدر توان ترانسفورماتور بیشتر باشد، مقدارKضریب به مقدار ۰/۸ نزدیک‌تر می‌شود.

تحقیق

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

فعالیت

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



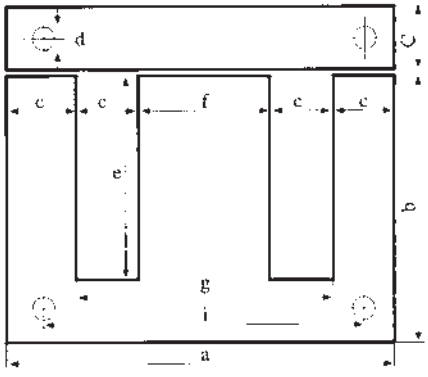
شکل ۲۷ـ سطح مقطع هسته EI و U

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.

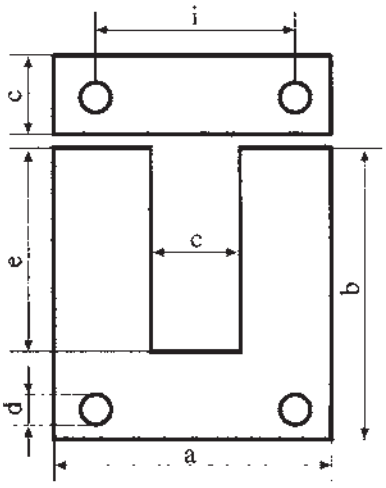
سؤال

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

$$b = \frac{۲}{۳}a \ , \ c = \frac{۱}{۶}a \ , \ e = \frac{۱}{۲}a \ , \ f = \frac{۱}{۳}a \ , \ g = \frac{۲}{۳}a$$



شکل ۲۸ـ ابعاد هسته



$$b = \frac{۴}{۳}a$$

$$c = \frac{۱}{۳}a$$

$$e = a$$

شکل ۲۹ـ ابعاد ورق

تعیین نوع ورق با استفاده از جداول

با مشخص شدن سطح مقطع ظاهری هسته و استفاده از روابط ۱۵ ـ۳ 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.

نوع هسته EI یا UI $\leq ۳۰\times\sqrt{S}$ (۳ـ۱۵)

جدول ۲ـ استاندارد ابعاد ورق‌های EI

اندازه	a	b	c	d	e	f	g	i	ضخامت
EI۳۰	۳۰	۲۰	۵	ـ	۱۵	۱۰	۲۰	ـ	۰/۵ ـ ۰/۰
EI۳۸	۳۸/۴	۲۵/۶	ـ	ـ	۱۹/۲۱	۱۲/۸	۲۵/۵	ـ	"
EI۴۲	۴۲	۲۸	۷	۳/۵	۲۱	۱۴	۲۸	۳۵	۶۵ ـ ۰/۲۷
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 سیم‌پیچ ترانسفورماتور به ولتاژ DC متصل شود، مقدار ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور چقدر خواهد بود؟ چرا؟

مثال ۳

نوع ورق مناسب برای هسته ترانسفورماتور با ولتاژ $U_۲ = ۱۲V$ و جریان $I_۲ = ۴A$ تعیین کنید.

$$P_۲=U_۲ \times I_۲=۱۲ \times ۴=۴۸\,W$$

$$S = ۱/۲\sqrt{P_۲} = ۱/۲\sqrt{۴۸} = ۸/۳۱cm^۲$$

$$\text{نوع هسته EI} \leq ۳۰\times\sqrt{S}$$

$$\text{نوع هسته EI} \leq ۳۰\times\sqrt{۸/۳۱} = ۸۶/۴۸$$

ورق استاندارد مربوط به مقدار محاسبه شده ورق EI۸۴ می‌باشد. در این ورق $f = \frac{۱}{۳}a = ۲۸mm$ می‌باشد. ضخامت هسته از $\frac{s}{f}$ به دست می‌آید.

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{s}{f} = \frac{۸/۳۱}{۲۸\times۱۰^{-۱}} = ۲/۹۶۷\,cm = ۲۹/۶۷\,mm$$

اگر ورق‌ها را از نوع ۰/۳۵میلی‌متری انتخاب کنیم در این حالت تعداد ورق‌ها برابراست با :

$$\text{تعداد ورق‌ها} = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{۲۹/۶۷}{۰/۳۵} = ۸۴\text{عدد}$$

اگر ورق‌ها از نوع ۰/۵۰ میلی‌متری انتخاب کنیم در این حالت تعداد ورق‌ها برابراست با :

$$\text{تعداد ورق‌ها} = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{۲۹/۶۷}{۰/۵۰} = ۵۹\text{عدد}$$

محاسبهٔ تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

مبنای محاسبات تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه رابطه $E=۴/۴۴\times f\times B_m\times S\times N$ می‌باشد. عملاً در محاسبات برای سادگی عمل E را یک ولت در نظر می‌گیرند و تعداد دور را برای یک ولت به‌دست می‌آورند که آن را دور بر ولت می‌گویند و با N_V نشان می‌دهند. پس از تعیین N_V، براساس ولتاژهای سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه و در نظرگرفتن افت ولتاژها، تعداد دورهای اولیه و ثانویه را تعیین می‌کنند.

$$E = ۴/۴۴ \times f \times B_m \times S \times N$$

$$E = ۱V \rightarrow N_V = \frac{۱}{۴/۴۴\times f\times B_m\times S} \qquad (۳\text{-}۱۶)$$

اگر S را برحسب سانتی‌مترمربع و B_m را برحسب گوس در نظر بگیریم دور بر ولت به صورت رابطه ۳ـ۱۶ بیان خواهد شد.

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

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

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

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

هستهٔ معمولی $N_V = \frac{45}{S\left[Cm^2\right]}$

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 درنظر گرفت.

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

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

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

۲ـ 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 برحسب توان خروجی نشان داده شده است.

جدول ۳ـ افت ولتاژ ترانسفورماتورها برحسب قدرت آن

قدرت ترانس VA	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۷۵۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰
درصد افت ولتاژ ΔU	۲۰	۱۷	۱۴	۱۲	۱۰	۹	۸	۷/۵	۷	۶/۵	۵	۴	۳	۲	۵	۱

سؤال

چرا با افزایش قدرت ترانسفورماتور مقدار درصد افت کمتر می‌شود؟

مثال ۴

ترانسفورماتوری با مشخصات ۲۰۰ VA با ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه ۱۲ ولت مورد نیاز است. هسته این ترانسفورماتور از نوع مرغوب با چگالی Bm=۱۲۰۰۰ GS، ضخامت هر ورق ۰/۵۰ mm و فرکانس شبکه ۵۰ هرتز می‌باشد. تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه و تعداد ورق‌های هسته را با شرایط زیر مشخص کنید.

۱ـ بدون در نظر گرفتن افت ولتاژ، در اولیه ۲ـ با در نظر گرفتن افت ولتاژ اولیه

حل:

۱ـ بدون در نظر گرفتن افت ولتاژ در سیم‌پیچ اولیه

ازجدول شکل ۶۵ـ۳ برای P = ۲۰۰ VA اندازه افت ولتاژ برابر ۷/۵% تعیین می‌شود و از رابطه برای هسته مرغوب می‌توان نوشت:

$$N_V = \frac{۳۷/۵}{S\left[Cm^۲\right]}$$

$$S = ۱/۲\sqrt{p_۲} = ۱/۲\sqrt{۲۰۰} = ۱۶/۹۷\,Cm^۲$$

$$N_V = \frac{۳۷/۵}{۱۶/۹۷} = ۲/۲۱$$ دور در هر ولت

$$N_V = \frac{۱۰^۸}{۴/۴۴ \times f \times B_m \times S}$$

$$N_V = \frac{۱۰^۸}{۴/۴۴ \times ۵۰ \times ۱۲۰۰۰ \times ۱۶/۹۷} = ۲/۲۱$$

$N_۱ = N_V \times V_۱ = ۲/۲۱ \times ۲۲۰ = ۴۸۶$ دور

$N_۲ = N_V \times V_۲ \times (۱ + \%\Delta V) = ۲/۲۱ \times ۱۲ \times (۱ + ۰/۰۷۵) \approx ۲۹$

۲ـ با در نظر گرفتن افت ولتاژ درسیم پیچ اولیه

$$N_۱ = N_V \times V_۱ \times \left(۱ - \frac{\%\Delta V}{۲}\right) = ۲/۲۱ \times ۲۲۰ \times \left(۱ - \frac{۰/۰۷۵}{۲}\right) = ۴۶۸$$ دور

$$N_۲ = N_V \times V_۲ \times \left(۱ + \frac{\%\Delta V}{۲}\right) = ۲/۲۱ \times ۱۲ \times \left(۱ + \frac{۰/۰۷۵}{۲}\right) = ۲۸$$ دور

EI نوع $\leq ۳۰\sqrt{S} = ۳۰\sqrt{۱۶/۹۷} = ۱۲۳/۵۸$

نوع ورق استاندارد نزدیک به EI=۱۲۳/۵۸، ورق EI ۱۲۰ می‌باشد. در این حالت، اندازه f =۴۰ میلی‌متر به‌دست می‌آید از رابطه مقابل می‌توان نوشت:

$S' = ۱/۱ \times S = ۱/۱ \times ۱۶۹۷ mm^۲ = ۱۸۶۶/۲ mm^۲$

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{S'}{f} = \frac{۱۸۶۶/۲}{۴۰} = ۴۶/۶۶ mm$$

$$\text{تعداد ورق } n = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{۴۶/۶۶}{۰/۵} \approx ۹۴$$

تعیین قطر سیم مربوط به سیم‌پیچ 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.

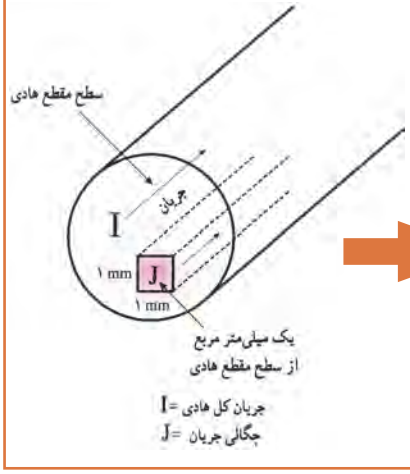
با توجه به ویژگی‌های فوق پس می‌توان نتیجه گرفت که قطر سیم متأثر از توان ترانسفورماتور و چگالی جریان می‌باشد.

فیلم

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

چگالی جریان

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



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

$$\text{در مقطع دایره‌ای} \quad A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = 1/13\sqrt{A}$$

$$\text{قطر سیم اولیه} \quad \text{سطح مقطع سیم اولیه} \ A_1 = — \Rightarrow d_1 = 1/13\sqrt{A_1}$$

$$\text{قطر سیم ثانویه} \quad \text{سطح مقطع سیم ثانویه} \ A_2 = \frac{I_2}{J} \Rightarrow d_2 = 1/13\sqrt{A_2}$$

شکل ۳۰ـ چگالی جریان و تعیین سطح مقطع سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

چگالی جریان با افزایش توان ترانسفورماتورها کاهش می‌یابد. در جدول۴ محدوده چگالی جریان ترانسفورماتورها را متناسب با توان‌های مختلف مشاهده می‌کنید.
جدول ۴، مقدار چگالی جریان برحسب محدوده قدرت ترانسفورماتور را نشان می‌دهد.

جدول۴ـ چگالی جریان در ترانسفورماتور

قدرت VA	۰ـ۵۰	۵۰ـ۱۰۰	۱۰۰ـ۲۰۰	۲۰۰ـ۵۰۰	۵۰۰ـ ۱۰۰۰	۱۰۰۰ـ۲۰۰۰	۲۰۰۰ـ۳۰۰۰	۳۰۰۰ ـ۴۰۰
چگالی جریان $\frac{A}{mm^2}$	۴	۳/۵	۳	۲/۵	۲	۱/۷۵	۱/۵	۱

مثال ۵

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

حل:

$V_1=۲۲۰\ V\ ,\quad V_2=۶V \rightarrow P_2=V_2\times I_2=۶\times ۴=۲۴\ V.A$

$S=۱/۲\sqrt{P_2}=۱/۲\sqrt{۲۴}=۵/۹Cm$ سطح حقیقی آهن

$N_V=\frac{۳۷/۵}{S}=\frac{۳۷/۵}{۵/۹}=۶/۳۶$ دور بر ولت

$N_1=V_1\times N_V=۲۲۰\times ۶/۳۶=۱۴۰۰$ دور

$N_2=V_2\times N_V\times(۱+\Delta v\,\%)$

از جدول شکل ۶۸ـ۳ افت ولتاژ تقریباً ۱۴٪ می‌باشد.

$N_2=۶\times ۶/۶۳\times(۱+۰/۰۱۴)=۳۷$ دور

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

راندمان (η) را به‌طور متوسط ۹۰٪ در نظر می‌گیرند.

$P_1=\frac{۲۴}{۰/۹}=۲۶/۶VA\rightarrow I_1=\frac{۲۶/۶}{۲۲۰}=۰/۱۲\quad A\rightarrow A_1=\frac{I_1}{J}$

از جدول ۴ چگالی جریان برابر $J=۴A/mm^2$ است.

$A_1=\frac{I_1}{J}=\frac{۰/۱۲}{۴}=۰/۰۳mm^2\rightarrow d_1=۱/۱۳\sqrt{A_1}=۱/۱۳\sqrt{۰/۰۳}=۰/۲۰mm$

$$A_۲ = \frac{I_۲}{J} = \frac{۴}{۴} = ۱mm^۲ \rightarrow d_۲ = ۱/۱۳\sqrt{A_۲} = ۱/۱۳\sqrt{۱} = ۱/۱۳mm$$

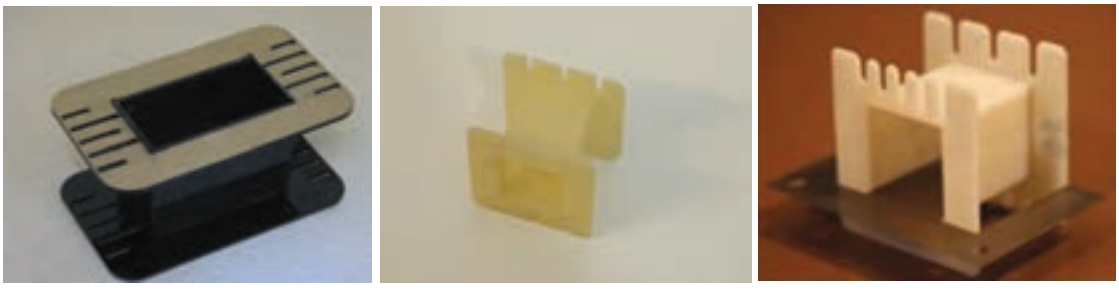
$$\text{نوع } E۱ \leq ۳۰\sqrt{S} \leq ۳۰\sqrt{۵/۹} = ۷۳$$

نوع EI استاندارد از جدول شکل ۶۶ ـ۳، EI۶۶ می‌باشد که در آن f =۲۲mm است و ضخامت هسته برابر است با:

$$\text{عدد } ۵۴ \approx \frac{۲۶/۸۱}{۰/۵} = EI \text{ تعداد ورق} \rightarrow ۲۶/۸۱mm = \frac{۵/۹\times۱۰^۲ mm}{۲۲mm} = \frac{s}{f} = \text{ضخامت هسته}$$

طراحی قرقره ترانسفورماتور تک فاز

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



شکل ۳۱ـ قرقره‌های ترموپلاست و فیبر استخوانی

در انتخاب ورق‌های هسته و قرقره ترانسفورماتورها دو عامل تعیین‌کننده باید در نظر گرفته شود.

۱ـ سطح کافی برای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

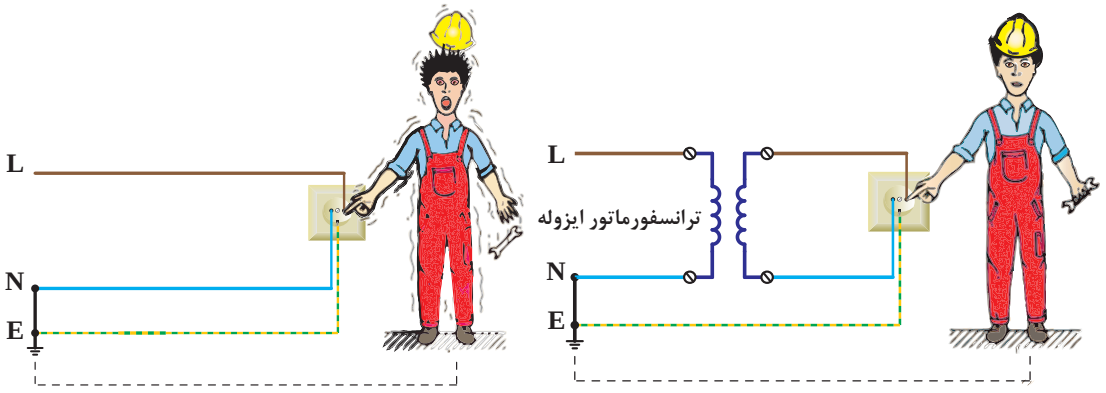
۲ـ حداکثر بهره‌برداری از فضای قرقره

در انتخاب ورق هسته، ورقی را باید انتخاب نمود که سطح پنجره آن، سطح موردنیاز سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را کفایت کند، با مراجعه به جدول کتاب راهنمای هنرجو در تعیین قرقره کفایت سطح پنجره‌های آن اقدام کنید.

فعالیت

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

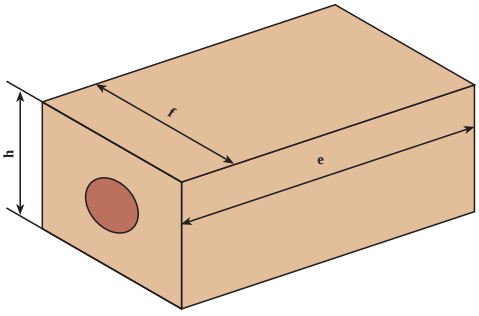
نقش ترانسفورماتور حفاظتی در شکل ۳۲ چیست؟

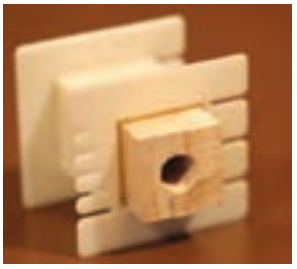


شکل ۳۲ـ ترانسفورماتور ایزوله

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 قرارگرفته و سپس روی بوبین پیچ بسته شود.





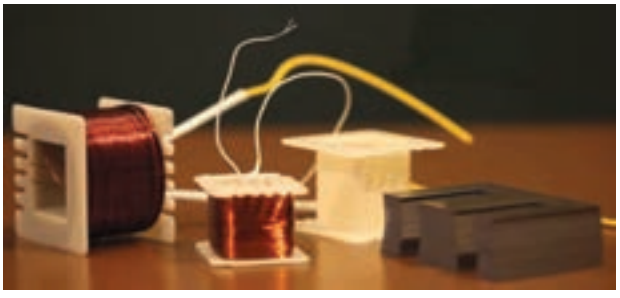
شکل ۳۳ـ ابعاد مغزی قرقره

کار عملی ۲

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

وسایل و مواد لازم

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



شکل ۳۴ـ تجهیزات سیم‌پیچی ترانسفورماتور

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

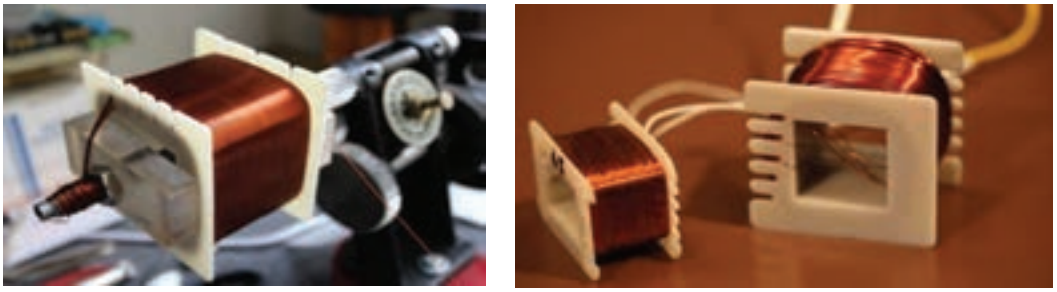
۱ـ با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب با چگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دورسیم‌پیچ‌ها، قطر سیم‌های اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به‌دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به پیچیدن آن نمایید.

مشخصات ترانسفورماتور $v_1 = ۲۲۰V \quad , \quad v_2 = ۱۲V \quad , \quad I_2 = ۳A$

۲ـ 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 سیم‌پیچی کنید.

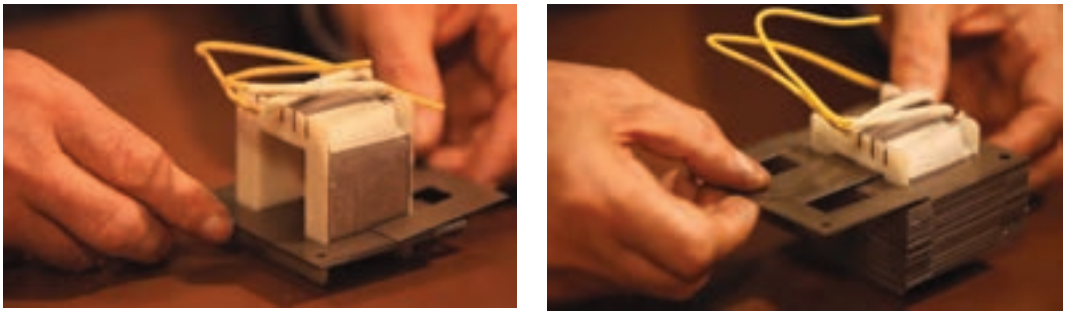
شکل ۳۵ـ مغزی قرقره

۳ـ سیم‌پیچ اولیه را مرتب روی قرقره بپیچید و پس از هدایت سرسیم‌ها به ژاک (جای فیش) مربوطه روی آن را باکاغذ پرشمان ۰/۱۵یا۰/۱بپوشانید و با چسب کاغذی محکم کنید سپس سیم ثانویه را به تعداد دور لازم بپیچید وپس از هدایت سرسیم‌های ثانویه به ژاک (جای فیش) مربوطه، روی سیم‌ها را با کاغذ پرشمان ۰/۲۰ پوشانده با چسب محکم کنید.



شکل ۳۶ـ سیم پیچی ترانسفورماتور

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

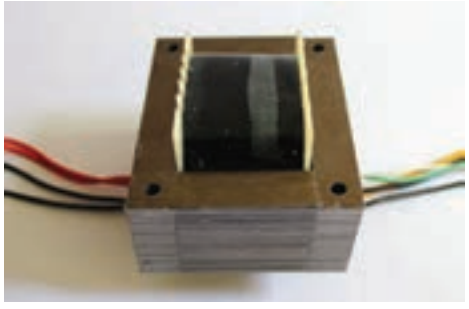


شکل ۳۷ـ جا زدن هسته

فعالیت

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

۵ـ پس از سیم‌پیچی با نظارت مربی خود اولاً: ولتاژ اولیه و ثانویه را به ازای یک بار مناسب اندازه‌گیری کنید.
۶ـ 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.



شکل ۳۸ـ ترانسفورماتور آماده شده

ایمنی

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

تذکر

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 قرقره بیرون بیاورید.

فیلم

مراحل عملی سیم‌پیچی ترانسفورماتور از لحظه ۱۱:۴۰ تا ۲۰

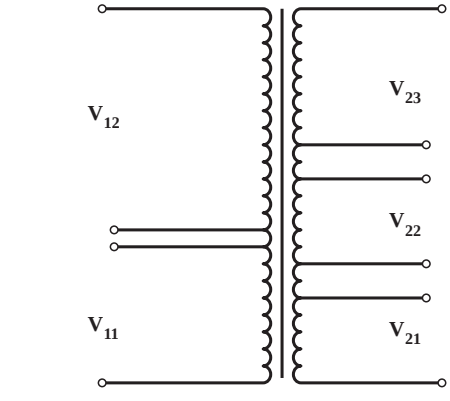
ترانسفورماتورهای با چند ورودی و خروجی

سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتورها ممکن است در شبکه‌های مختلف به ولتاژهای مختلف متصل شود. مثلاً در ولتاژهای V ۳۸۰، ۲۲۰V، ۱۱۰V به‌کار گرفته می‌شود. همچنین ممکن است ولتاژهای مختلف ۱/۵V،۳V،۴/۵V،۶V،۹V، ۱۲V، ۲۴V، ۴۸V و ۱۱۰V از خروجی ترانسفورماتورها دریافت شود. سیم‌پیچ‌های ثانویه ممکن است مستقل از هم یا مشترک باشند. (شکل ۳۹ و ۴۰)

فیلم

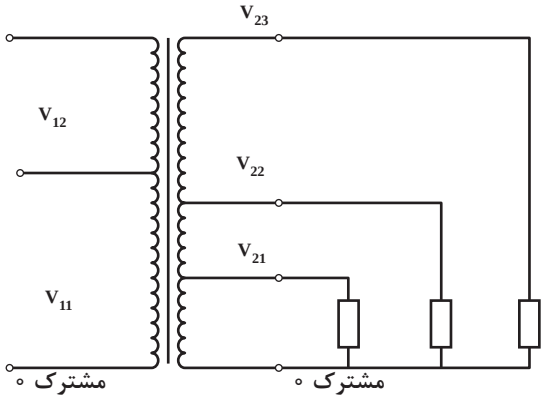
ترانسفورماتورهای چند سر از لحظه ۲۴ تا ۲۶:۴۰

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



شکل ۳۹ــ ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مجزا در اولیه و ثانویه

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).



شکل ۴۰ــ ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مشترک در اولیه و ثانویه

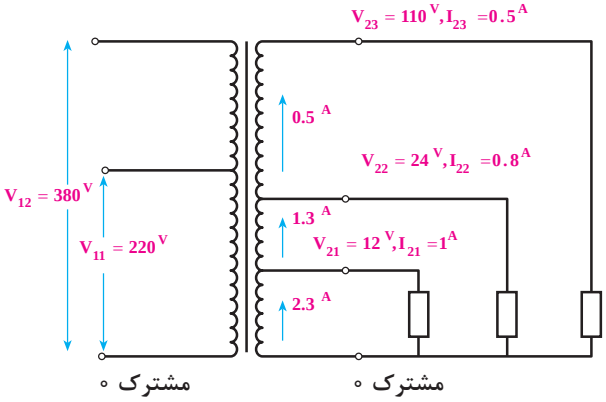
قطر سیم‌پیچ را نیز می‌توان بر مبنای بیشترین جریانی که از سیم پیچ عبور می‌کند، انتخاب کرد و برای همهٔ سیم پیچ‌های ثانویه یا اولیه یکی باشد اما چون جریان هر قسمت از سیم پیچ‌ها با قسمت‌های دیگر تفاوت دارد، بهتر است برای هر قسمت سیمی با قطر متفاوت پیچیده شود؛ مگر اینکه جریان‌ها بسیار نزدیک به هم باشند.

برای محاسبهٔ قدرت ترانسفورماتورهایی که دارای چندین ولتاژ در ثانویه هستند، درصورتی که از همهٔ خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان استفاده می‌شود، می‌توان از جمع همهٔ قدرت‌های خروجی، قدرت ثانویه و از روی آن قدرت اولیه را به‌دست آورد. اما اگر از همهٔ ولتاژهای ثانویه به‌طور هم‌زمان استفاده نشود، باید با بررسی حالت‌های ممکن بیشترین توان خروجی را انتخاب کرد و محاسبات را بر مبنای آن انجام داد.

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

$$P_۲ = V_{۲۱} \times I_{۲۱} + V_{۲۲} \times I_{۲۲} + V_{۲۳} \times I_{۲۳}$$

$$P_۲ = ۱۲ \times ۱ + ۲۴ \times ۰/۸ + ۱۱۰ \times ۰/۵ = ۸۶/۲۷$$



شکل ۴۱ــ ترانسفورماتور چندسر

قطر سیم‌ها نیز برای قسمت اول (از صفر تا ۱۲ ولت) بر مبنای جریان ۲/۳=(۰/۵+۰/۸+۱) آمپر و برای قسمت دوم (از ۱۲ تا ۲۴ ولت) برای جریان ۱/۳ =(۰/۵+۰/۸) آمپر و برای قسمت سوم از (۲۴ تا ۱۱۰ ولت) بر مبنای جریان ۰/۵ آمپر حساب می‌شود.

در این مثال، اگر فرض کنیم که از سه خروجی، تنها دو خروجی بتوانند به‌طور هم‌زمان کار کنند، باید قدرت‌های خروجی را دو به دو با یکدیگر جمع کنیم و مقدار بزرگ‌تر را برای قدرت خروجی ترانسفورماتور منظور، درنظر بگیریم. بنابراین برای این ترانسفورماتور قدرت ثانویهٔ $P_۲$=۷۴/۲۷۸ به‌دست می‌آید. قطر سیم نیز با بررسی جریان‌ها در شرایط مختلف پیدا می‌شود. به‌طوری که از قسمت اول سیم‌پیچ، حداکثر ۱/۸ آمپر و از قسمت دوم آن حداکثر جریان ۱/۳ آمپر و از قسمت سوم نیز جریان ۰/۵ آمپر عبور می‌کند. با توجه به چگالی جریان، می‌توان قطر سیم‌ها را مشخص کرد.

سطح مقطع آهن خالص و دور بر ولت را می‌توان پس از محاسبهٔ قدرت ترانسفورماتور از طریق روابط قبلی به‌دست آورد.

تعداد دورهای اولیه و ثانویه به همان روش قبلی محاسبه می‌شود. لیکن در هنگام به‌دست آوردن درصد افت ولتاژ باید برای قسمت خروجی، قدرت همان قسمت را در جدول قرار دهیم و افت ولتاژ را پیدا کنیم. در هنگام سیم‌پیچی، ابتدا سیم با قطر $d_{۱۱}$ برای ولتاژ کمتر (یعنی $U_{۱۱}$) و به اندازهٔ $N_{۱۱}$ دور پیچیده شده و پس از بیرون آوردن یک سر خروجی، مجدداً برای دومین ولتاژ یعنی $U_{۱۲}$ سیم با قطر $d_{۱۲}$ و به اندازهٔ $N_{۱۲}(N_{۱۱}-)$ دور پیچیده شود تا در هنگام وصل شدن به ولتاژ بیشتر، هر دو سیم‌پیچ ($N_{۱۱}$) و $N_{۱۲}(N_{۱۱}-)$ با یکدیگر سری شوند و مجموع حلقه‌های آنها برابر با $N_{۱۲}$ شود. بدون ترتیب در مرحله قطر سیم نیز کمتر می‌شود. برای سیم پیچ‌ثانویه، ابتدا ولتاژها را از کم به زیاد مرتب کرده و برای ولتاژ $U_{۲۱}$ تعداد دور $N_{۲۱}$ و برای ولتاژ $U_{۲۲}$ و $U_{۲۳}$ و... تعداد دورهای $N_{۲۲}$ و $N_{۲۳}$ و... را محاسبه می‌کنیم و سپس، مانند طرف اولیه عمل می‌نماییم.

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

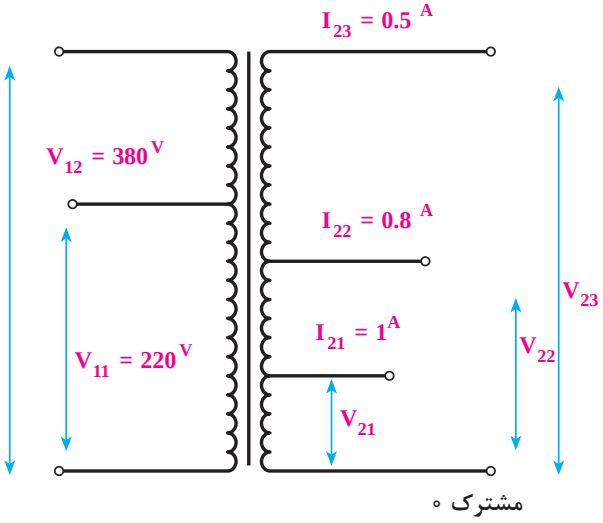
برای توضیح بیشتر به بررسی و حل کامل مثال ذکر شده می‌پردازیم. سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور موردنظر باید به ولتاژ ۲۲۰ ولت با ۳۸۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز اتصال یابد و ثانویهٔ آن نیز دارای سه خروجی ۱۲ ولت با جریان یک آمپر. ۲۴ ولت با جریان ۰/۸ آمپر و ۱۱۰ ولت با جریان ۰/۵ آمپر باشد. فرض می‌کنیم که از هر سه خروجی به‌طور

هم‌زمان استفاده شود.

حل این مثال را در ۹ مرحله توضیح می‌دهیم.

راه حل

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



شکل ۴۲ـ مقادیر ترانسفورماتور چندسر

$V_{۱۱} = ۲۲۰V \quad , \quad V_{۱۲} = ۳۸۰V$

$V_{۲۱} = ۱۲V \quad , \quad I_{۲۱} = ۱A$

$V_{۲۲} = ۲۴V \quad , \quad I_{۲۲} = ۰/۸A$

$V_{۲۳} = ۱۱۰V \quad , \quad I_{۲۳} = ۰/۵A$

مرحله دوم : قدرت اولیهٔ ترانسفورماتور را با توجه به اینکه خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، محاسبه می‌کنیم.

$$P_۲ = V_{۲۱} \times I_{۲۱} + V_{۲۲} \times I_{۲۲} + V_{۲۳} \times I_{۲۳}$$

$$P_۲ = ۱۲ \times ۱ + ۲۴ \times ۰/۸ + ۱۱۰ \times ۰/۵ = ۸۶/۲VA$$

همان‌طور 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 می‌توانیم برای این ترانسفورماتور ضریب بهرهٔ ۸۹ درصد انتخاب کنیم.

$$P_۱ = \frac{P_۲}{\eta}$$

هرگاه $P_{S۱} = P_۱$ و $P_{S۲} = P_۱$ درنظر گرفته شود، می‌توان نوشت :

$$P_{S۱} = \frac{P_{S۲}}{\eta}$$

$$P_{S۲} = \frac{۸۶/۲}{۰/۸۹} = \frac{۹۶}{۸۵} = ۹۷ \text{ ولت آمپر}$$

مرحله سوم : سطح مقطع واقعی هسته را با توجه به قدرت $P_{S۱}$ به‌دست می‌آوریم.

$$S_{F_e} = ۱/۲\sqrt{P_{S۱}} = ۱/۲\sqrt{۹۷} = ۱۱/۸cm^۲$$

سطح مقطع ظاهری هسته برابر است با :

$$S'_{F_e} = \frac{S_{F_e}}{K_{F_e}} = \frac{۱۱/۸}{۰/۹} = ۱۳/۱۱ cm^۲$$

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

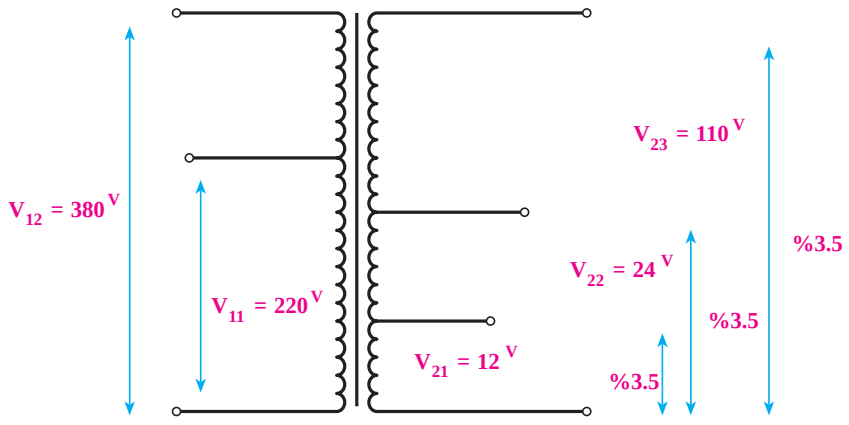
$$N_V = \frac{۳۷/۵۴}{S} = \frac{۳۷/۵۴}{۱۱/۸} = ۳/۱۸ \frac{\text{دور}}{\text{ولت}}$$

مرحله پنجم : برای تعیین دورهای اولیه، باید ابتدا درصد افت ولتاژ را به‌دست 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 موردنظر ۸۶ ولت آمپر است، یعنی، از ۷۵ ولت آمپر ۱۱ = (۷۵ - ۸۶) ولت آمپر بیشتر است. با یک تناسب ساده، می توان مقدار کاهش افت ولتاژ را از ۱ درصد به‌دست آورد که برابر با $\frac{۱۱\times۱}{۲۵} = ۰/۴۴$ می‌شود. بنابراین، افت ولتاژ برای این ترانسفورماتور برابر با ۹/۵۶= (۱۰-۰/۴۴) درصد می‌شود. 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 می‌کنیم. بنابراین، تعداد دور اولیه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با :

$$N_{۱۱} = n \times V_{۱۱}(۱ - \%\Delta V_۱) = ۳/۱۸ \times ۲۲۰(۱ - ۰/۰۶) = ۶۵۸ \quad \text{دور}$$

$$N_{۱۲} = n \times V_{۱۲}(۱ - \%\Delta V_۱) = ۳/۱۸ \times ۳۸۰ \times (۱ - ۰/۰۶) = ۱۱۳۵/۹ \cong ۱۱۳۶ \quad \text{دور}$$

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



شکل ۴۳ـ درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتور

مرحله ششم : چون از هر سه خروجی ترانسفورماتور به طور هم زمان استفاده می‌شود، 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 می‌شود که در شکل ۳۹ مشخص شده است بنابراین، تعداد دور ثانیه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با :

$$N_{۱۱} = n \times V_{۱۱}(۱ - \%\Delta V_{۱}) = ۳/۱۸ \times ۱۲ \times (۱ + \frac{۳/۵}{۱۰۰}) = ۳۸$$

$$N_{۲۲} = n \times V_{۲۲}(۱ - \%\Delta V_{۲})$$

$$N_{۲۲} = ۳/۱۸ \times ۲۴ \times (۱ + \frac{۳/۵}{۱۰۰}) \cong ۷۷ \text{ دور}$$

$$N_{۲۳} = n \times V_{۲۳}(۱ - \%\Delta V_{۲}) = ۳/۱۸ \times ۱۱۰ \times (۱ + \frac{۳/۵}{۱۰۰}) = ۳۶۲ \text{ دور}$$

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

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

$$I_{۱۱} = \frac{P_{۱}}{V_{۱۱}} = \frac{۹۷}{۲۲۰} = ۰/۴۴A$$

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

$$I_{۱۲} = \frac{P_{۱}}{V_{۱۲}} = \frac{۹۷}{۳۸۰} = ۰/۲۵A$$

چگالی جریان برای قدرت ۵۰ تا ۱۰۰ ولت آمپر برابر با $I = ۳/۵ \frac{A}{mm^{۲}}$ است. لذا قطر سیم قسمت اول برابر می شود با :

$$d_{۱۱} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۱۱}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۴۴}{۳/۵}} = ۰/۴۰mm$$

$$d_{۱۲} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۱۲}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۲۵}{۳/۵}} = ۰/۳۰mm$$

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 $۳/۵ \frac{A}{mm^۲}$ است ؛ بنابراین، قطر سیم برای قسمت اول سیم‌پیچ که هرسه جریان از آن عبور می‌کند، برابر است با :

$$d_{۲۱} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۱} + I_{۲۳} + I_{۲۳}}{J}}$$

$$d_{۲۱} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۱ + ۰/۸ + ۰/۵}{۳/۵}} = ۰/۹۱mm$$

در اینجا نیز با تقریب سیم ۰/۹۰ را انتخاب می‌کنیم. از قسمت دوم سیم‌پیچ ثانویه مجموع جریان $I_{۲۳}$ و $I_{۲۳}$ عبور می‌کند. بنابراین قطر آن برابر است با :

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۳} + I_{۲۳}}{J}}$$

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۸ + ۰/۵}{۳/۵}} = ۰/۶۸mm$$

برای این قسمت نیز با توجه به جدول اندازه‌های قطر سیم استاندارد ۰/۷۰ را انتخاب می‌کنیم. از قسمت سوم سیم پیچ ثانویه، فقط جریان $I_{۲۳}$ عبور می‌کند. بنابراین قطر آن برابر است با :

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۳}}{J}}$$

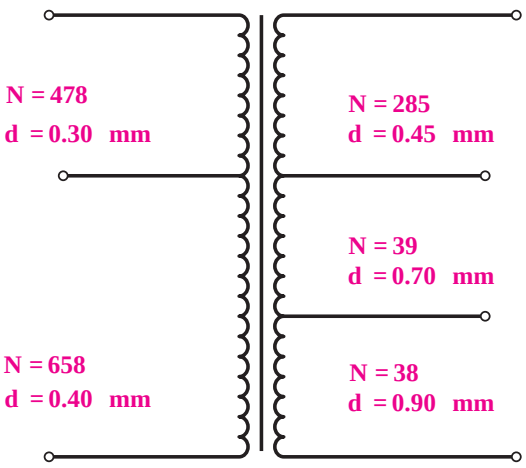
$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۵}{۳/۵}} = ۰/۴۳mm$$

این مقدار از جدول mm ۰/۴۵ به‌دست می‌آید.

مرحلهٔ 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 سیم‌ها و قطر آن، باید سطح پنجرهٔ لازم برای آنها را به‌دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد. سطح



شکل ۴۴ــ ترانسفورماتور با چندسر ورودی و چند سر خروجی

مورد نیاز برای هر سیم‌پیچ به قرار زیر است.

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

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

به همین ترتیب F_{21} و F_{22} و F_{23} به‌دست می‌آید و در نتیجه سطح کل مورد نیاز برابر است با

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

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

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

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

با مراجعه به جدول ابعاد هسته ورق (EI78) که پنجرهٔ آن دارای ابعاد $e=3/9$ و $g=1/3$ سانتی‌متر است، به‌دست می‌آید.

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

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

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

مثال ۶:

ترانسفورماتور تک فاز با ولتاژهای اولیه ۳۸۰V و ۲۲۰V و ولتاژهای ثانویه ۱۲V و۵A و۶ ولت ۱A که سیم‌پیچ‌های آن مستقل از هم بوده و هم زمان مورد استفاده قرارمی‌گیرد، مورد نیاز است. هسته این ترانسفورماتور از ورق‌های آب دیده با چگالی ۱۰۰۰۰ گوس و ضخامت ورق‌ها ۰/۵ میلی‌مترساخته می‌شود. فرکانس شبکه ۵۰ هرتز است. تمام مراحل طرح این ترانسفورماتور را انجام دهید.

حل:

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

$P_2=60+6=66$ کار هم‌زمان سیم‌های ثانویه

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

$$N_V = \frac{۴۵}{S} = \frac{۴۵}{۹/۷۵} = ۴/۶۲$$

$$N_{۱۱} = ۲۲۰ \times ۴/۶۲ = ۱۰۱۶ \text{ دور} \rightarrow N_{۱۲} = N_{۱۱} + (۳۸۰ - ۲۲۰) \times ۴/۶۲ = ۱۰۱۶ + ۷۳۹/۲ = ۱۷۵۵ \text{ دور}$$

$$P = ۵ \rightarrow \Delta V = ۰/۲$$
$$P = ۱۰ \rightarrow \Delta V = ۰/۱۷$$

چون $P = ۶V.A$ در جدول نیست از تناسب افت ولتاژ آن را به‌دست می‌آوریم:

$$۱۰ - ۵ = ۵ \rightarrow ۰/۲ - ۰/۱۷ = ۰/۰۳$$

$$۶ - ۵ = ۱ \rightarrow \frac{۵}{۱} = \frac{۰/۳}{x} \rightarrow X = \frac{۱ \times ۰/۰۳}{۵} = ۰/۰۰۶ \rightarrow \Delta V = ۰/۲ - ۰/۰۰۶ = ۰/۱۹۴$$
$$P = ۱۰ \rightarrow \Delta V = ۰/۱۲$$
$$P = ۲۵ \rightarrow \Delta V = ۰/۱۰$$
$$۷۵ - ۵۰ = ۲۵ \rightarrow \Delta V = ۰/۱۲ - ۰/۱۰ = ۰/۰۲$$

$$۶۶ - ۵۰ = ۱۶ \rightarrow \Delta V = X \rightarrow \frac{۲۵}{۱۶} = \frac{۰/۰۲}{X} \rightarrow X = \frac{۱۶ \times ۰/۰۲}{۲۵} = ۰/۰۱۲۸$$
$$\Delta V = ۰/۱۲ - ۰/۰۱۲۸ = ۰/۱۰۷۲$$

$$N_{۲۱} = ۶ \times ۴/۶۲ \times (۱ + ۰/۱۹۴) = ۳۳ \text{ دور}$$
$$N_{۲۲} = ۱۲ \times ۴/۶۲ \times (۱ + ۰/۱۰۷۲) = ۶۲ \text{ دور}$$

$$P_۲ = ۶۶V.A \rightarrow P_۱ = \frac{P_۲}{\eta} = \frac{۶۶}{۰/۹} = ۷۳V.A \rightarrow I_۱ = \frac{۷۳}{۲۲۰} = ۰/۳۳A$$ حداکثر جریان

$$J = ۳/۵ \frac{A}{mm^۲} \text{ از جدول} \rightarrow A_{۱۱} = \frac{۰/۳۳}{۳/۵} = ۰/۰۹mm^۲ \rightarrow d_{۱۱} = ۱/۱۳\sqrt{۰/۰۹} = ۰/۳۴mm$$

فضای موجود در EI۸۴ $= \frac{۵۱/۱ - ۳۲/۶}{۲} \times ۴۱ = ۳/۷۹$

بنابراین EI۸۴ برای ترانسفورماتور فوق مناسب نمی‌باشد و قرقره مناسب EI۹۶a می‌باشدکه دارای ابعاد زیر است.

$$a = ۶۲/۴mm \quad b = ۳۲/۶mm \quad h = ۳۷/۵mm \quad L = ۵۰mm$$

$$A_F = \frac{۶۲/۴ - ۳۲/۶}{۲} \times ۵۰ = ۷۴۵mm^۲ = ۷/۴۵cm^۲ > ۶/۲۵$$ کفایت سطح را دارد

کار عملی ۳

هدف : ساخت ترانسفورماتور تک فازدارای چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک

وسایل ومواد لازم

- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI۴۸ یک عدد
- ورق EI۶۶ به ضخامت۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- سیم لاکی ۰/۲۰mm و ۰/۸۰mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- دم باریک
- سیم افشان ۱/۵ و ۱
- وارنیش نمره ۱،۲،۲/۵
- هویه ودریل
- لحیم وژاک (جای فیش) چهارعدد
- کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و ۰/۱۵
- چسب نواری
- کاغذ سنباده

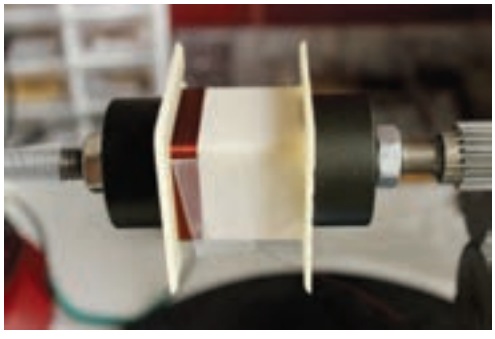
۱ـ با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب باچگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دورسیم‌پیچ‌ها، قطر سیم‌های اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به‌دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به پیچیدن آن نمایید.

$V_{11}=۲۲۰V$, $V_{12}=۱۱۰V$, $V_{21}=۶V$, $V_{22}=۹V$, $V_{23}=۱۲V$

$I_{21}=۵A$, $I_{22}=۴A$, $I_{23}=۳A$, $f=۵۰Hz$, $B=۱۲۰۰۰Gs$

۲ـ 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 سیم‌پیچی کنید .

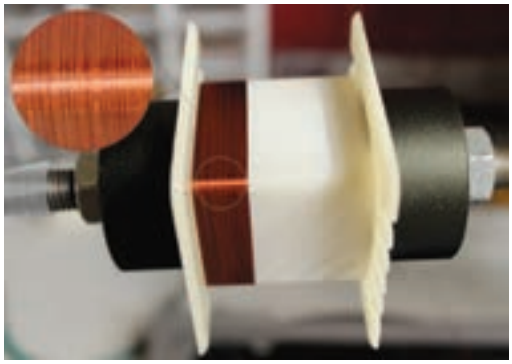
۳ـ سیم‌پیچ اولیه را مرتب روی قرقره بپیچید و پس از هدایت سرسیم‌ها به ژاک مربوطه روی آن را با کاغذ پرشمان ۰/۱۵یا۰/۱بپوشانید و با چسب کاغذی محکم کنید سپس سیم ثانویه را با تعداد



شکل ۴۵ـ سیم پیچی اولیه

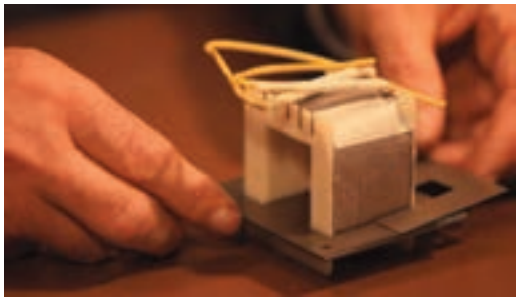
دور لازم بپیچید و پس از هدایت سرهای سیم ثانویه ژاک مربوطه، روی سیم‌ها را با کاغذ پرشمان ۰/۲۰ پوشانده با چسب محکم کنید.

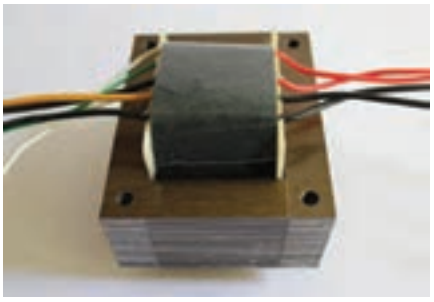
۴ـ با راهنمایی مربی کارگاه ورق های EI را مطابق شکل ۴۷ به‌صورت یک در میان در داخل قرقره قرار دهید و درخاتمه پیچ ورق‌ها را محکم کنید.



شکل ۴۶ـ سیم پیچی منظم

۵ـ پس از سیم‌پیچی با نظارت مربی خود اولاً : ولتاژ اولیه و ثانویه را به‌ازای یک بار مناسب اندازه‌گیری کنید.



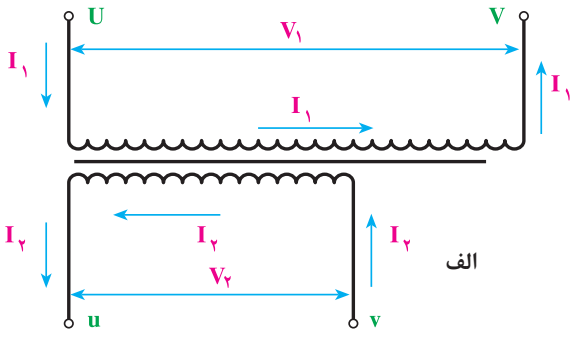


شکل ۴۷ـ هسته چینی

۶ـ 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

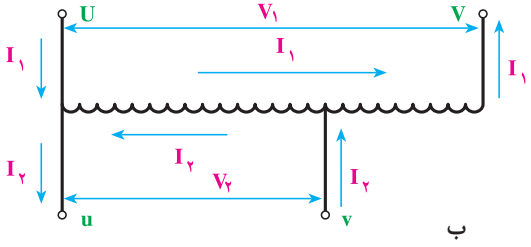
در مواردی که از ترانسفورماتور به‌عنوان وسیله‌ای حفاظتی (ترانسفورماتور جداکننده و ترانسفورماتور ولتاژ کم) استفاده نمی‌شود یا اصولاً الزامی برای جدا بودن سیم پیچ‌های اولیه و ثانویهٔ آن وجود ندارد، مانند ترانسفورماتورهای راه‌اندازی موتورهای آسنکرون می‌توان از اتوترانسفورماتور استفاده کرد. به‌علت صرفه‌جویی در حجم آهن هسته و همچنین مقدار سیم مصرفی، به این ترانسفورماتورها، ترانسفورماتور صرفه‌ای نیز گفته می‌شود.



الف

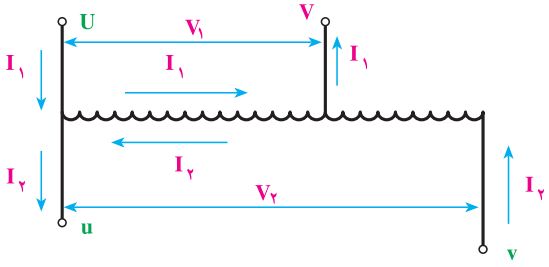
تفاوت ترانسفورماتورهای معمولی با اتوترانسفورماتور

در این است که ترانسفورماتورهای معمولی دو سیم پیچ اولیه و ثانویهٔ مجزا از یکدیگر دارند اما در اتوترانسفورماتور سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ کمتر حذف شده است و به‌جای آن از قسمتی از سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ بیشتر استفاده می‌شود.



ب

شکل ۴۸ـ ترانسفورماتور معمولی



شکل ۴۹ـ اتو ترانسفورماتور و ترانسفورماتور

در شکل ۴۸ (الف) یک ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه و در شکل ۴۸ (ب) همان ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مشترک نشان داده شده است. در این شکل، ولتاژ اولیه از ولتاژ خروجی بیشتر است. در شکل ۴۹(پ) اتوترانسفورماتوری دیده می‌شود که ولتاژ ثانویهٔ آن از ولتاژ اولیه‌اش بیشتر است. در ترانسفورماتورهای صرفه‌ای، دو سیم‌پیچ از نظر الکتریکی با یکدیگر در ارتباط هستند و لذا نمی‌توان از آنها به‌عنوان ترانسفورماتور حفاظت حتی در ولتاژهای کم استفاده کرد.

قدرتی که هستهٔ آهن ترانسفورماتورهای صرفه‌ای بر مبنای آن حساب می‌شود با قدرت خروجی یا ورودی تفاوت دارد و از آنها کمتر است. محاسباتی که در اینجا بیان می‌شود تنها برای به‌دست آوردن قدرتی است که برای محاسبه هسته باید از آن استفاده کرد. به این قدرت در اصطلاح «قدرت تیپ» ترانسفورماتور می‌گویند و آن را با P_T یا P_{ST} نشان می‌دهند. قدرت خروجی ترانسفورماتور صرفه‌ای برابر است با $P_2 = V_2 \times I_2$ که آن را می‌توان با قدرت ورودی تقریباً برابر گرفت.

همان‌طور که در شکل ۴۸ (ب) مشاهده می شود، از قسمت v_u سیم‌پیچ که به بار وصل می‌شود و دارای اختلاف پتانسیل V_2 است جریان I_2-I_1 و در جهت I_2 عبور می‌کند. درحالی که از قسمت v ـ V که دارای اختلاف پتانسیل $V_1 - V_2$ است، جریان I_1 عبور می‌کند.

بنابراین قسمت v_u سیم‌پیچ که از آن به‌عنوان ثانویه نیز استفاده می‌شود، دارای ظاهری $V_2 I_2 - I_1$ و باقی‌مانده سیم پیچ یعنی قسمت u_V دارای قدرت ظاهری $(V_1-V_2) \times I_1$ است. این دو قدرت با یکدیگر برابرند و هستهٔ آهن ترانسفورماتور بر مبنای یکی از آنها محاسبه می‌شود. بنابراین :

$$P_{ST} = V_2(I_2 - I_1) = I_1(V_1 - V_2)$$

$$P_{S2} = V_2 \times I_2$$

$$\frac{P_{ST}}{P_{S2}} = \frac{V_2(I_2 - I_1)}{V_2 \times I_2} \Rightarrow \quad P_{ST} = P_{S2}\frac{(I_2 - I_1)}{I_2}$$

با استفاده از رابطهٔ $P_2 \cong P_1 = V_1 \times I_1$ نیز می‌توان نوشت:

$$\frac{P_{ST}}{P_{S۲}}=\frac{I_۱(V_۱-V_۲)}{V_۱\times I_۱}\Rightarrow P_{ST}=P_{S۲}\frac{(V_۱-V_۲)}{V_۱}$$

اگر $V_۱$ از $V_۲$ بزرگتر باشد (مانند شکل الف) رابطهٔ بالا را به‌صورت زیر می‌توان نوشت.

$$P_{ST}=P_{S۲}\frac{(V_۱-V_۲)}{V_۱}\Rightarrow P_{ST}=P_{S۲}\frac{(V_H-V_L)}{V_H}$$

اگر $V_۱$ از $V_۲$ کوچک‌تر باشد (مانند شکل ب) رابطهٔ بالا به‌صورت زیر درمی‌آید.

$$P_{ST}=P_{S۲}\frac{V_۲-V_۱}{V_۲}\Rightarrow P_{ST}=P_{S۲}\frac{V_H-V_L}{V_H}$$

یعنی در ترانسفورماتور صرفه‌ای، 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 می‌یابد. درنتیجه، برای ساختن ترانسفورماتورهایی که تفاوت ولتاژ اولیه و ثانویهٔ آنها کم است، استفاده از این روش بسیار باصرفه خواهد بود ؛ زیرا علاوه بر قیمت ارزان، تلفات الکتریکی آن نیز از ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه کمتر خواهد شد.

با مشخص کردن قدرت تیپ ترانسفورماتور و محاسبهٔ سطح مقطع آهن از روی آن، سایر محاسبات را می‌توان براساس روش گذشته انجام داد. با این تفاوت که در اینجا برای پیدا کردن چگالی جریان از جدول توان به جای $P_۲$، قدرت تیپ P_T، درنظر گرفته می‌شود.

مثال ۷: در یک اتو ترانسفورماتور با ولتاژ خروجی ۱۵۰ ولت قدرت ۳ کیلوولت آمپر و ولتاژ ورودی ۲۲۰ ولت، قدرتی که باید برای محاسبهٔ سطح مقطع آهن (قدرت تیپ) به‌دست آید برابر است با :

$$P_{S۲}=۳\ KVA=۳۰۰۰\quad VA$$

$$P_{ST}=P_{S۲}(\frac{V_۱-V_۲}{V_۱})\quad\Rightarrow\quad P_{ST}=۳۰۰۰(\frac{۲۲۰-۱۵۰}{۲۲۰})=۹۵۴$$

جریان‌های اولیه و ثانویهٔ آن نیز با فرض $P_{S_۱}=P_{S_۲}$ برابر است با :

$$I_۱=\frac{P_{S۱}}{V_۱}=\frac{۳۰۰۰}{۲۲۰}=۱۳/۶۳\quad A$$

$$I_۲=\frac{P_{S۲}}{V_۲}=\frac{۳۰۰۰}{۱۵۰}=۲۰\quad A$$

بدین ترتیب، این اتو ترانسفورماتور دارای سطح مقطع آهن

$$S_{fe}=S=۱/۲\sqrt{۹۵۴}=۳۷\quad cm^۲$$

است و سطح مقطع سیم قسمت مشترک سیم پیچ اولیه و ثانویه باید بر مبنای جریان ۶/۳۷= (۱۳/۶۳ـ ۲۰) آمپر و قسمت بعدی که فقط جریان اولیه از آن عبور می‌کند برمبنای ۱۳/۶۳ آمپر محاسبه می‌شود.

با دقت در این مثال، متوجه می‌شوید که استفاده از این نوع ترانسفورماتور خصوصاً درحالتی که اختلاف ولتاژ

اولیه و ثانویه کم باشد، تا چه حد مقرون به‌صرفه است. برای ساختن ترانسفورماتورهای قابل تنظیم نیز از این روش استفاده می‌شود.

فیلم

نمایش اتو ترانسفورماتور از لحظه ″۲۶:۴۵ تا ″۲۸:۲۳

تعیین دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

برای محاسبه تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه در اتوترانسفورماتورها مشابه ترانس‌های معمولی از همان روابط قبلی می‌توان استفاده کرد.

مثال ۸: اتوترانسفورماتوری به مشخصات ۱۱۰V_۲۲۰V به جریان خروجی ۱۰ آمپر مورد نیاز است این دستگاه در شبکه با فرکانس ۵۰ هرتز کار می‌کند و هسته آن از جنس مرغوب با چگالی میدان ۱۲۰۰۰ گوس ساخته می‌شود، مراحل طراحی آن را انجام دهید.

حل:

$$V_۱ = ۲۲۰V \ , \ V_۲ = ۱۱۰V \ , \ B_m = ۱۲۰۰۰Gs \ , \ f = ۵۰Hz$$

$$P_۲ = V_۲ \times I_۲ = ۱۱۰ \times ۱۰ = ۱۱۰۰ \quad V.A$$

$$P_T = \frac{V_H - V_L}{V_H} \times P_۲ = \frac{۲۲۰ - ۱۱۰}{۲۲۰} \times ۱۱۰۰ = ۵۵۰ \quad V.A$$

$$S = ۱/۲\sqrt{P_T} = ۱/۲\sqrt{۵۵۰} = ۲۸/۱۴ cm^۲$$

$$N_V = \frac{۳۷/۵}{S} = \frac{۳۷/۵}{۲۸/۱۴} = ۱/۳۳۲ \quad \text{دور بر ولت}$$

$$N_۱ = V_۱ \times N_V = ۲۲۰ \times ۱/۳۳۲ = ۲۹۳ \quad \text{دور}$$

جدول افت ولتاژ در اتوترانسفورماتورها

توان تیپ VA	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
ΔV 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

$N_2 = V_2 \times N_V \times (1+\Delta V) = 110 \times 1/332 \times (1+0/03) = 151$ دور

$N_S = N_1 - N_2 = 293 - 151 = 142$ سیم‌پیچ سری

محاسبه قطر سیم

$J = 2 \frac{A}{mm^2}$ چگالی جریان ازجدول

به‌علت ناچیز بودن افت ولتاژ در اتوترانسفورماتورها آنها را تقریباً ایده‌آل فرض می‌کنند.

$$I_2 = 10\ A \quad \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \rightarrow I_1 = \frac{V_2}{V_1} \times I_2 = \frac{110}{220} \times 10 = 5\ A$$

$$I_c = I_2 - I_1 = 10 - 5 = 5\ A$$

$$P_1 = P_2 = 1100 V.A$$

جریان سیم مشترک و سیم‌پیچ سری با هم برابر هستند؛ بنابراین قطر سیم آنها برابر است.

$$A_S = A_C = \frac{5}{J} = \frac{5}{2} = 2/5 mm^2 \rightarrow d_s = d_c = 1/13\sqrt{2/5} = 1/78 mm = 1/80 mm$$

تعیین ابعاد قرقره

EI نوع $< 30\sqrt{S} = 30\sqrt{28/14} = 159 mm \rightarrow$ استاندارد $EI = EI150 \rightarrow f = 50 mm$

ضخامت هسته $\frac{S}{f} = \frac{2814}{50} = 56/28 \rightarrow$ ضخامت ظاهری هسته $= 1/1 \times 56/28 = 62/9 mm$

بررسی فضای لازم

از جدول مشخصات سیم‌های لاکی مشخص است که در سانتی‌متر مربع ۱۸ دور سیم ۱/۸۰ جای می‌گیرد.

$$A_1 = \frac{151}{18} = 8/39 cm^2 \rightarrow A_2 = \frac{141}{18} = 7/83 cm^2 \rightarrow A_F = 1/35(8/39 + 7/83) = 21/9 cm^2$$

کار عملی ۴

نیمه تجویزی

هدف : ساخت اتوترانسفورماتور تک فاز

وسایل و مواد لازم

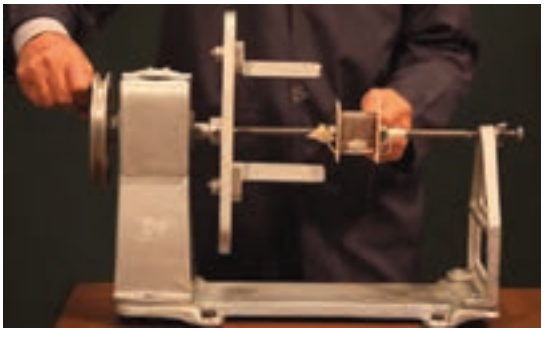
- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI۴۸ یک عدد
- ورق EI۶۶ به ضخامت ۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- سیم لاکی ۰/۰۲mm و ۰/۸۰mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- دم باریک
- سیم افشان ۱/۵ و ۱
- وارنیش نمره ۲،۲/۵، ۱
- هویه و دریل
- لحیم و ژاک (جای فیش) چهارعدد
- کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و۰/۱۵
- چسب نواری
- کاغذ سنباده

۱ـ با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب با چگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دورسیم‌پیچ‌ها، قطر سیم‌های اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به‌دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به‌پیچیدن آن نمایید.

$$V_{11}=۱۸۰V \quad , \quad V_{12}=۲۲۰V \quad , \quad I_۲=۸A$$

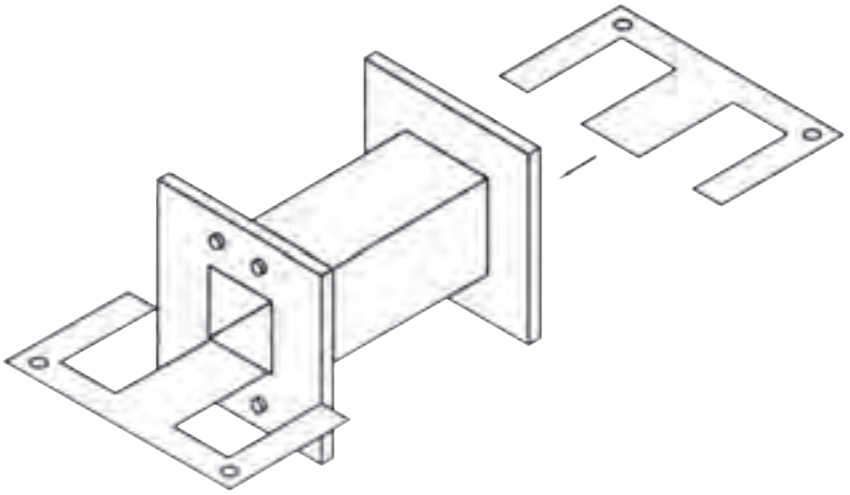
$$V_{21}=۲۲۰V \quad , \quad V_{22}=۲۴۰V \quad , \quad f=۵۰Hz \quad , \quad B=۱۲۰۰۰Gs$$

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



شکل ۵۰ـ سیم پیچی با نوع دیگر بوبین پیچ

۳ـ سیم‌پیچ اولیه را مرتب روی قرقره بپیچید و پس از هدایت سرسیم‌ها به ژاک مربوطه روی آن را با کاغذ پرشمان ۰/۱۵ یا ۰/۱بپوشانید 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 ۵۱ـ جا زدن هسته

۴ـ با راهنمایی مربی کارگاه ورق‌های EI را مطابق شکل به‌صورت یک در میان در داخل قرقره قرار دهید و در خاتمه پیچ ورق‌ها را محکم کنید.
۵ـ پس از سیم‌پیچی با نظارت مربی خود ولتاژ اولیه و ثانویه را به‌ازای یک بار مناسب اندازه‌گیری کنید.
۶ـ آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور ساخته شده را انجام داده و تعیین مقدار تلفات هسته و سیم‌پیچی راندمان ترانسفورماتور را نیز محاسبه کنید.

ارزشیابی شایستگی سیم پیچی ترانسفورماتور

شرح کار:
محاسبات ترانسفورماتور یک‌فاز
سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز یک ورودی، یک خروجی
سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز یک ورودی، چند خروجی
سیم‌پیچی اتوترانسفورماتور

استاندارد عملکرد: سیم پیچی ترانسفورماتور با رعایت موارد ایمنی در کار و استفاده از ابزار

شاخص‌ها:
سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز (دو سر وچند سرخروجی)
سیم‌پیچی اتوترانسفورماتور
استفاده صحیح از ابزار برای اتصالات و رعایت ایمنی

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: فضای مناسب - ابزار مناسب - مدت زمان متناسب با حجم کار
ابزار و تجهیزات: ابزار سیم پیچی- سیم لاکی - قرقره وهسته - کولیس ومیکرومتر- مولتی متر- میز تست و اندازه‌گیری

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز یک ورودی ـ یک خروجی	۲	
۲	سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز یک ورودی ـ چند خروجی	۱	
۳	سیم پیچی اتوترانسفور ماتور	۱	
	شایستگی های غیرفنی، 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

سیم‌پیچی الکتروموتور سه‌فاز

واحد یادگیری ۴

سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز

آیا می‌دانید:

- کاربرد الکتروموتورهای سه‌فاز چیست؟
- اجزای الکتروموتورهای سه‌فاز کدام‌اند؟
- میدان دوّار چگونه تشکیل می‌شود؟
- اساس کار موتورهای آسنکرون چیست؟
- بازپیچی الکتروموتورهای سه‌فاز از چه مراحلی 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

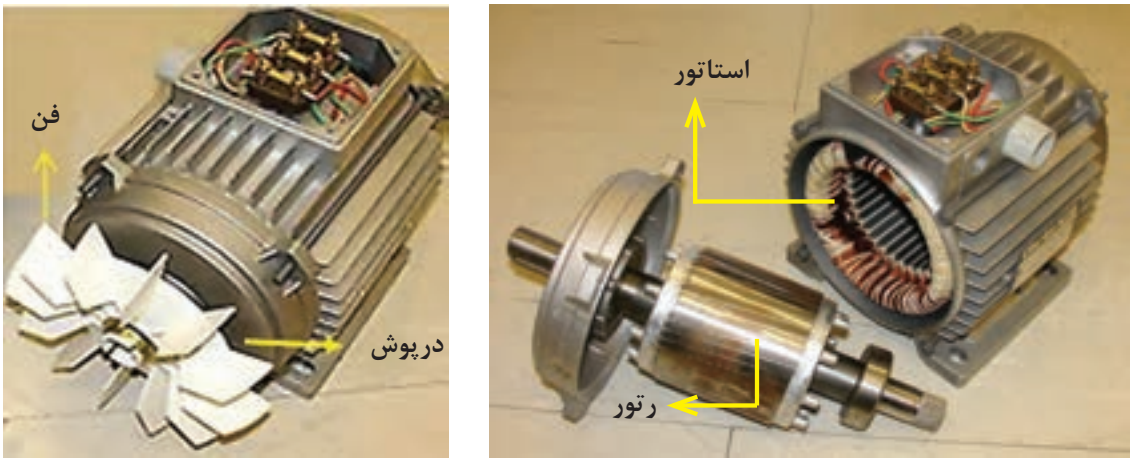
موتورهای آسنکرون سه‌فاز القایی، بخش اعظم انرژی مکانیکی کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی را تأمین می‌کنند، بالابرها، آسیاب‌ها، تسمه‌نقاله‌ها، فن‌ها و نظایر آن از این دسته است، الکتروموتورها از دو جزء اصلی ساکن (استاتور) و متحرک (رو تور) تشکیل می‌شوند. این الکتروموتورها براساس تولید حوزه دوار مغناطیسی در سطح استاتور و القای جریان الکتریکی، در مفتول‌های روتور توسط حوزه دوار ایجاد شده با برق سه‌فاز، 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.

فیلم

مقدمه آشنایی الکتروموتورها از لحظه ″۳۰′:۳۰ تا ″۳۱′:۳۰

ساختمان داخلی موتورهای آسنکرون

قسمت متحرک یا رتور با یک فاصله هوایی کم توسط در پوش‌ها و یاتاقان‌ها در درون قسمت ثابت یا استاتور نصب می‌شود. (شکل ۱)



شکل ۱ــ ساختمان یک موتور آسنکرون

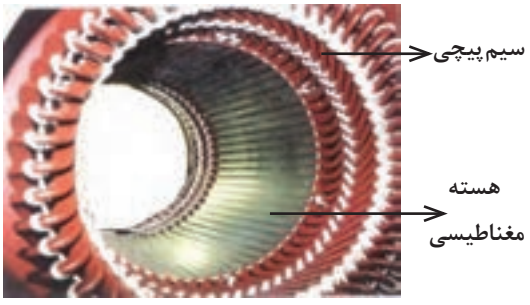
استاتور

استاتور از ورقه‌های آهن سیلیس‌دار ساخته می‌شود (اصطلاحاً به این نوع ورق‌ها دینامو‌بلش گفته می‌شود). این

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. باعبور 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.

شکل ۲

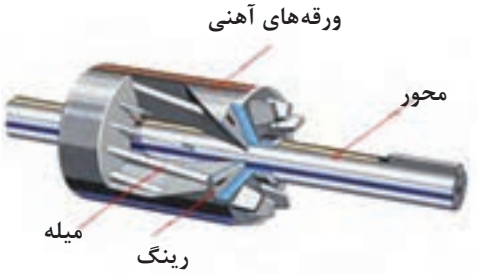


شکل ۳ـ استاتور موتورهای سه‌فاز

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، قرارمی‌گیرد. 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 رینگی) ساخته می‌شوند (شکل ۴).

روتور قفسی



اجزای داخلی روتور قفسی

شکل ۴ـ انواع روتور موتورهای سه‌فاز

تحقیق

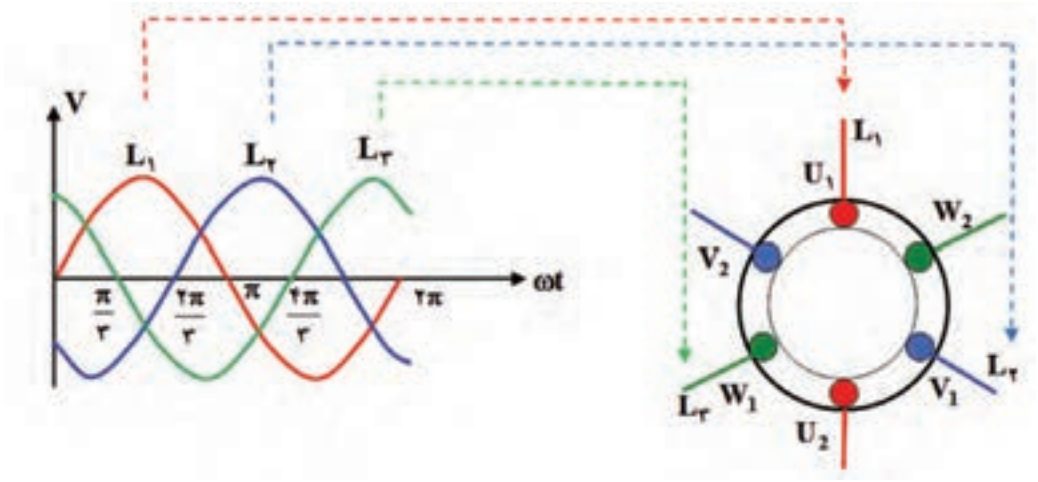
تحقیق کنید فرایند ساخت روتور قفسی چگونه است؟

فیلم

اجزای موتور از ″۳۱′:۳۰ تا ″۳۲′:۴۵

چگونگی ایجاد میدان دوار مغناطیسی در استاتور موتورهای سه‌فاز آسنکرون

استاتور موتورهای سه‌فاز با برق متناوب سه‌فاز تغذیه می‌شوند. فازهای شبکه سه‌فاز متناوب با یکدیگر ۱۲۰درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند. نمودار فازهای L_1 , L_2 , L_3 درشکل ۵ نشان داده شده است. فرض کنید فاز L_1 سیم‌پیچ U_2 , U_1، فاز L_2 سیم‌پیچ V_2 , V_1 و فاز L_3 سیم‌پیچ W_2 , W_1 را تغذیه می‌کنند. در چند موقعیت برق متناوب سه‌فاز، جهت جریان سیم‌پیچ‌ها 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.

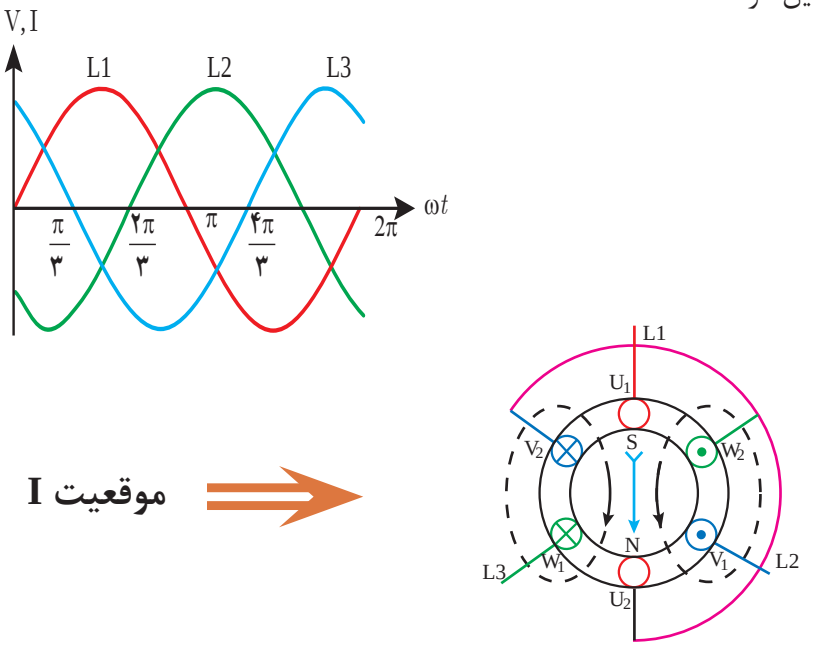


شکل ۵ــ تغذیه موتور سه‌فاز با برق سه‌فاز

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 باعلامت ⊗ نشان داده و در زمان‌هایی که جریان در نیم سیکل 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 باعلامت ⊙ نشان داد.

در موقعیت I ($\omega t = 0°$)، مقدار جریان فاز L_1 برابر صفر در نتیجه از سیم‌پیچ U_2 , U_1 جریانی عبور نمی‌کند. جریان فاز L_3 در نیم‌سیکل مثبت بوده و جریان از سر سیم‌پیچ سوم یعنی وارد (W_1) و از انتهای سیم‌پیچ (W_2) خارج می‌شود. پس ورودی W_1 علامت ⊗ و خروجی W_2 علامت ⊙ خواهد داشت. در همین موقعیت فاز L_2 در نیم‌سیکل منفی است، در نتیجه جریان الکتریکی از سر سیم‌پیچ دوم (V_1) خارج شده و

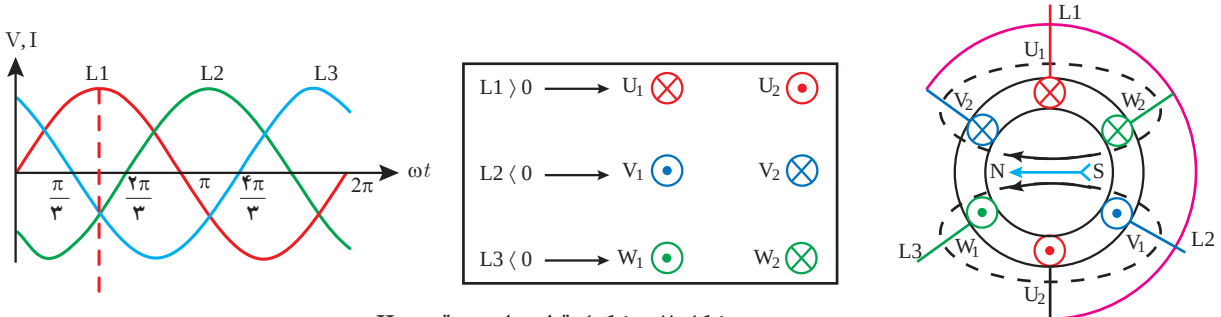
از انتهای سیم‌پیچ (V_2) وارد می‌شود، پس ورودی V_1 علامت ⊙ و خروجی V_2 علامت ⊗ خواهد داشت. در انتها باید با توجه به قاعده دست راست جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌هایی که دارای یک جهت جریان هستند را مشخص کرده و مطابق شکل۶ میدان مغناطیسی پدید آمده در فضای داخلی استاتور را تعیین کرد.



شکل ۶ــ تشکیل قطب‌ها در موقعیت I

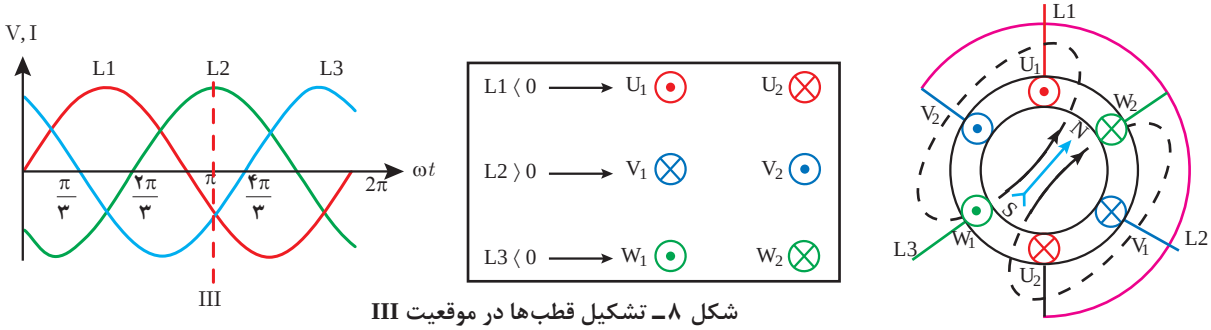
برای خلاصه‌نویسی تحلیل وضعیت میدان مغناطیسی در موقعیت‌های مختلف این تحلیل را به شکل خلاصه‌تری نیز می‌توان نوشت. در اینجا سایر موقعیت‌ها به این شکل بیان شده است.

موقعیت II ($\omega t = ۹۰°$) در شکل ۷ نشان داده شده است.



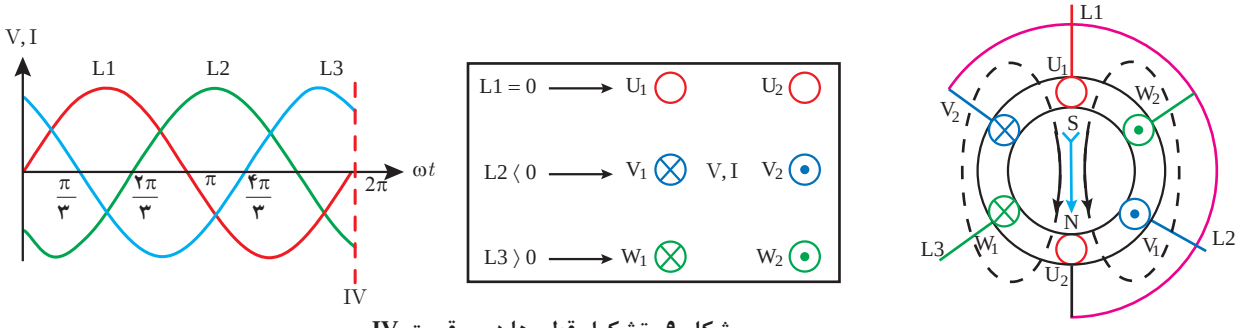
شکل ۷ــ تشکیل قطب‌ها در موقعیت II

موقعیت III ($\omega t = ۲۱۰°$) در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸ــ تشکیل قطب‌ها در موقعیت III

موقعیت IV ($\omega t = ۳۶۰°$) در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹ــ تشکیل قطب‌ها در موقعیت IV

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 فازالکتریکی ۱۸۰ درجه الکتریکی وجود دارد اگر موتور دو قطب داشته باشد قطب‌های N , S در یک سیکل یک دورکامل سطح استاتور را می‌پیمایند و اگر موتور چهار قطب داشته باشد با وجود ۳۶۰ درجه الکتریکی قطب‌های N , S درسطح استاتور نیم‌دور یعنی ۱۸۰ 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 دو قطب جابه‌جایی الکتریکی
۹۰ درجه و جابه‌جایی مکانیکی ۹۰ درجه

موتور چهار قطب جابه‌جایی الکتریکی
۹۰ درجه و جابه‌جایی مکانیکی ۴۵ درجه

شکل ۱۰ـ با افزایش قطب‌ها سرعت موتور کاهش می‌یابد.

فعالیت

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 می‌گردید؟ چرا؟ اگر تعداد صندلی و افراد بیشتر شود چه اتفاقی در زمان این جابه‌جایی رخ می‌دهد؟

با توجه به بررسی مطالب اشاره شده می‌توان نتیجه گرفت که سرعت میدان مغناطیسی دوار در هر ثانیه از رابطه $N_S = \frac{f}{p}$ به‌دست می‌آید. N_S را سرعت سنکرون نیز می‌گویند. در صنعت سرعت سنکرون بر حسب دقیقه بیان می‌شود لذا رابطه آن را به صورت $N_S = \frac{f \times ۶۰}{p}$ دور در دقیقه r.p.m[1] بیان می‌کنند.

f ـ فرکانس

p ـ تعداد نصف قطب‌ها (تعداد زوج قطب)

سرعت سنکرون $N_S = \frac{f \times ۶۰}{p}$ r.p.m

مثال ۱ـ ۴ استاتور موتور سه‌فاز آسنکرون ۶ قطب دارد. سرعت سنکرون آن در فرکانس‌های ۵۰ هرتز و ۶۰ هرتز چند دور در دقیقه است ؟

حل :

$$۲p = ۶ \rightarrow p = ۳ \quad , \quad N_S = \frac{f \times ۶۰}{p}$$

$$f = ۵۰Hz \rightarrow N_S = \frac{۵۰ \times ۶۰}{۳} = ۱۰۰۰ r.p.m$$

$$f = ۶۰Hz \rightarrow N_S = \frac{۶۰ \times ۶۰}{۳} = ۱۲۰۰ r.p.m$$

۱- round per minute

فعالیت

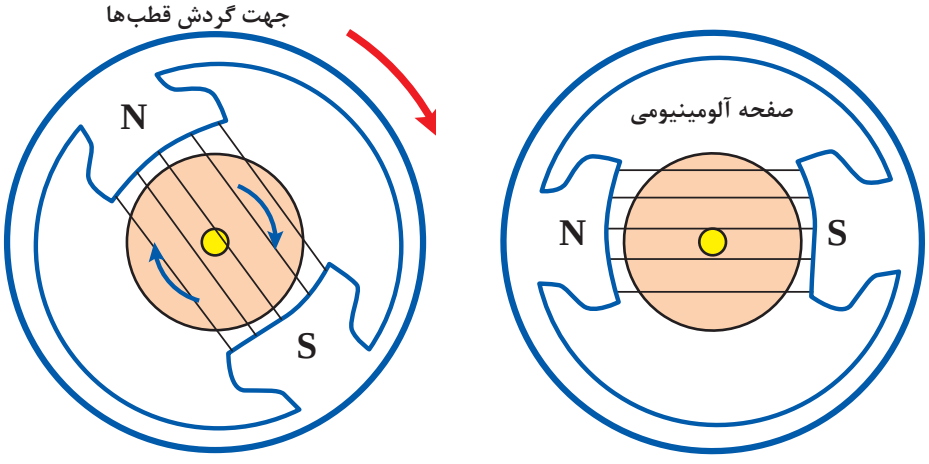
سرعت میدان دوار مولدهای نیروگاه آبی کارون سه استان خوزستان ۱۸۷/۵ r.p.m است. این مولد نیروگاهی چند قطب است؟

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 :

۱ـ جریان داخل صفحه آلومینیومی ازطریق القای مغناطیسی تأمین می‌شود به همین دلیل این موتورها را، موتورهای القایی می‌گویند.

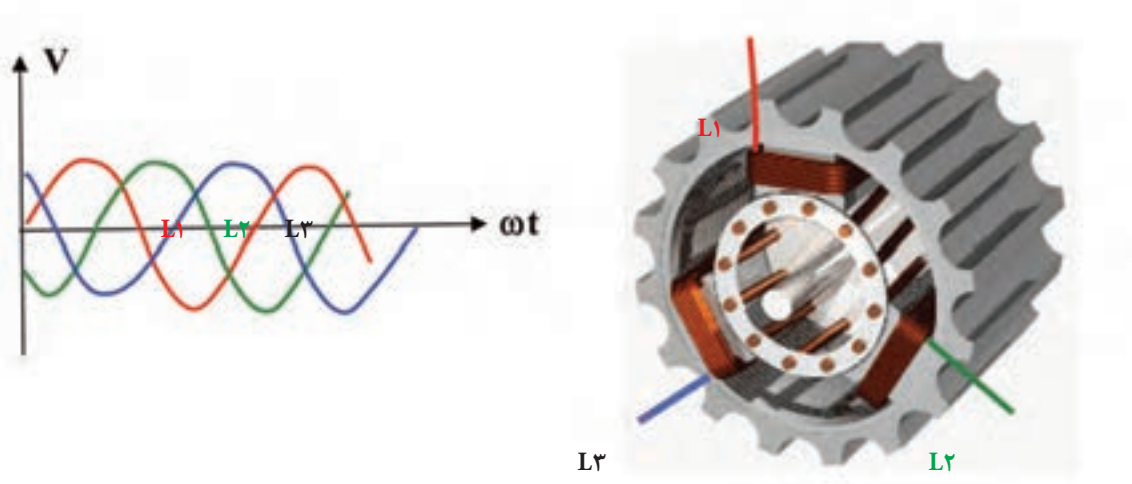
۲ـ صفحه آلومینیومی لازم است اندکی از حوزه دوار عقب بیفتد تا با تغییر شار مواجه شود، در آن جریان القا شود بنابراین سرعت صفحه آلومینیومی با سرعت حوزه دوار برابر نیست به این نوع موتورها موتورهای آسنکرون (غیر هم زمان) می‌گویند.



شکل ۱۱ـ صفحه آلومینیومی

در موتورهای صنعتی جریان متناوب سه‌فاز به سه سیم‌پیچ سه‌فاز متصل می‌شود و یک حوزه دوار در سطح استاتور با سرعت سنکرون $N_S = \frac{f \times ۶۰}{p}$ 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 ۱۲ــ حوزه دوار در سطح استاتور

سرعت لغزش

اختلاف سرعت حوزه دوار (N_S) با سرعت روتور (N_r) را سرعت لغزش می‌گویند و با Δn 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.

$$\%S = \frac{\Delta n}{N_S} \times ۱۰۰ = \frac{N_S - N_r}{N_S} \times ۱۰۰$$

مثال ۲ــ۴

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 :

$$۲p = ۲ \ , \ f = ۵۰Hz \ , \ N_r = ۲۸۵۰ \ r.p.m$$

$$N_S = \frac{f \times ۶۰}{P} = \frac{۵۰ \times ۶۰}{۱} = ۳۰۰۰ r.p.m$$

$$\%S = \frac{N_S - N_r}{N_S} \times ۱۰۰ = \frac{۳۰۰۰ - ۲۸۵۰}{۳۰۰۰} \times ۱۰۰ \quad \rightarrow \%S = \%۵$$

$$S = \frac{N_S - N_r}{N_S} \rightarrow SN_S = N_S - N_r \rightarrow N_r = N_S(۱ - S)$$

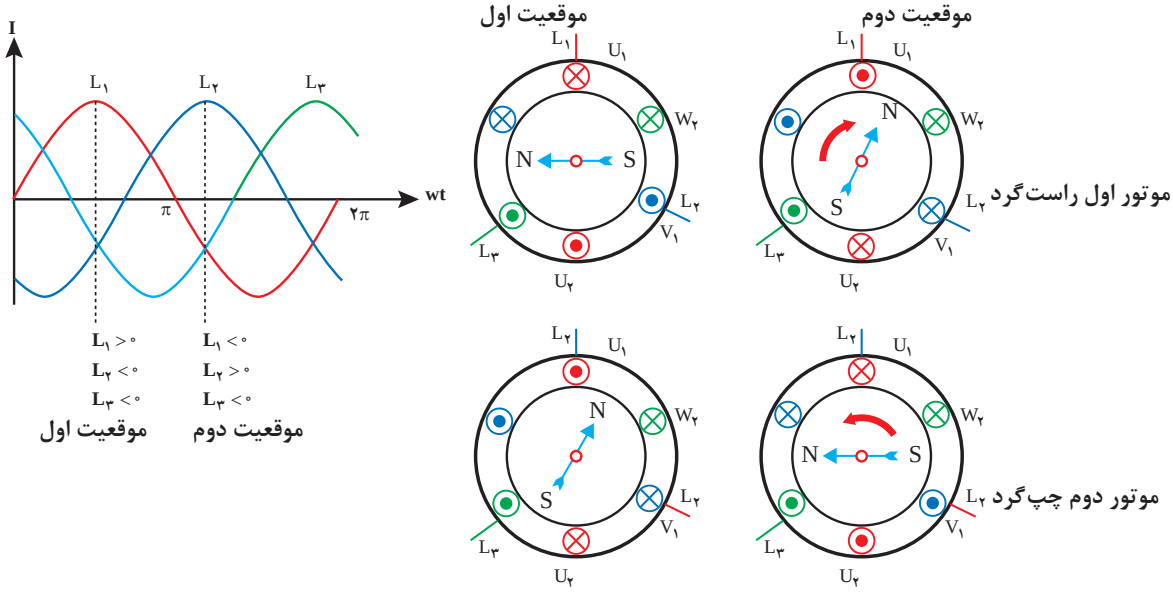
$$N_r = ۳۰۰۰(۱ - ۰/۰۸) = ۲۷۶۰ \ r.p.m$$

فعالیت

تغییرات لغزش (S) و سرعت لغزش (Δn) 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 سیم‌پیچ‌های U_1, V_1, W_1 موتور اول به ترتیب فازهای L_1, L_2, L_3 و سیم‌پیچ‌های U_1, V_1, W_1 موتور دوم به ترتیب فازهای L_2, L_1, 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 درموتورهای سه‌فاز آسنکرون با تعویض جای دوفاز در سیم‌پیچ موتورها، جهت گردش موتورها عوض می‌شود.



شکل ۱۳ــ تغییر جهت گردش موتور سه‌فاز با تعویض دوفاز

سؤال

تغییر جهت چرخش روتور چه کاربردهایی دارد؟ نام ببرید.

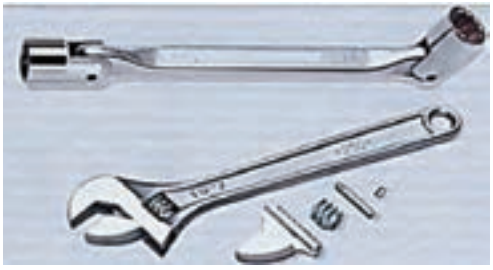
باز کردن الکترو موتورها و استخراج اطلاعات سیم‌پیچی

برای بازکردن الکتروموتورها، استخراج اطلاعات، سیم‌پیچی مجدد و نصب مجدد قطعات آن به ابزارهای خاصی نیاز است که در شکل ۱۴ تصویر چند نمونه از آنها مشاهده می‌شود.

انواع سنبه‌نشان

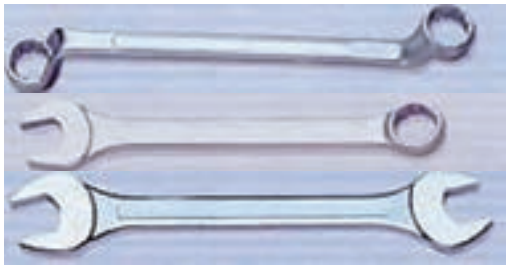
انواع پیچ‌گوشتی

انواع چکش پلاستیکی



آچار فرانسه و بکس زاویه‌دار

انواع پولی‌کش و بلبرینگ‌کش



آچار تخت و رینگی

کولیس ورنیه

میکرومتر (ریزسنج)

شکل ۱۴ــ ابزار مورد نیاز باز کردن الکتروموتورها

خارج کردن و مونتاژ کردن قطعات الکتریکی و مکانیکی در موتورهای الکتریکی

قطعات الکتریکی و مکانیکی ماشین‌های الکتریکی، بیشتر به سه طریق از هم جدا و سپس به همدیگر مونتاژ می‌شوند.

۱ـ روش گرم کردن

۲ـ روش بریدن سیم‌پیچ‌ها و پرچ‌ها

۳ـ روش پرس کردن

علامت‌گذاری قطعات هنگام پیاده‌کردن قطعات مکانیکی توصیه می‌شود، بهتر است بین قسمت‌های جداشونده و

قسمت اصلی مشابه شکل ۱۵ علامت‌گذاری شود تا در مونتاژ این قطعات با تطبیق علائم مشابه بین قسمت اصلی و قطعات جدا شده، سرعت عمل بالا رفته و از جای‌گذاری اشتباه قطعات جلوگیری شود. برای علامت‌گذاری بیشتر از سنبه‌نشان استفاده می‌شود.

شکل ۱۵ــ علامت‌گذاری قطعات جداشونده موتور با سنبه‌نشان

برای دسترسی به اطلاعات الکتروموتور برای سیم‌پیچی موجود یا تغییر در وضعیت سیم‌پیچی یا طراحی سیم‌پیچی جدید، بهتر است برای الکتروموتور یک شناسنامه تهیه کرد و اطلاعات را در آن ثبت کرد و نقشه موتور را از سیم‌پیچی 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
گام هرکلاف pitch	حفاظت	قطر سیم	cosφ =
رسم نقشه موتور			

شکل ۱۶ــ 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: بازپیچی موتور

مرحله اول: باز کردن قطعات مکانیکی و آماده کردن استاتور

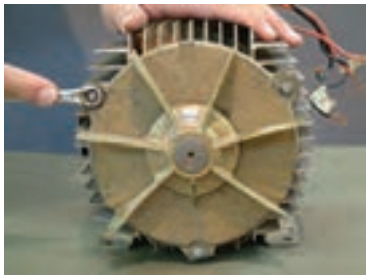
۱ـ ابتدا با پولی‌کش، پولی موتور را از محور جدا کنید (شکل ۱۷).

شکل ۱۷ـ درآوردن پولی از محور موتور

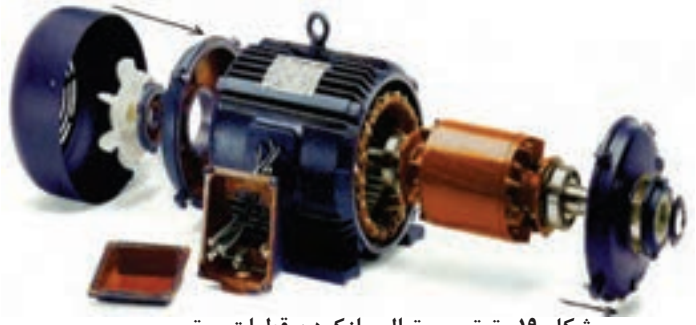
۲ـ بعد با سنبه درپوش بدنه را علامت‌گذاری کنید. سپس پیچ‌های موتور را با انتخاب آچار مناسب باز کرده و پس از باز کردن جعبه اتصالات با قلم درپوش‌ها را جدا کنید (شکل ۱۸).

ایمنی

هنگام استفاده از قلم و چکش مراقب انگشتان دست خود باشید. بدنه استاتور را از گرد و خاک و چربی کاملاً پاک کنید.

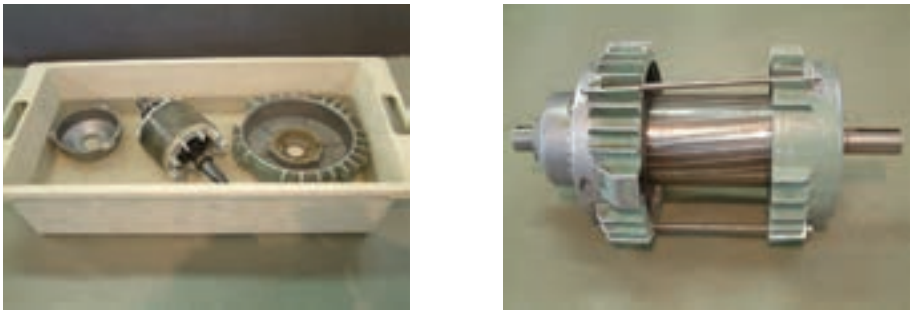


شکل ۱۸ـ باز کردن پیچ‌های موتور و درپوش‌ها



شکل ۱۹ـ ترتیب و توالی بازکردن قطعات موتور

۳ـ قطعات بازشده را، در یک وان آب گرم قرار داده و آنها را کاملاً شست‌وشو دهید. پس از بازکردن و شست‌وشوی قطعات، قطعات باز شده را مطابق شکل جمع‌آوری 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 ۲۰ـ شست‌وشو و جمع کردن قطعات باز شده

۴ـ 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 ۲۱ـ بریدن سیم‌ها توسط قلم

۵ـ برای خارج کردن راحت‌تر سیم‌پیچی 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 سیم‌پیچی غوطه‌ور کنید تا سیم‌ها و عایق‌های داخل استاتور نرم شده و به راحتی از داخل شیار خارج شوند (شکل ۲۲).

سؤال

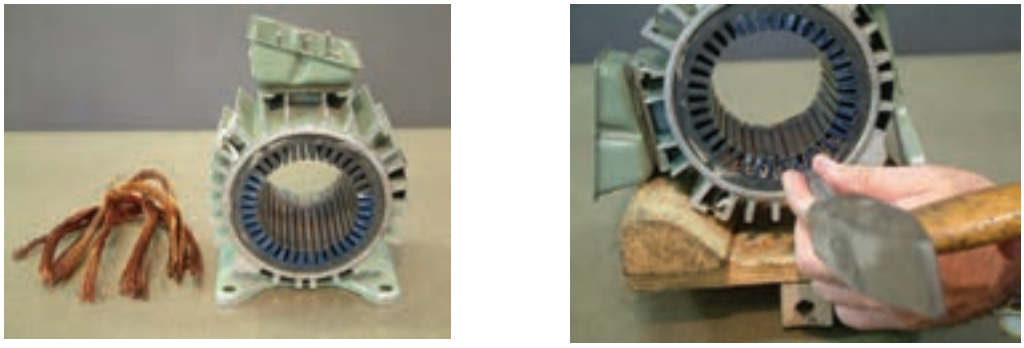
آیا ضربه و حرارت بیش از حد روی مشخصه مغناطیسی ورقه دینامو‌بلش تأثیر منفی دارد؟

شکل ۲۲ـ گرم کردن سیم‌پیچ

۶ـ چون سیم‌پیچی گرم و انعطاف‌پذیر شده است. حالا می‌توانید مطابق شکل ۲۳ عایق روی سیم‌پیچی‌ها را خارج کنید.

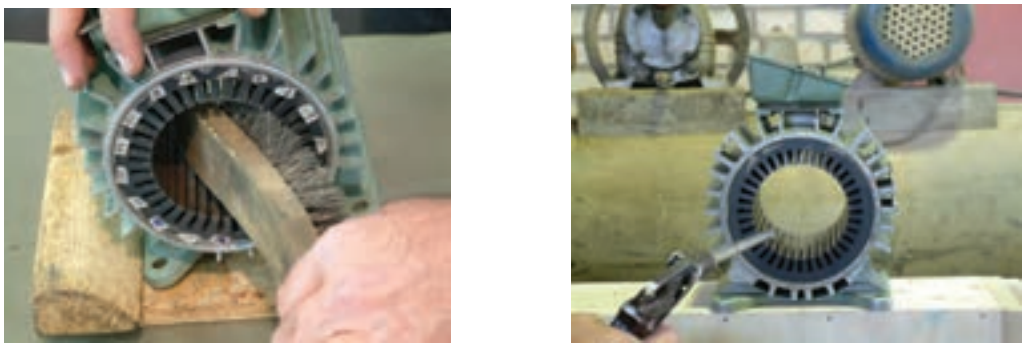
شکل ۲۳ـ خارج کردن پرسپان از شیار

۷ـ پس از خارج کردن عایق‌ها می‌توانید سیم‌پیچ‌های سوخته داخل موتور را مطابق شکل ۲۴ از داخل استاتور خارج کنید.



شکل ۲۴ـ سیم‌های خارج شده از شیارها

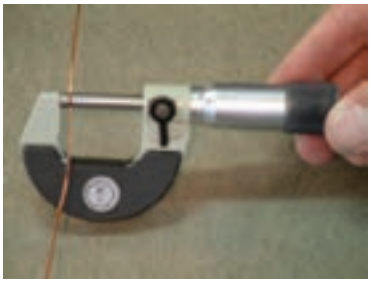
۸ـ برای سیم‌پیچی مجدد داخل استاتور لازم است تا داخل آن را به‌طور کامل تمیز کرد. (شکل ۲۵)



شکل ۲۵ـ۱ داخل شیارها را با برس تمیز کنید

شکل ۲۵ـ۲ داخل شیارها را باهوای متراکم بادگیری کنید

۹ـ در این مرحله باید اولاً : قطر سیم‌های خارج شده از استاتور را توسط میکرومتر اندازه‌گیری کرده و ثانیاً: تعداد دور یک بازو از پیچکی را شمارش نموده و سپس مقدار آنها را به پرونده موتور انتقال دهید.



شکل ۲۶ـ اندازه‌گیری قطر سیم و شمارش تعداد دور یک بازو

۱۰ـ در این قسمت مطابق شکل ۲۷ طول و قطر داخلی استاتور را اندازه‌گیری کرده و در شناسنامه موتور ثبت کنید.

شکل ۲۷ـ اندازه‌گیری طول و قطر داخلی استاتور

فیلم

بازپیچی الکتروموتور از لحظه ″۳۲′:۵۰ تا ″۳۸′:۳۰

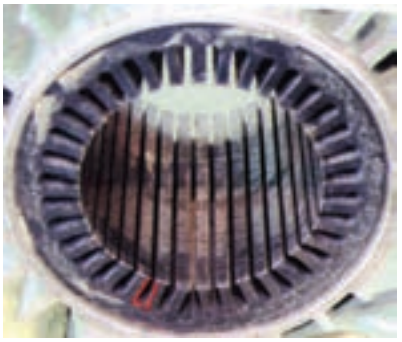
۱۱ـ داخل شیارهای استاتور را باید با کاغذ عایق (کاغذ پرشمان یا پرسپان) متناسب با ولتاژ فازی موتور و براساس جدول ۱ انتخاب کرده و عایق‌بندی کنید.

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 عایق‌بندی 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 ۱ـ ضخامت عایق مناسب با ولتاژ فازی

ولتاژ فازی [V]	۰ـ۱۰۰	۱۰۰ـ۲۰۰	۲۰۰ـ۳۰۰	۳۰۰ـ۴۵۰	۴۵۰ـ۶۰۰	۶۰۰ـ۸۰۰	۸۰۰ـ۱۰۰۰
ضخامت عایق [mm]	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۱

۱۲ـ نحوه تهیه و جا زدن کاغذهای پرشمان را در تصاویر شکل (۲۸) مشاهده می‌کنید.

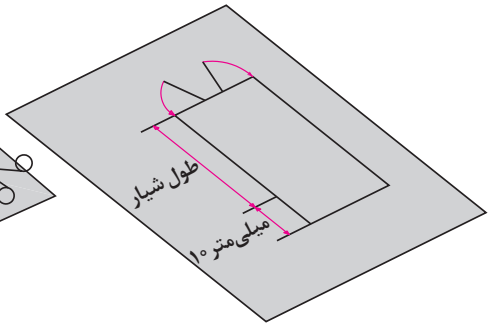


الف) اندازه‌گیری سطح داخل شیار

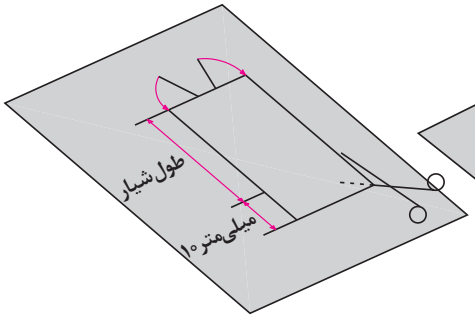
ب) برش کاغذ پرسپان با کاتر

ایمنی

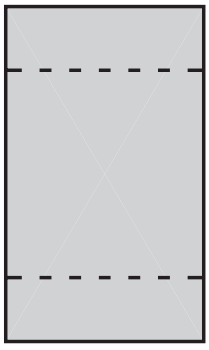
هنگام کار از صندلی، سیستم تهویه و نور مناسب استفاده کنید و هنگام تمیز کردن شیارها از ماسک برای جلوگیری از تنفس غبار استفاده کنید. موقع استفاده از کاتر و گیوتین مراقب انگشتان خود باشید.



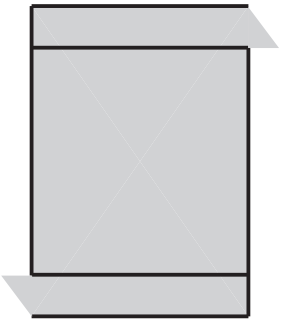
پ) اندازه‌گذاری کاغذ پرسپان با ۱۰ میلی‌متر اضافی



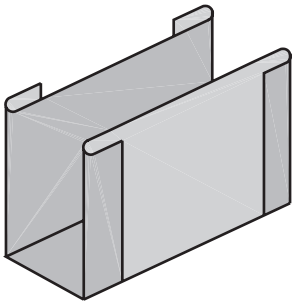
ت) برش کاغذ پرسپان



ث) از هر طرف ۵ میلی‌متر علامت‌گذاری شود



ج) از محل علامت‌گذاری تا می‌شود



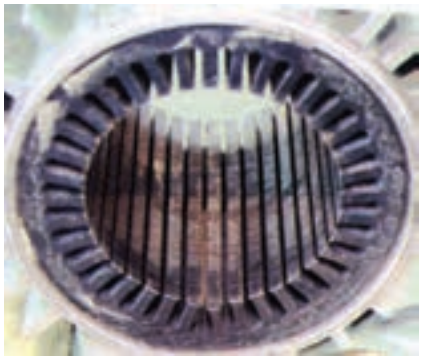
چ) شکل عایق پس از تا شدن

ح) عایق آماده شده

شکل ۲۸ـ عایق‌کاری داخل شیارها

۱۳ـ 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).

۲۹ـ۲ـ استاتور عایق‌کاری شده



۲۹ـ۱ـ عایق در داخل شیار قرار می‌گیرد

فیلم

عایق‌کاری داخل شیارهای استاتور از لحظه ″۳۸′۴۰ تا ″۴۱′۴۵

ایمنی

هنگام کار از صندلی، سیستم تهویه ونور مناسب استفاده کنید و هنگام تمیز کردن شیارها از ماسک برای جلوگیری از تنفس غبار استفاده کنید. موقع استفاده از کاتر وگیوتین مراقب انگشتان خود باشید.

کار عملی۱

هدف: خارج کردن سیم‌پیچی سوخته از داخل استاتور، تهیه شناسنامه مشخصات، عایق‌کاری شیارها موتور

۱ـ تحت نظارت مربی خود موتور سیم‌پیچی شده‌ای را تحویل گرفته و براساس مراحل و نکاتی که فراگرفته‌اید سیم‌های سوخته را از داخل شیارها خارج کنید.
۲ـ استاتور الکتروموتور را تمیز کنید.
۳ـ با اندازه‌گیری طول و اندازه دهانه شیار عایق‌های کاغذی (کاغذ پرشمان) شیارهای موتور را با راهنمایی مربی خود بسازید.
۴ـ 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 عایق‌ها با روتور، آن را بررسی کرده و رفع عیب نمایید.
۵ـ موارد ایمنی مانند برخورد قلم و چکش به انگشتان دست، حفاظت دست از نوک سیم لاکی بریده شده و برس سیمی را به‌کار گیرید.
۶ـ مس فلزی گرانبها و ارزشمند است. برای بازیافت و برگشت مجدد سیم‌های لاکی مستعمل به صنعت، آنها را در یک مخزن جمع‌آوری کنید و به هیچ وجه دور نریزید.

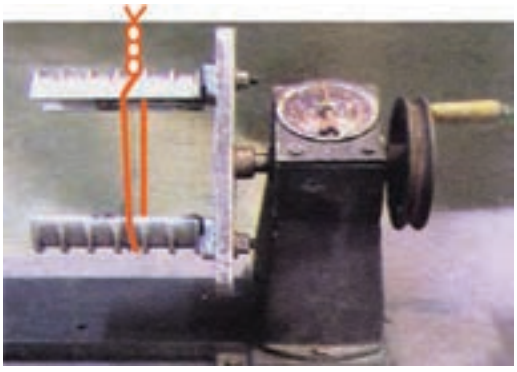
مرحله ۲: بازپیچی موتور

۱۴ـ در این مرحله باید اقدام به تهیه اندازه کلاف الگو برای تنظیم دستگاه کلاف پیچ نمود. به همین خاطر براساس اطلاعاتی که از روی سیم‌پیچی سوخته برداشته شده یا بر پایه محاسباتی که با آنها آشنا خواهیم شد گام سیم‌پیچی 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).

۱۵ـ پس از تهیه اندازه مناسب کلاف، باید قالب‌ها را به اندازه تهیه شده، بر روی دستگاه کلاف‌پیچ تنظیم کرده و سپس فک‌ها را با پیچ مهره روی بدنه محکم کنید تا تنظیم قالب‌ها به هم نخورد (شکل ۳۱).

۱۶ـ پس از مشخص شدن اندازه کلاف الگو و تنظیم کلاف‌پیچ می‌توانید اقدام به پیچیدن کلاف‌های موتور کنید. با توجه به تعداد دور شمارش شده، شکل سیم‌پیچی و به تعداد q که در مورد آن صحبت خواهد شد باید اقدام به پیچیدن کلاف‌ها کنید.

شکل ۳۰ـ روش تجربی تهیه قالب



شکل ۳۱ ـ تنظیم فک‌های کلاف‌پیچ بر اساس قالب تهیه شده

شکل ۳۲ـ کلاف الگو و کلاف‌پیچی

ایمنی

هنگام سیم‌پیچی 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.

در شکل ۳۳ یک کلاف که به‌طور صحیح پیچیده شده و یک کلاف که به طور غلط پیچیده شده و حلقه‌های آن در هم است، مشاهده می‌کنید.

۳۳ـ۱ـ کلاف صحیح

۳۳ـ۲ـ کلاف غلط

۱۷ـ پس از اتمام کار سیم‌پیچی کلاف‌ها باید بازوهای کلاف‌ها را، با نخ یا سیم‌های مستعمل بست تا در هنگام جا زدن بازوها در داخل شیارها، رشته‌سیم‌های کلاف باز نشده و مزاحمتی ایجاد نکنند (شکل ۳۴).

شکل ۳۴ـ بستن کلاف‌های پیچیده شده روی قالب

۱۸ـ در این مرحله مهره‌کلاف‌پیچ را شل نموده و فک‌های کلاف‌پیچ 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

۱۹ـ 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 زخمی‌نشوند 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).

شکل ۳۶ـ کلاف مناسب

پس از آن نوار با سیم نگهدارندهٔ 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 آرامی‌شروع به قرار دادن سیم‌ها در داخل شیار استاتور کنید. معمولاً ضخامت یک کلاف از دهانهٔ 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.

به این ترتیب که هر سمت کلاف را بین انگشت شست و انگشت نشانهٔ دو دست قرار دهید و با حرکت انگشتان نشانهٔ 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 شیوهٔ 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 بچسبد.

شکل ۳۷ـ۱ حالت دست در کلاف‌گذاری (۱)

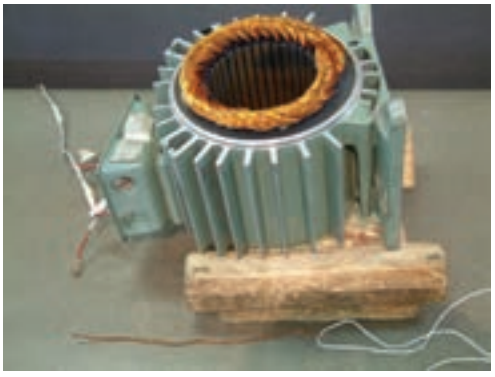
شکل ۳۷ـ۲ حالت دست در کلاف‌گذاری (۲)

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.

شکل ۳۸ـ۱ طریقه در دست گرفتن کلاف

شکل ۳۸ـ۲ مرتب کردن سیم‌ها جهت کلاف‌گذاری

۲۰ـ جا زدن کلاف‌های موتور را خود تا تکمیل شدن تمامی شیارها باید ادامه داده و تمامی‌شیارهای استاتور را کامل کنید شکل (۳۹).



شکل ۳۹ـ جا زدن سیم‌پیچ

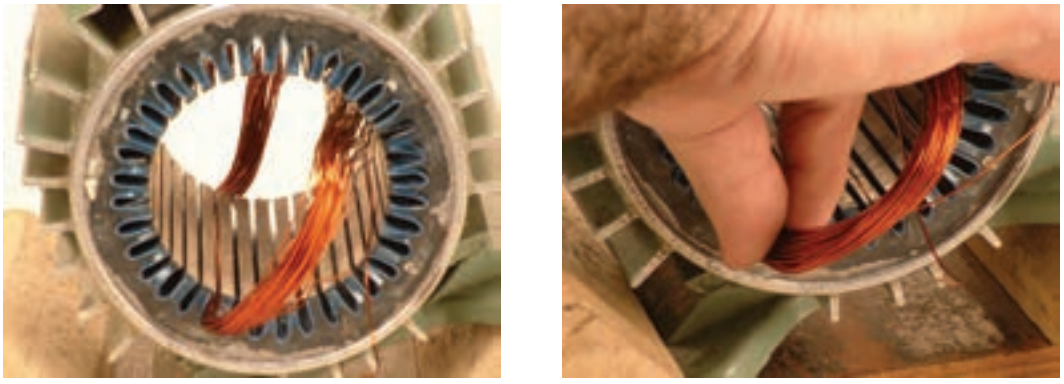
۲۱ـ هنگام جا زدن، با قرار دادن سیم‌ها در درون شیار استاتور، باید دقت داشت که مانند شکل ۴۰ الف یک یا چند حلقه از کلاف کشیده نشود یا به صورت متقاطع قرار نگیرد، زیرا در این صورت، علاوه بر اینکه زیبایی سیم پیچ از بین می‌رود، خطر پاره شدن یا اتصال کوتاه بین سیم‌ها نیز وجود دارد. در عین حال، زمان بیشتری صرف جا زدن بازوها در داخل شیار خواهد شد.

الف) غلط

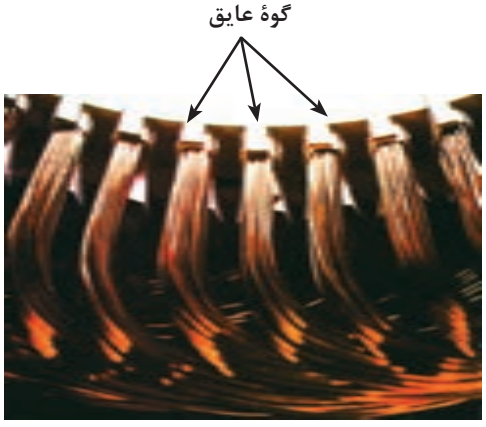
ب) صحیح

شکل ۴۰ـ جا زدن کلاف

۲۲ـ 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 لبهٔ شیار، تا خورده و فضای خالی مناسب برای کلاف‌های بعدی ایجاد شود.



شکل ۴۱ـ طریقه کلاف‌گذاری



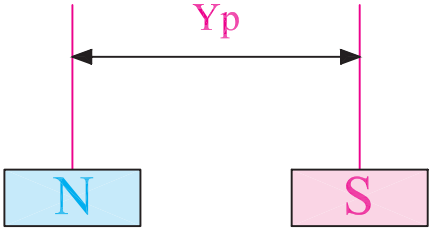
۲۳ـ پس از جا زدن کلاف‌ها در شیارهای استاتور باید روی سیم‌ها را با عایق‌های کاغذی یا گوهٔ چوبی که به فرم فضای داخلی شیار در آمده پوشانده شود تا سیم‌ها در داخل شیار موتور کاملاً محکم شوند و از ارتعاش یا خارج شدن آنها جلوگیری شود (شکل ۴۲).

شکل ۴۲ـ محکم کردن سیم‌ها در داخل شیار با گوهٔ عایق

فیلم

ادامه بازپیچی سیم‌پیچی الکتروموتور از لحظه ″۵۰′۴۲ تا ″۰۶′۰۰:۰۱

آشنایی با محاسبات، ترسیم دیاگرام و جداول سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز



شکل ۴۳ـ 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

که به الکتروموتور اتصال داده می‌شود و اغلب برای تک‌فاز m = ۱ و سه‌فاز m = ۳ است.

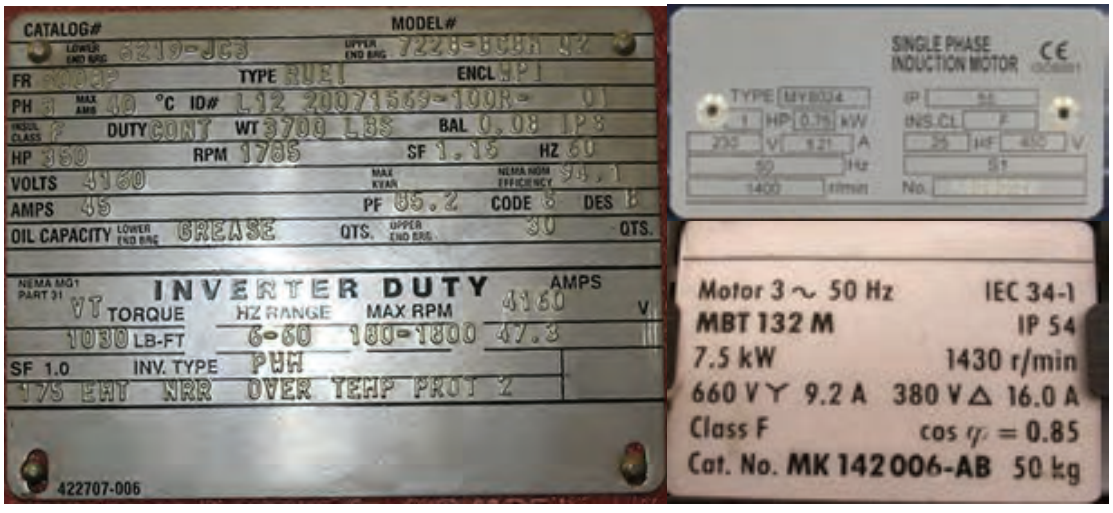
پ) تعداد قطب‌های موتور (2P): تعداد قطب‌های الکتروموتور موتور معمولاً به صورت از پیش تعیین شده است. اما اگر مشخص نباشد می‌توان از روی سرعت روتور که روی پلاک حک شده است آن را تعیین کرد. همیشه از روی مقدار سرعت روتور که کمتر از سرعت سنکرون است می‌توان تعداد قطب موتور را به‌دست آورد (جدول ۲).

جدول ۲ـ تعداد قطب برای فرکانس ۵۰Hz

سرعت سنکرون (ns)	تعداد قطب (2P)
۳۰۰۰ rpm	۲
۱۵۰۰ rpm	۴
۱۰۰۰ rpm	۶
۷۵۰ rpm	۸
۶۰۰ rpm	۱۰
۵۰۰ rpm	۱۲

فعالیت

تعداد قطب الکتروموتورهای شکل ۴۴ را تعیین کنید.



شکل ۴۴ـ 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 سیم‌پیچی (Y_Z): عبارت است از فاصله بین دو بازوی یک کلاف برحسب تعداد شیار را گام سیم‌پیچی گویند.

روش به دست آوردن گام سیم‌پیچی در سیم‌بندی‌های مختلف متفاوت است. در قسمت‌های بعد با آن آشنا خواهید شد.

هـ) تعداد شیار در هرقطب از هر فاز (q): اصطلاحاً به حداقل تعداد کلاف‌ها برای ایجاد یک جفت قطب متناسب با تعداد فازهای جریان متناوب را گویند و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$q = \frac{z}{۲p.m}$$

د) زاویه الکتریکی بین دو شیار مجاور هم (α_{ez}): اختلاف فاز الکتریکی هر شیار با شیار مجاور را زاویه الکتریکی شیارها گفته و از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰}{z}$$

ذ) شیار شروع فازها: چون شروع فازها نسبت به هم ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند لذا شروع کلاف‌های هر فاز نسبت به فاز دیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز مکانی دارند که بر اساس روابط زیر می‌توان محاسبه کرد.

شروع فاز اول = ۱

$$\text{شروع فاز دوم} = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}}$$

$$\text{شروع فاز سوم} = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}}$$

ر) تعداد کلاف‌های هر فاز (γ_m): تعداد کلاف‌ها در هر فاز را با γ_m نشان می‌دهند و به صورت زیر می‌توان محاسبه کرد.

$$\gamma_m = \frac{Z \times t}{۲m}$$

t ـ تعداد طبقات سیم‌پیچی (سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز به‌صورت یک یا دو طبقه هستند).

فیلم

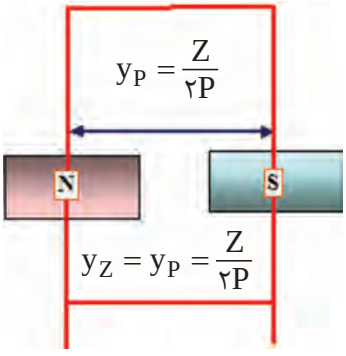
محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌پیچی از لحظه ″۵۰ ′۴۱: تا ″۵۵ ′۴۴:

انواع روش‌های سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز

موتورهای الکتریکی سه‌فاز در قالب یکی از دو نوع ۱ـ گام کامل و ۲ـ گام کسری سیم‌پیچی می‌شوند که در اینجا به تفکیک هر یک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سیم‌پیچی گام کامل

اگر در سیم‌پیچی ابتدا و انتهای یک کلاف ۱۸۰درجه الکتریکی اختلاف فاز رعایت شود و نیروی محرکه القایی بازوهای رفت و برگشت کلاف‌ها جمع جبری شوند سیم‌بندی را گام کامل گویند. در این سیم‌بندی تعداد شیارهای موجود بین رفت و برگشت هر کلاف y_P شیار خواهد بود. در این سیم‌پیچی گام سیم‌پیچی



شکل ۴۵ـ گام قطبی (گام کامل)

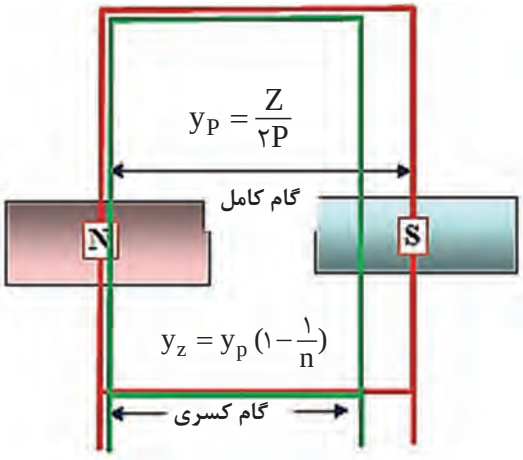
با گام قطبی برابر است و از رابطه روبه‌رو می‌توان محاسبه کرد.

$$y_Z = y_P = \frac{Z}{2P}$$

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 ـ هارمونیک» گفته می‌شود. بر پایه تحقیقات به عمل آمده مشخص شده که دلیل عدم کارکرد یکنواخت و دارای سروصدا بودن موتورهای سه‌فاز در برخی موتورها 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.

سیم‌پیچی گام کسری

اگر در سیم‌پیچی ابتدا و انتهای یک کلاف کمتر از ۱۸۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز داشته باشد سیم‌بندی با «گام کسری» گفته می‌شود. درگام 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 سیم‌پیچی گام سیم‌پیچی را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد.



شکل ۴۶ـ مقایسه سیم‌بندی گام کامل و گام کسری

$$y_z = y_p\,(1-\frac{1}{n})$$

خصوصیات سیم‌پیچی گام کسری

در کنار معایبی که برای سیم‌بندی گام کسری بیان شد، می‌توان به مزایای این نوع سیم‌پیچی اشاره کرد که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱ـ امکان حذف هارمونی مزاحم

برای حذف هارمونی سوم گام سیم‌پیچی یک سوم و برای حذف هارمونی پنجم سیم‌پیچی یک پنجم و برای حذف هارمونی n ام، $\frac{1}{n}$ گام را کسری می‌پیچند.

nـ شماره هارمونی است که در سیم‌پیچی گام کسری هدف حذف آن است.

۲ـ کاهش تلفات و هزینه ساخت موتور

درسیم‌بندی 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.

۳ـ افزایش راندمان موتور

همان‌گونه که اشاره شد در سیم‌پیچی، صرف سیم کاهش می‌یابد و در نتیجه با کاهش تلفات حرارتی راندمان موتور افزایش می‌یابد.

۴ـ افزایش عمر موتور

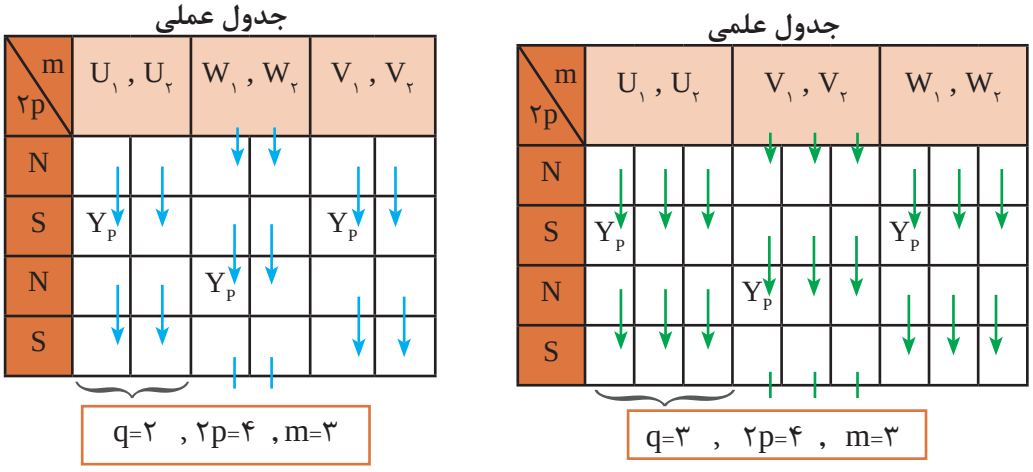
با کاهش گام سیم‌پیچی و حذف هارمونیک‌های مزاحم، لرزش‌های موتور کاهش یافته و عمر موتور افزایش می‌یابد.

جدول سیم‌پیچی

ترسیم جدول سیم‌پیچی، رسم دیاگرام سیم‌پیچی را ساده‌تر می‌کند و نشان می‌دهد که در هر شیار سیم‌های کدام فاز قرارگرفته 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 $۱+\frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}}$ و شروع فاز سوم از شیار $۱+\frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}}$ انجام می‌شود.

جدول سیم‌پیچی به دو صورت جدول عملی و جدول علمی ترسیم می‌شود.

در جدول عملی 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).



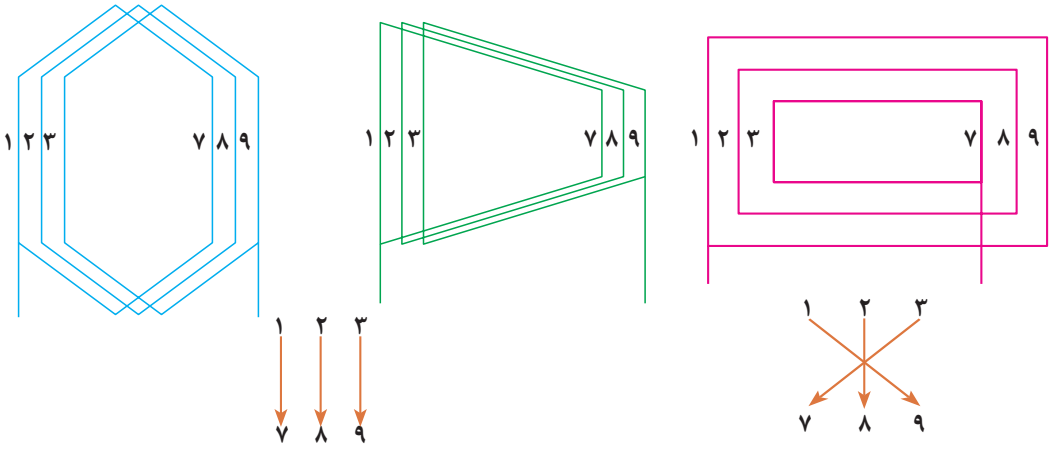
شکل ۴۷ـ تشکیل جدول علمی و عملی

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

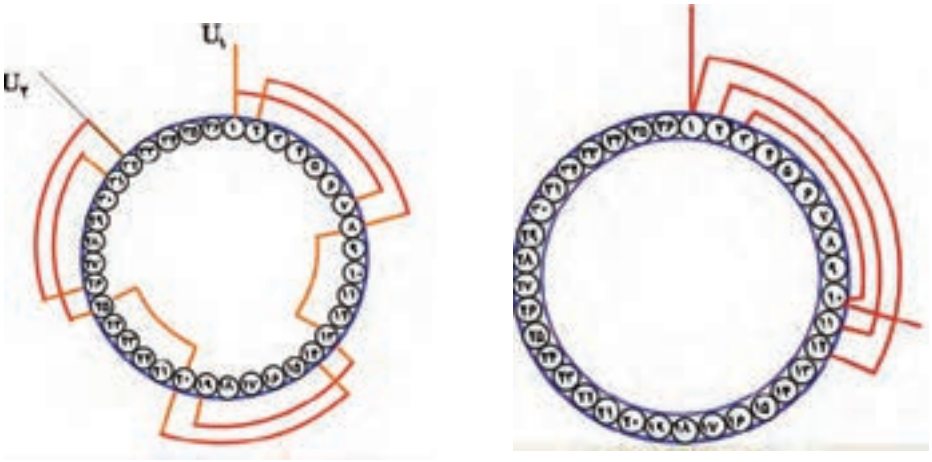
مساوی گام سیم‌بندی همه کلاف‌ها یکسان هستند ولی گام کلاف‌های سیم‌پیچی متحدالمرکز برابر نیستند (شکل ۴۸).

توجه: معمولاً سیم‌پیچی متحدالمرکز برای الکتروموتورهای یک‌فاز استفاده می‌شود.



گروه کلاف متحدالمرکز — گروه کلاف متساوی (زنجیره‌ای)

شکل ۴۸ــ دیاگرام گسترده کلاف مساوی



گروه کلاف متحدالمرکز مدور — گروه کلاف مساوی مدور

شکل ۴۹ــ دیاگرام مدور کلاف مساوی و متحدالمرکز

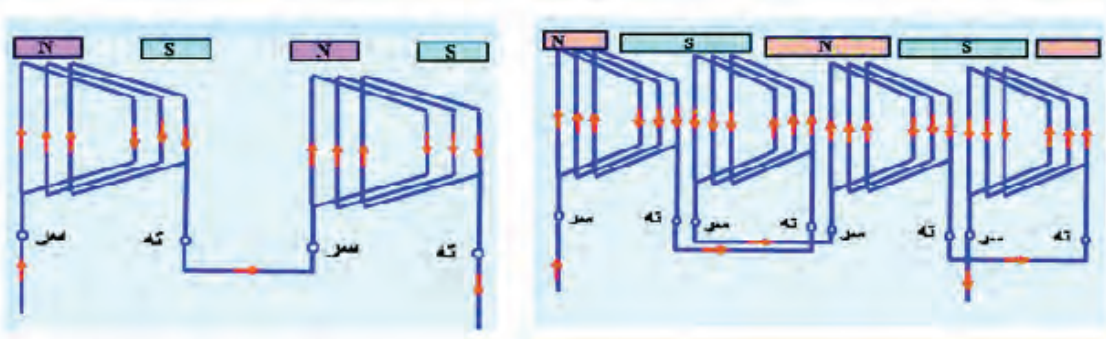
فیلم

حالت و فرم کلاف سیم‌پیچی از لحظه ″۴۵′:۰۰ تا ″۴۶′:۴۰

سیم‌پیچی موتورهای یک طبقه

در سیم‌پیچی یک طبقه در هر شیار یک بازو از هرگروه کلاف مربوط به هر فاز قرار می‌گیرد. سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی تعداد گروه کلاف‌های هر فاز با G نشان داده می‌شود. نوع سیم‌پیچی‌ها دو حالت درنظر

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 =۲P) 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 =۲P سیم‌بندی به ازای قطب، اتصال نزدیک
(سر به سر، ته به ته)

G=P سیم‌بندی به ازای زوج قطب، اتصال نزدیک
(سر به ته، ته به سر)

شکل ۵۰ـ سیم‌بندی به ازای قطب و زوج قطب اتصال دور و نزدیک

مثال ـ 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.

$Z=۳۶ \quad , ۲P=۴ \quad , Y_Z=Y_P$

$$Y_P=\frac{Z}{۲P}=\frac{۳۶}{۴}=۹$$

$$Y_Z=Y_P=۹$$

$$\alpha_{eZ}=\frac{P\times ۳۶۰}{Z}=\frac{۲\times ۳۶۰}{۳۶}=۲۰$$

$$q=\frac{Z}{۲P\times m}=\frac{۳۶}{۴\times ۳}=۳$$

۱= شروع فاز اول

$$\text{شروع فاز دوم}=۱+\frac{۱۲۰}{\alpha_{eZ}}=۱+\frac{۱۲۰}{۲۰}=۷$$

$$\text{شروع فاز سوم}=۱+\frac{۲۴۰}{۲۰}=۱۳$$

جدول سیم‌پیچی: برای ترسیم جدول سیم‌پیچی باید به تعداد فازها ستون و به تعداد قطب‌ها ردیف باز کنید و هر ستون را به q قسمت تقسیم کرد.

جدول عملی سیم‌پیچی

m / ۲p	U_1, U_2			W_1, W_2			V_1, V_2		
N									
S									
N									
S									

m / ۲p	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 می‌نویسیم.

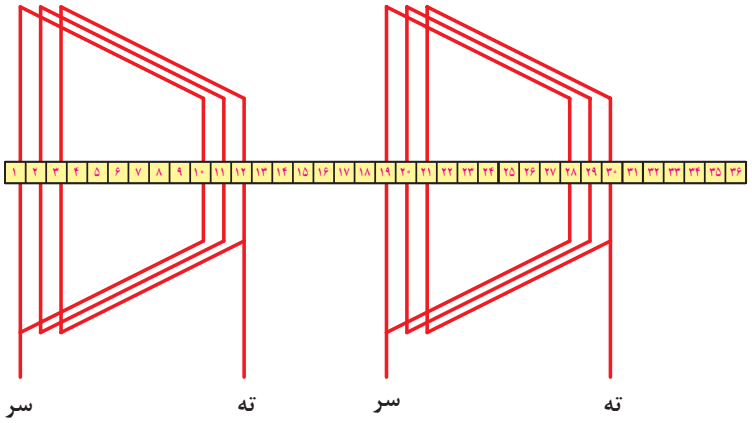
m / ۲p	U_1, U_2			w_1, w_2			V_1, V_2		
N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
yps	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
N	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
S	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶

خانه‌های جدول را تا آخرین شماره شیار به‌ترتیب کامل می‌کنیم.

شکل ۵۱ـ تکمیل جدول سیم‌بندی

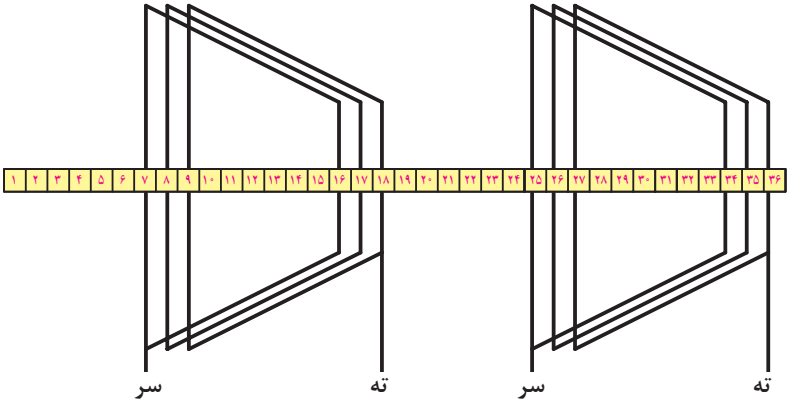
خانه‌های ردیف‌های پایین را به فاصله یک گام قطبی کامل کنید.

بر پایه اعداد محاسبه شده در جدول سیم‌پیچی، دیاگرام گسترده کلاف‌های فاز اول موتور به صورت شکل ۵۲ رسم می‌شود.



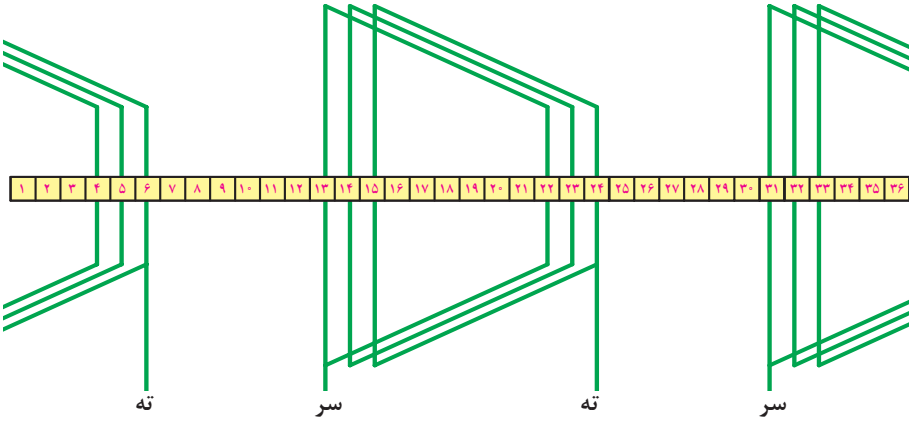
شکل ۵۲

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.



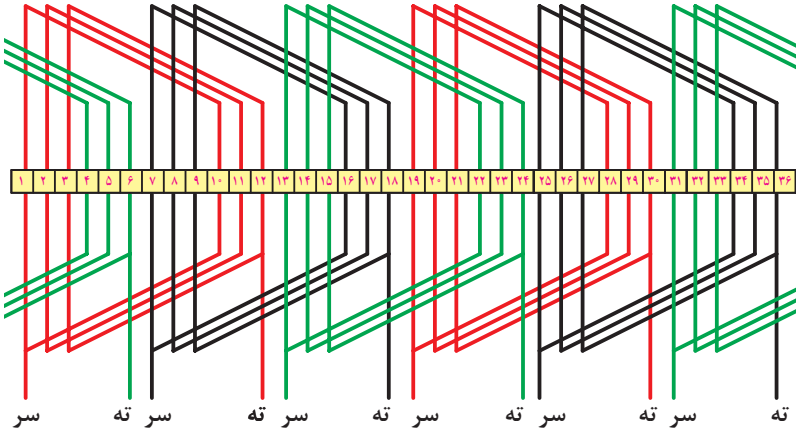
شکل ۵۳ـ فاز دوم

به همین ترتیب با توجه به اعداد محاسبه شده در جدول سیم‌پیچی، دیاگرام گسترده کلاف‌های فاز سوم موتور را به‌صورت شکل ۵۴ می‌توان رسم کرد.



شکل ۵۴

در شکل ۵۵ دیاگرام گسترده تکمیل شده موتور مشاهده می‌شود.

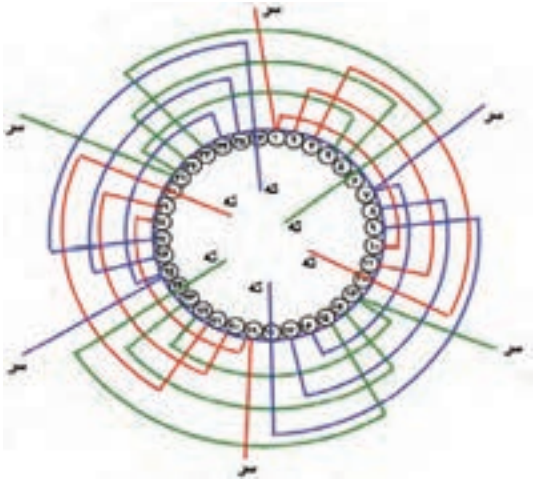


شکل ۵۵

شکل ۵۵ دیاگرام گسترده، کلاف مساوی با گام کامل سیم‌بندی، در هر فاز دو گروه کلاف ۳پیچکی قرار دارد q=۳

دیاگرام مدور (دایره‌ای):

دیاگرام دایره‌ای در شکل ۵۶ نشان داده شده است.



فیلم

استفاده از جدول برای ترسیم دیاگرام از لحظه ″۴۶′:۴۰ تا ″۴۸′:۴۲

فیلم

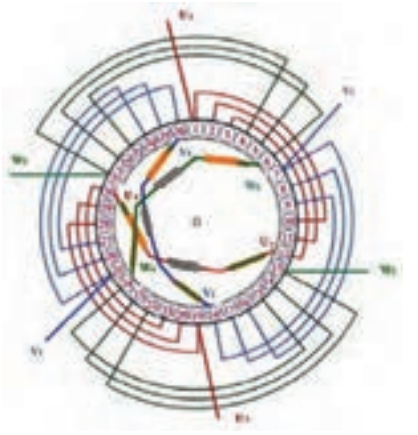
ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی سه‌فاز از لحظه ″۴۸′:۴۴ تا ″۵۰′:۴۰

شکل ۵۶ــ دیاگرام مدور، کلاف مساوی با گام کامل سیم‌بندی

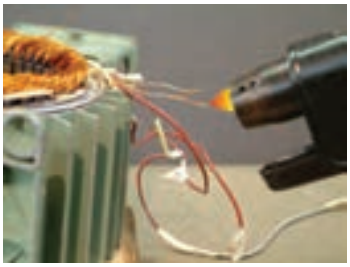
مرحله ۳: بازپیچی موتور

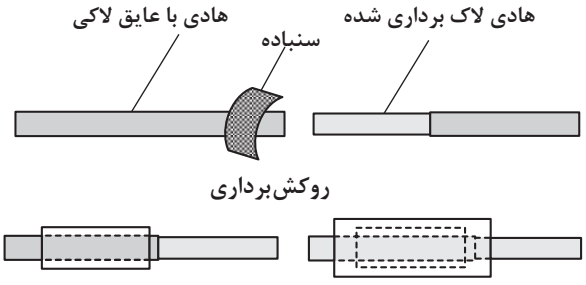
۲۴ـ با توجه به نقشه سربندی سر و ته کلاف‌ها را در هر فاز پیدا کرده و لاک سرسیم‌ها را به اندازه ۲سانتی‌متر پاک کنید. این کار را می‌توان با کاتر تراش داد یا در حلال لاک قرار داد یا با شعله سوزاند. سپس یک سر را از وارنیش عبور دهید. با دقت زیاد محل لاک‌برداری شده، سر سیم‌ها به اندازه ۱ الی ۱/۵ سانتی‌متر روی 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 گذرانیدن آنها از وارنیش به جعبه اتصال (تخته کلم) هدایت کنید.

مراحل انجام کار مطابق شکل ۵۷ است.



سرسیم‌های تابیده شده

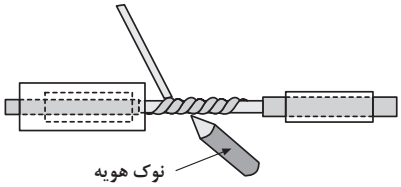




قرار دادن وارنیش‌ها

هدایت سیم فازها به تخته کلم

اتصال سیم افشان به سرفازها و نام‌گذاری آنها

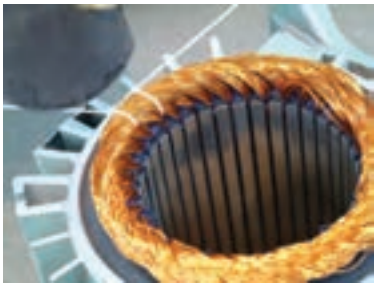


لحیم‌کاری قسمت تابیده شده

پوشش محل لحیم‌کاری شده با وارنیش

شکل ۵۷ــ عایق‌برداری، سربندی، وارنیش‌گذاری، لحیم‌کاری و هدایت سیم‌ها به تخته کلم

۲۵ـ برای جمع‌بندی سیم‌ها و محکم کردن آنها را نخ‌بندی می‌کنند. در نخ‌بندی از نخ مخصوص سیم‌پیچی یا کنف استفاده می‌شود (شکل ۵۸).



شکل ۵۸ــ نخ‌بندی سیم‌پیچی موتور

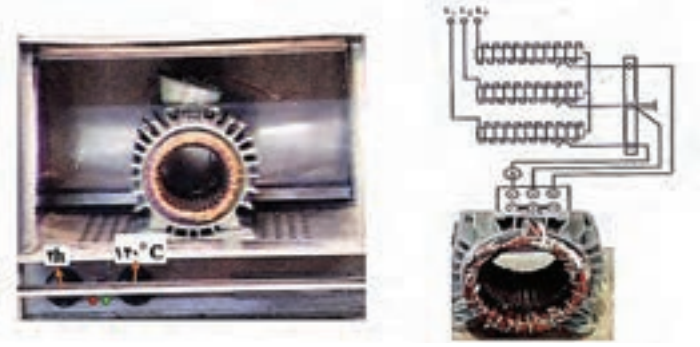
۲۶ـ پس از نخ‌بندی استاتور در کوره حرارتی قرار می‌دهیم تا به مدت حدود ۲ساعت در دمای ۱۴۰درجه سلسیوس رطوبت سیم‌ها گرفته شود (شکل ۵۹).

شکل ۵۹ــ قرار دادن استاتور درکوره حرارتی برای گرفتن رطوبت سیم‌ها

۲۷ـ برای افزایش خاصیت عایقی سیم‌ها و یک‌پارچه شدن آنها، روی سیم‌ها شارلاک می‌ریزند. 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.

شکل ۶۰ــ شارلاک زدن سیم‌پیچی استاتور

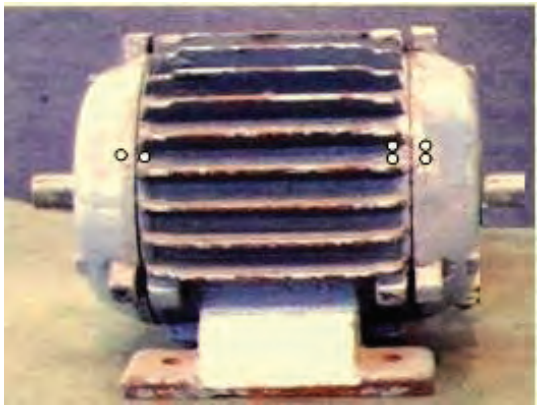
۲۸ـ با قرار دادن استاتور شارلاک خورده در کوره حرارتی یا با اتصال سیم‌ها خروجی به ولتاژ حدود نصف ولتاژ نامی و عبور جریان الکتریکی و گرم شدن سیم‌ها، شارلاک را خشک می‌کنند (شکل ۶۱).



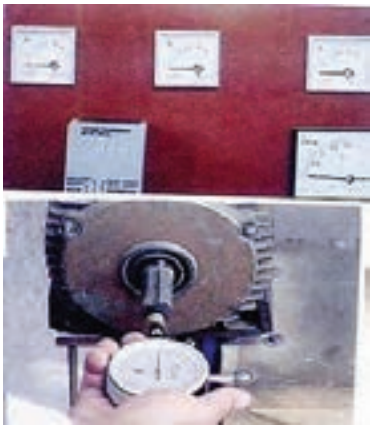
شکل ۶۱ـ خشک کردن شارلاک سیم‌پیچی استاتور

۲۹ـ پس از خشک شدن شارلاک سیم‌پیچی، 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 برقرارکنید 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).

اتصال ستاره موتور



جمع کردن موتور



اتصال موتور به تابلو برق و اندازه‌گیری جریان فازها و دور موتور

آزمایش تست بدنه موتور با دستگاه میگر

شکل ۶۲ـ آزمایش موتور سیم‌پیچی شده

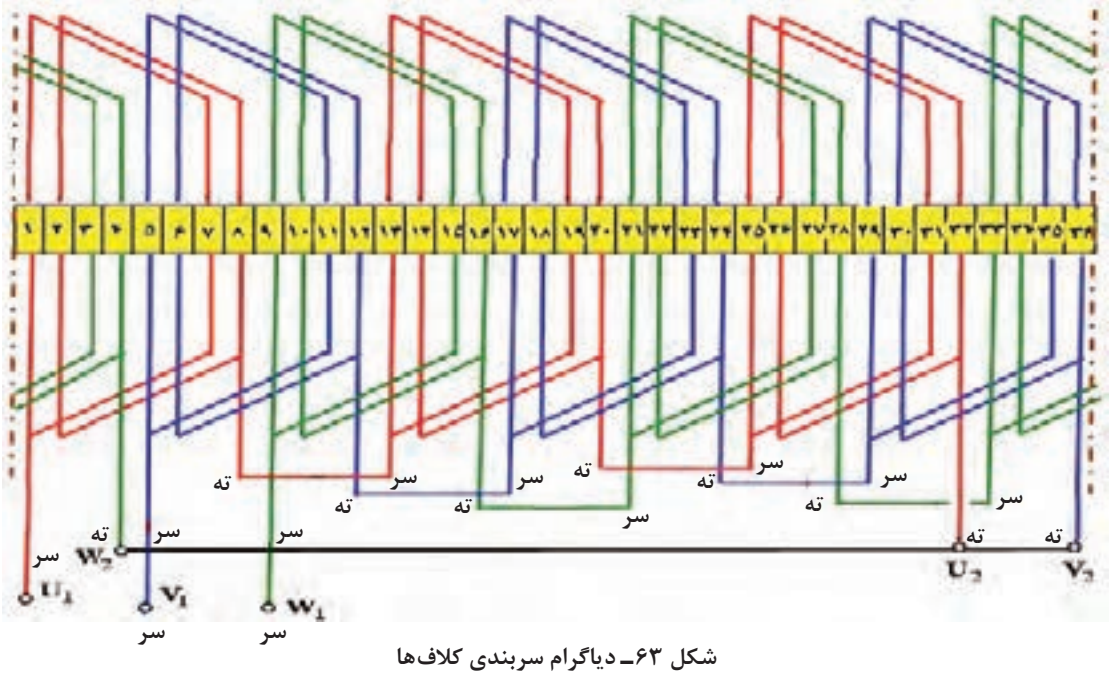
فیلم

سربندی کلاف‌ها از لحظه ″۱۲′:۰۰ ۰۱ تا ″۵۰′:۰۷ ۰۱

فیلم

مراحل نهایی سیم‌پیچی از لحظه ″۴۳′:۰۸ ۰۱ تا ″۱۳′:۱۲ ۰۱

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 به‌صورت اتصال نزدیک انجام شود (ته به سر، سر به ته) این سربندی در دیاگرام شکل ۶۳ نشان داده شده است.

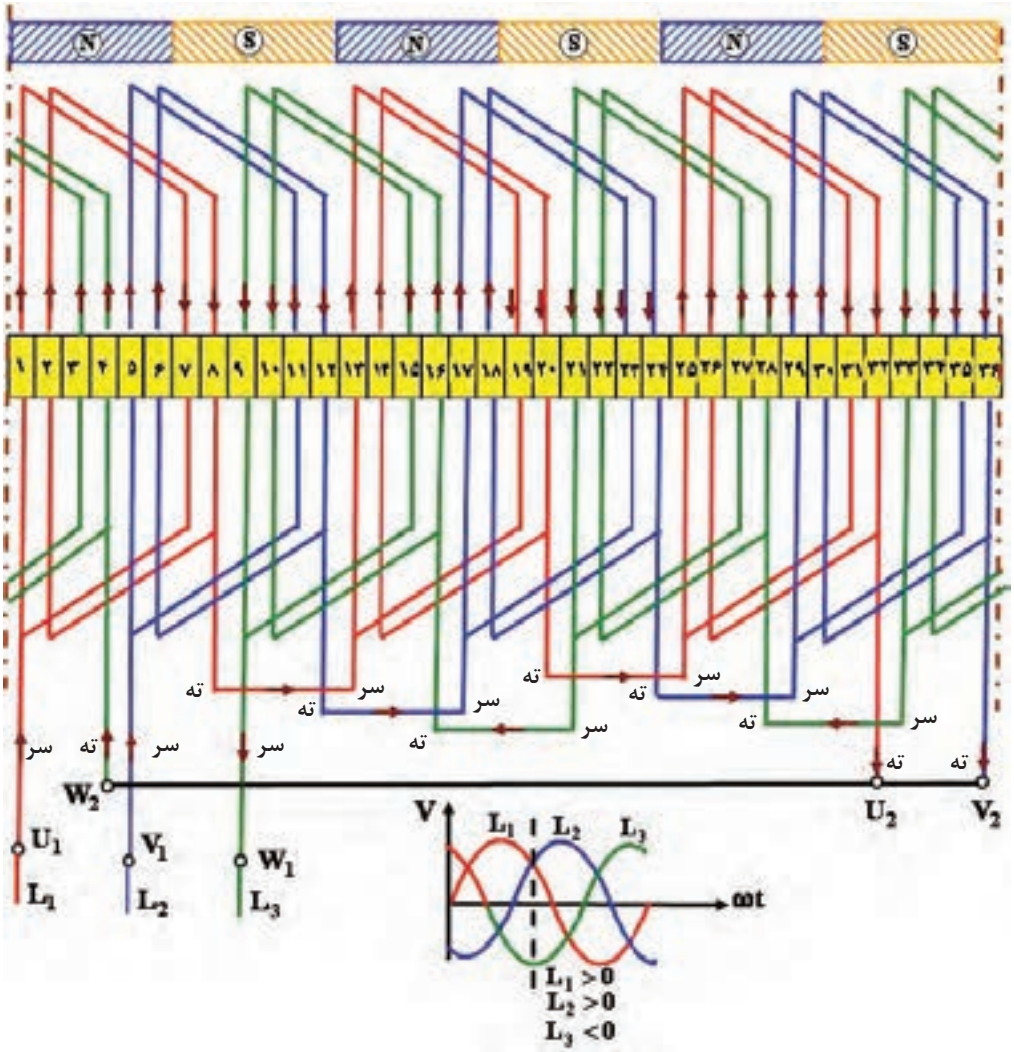


شکل ۶۳ـ دیاگرام سربندی کلاف‌ها

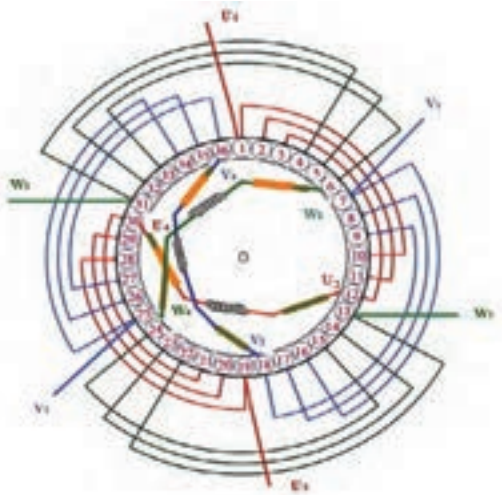
همان‌گونه که اشاره شده است زمانی می‌توان سربندی را درست دانست که با اعمال فازها و تحلیل جریانی مدار سیم‌پیچ‌ها در یک لحظه خاص از موج سه‌فاز، قطب‌سازی موتور به همان تعداد قطب تعریف شده در موتور برسد.
تشکیل قطب در لحظه‌ای که فاز اول و دوم مثبت و فاز سوم منفی است در شکل ۶۴ ترسیم شده است و در شکل ۶۵ دیاگرام دایره‌ای ترسیم شده است.

سؤال

سیم‌پیچی الکتروموتور از روی دیاگرام چند قطب است؟



شکل ۶۴ـ سربندی کلاف‌ها در دیاگرام گسترده و تشکیل قطب‌ها در موقعیت $L_1>0$, $L_2>0$, $L_3<0$



شکل ۶۵ـ سربندی کلاف‌ها در دیاگرام مدور

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 ۶۶ـ قرار گرفتن اولین گروه کلاف در شیارهای استاتور

گروه کلاف دومی را در شیارهای ۷،۸،۹ و ۱۶،۱۷،۱۸ قرار دهید (شکل ۶۷).

شکل ۶۷ـ قرار گرفتن دومین گروه کلاف در شیارها

گروه کلاف سومی را در شیارهای ۱۳،۱۴،۱۵ و ۲۲،۲۳،۲۴ قرار دهید (شکل ۶۸).

شکل ۶۸ـ قرار گرفتن سومین گروه کلاف در شیارها

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 ۶۹ــ درآوردن بازوهای ۳، ۲، ۱ برای قرار دادن کلاف آخر

گروه کلاف آخر در شیارهای ۳۲،۳۳ ، ۳۱ و ۶، ۴،۵ قرار دهید.

شکل ۷۰ــ 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 ۷۱ــ برگرداندن بازوهای ۳، ۲، ۱ به جای اول خود

کار عملی ۲

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 لاکی 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 نیازسیم‌ها
- تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی
- آچار تخت و آچار رینگی و آچار بوکس هر کدام یک ست کامل
- انبر دست یک عدد
- پیچ‌گوشتی 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

ـ پاک بودن محیط کار و بدنه استاتور از هرگونه چربی، روغن و سایر آلاینده‌ها
ـ دستکش یک دست کامل.
ـ دقت کافی و حوصله زیاد.
ـ نبودن ابزار و وسایل غیرضروری در روی میزکار.
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.

Style: AE-507-2	Frame : B3-12346	kw یا Hp 2Hp	Ph 3~
R.P.M 1440 یا NO.Poles	Cycles 50Hz یا c.p.s	Volts 380/220	Amps 4A
Deg c یاT 50 ° C Rise	یا Hours 8 h Time	Code:12T-7KGH	S.F(Amps)
Service Factor	Housing	Type SHAHIN	Seria l0-21-15678
Type CLASS :F	Z.S 24	MOTEG	η=%80
Pitch 1-6	حفاظت IP44	قطر سیم 0.80	.COSφ : 0.78

شکل ۷۲ـ پلاک موتور ۲۴ شیار

۱ـ محاسبات سیم پیچی

$$Z=۲۴,\ n_r=۱۴۴۰\text{R.P.M}\ ,\ f=۵۰\text{Hz},\ I=۴\text{A},\ \frac{۳۸۰\text{V}}{۲۲۰\text{V}}$$

$$P_۲=۲\text{HP}=۲\times۷۴۶=۱۴۹۲\text{W}, m=۳, \eta=۸۰\%\ d=۰/۸۰\text{mm}, \text{COS}\varphi=۰/۷۸$$

$$N_r=N_S(۱-S)\rightarrow N_S=\frac{N_r}{۱-S}=\frac{۱۴۴۰}{۱-۰/۰۴}=۱۵۰۰\text{R.P.M}$$

$$N_S=\frac{f\times۱۲۰}{۲P}\rightarrow ۲P=\frac{f\times۲P}{N_S}=\frac{۵۰\times۱۲۰}{۱۵۰۰}=۴$$

$$Y_P=\frac{Z}{۲P}=\frac{۲۴}{۴}=۶$$

در موتورهای یک طبقه به ازای قطب،کسری گام اغلب برابر نصف q می‌باشد.

$$q = \frac{Z}{2P \times m} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{p \times 360}{z} = \frac{2 \times 360}{24} = 30^\circ$$

$$Y_Z = Y_P - \frac{q}{2} = 6 - \frac{2}{2} = 5$$

شروع فاز اول = ۱

$$\text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{120}{\alpha_{eZ}} = 1 + \frac{120}{30} = 5$$

$$\text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{240}{30} = 9$$

m / 2p	U_1, U_2		w_1, w_2		V_1, V_2	
N (Y_P)	۱	۲۴	۳	۲	۵	۴
S	۷	۶	۹	۸	۱۱	۱۰
N	۱۳	۱۲	۱۵	۱۴	۱۷	۱۶
S	۱۹	۱۸	۲۱	۲۰	۲۳	۲۲

(Y_Z)

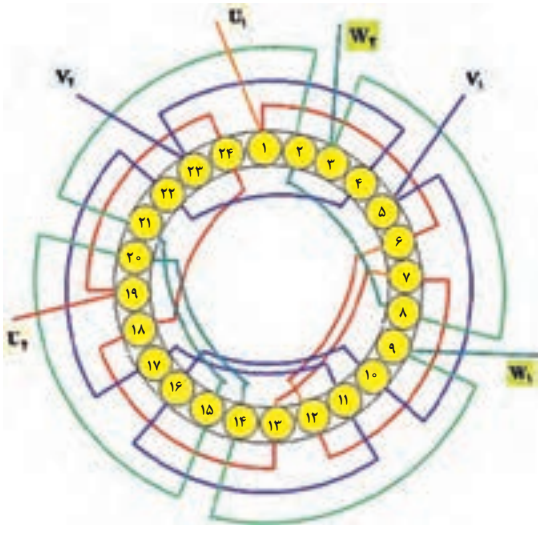
شکل ۷۳ــ تشکیل جدول

۲ــ تشکیل جدول

تشکیل جدول در سیم‌بندی به ازای قطب یک طبقه اعداد متوالی در شروع فازها به اندازه نصف q می‌باشد (شکل ۷۳). در پر کردن خانه‌های جدول از شماره شروع هر فاز خانه‌های کج را با Y_Z و خانه عمودی را با فاصله پر می‌کنیم. مثلاً در فاز اول که از شیار ۱ شروع می‌شود خانه کج ۶=۵+۱ و خانه عمودی ۷=۶+۱ پر می‌شود.

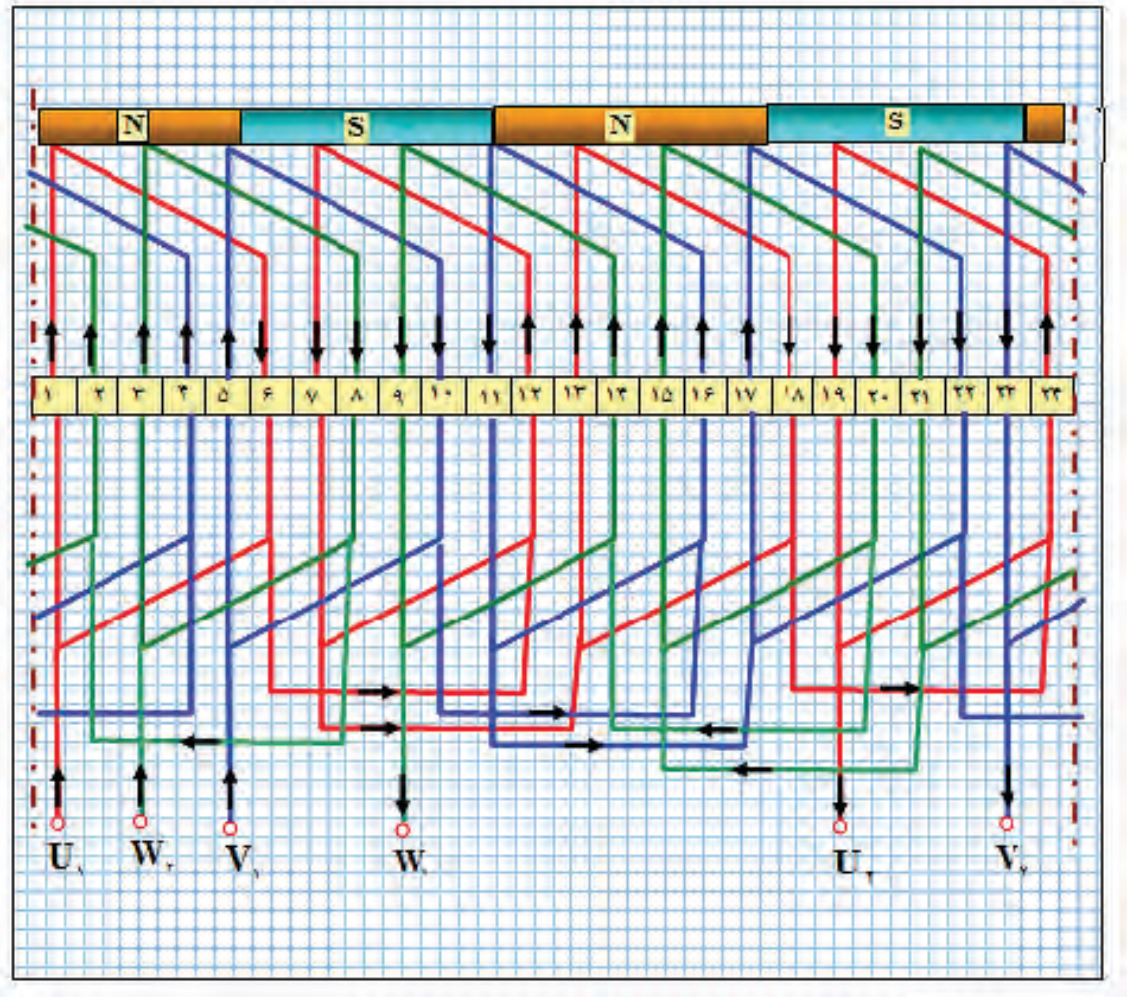
۳ــ رسم دیاگرام مدور

ترسیم دیاگرام مدور طبق جدول ترسیم شده مطابق شکل ۷۴ است.



شکل ۷۴ــ دیاگرام مدور موتور ۲۴ شیار چهارقطب یک‌طبقه به ازای قطب

رسم دیاگرام گسترده با دیاگرام گسترده مطابق با شکل ۷۵ است.



شکل ۷۵ـ دیاگرام گسترده موتور ۲۴ شیار چهارقطب یک طبقه به ازای قطب

کار عملی ۳

هدف: محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم‌پیچی موتور آسنکرون سه‌فاز (۲۴ یا ۳۶ شیار ۶ قطب) به‌ازای قطب به‌صورت یک طبقه زنجیری

وسایل مورد نیاز :

- پوسته استاتور ۲۴ شیار
- کلاف پیچ یک عدد
- قالب کلاف مساوی یک عدد
- سیم لاکی با قطر مورد نیاز موتور
- سیم افشان نمره ۱یا ۱/۵ به طول ۲ متر

ـ هویه یک عدد
ـ روغن لحیم
ـ سیم لحیم با قلع ۵۰٪یا ۶۰٪
ـ عایق پرشمان ۰/۵ و ۰/۳۵ از هر کدام یک برگ
ـ وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها
ـ تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی
ـ آچار تخت و آچارِرینگی و آچاربوکس هرکدام یک ست کامل
ـ انبر دست یک عدد
ـ پیچ‌گوشتی تخت و چارسو کوچک متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد
ـ دم‌باریک یک عدد
ـ سیم‌چین یک عدد
ـ سیم‌لخت‌کن یک عدد
ـ چاقو یا کاتر یک عدد
ـ سنباده نرم یک برگ
ـ نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف
ـ خط‌کش یک عدد
ـ کولیس یک عدد
ـ میکرومتر یک عدد
ـ چکش پلاستیکی یک عدد
ـ 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 زیرطبقه‌بندی نمود.

۱ـ در سیم‌پیچی دو طبقه سیم‌های هر فاز در سطح استاتور به‌طور یکنواخت توزیع می‌شود.
۲ـ میدان مغناطیسی یکنواخت‌تر نسبت به سیم‌پیچی یک طبقه در سطح استاتور ایجاد می‌شود.
۳ـ تهویه سیم‌ها بهتر شده و موتور کمتر گرم می‌شود.
۴ـ با وجود میدان یکنواخت موتور نرم‌تر کار می‌کند و عمر موتور بیشتر می‌شود.
۵ـ باکاهش دمای موتور، راندمان موتور افزایش می‌یابد.
۶ـ 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.

در شکل روبه‌رو یک نمونه سیم‌پیچی دو طبقه نشان داده شده است.

سیم‌پیچی دوطبقه

فیلم

سیم‌پیچی دو طبقه از لحظه ۰۱:۱۲′:۱۳″ تا ۰۱:۱۴′:۵۲″

مثال ـ 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

$$Z=۳۶, N_r=۹۴۰ R.P.M, f=۵۰Hz, {}^{۳۸۰V}\!/_{۲۲۰V}$$

$$P_۲=۱/۵KW=۱۵۰۰W, m=۳, \eta=۸۰\%$$

$$N_r=N_S(۱-S)\rightarrow N_S=\frac{N_r}{۱-S}=\frac{۹۴۰}{۱-۰/۰۴}=۱۰۰۰ R.P.M$$

$$N_S=\frac{f\times ۱۲۰}{۲P}\rightarrow ۲P=\frac{f\times ۲P}{N_S}=\frac{۵۰\times ۱۲۰}{۱۰۰۰}=۶$$

$$Y_P=\frac{Z}{۲P}=\frac{۳۶}{۶}=۶$$

$$q=\frac{Z}{۲P\times m}=\frac{۳۶}{۶\times ۳}=۲$$

$$\alpha_{eZ}=\frac{P\times ۳۶۰}{Z}=\frac{۳\times ۳۶۰}{۳۶}=۳۰^\circ$$

$$Y_Z=Y_P(۱-\frac{۱}{۳})=۶\times(۱-\frac{۱}{۳})=۴$$

شروع فاز اول = ۱ شروع فاز دوم = $۱+\frac{۱۲۰}{\alpha_{eZ}}=۱+\frac{۱۲۰}{۳۰}=۵$ شروع فاز سوم = $۱+\frac{۲۴۰}{۳۰}=۹$

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

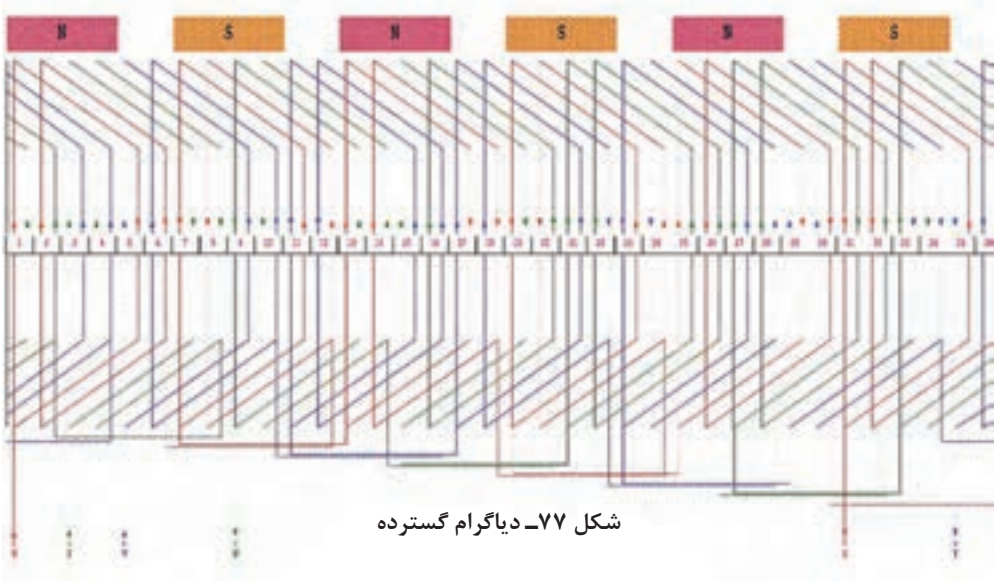
بازوهای طبقه زیرین را با خط‌چین نشان می‌دهند. با توجه به شروع فازها، شماره شروع فازها در قسمت سمت چپ نوشته می‌شود و به تعداد q عدد درخانه‌های طبقه رویی نوشته می‌شود. بازوی‌های طبقه رویی به بازوهای طبقه زیرین با فاصله گام سیم‌بندی مرتبط می‌شوند. بنابراین از اعداد طبقه رویی با گام Y_Z به اعداد طبقه زیرین 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).

۱ = شروع فاز اول　　۱+$\frac{۱۲۰}{\alpha_{eZ}}$ = ۱+$\frac{۱۲۰}{۳۰}$ = ۵ = شروع فاز دوم　　۱+$\frac{۲۴۰}{۳۰}$ = ۹ = شروع فاز سوم

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´	۴´
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 ۷۶ــ جدول موتور ۳۶ شیار۶ قطب دو طبقه با گام کسری حذف هارمونی سوم

رسم دیاگرام گسترده: چنان‌که دیاگرام گسترده دیده می‌شود در هر شیار دو بازوی کلاف قرار گرفته است. بازوی رفت با خط پرو بازوی برگشت با خط‌چین در شکل ۷۷ نشان داده شده است.



شکل ۷۷ــ دیاگرام گسترده

کار عملی ۴

هدف: محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم‌پیچی موتور آسنکرون سه‌فاز (۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب)برای حذف هارمونیک سوم به‌صورت دوطبقه زنجیری

الکتروموتور سه‌فاز که طول استاتور آن ۱۰۰mm و قطر استاتور آن ۱۲۰mm است مورد نظر است. این موتور با حذف هارمونی سوم، با لغزش ۶٪ کار می‌کند 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 Δ / λ	Amps η = %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 φ = 0.8 =

شکل ۷۸ـ پلاک موتور

محاسبات مورد نیاز را انجام داده، سیم‌پیچی آن را در کارگاه اجرا کنید. سپس آن را به شبکه برق اتصال داده، جریان بی‌باری و تعداد دور آن را مشخص کرده، در گزارش کار یادداشت کنید.

تعیین معادل سیم‌ها

بعضی مواقع ممکن است که سیم مورد نیاز در کارگاه موجود نباشد یا برای راحت قرار دادن سیم‌ها در داخل شیارها از سیم‌های با مقطع پایین و قابل انعطاف استفاده می‌شود. در این حالت ممکن است از چند رشته سیم یکسان با مقطع پایین نیز استفاده شود یا از سیم‌های 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 رشته‌های سیم معادل را با n نشان دهیم از رابطه زیر قطر سیم معادل با دانستن تعداد رشته آن به‌دست می‌آید.

$$\text{قطر سیم معادل } d = \frac{D}{\sqrt{n}}$$

در صورتی که بخواهیم تعداد رشته سیم‌های موازی‌شده با هم را به‌دست آوریم بر اساس رابطه فوق می‌توان چنین نوشت:

$$\text{تعداد رشته سیم‌ها } n = \left(\frac{D}{d}\right)^2$$

مثال ۸ـ۴

چند رشته سیم ۰/۸۰ mm معادل سیم ۱/۳۷ mm می‌باشد.

حل:

$$n = \left(\frac{D}{d}\right)^{۲} = \frac{۱/۳۷^{۲}}{۰/۸۰} \cong ۳ \text{ رشته}$$

تعیین معادل یک سیم از چند رشته سیم غیرمشابه

رابطه بین قطر سیم‌های غیرمشابه، معادل سیم مورد نظر به صورت زیر بیان می‌شود.

$$D = \sqrt{n_۱ d_۱^{۲} + n_۲ d_۲^{۲} + n_۳ d_۳^{۲} + \cdots + n_n d_n^{۲}}$$

D قطر سیم مورد نیاز، n تعداد رشته‌ها و d قطرهای سیم‌های غیرمشابه می‌باشد.

مثال ۹ـ۴

چند رشته سیم ۰/۵۰ mm را با دو رشته سیم ۰/۸۰ mm موازی کنیم تا معادل سیم ۱/۳۷ mm شود؟

$$۱/۳۷ = \sqrt{n_۱ \times (۰/۴۵)^{۲} + ۲ \times (۰/۸۰)^{۲}} \rightarrow ۱/۳۷^{۲} = ۰/۲۰۲۵ \times n_۱ + ۲ \times ۰/۶۴$$

$n_۱ \cong ۳$ رشته

استخراج مشخصات از پلاک موتور

سازندگان موتورهای الکتریکی، مشخصات موتورها را روی پلاک موتورها درج می‌کنند. در اینجا یک نمونه پلاک موتور را در نظرگرفته و با شماره‌گذاری هر قسمت آن مطابق شکل ۷۹ اطلاعات مربوط به آن مورد بررسی قرار گرفته است.

<table>
<tr><td colspan="3">۱۸</td></tr>
<tr><td colspan="3">AC Motor</td></tr>
<tr><td colspan="3">Type ☐ ۱۷</td></tr>
<tr><td>style ۱</td><td colspan="2">Serial ۱۶</td></tr>
<tr><td>Frame ۲</td><td colspan="2">Type ۱۵</td></tr>
<tr><td>HP ۴</td><td>Ph ۳</td><td>Housing ۱۴</td></tr>
<tr><td>RPM ۵</td><td colspan="2">۱۳</td></tr>
<tr><td>Cycles ۶</td><td colspan="2">۱۲</td></tr>
<tr><td colspan="3">Volts ۷</td></tr>
<tr><td>Amps ۸</td><td colspan="2">Code ۱۱</td></tr>
<tr><td>Drg^{c}
Rise ۹</td><td colspan="2">Hours ۱۰</td></tr>
<tr><td>IP۴۴ ۱۹</td><td>S۵ ۲۰</td><td></td></tr>
</table>

شکل ۷۹ـ پلاک الکتروموتور

شرح پلاک موتور

۱ـ **style** : سبک تولید موتور که شامل مشخصات مکانیکی و الکتریکی می‌باشد، با شماره یا علائمی که در این قسمت نوشته می‌شود برای کارخانه سازنده قابل شناسایی است. در صورت سفارش خاص یا تولید مجدد این نوع موتور کارخانه سازنده قادر به ساخت آن خواهد شد.

۲ـ **frame** : چهارچوبی است که موتور توسط انجمن ملی تولیدکنندگان، شناسایی می‌شود. برای موتورهای کوچک فرم‌های ۴۲، ۴۸،۵۶ و ... را می‌توان نام برد.

۳ـ **ph** : تعداد فازهای موتور در این قسمت نوشته می‌شود. تک‌فاز، دوفاز و سه‌فاز .

۴ـ **Hp** : توان خروجی موتور که توان مفید مکانیکی موتور است، به اسب بخار نوشته می‌شوند یک اسب بخار انگلیسی ۷۳۶ وات و یک اسب بخار امریکایی ۷۴۶ وات می‌باشد.

۵ـ **R .P.M** : سرعت گردش روتور را در هر دقیقه بیان می‌کند.

۶ـ **cycles** : فرکانس کار موتور را نشان داده در بعضی موارد به جای cycles، frequency نوشته می‌شود.

۷ـ **volt** : ولتاژکاری موتور را نشان می‌دهد.

توضیح ـ در انتخاب ولتاژ کاری، نحوه اتصال موتورها به منابع تغذیه، لازم است دقت کافی نمود. اگر غیر از ولتاژ نامی، سیم‌پیچ‌های موتور تغذیه شوند، احتمال سوختن سیم پیچ الکتروموتور وجود دارد. اگر روی پلاک موتور ۳۸۰v /۲۲۰v نوشته شود این موتور الزاماً در شبکه ایران اتصال ستاره خواهد داشت و اگر روی پلاک موتور ۶۶۰v /۳۸۰v نوشته شود، اتصال موتور برای تحویل توان نامی، باید با اتصال مثلث به شبکه وصل شود ولی برای دریافت یک سوم توان نامی، می‌توانیم آن را با اتصال ستاره به شبکه ایران وصل کنیم ولی راندمان کار کم است.

۸ـ **Amps** : جریان نامی موتور را، در ولتاژ نامی و فرکانس نامی نشان می‌دهد.

۹ـ **Deg C Rise**: درجه حرارت بدنه موتور را در زمان کار موتور نشان می‌دهد. دمای بدنه موتورها نباید بیش از ۷۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، دمای کار بدنه موتورها در اندازه ۴۰ الی ۵۰ درجه سانتی‌گراد معمولی است. دمای بدنه موتورها در کلاس‌های متفاوت با استانداردهای متفاوت ارائه می‌شود.

۱۰ـ **Hours**: مدت زمان کار موتور را، در حالت نرمال نشان می‌دهد.

۱۱ـ **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 می‌کند. معروف‌ترین استانداردهای مربوط به این قسمت N.E.M.A می‌باشد.به عنوان مثال برای حرف M در محدوده ۵/۵ الی ۱۰ کیلو ولت‌آمپر راکتیو برای هر اسب بخار، در حالت روتور قفل شده، توان راکتیو از شبکه دریافت می‌کند.

۱۲ـ **s.f (Amps)**: جریان مجاز موتور در بار کامل موتور است.

۱۳ـ **Service Factor** : ضریب حداکثر بار مجاز را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر اگر بار نامی به این ضریب ضرب شود، حداکثر باری که موتور برای مدت کوتاه تحمل می‌کند، مشخص خواهد کرد.

۱۴ـ **Housing**: محیط کار موتور را از نظر فضای باز یا سر پوشیده نشان می‌دهد.

۱۵ـ **Type**: حروف نوشته شده برای کارخانه سازنده نوع (تک‌فاز، سه‌فاز، موتورخازنی و ...) ساختمان، قدرت موتور، دور موتور را مشخص می‌کند.

۱۶ـ **Serial**: تاریخ تولید، نوع تولید، شماره تولید و ... در این قسمت برای کارخانه سازنده معلوم می‌شود.

۱۷ـ **Type**: نوع نگهداری و نصب موتور را مشخص می‌کند. (در داخل □ حروفی نوشته می‌شود) به عنوان

مثال:

حرف A ـ نشان‌دهنده تنظیم اتوماتیک موتور است.

حرف D ـ نشان‌دهنده تنظیم اتوماتیک موتور با تأخیر زمانی است.

حرف M ـ نشان‌دهنده تنظیم مجدد موتور با دست است.

حرف X ـ نشان‌دهنده تنظیم مجدد موتور با دست یا اتوماتیک است.

۱۸ـ برچسب و مارک کارخانه سازنده نصب می‌شود.

۱۹ـ در پلاک موتورها علاوه بر اطلاعات فوق علائم حفاظتی با حروف IPXX را نشان می‌دهند. در علامت مشخصه IPXX، اولین رقم X پس از IP مشخصه‌کننده درجه حفاظت موتور در مقابل اجسام خارجی و دومین رقم X مشخصه‌کننده درجه حفاظت موتور درمقابل ایمنی آب می‌باشد. جدول (IP) در کتاب هنرجو آورده شده است.

۲۰ـ زمان کار ماشین را نشان می‌دهد.

فعالیت

مشخصات پلاک‌های الکتروموتور داده شده در شکل ۸۰ را استخراج کنید.

شکل ۸۰ـ 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 ۳ـ عیب‌یابی موتورهای القایی

علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
موتور راه‌اندازی نمی‌شود	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. اگرفیوزها 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.
	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 فازه 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.
	اتصالات شبکه صحیح نیست	سرسیم‌ها جابه‌جا شده است	اتصالات موتور را با نقشه موتور تطبیق دهید. دیاگرام‌ها را از کتاب‌های مطالعه شده، در اختیار بگیرید و طریقهٔ اتصال را با اتصال موتور تطبیق دهید. ممکن است سر سیم‌ها مطابق نقشه به تخته کلم هدایت نشده باشد. هدایت سیم‌ها را در تخته کلم تصحیح کنید. سر کلاف‌ها را با اهم‌متر پیدا کنید و محل اتصال صحیح را بررسی کنید و اصلاح کنید.

جدول عیب‌یابی موتورهای القایی			
علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
موتور داغ می‌کند	موتو راه‌اندازی نمی‌شود	کنترل‌کننده معیوب است	کنترل‌کننده‌های خارجی موتور را بررسی کنید و عیب را رفع کنید.
		کلید راه‌انداز معیوب است	تعمیر کلید راه‌انداز، مناسب است کلید راه‌انداز عوض شود.
موتور به هنگام کار سروصدا می‌کند	ساییدگی یاتاقان‌ها و یا دنده‌ها	کشش تسمه خیلی زیاد و یا عدم انطباق تسمه	عیب مکانیکی را رفع کنید. تسمه‌ها جایی که مسطح یا V شکل باشند باید دارای کشش کافی برای جلوگیری از لغزش باشد.
		اتصال نامتعادل دنده‌های درگیر	دنده‌ها 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.
	یاتاقان‌ها کثیف و بیش از حد ساییده شده	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.
	روان‌کاری غیرکافی	———	یاتاقان‌های استوانه‌ای 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.
موتور داغ می‌کند	جریان زیاد می‌کشد یا جریان فازها با هم برابر نیستند	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 می‌دهد.

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 خرخرگربه را می‌دهد. روغن‌کاری سروصدا را کم می‌کند و گرنه یاتاقان‌ها باید تعویض شوند.
	کلید تلق‌تلق 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 وگرنه 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 به‌عمل آید.
		راه اندازی به دفعات زیاد	در صورت کنترل اتوماتیک موتور ممکن است. این شرایط به‌وجود 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.
		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.
	یاتاقان‌های معیوب	ساییدگی یاتاقان‌ها	تعویض یاتاقان‌ها
	اتصال کوتاه کلاف‌ها	سوختن سیم‌ها	این حالت توسط سروصدای مغناطیسی غیرعادی با قدرت بی‌باری بیش از حد مشخص می‌شود.
	سیم‌پیچ با کلید راه‌انداز زمین شده است	خرابی عایق	اگر محل زمین شدن قابل تشخیص نیست موتور باید دوباره سیم‌پیچ شود.
	کلید راه‌انداز عمل نمی‌کند	خرابی کلید راه‌انداز	تعویض کلید راه‌انداز (تعمیر توصیه نمی‌شود)

جدول عیب‌یابی 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 ازبین 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

شرح کار:

شناسایی قطعات ساختمان الکتروموتور
باز کردن الکتروموتور
محاسبه و رسم دیاگرام
تئوری میدان دوّار
بازپیچی الکتروموتور

استاندارد عملکرد: بازپیچی و سیم‌پیچی الکتروموتور سه‌فاز در کارگاه سیم‌پیچی با رعایت موارد ایمنی

شاخص‌ها:

شناسایی قطعات الکتروموتور
مراحل بازپیچی
آشنایی با میدان دوار
رسم دیاگرام

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: فضای مناسب ـ ابزار مناسب ـ مدت زمان متناسب با حجم کار
ابزار و تجهیزات: بوبین پیچ ـ الکتروموتور شیار خالی و سوخته ـ میز تست الکتروموتور ـ لباس‌کار ـ دستکش

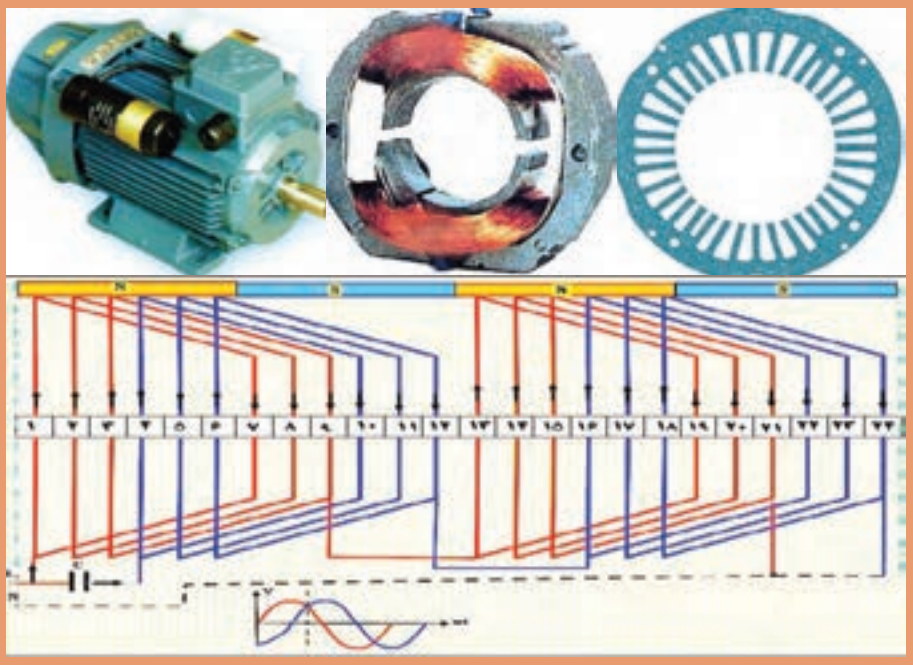
معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	بازپیچی الکتروموتور سه‌فاز	۲	
۲	سیم‌پیچی و رسم دیاگرام	۲	
۳	بازکردن ۱	۱	
۴	بازکردن ۲	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کارتیمی مستندسازی ویژگی شخصیتی	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۵

سیم‌پیچی الکتروموتورهای تک‌فاز



واحد یادگیری ۵

سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز

آیا می‌دانید:

- کاربردهای الکتروموتورهای تک‌فاز کجاست؟
- انواع الکتروموتور تک‌فاز کدام‌اند؟
- تشکیل میدان دوّار در الکتروموتور تک‌فاز با سه فاز چه تفاوتی دارند؟
- چرا از سیم‌پیچی متحدالمرکز در این الکتروموتورها بیشتر استفاده می‌شود؟
- سیم‌پیچ راه‌انداز و کمکی چه تفاوتی دارد؟
- سیم‌پیچی الکتروموتور کولر از نوع سیم‌پیچ راه‌انداز است یا کمکی؟

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری، هنرجویان قادر خواهند بود دیاگرام انواع الکتروموتورهای تک‌فاز را ترسیم کرده و سیم‌پیچی آن را انجام دهند.
همچنین آنها قادر به سیم‌پیچی الکتروموتور کولر آبی و عیب‌یابی 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 ۱/۵، ۲، ۳ و ۵ اسب بخار برای ولتاژهای ۱۱۵ و ۲۲۰ و حتی برای ۴۴۰ ولت در اندازه‌های ۷/۵ و ۱۰ اسب بخار نیز ساخته می‌شود.
اصول کار موتورهای تک‌فاز اغلب براساس اصول القایی که در موتورهای سه فاز 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 سه فاز است. به همین دلیل این موتورها کاربرد صنعتی ندارند. از آنجایی که برق خانگی، تک فاز 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. ازجمله وسایل اضافی این موتورها می‌توان به کلیدهای گریزازمرکز، سیم‌پیچ استارت، خازن‌های راه‌انداز و تصحیح‌کننده ضریب قدرت اشاره کرد (شکل ۱).

شکل ۱ــ 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

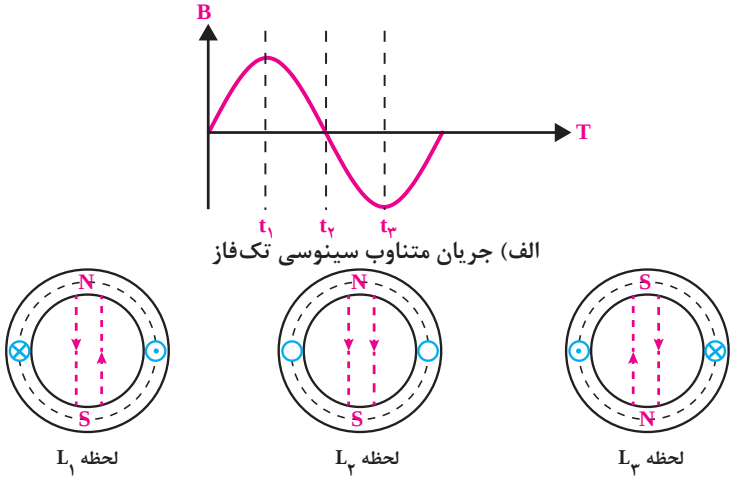
پ) موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز
ت) موتور دو خازنی (دائم کار و راه‌انداز)
ث) موتور اونیورسال
ج) موتور با قطب چاکدار
دراین فصل طرزکار و نحوه سیم‌پیچی تعدادی از الکتروموتورهای تک‌فاز ارائه شده است و اطلاعات بیشتر در کتب تخصصی سال‌های آینده آورده خواهد شد.

فیلم

معرفی اجزا و عملکرد الکتروموتور تک‌فاز از لحظه ۰۱: ۱۹َ: ۵۰ً تا ۰۱: ۲۱َ: ۰۳ً

اساس کار موتورهای تک‌فاز

اساس کار موتورهای القایی سه‌فاز را میدان دوار تشکیل می‌دهد. به‌طوری 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 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).



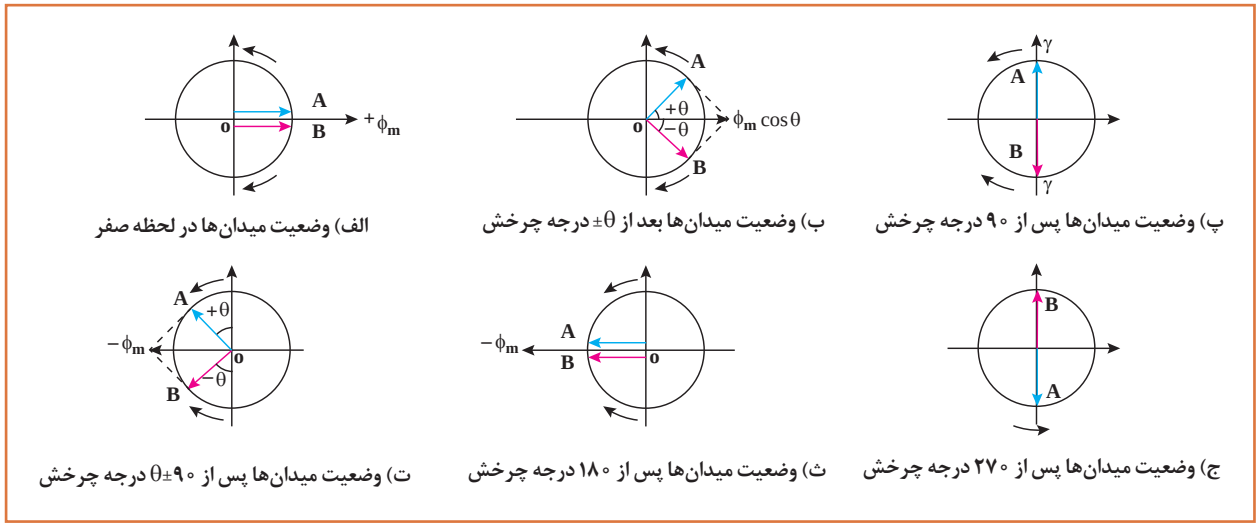
الف) جریان متناوب سینوسی تک‌فاز

ب) وضعیت میدان مغناطیسی در یک استاتور با سیم‌پیچ تک‌فاز

شکل ۲ـ میدان مغناطیسی ساکن

در حالت فوق اگر در داخل استاتور یک رتور قفسی قرار داشته باشد در هادی‌های آن جریان القایی به‌وجود می‌آید ولی گشتاور چرخشی تشکیل نمی‌شود. چنانچه رتور را به‌وسیله دست با هر عامل دیگری در جهتی به چرخش درآید، ملاحظه می‌شود که با حذف عامل گرداننده (مثلاً نیروی دست) رتور همچنان در جهت گردانده شده به چرخش ادامه می‌دهد.

این پدیده را دانشمندی به‌نام لبلان تحت عنوان تئوری دو میدان گردان به این شرح بیان می‌کند. میدان مغناطیسی ناشی از جریان متناوب تک‌فاز در داخل استاتور با یک سیم‌پیچ 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).



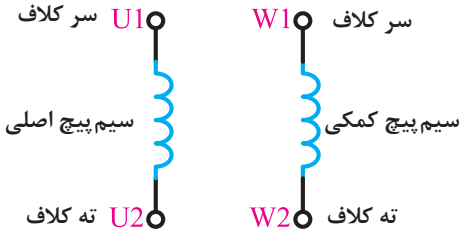
شکل ۳ــ میدان ناشی از دو میدان دوار Φ_A و Φ_B در شرایط مختلف (تئوری لبلان)

به همین خاطر در موتورهای تک‌فاز در کنار سیم‌پیچ اصلی از یک گروه سیم‌پیچی دیگر تحت عنوان «سیم‌پیچ کمکی» استفاده می‌شود. این سیم‌پیچی کمکی با اختلاف فاز ۹۰ درجه‌ای نسبت به سیم‌پیچی اصلی در شیارهای موتور قرار داده می‌شود. در برخی موتورهای تک‌فاز سیم‌پیچ کمکی از ابتدای وصل موتور به برق تا انتهای کار موتور به همراه سیم‌پیچ اصلی به شبکه متصل است. اما در انواع دیگر پس از راه‌اندازی موتور، سیم‌پیچ کمکی به‌واسطه تجهیزات اضافی از شبکه جدا شده و برق آن قطع می‌شود، در چنین مواردی به این سیم‌پیچ کمکی که فقط در ابتدای راه‌اندازی موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد «سیم‌پیچ راه‌انداز» گفته می‌شود. در بخش‌های بعد با جزئیات و نحوه سیم‌پیچی این موتورها آشنا خواهید شد. در شکل ۴ تصویر سیم‌پیچی‌های اصلی و کمکی موتورهای تک‌فاز مشاهده می‌شود.

با توجه به شکل‌های فوق ملاحظه می‌شود چنانچه میدان‌های ΦA و ΦB به اندازه ۳۶۰° 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 گردانده شود، در همان جهت به حرکت خود ادامه خواهد داد.

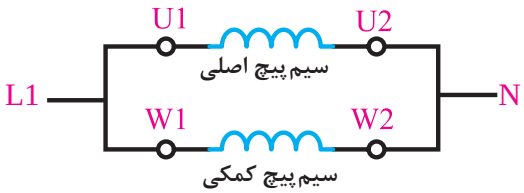
بنابراین اگر رتور به‌گونه‌ای راه‌اندازی شود، مثلاً در جهت عقربه‌های ساعت چرخانده شود، گشتاور موجود در جهت عقربه‌های ساعت شروع به زیاد شدن کرده و در همان موقع، گشتاور موجود در جهت عکس عقربه‌های

ساعت شروع به کم شدن می‌کند. بنابراین یک مقدار معینی گشتاور خالص در جهت عقربه‌های ساعت وجود دارد که به موتور شتاب داده و سرعت آن را به سرعت کامل می‌رساند. بنابراین برای راه‌اندازی موتورهای تک‌فاز احتیاج به یک راه‌اندازی اولیه است.



شکل ۴ـ سیم‌پیچی اصلی و کمکی

نحوه اتصال سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی موتورهای تک‌فاز به‌صورت موازی و مطابق شکل ۵ است.



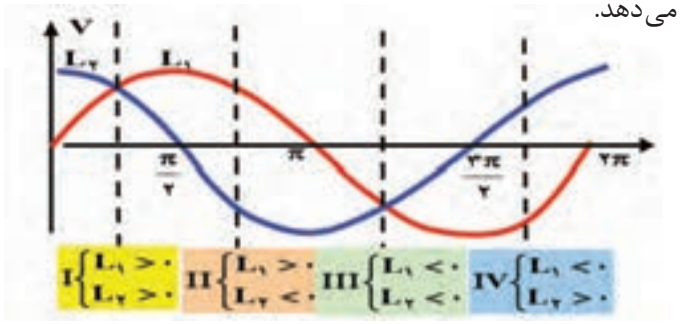
شکل ۵ـ اتصال سیم‌پیچی اصلی و کمکی

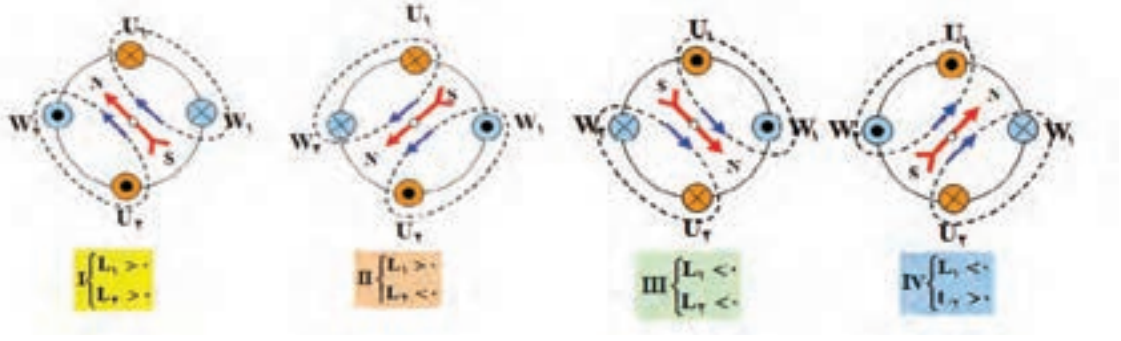
تحقیق

آیا سیم‌پیچ کمکی از نظر ضخامت و تعداد دور با سیم‌پیچ اصلی برابر است؟

در این گروه از سیم‌پیچ‌های موتور تک‌فاز چون سیم فاز به دو شاخه موازی تقسیم شده و جریان را به دو مسیر سیم‌پیچ اصلی و کمکی می‌فرستد. لذا به این گروه از موتورهای تک‌فاز «موتورهای طرح دو فاز» یا «موتورهای با فاز شکسته» گفته می‌شود. در این موتورها که اغلب توان کمتر از $\frac{1}{2}$ اسب بخار دارند، اختلاف فاز بین سیم‌پیچ اصلی و استارت را از طریق افزایش مقاومت اهمی سیم‌پیچ استارت تأمین می‌کنند. به این موتورها موتورهای با راه‌انداز مقاومتی نیز می‌گویند.

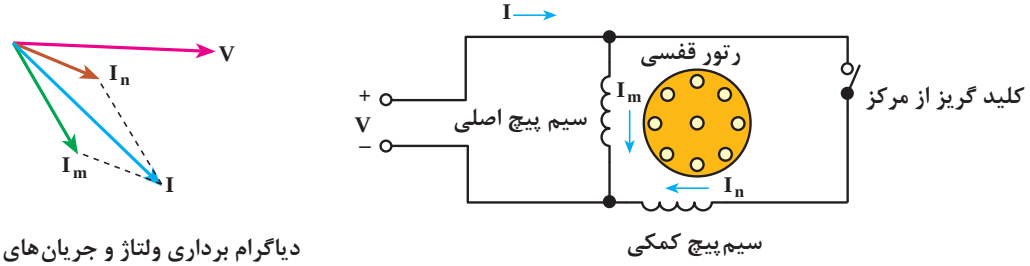
شکل (۶) وضعیت شکل موج جریان‌های جاری در دو سیم‌پیچی را به همراه وضعیت میدان مغناطیسی فضای داخلی استاتور نشان می‌دهد.





شکل ۶ـ وضعیت حوزه دوار در سطح استاتور موتور تک‌فاز از نوع طرح دوفاز

شکل دیگری از این موتورها بدین‌صورت است که در مسیر سیم‌پیچی کمکی آنها از یک کلیدی به نام کلید گریزازمرکز استفاده می‌شود. از آنجایی که موتورهای تک‌فاز پس از راه‌اندازی می‌توانند به حرکت دورانی خود ادامه دهند لذا می‌توان پس از راه‌اندازی، سیم‌پیچی‌های کمکی را از مدار خارج کرد (شکل ۷).

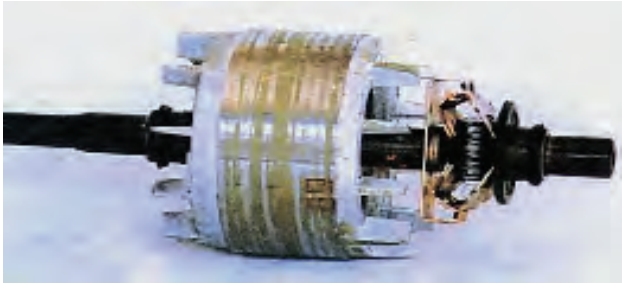


شکل ۷ــ محل قرار گرفتن کلید گریز از مرکز در مدار

این کلید روی محور موتور قرار می‌گیرد و با سرعت رتور می‌چرخد. عملکرد کلید بدین‌صورت است که وقتی سرعت موتور به ۷۵٪ سرعت نامی خود رسید کلید گریزازمرکز تغییر حالت داده و سیم‌پیچی کمکی را از مدار خارج می‌کند (شکل ۸).

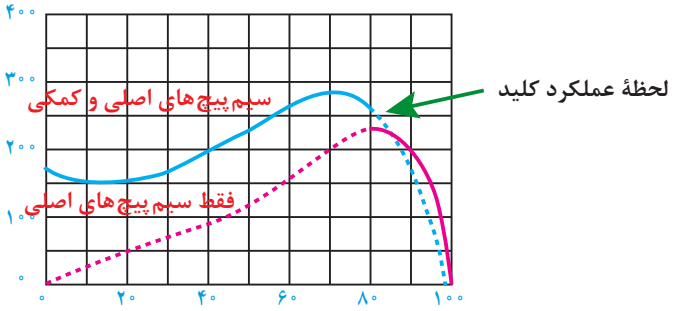
شکل ۸ــ کلید گریز از مرکز

شکل (۹) تصویر دیگری از این کلید را که روی رتور موتور تک‌فاز نصب‌شده است نشان می‌دهد.



شکل ۹ــ محل قرار گرفتن کلید گریز از مرکز

منحنی مشخصه عملکرد موتورهای تک‌فاز با کلید گریزازمرکز را در شکل (۱۰) مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۰ـ منحنی مشخصه عملکرد موتور تک‌فاز

تحقیق

اگر کلید گریزازمرکز به هر دلیلی تغییر حالت ندهد چه پیامدی برای الکتروموتور خواهد داشت؟

سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز طرح دوفاز

الکتروموتورهای تک فاز، با راه‌انداز دائم، به صورت طرح دوفاز، سیم‌پیچی می‌شوند. در این حالت نصف شیارها را سیم‌پیچ اصلی و نصف دیگر را، سیم‌پیچ راه‌انداز (سیم‌پیچ کمکی)، اشغال می‌کند. سیم‌پیچ کمکی، یا سیم‌پیچ استارت با سیم‌پیچ اصلی، ۹۰ درجه الکتریکی، اختلاف فاز دارد. برای سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز مانند موتورهای سه فاز، در سه مرحله باید آن را طراحی و ترسیم کرد.

۱ـ انجام محاسبات سیم‌پیچی

۲ـ تشکیل جدول سیم‌پیچی

۳ـ رسم دیاگرام و سربندی

لازم به ذکر است سیم‌پیچی موتورهای طرح دوفاز را به دو صورت گام کامل و گام کسری سیم‌پیچی می‌کنند که در این فصل به هر دو مورد اشاره شده است. چند مثال در مورد نحوه سیم‌پیچی این گروه از موتورهای تک‌فاز ارائه شده است.

تحقیق

آیا ممکن است الکتروموتور سه فاز را با اتصال به شبکه برق شهر (تک‌فاز) راه‌اندازی کرد؟

سیم‌پیچی موتورهای تک فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار یک طبقه به‌صورت گام کامل

مثال ۱ـ۵: الکتروموتور تک‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب مفروض است. دیاگرام سیم‌بندی این موتور را به‌صورت سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار، یک طبقه با گام کامل به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.

حل: برای موتورهای با سیم‌پیچ کمکی دائم، محاسبات طرح دوفاز دنبال می‌شود. در این حالت تعداد فازها برابر $m=۲$ در نظر گرفته می‌شود. اختلاف بین دوفاز، ۹۰ درجه الکتریکی می‌باشد. اگر فاز $U_۱$، از شیار شماره ۱، شروع شود، فاز $W_۱$ از شیار $۱+\frac{۹۰}{\alpha_{ez}}$ شروع خواهد شد.

محاسبات سیم‌پیچی

$$Z = ۲۴ \, , \, m = ۲ \, , \, Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۲۴}{۴} = ۶$$

$$q = \frac{Z}{۲P.m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۲} = ۳ \, , \, Y_P = Y_Z = ۶$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰^\circ}{Z} = \frac{۲ \times ۳۶۰^\circ}{۲۴} = ۳۰^\circ$$

$$\text{شروع } U_۱ \Rightarrow ۱ \quad \text{شروع } W_۱ = ۱ + \frac{۹۰^\circ}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۹۰^\circ}{۳۰^\circ} = ۴$$

تشکیل جدول

جدول سیم‌پیچی ۴ ردیف (به تعداد قطب‌ها) و ۲ ستون (به تعداد فازها) تشکیل می‌شود و هر ستون به q قسمت تقسیم می‌شود. موتورهای الکتریکی تک فاز بیشتر به صورت متحدالمرکز، سیم‌پیچی می‌شوند. انتخاب سیم‌پیچ متحدالمرکز، امکان جداسازی سیم‌پیچ‌ها را از همدیگر، فراهم می‌سازد. بدین ترتیب، سیم‌پیچ راه‌انداز که، از قطر سیم کمتر تشکیل می‌شود، آسیب‌پذیری بیشتری دارد و روی سیم‌پیچ اصلی قرار می‌گیرد. در صورت سوختن یا قطع مدار، می‌توان آن را به سادگی تعویض یا تعمیر کرد. بدون آنکه به سیم‌پیچ اصلی صدمه‌ای وارد شود. در سیم‌پیچی متحدالمرکز، به سبب تغییر گام سیم‌بندی در کلاف‌ها، ضریب کوتاهی گام سیم‌پیچ‌ها، تغییر می‌کند. 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 می‌شود. در سیم‌بندی طرح دوفاز، مانند موتورهای سه فاز، سیم‌پیچی در هر دو حالت، کلاف مساوی و متحدالمرکز اجرا می‌شود. در این مثال هر دو مورد سیم‌پیچی کلاف مساوی و متحدالمرکز را دنبال کنید (شکل ۱۱).

تشکیل جدول

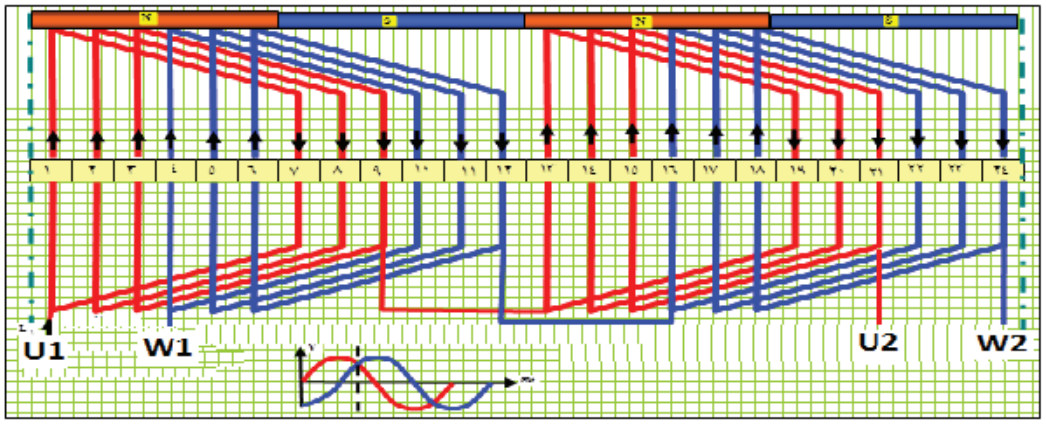
آرایش کلاف‌ها در سیم‌بندی (کلاف مساوی)

آرایش کلاف‌ها در سیم‌بندی (متحدالمرکز)

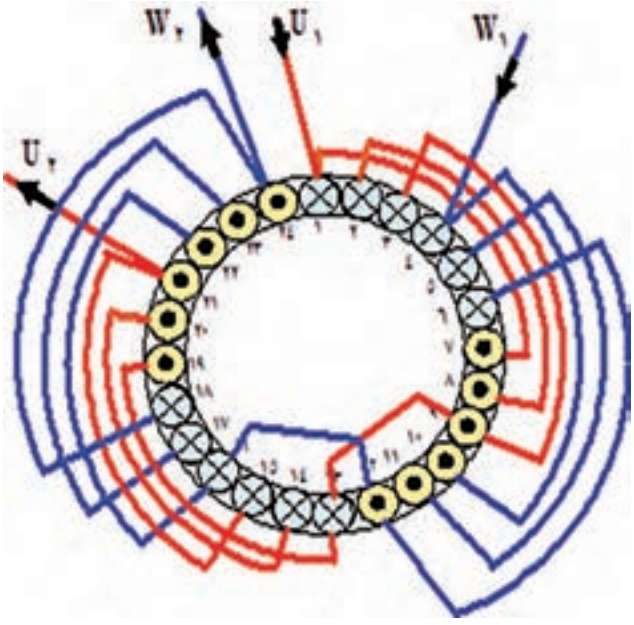
شکل ۱۱ــ تشکیل جدول و آرایش کلاف‌ها در سیم‌بندی کلاف مساوی و متحدالمرکز

☑ ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌پیچی به‌صورت کلاف مساوی (زنجیری) و مدور

دیاگرام گسترده کلاف مساوی در شکل ۱۲ و دیاگرام دایره‌ای (مدور) در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

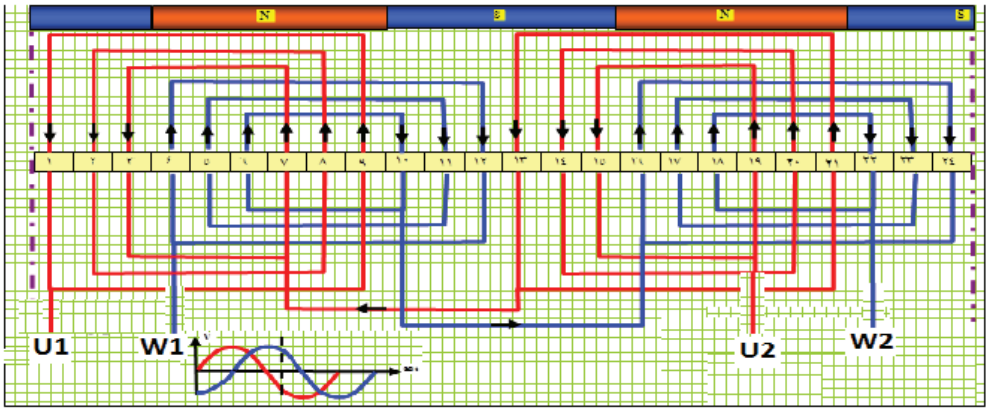


شکل ۱۲ــ دیاگرام گسترده کلاف مساوی و یک طبقه موتور تک فاز۲۴ شیار ۴ قطب طرح دوفاز

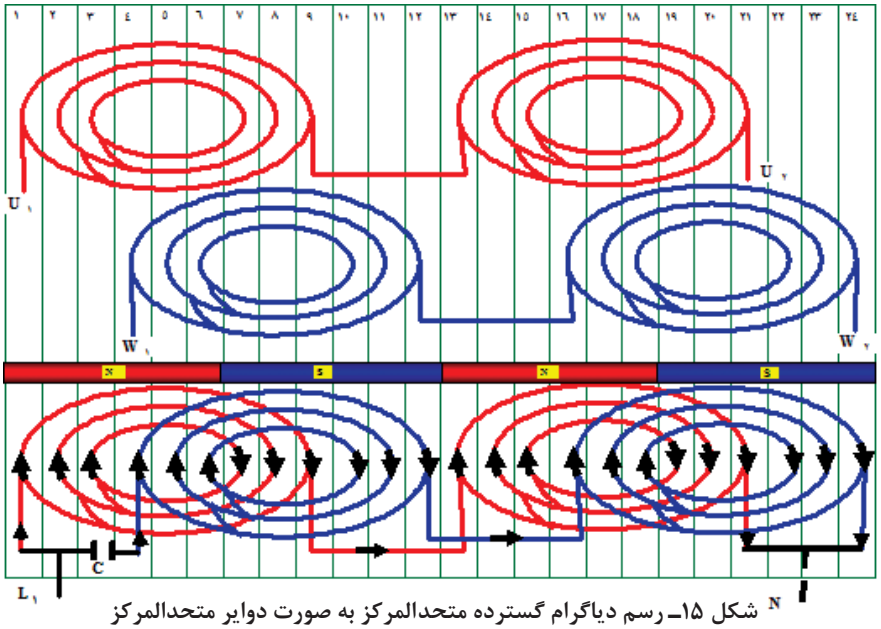


شکل ۱۳ــ دیاگرام دایره‌ای (مدور) کلاف مساوی و یک طبقه موتور تک فاز، ۲۴ شیار ۴ قطب، طرح دوفاز

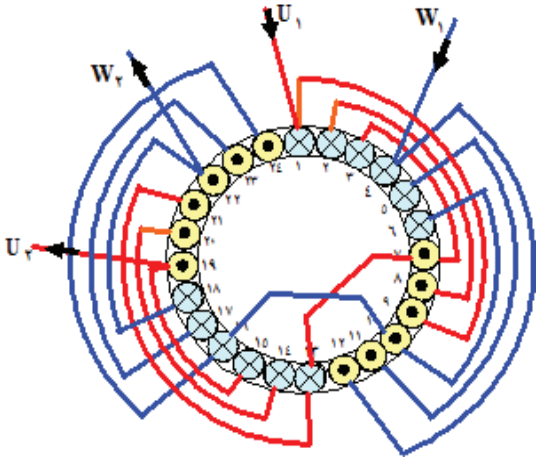
ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌پیچی به صورت متحدالمرکز و مدور متحدالمرکز دیاگرام گسترده متحدالمرکز و یک طبقه موتور تک فاز، ۲۴ شیار ۴ قطب طرح دوفاز در شکل ۱۴ نشان داده شده است. برخی موارد دیاگرام‌های گسترده متحدالمرکز موتورهای تک‌فاز را به‌صورت شکل ۱۵ نیز رسم می‌کنند. دیاگرام مدور متحدالمرکز در شکل ۱۶ آورده شده است.



شکل ۱۴ـ دیاگرام متحدالمرکز



شکل ۱۵ـ رسم دیاگرام گسترده متحدالمرکز به صورت دوایر متحدالمرکز



شکل ۱۶ـ دیاگرام دایره‌ای (مدور) سیم‌پیچی متحدالمرکز

سؤال: دیاگرام گسترده و دایره‌ای 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 ۲ـ 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

$$Z = ۳۶ \;,\; m = ۲ \;,\; Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۳۶}{۶} = ۶ \qquad q = \frac{z}{۲p.m} = \frac{۳۶}{۶ \times ۲} = ۳$$

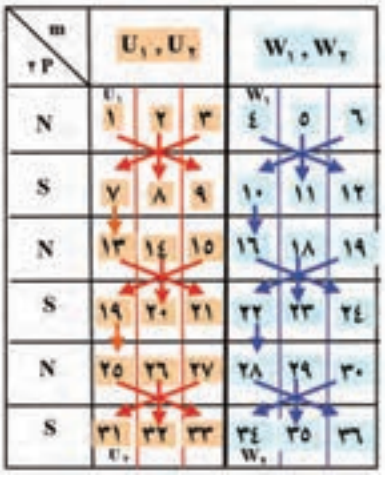
$$Y_P = Y_Z = ۶ \;,\; \alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶^\circ}{Z} = \frac{۳ \times ۳۶^\circ}{۳۶} = ۳۰^\circ$$

$$\text{شروع } U_۱ \Rightarrow ۱ \qquad \text{شروع } W_۱ = ۱ + \frac{۹۰^\circ}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۹۰^\circ}{۳۰^\circ} = ۴$$

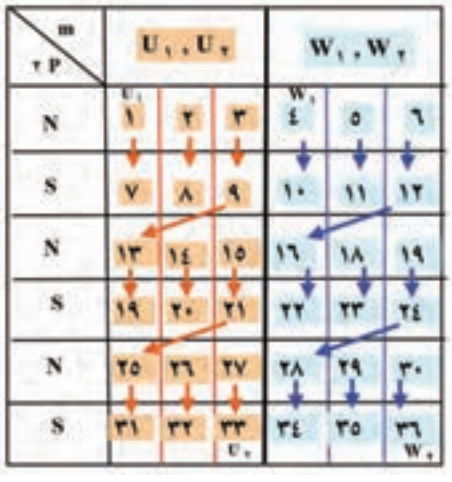
☑ تشکیل جدول

m / ۲P	$U_۱$ ، $U_۲$			$W_۱$ ، $W_۲$		
N	۱	۲	۳	٤	٥	٦
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۸	۱۹
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲٤
N	۲٥	۲٦	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
S	۳۱	۳۲	۳۳	۳٤	۳٥	۳٦

شکل ۱۷ـ جدول سیم‌پیچی موتور تک فاز ۳۶ شیار یک طبقه ۶ قطب با گام کامل (G = P) طرح دوفاز



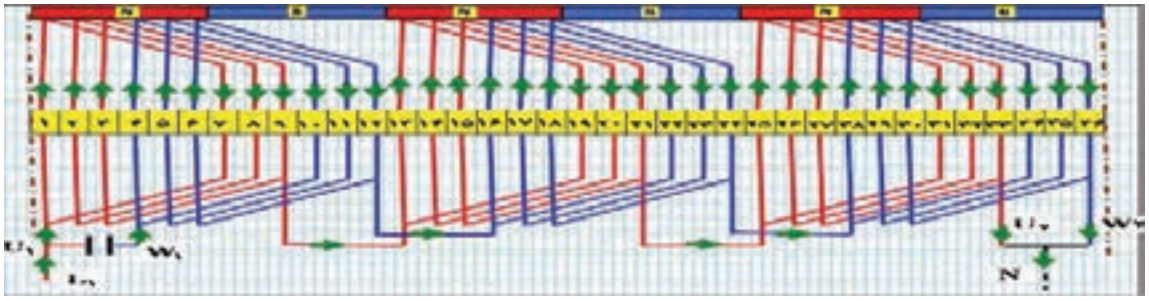
جدول کلاف متحدالمرکز موتور ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه طرح دوفاز



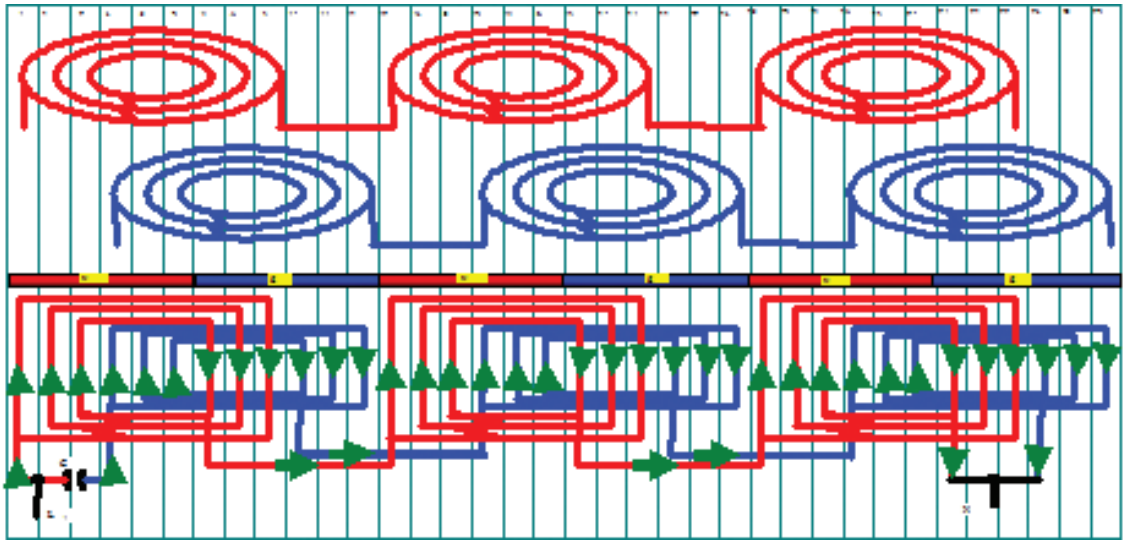
جدول کلاف مساوی موتور ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه طرح دوفاز

شکل ۱۸ـ جدول کلاف مساوی و متحدالمرکز موتور ۳۶ شیار۶ قطب یک طبقه طرح دوفاز

ترسیم دیاگرام سیم‌بندی



شکل ۱۹ـ دیاگرام گسترده کلاف مساوی، موتورتک فاز ۳۶ شیار۶ قطب یک طبقه با گام کامل طرح دوفاز(راه‌انداز دائم)



شکل ۲۰ـ دیاگرام گسترده متحدالمرکز، موتورتک فاز ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه با گام کامل طرح دوفاز(راه‌انداز دائم)

فعالیت

دیاگرام گسترده کلاف مساوی (شکل ۱۹) و متحدالمرکز (شکل ۲۰) سیم‌پیچی مثال ۲ـ۵ را در کاغذ شطرنجی ترسیم کنید.

سیم‌پیچی موتورهای تک فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم درمدار یک طبقه گام کسری

برای توزیع سیم‌پیچی در سطح استاتور، موتورهای تک‌فاز باطرح دوفاز، نظیر موتورهای سه فاز، به صورت گام کسری (کوتاه شده) سیم‌پیچی می‌شوند. در حالت‌هایی که q فردیا زوج است، مطابق دستورالعمل‌های موتورهای سه‌فاز، سیم‌بندی اجرا می‌شود. با این تفاوت که در الکتروموتورهای طرح دوفاز، دوستون برای دوفاز ترسیم می‌شود. اختلاف فاز بین فازها، ۹۰ درجه الکتریکی می‌باشد.

مثال ۳ـ ۵: الکتروموتور تک فاز ۲۴ شیار ۴ قطب مفروض است. دیاگرام سیم‌بندی این موتور را به صورت استارت دائم، یک طبقه با گام کسری (کوتاه شده) به‌ازای قطب، طرح و رسم کنید.

محاسبات

$$Z = ۲۴ \, , \, m = ۲ \, , \, Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۲۴}{۴} = ۶ \, , \, q = \frac{Z}{۲P.m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۲} = ۳$$

$$Y_{Z۱} = Y_P - (\frac{q}{۲} - \frac{۱}{۲}) = ۶ - (\frac{۳}{۲} - \frac{۱}{۲}) = ۵$$

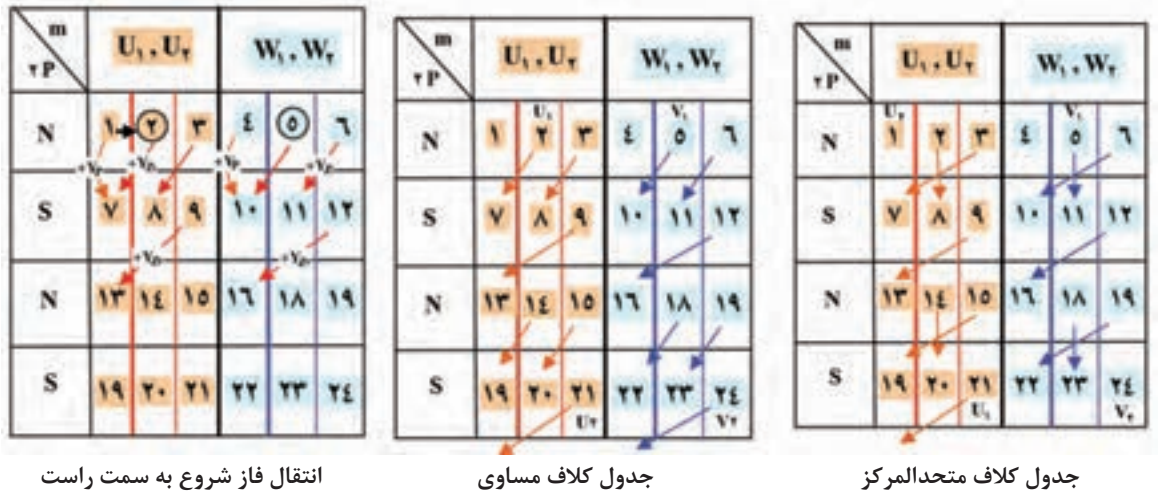
$$Y_{Z۲} = Y_P - (\frac{q}{۲} + \frac{۱}{۲}) = ۶ - (\frac{۳}{۲} + \frac{۱}{۲}) = ۴$$

$$\alpha_{ez} = \frac{q \times ۳۶۰^\circ}{Z} = \frac{۲ \times ۳۶۰^\circ}{۲۴} = ۳۰^\circ$$

$$\text{شروع } W_۱ = ۱ + \frac{۹۰^\circ}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۹۰^\circ}{۳۰^\circ} = ۴ \quad \text{شروع } U_۱ \Rightarrow ۱$$

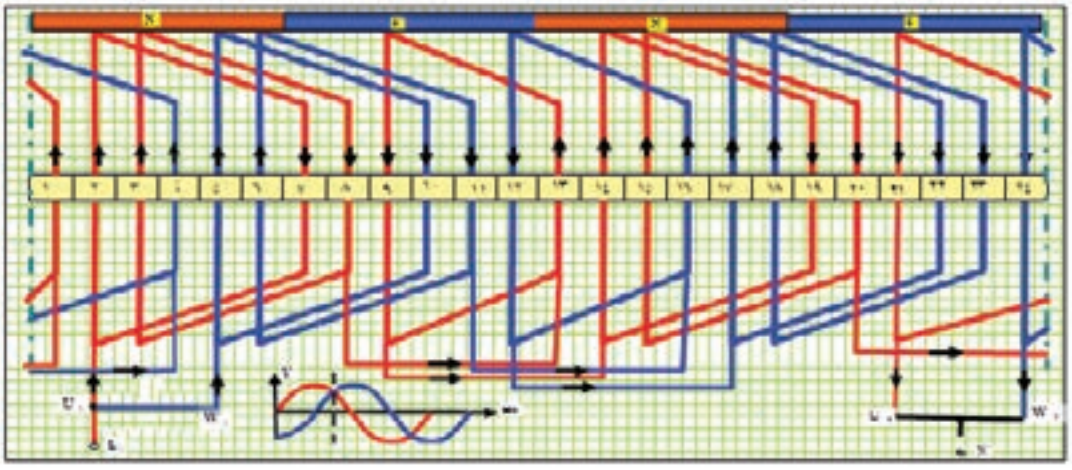
تشکیل جدول

برای تشکیل جدول، چون q فرد است، قواعد انتقال شروع فازها به اندازه $\frac{q}{۲} - \frac{۱}{۲}$ به سمت راست انتقال داده می‌شود. بنابراین شروع فازها به اندازه $۱ = \frac{۱}{۲} - \frac{۳}{۲} = \frac{۱}{۲} - \frac{q}{۲}$ شیار، به سمت راست منتقل می‌شوند. به‌عبارت دیگر فاز $U_۱, U_۲$ از شیار ۲ و فاز $V_۱, V_۲$، از شیار شماره ۵ (به‌جای شیار ۴) شروع خواهد شد. براساس مطالب فوق جدول سیم‌پیچی مطابق شکل ۲۱ تشکیل می‌شود.



جدول کلاف متحدالمرکز — جدول کلاف مساوی — انتقال فاز شروع به سمت راست

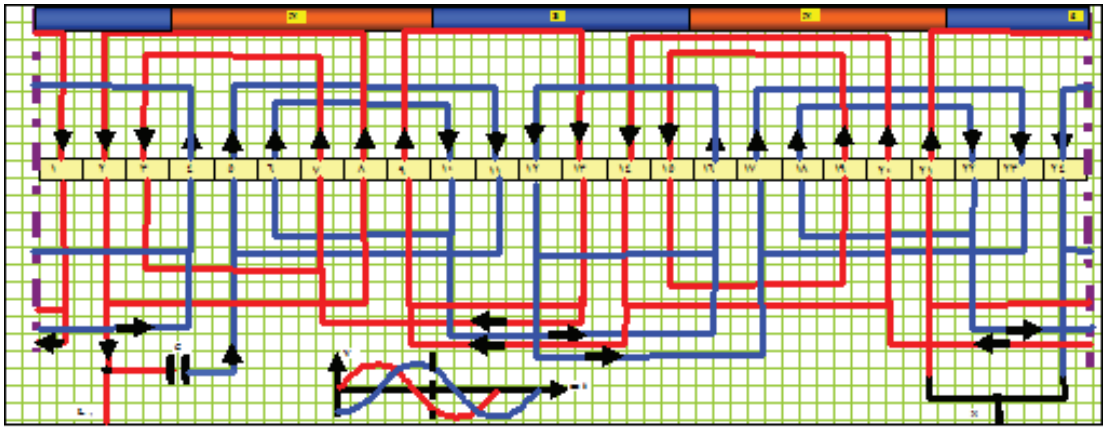
شکل ۲۱ـ جدول موتور ۲۴ شیار ۴ قطب طرح دوفاز یک طبقه با گام کسری



شکل ۲۲ـ دیاگرام گسترده کلاف مساوی و یک طبقه موتور تک فاز، ۲۴ شیار ۴ قطب، گام کوتاه طرح دوفاز

فعالیت

دیاگرام‌های گسترده سیم‌پیچی کلاف مساوی و متحدالمرکز، مثال ۳ـ۵ را در کاغذ شطرنجی ترسیم نمایید.



شکل ۲۳ـ دیاگرام گسترده متحدالمرکز و یک طبقه موتور تک فاز، ۲۴ شیار ۴ قطب طرح دوفاز، گام کسری

کار عملی۱

هدف: سیم‌پیچی موتورهای طرح دو فاز

وسایل و تجهیزات:

ـ پوسته استاتور ۳۶ شیار یک عدد

ـ استاتور نگهدار یک عدد.

ـ کلاف پیچ یک عدد.

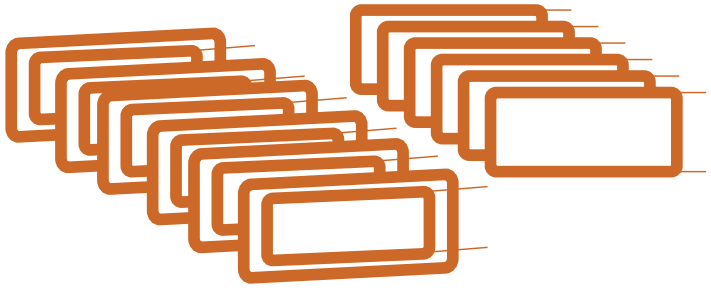
ـ قالب کلاف متحدالمرکز یک عدد.

ـ سیم لاکی با قطر مورد نیاز موتور.
ـ سیم افشان نمره ۱یا ۱/۵، ۲ متر.
ـ هویه یک عدد.
ـ روغن لحیم.
ـ سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪.
ـ عایق پرشمان ۰/۵ و ۰/۳۵ از هر کدام یک برگ.
ـ وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها.
ـ تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی.
ـ آچارتخت و آچارِرینگی و آچاربوکس هرکدام یک ست کامل.
ـ انبردست یک عدد.
ـ شارلاک.
ـ کوره حرارتی یک عدد
ـ پیچ‌گوشتی تخت و چارسو کوچک، متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد.
ـ دم باریک یک عدد.
ـ سیم‌چین یک عدد.
ـ سیم لخت‌کن یک عدد.
ـ چاقو یا کاتر یک عدد.
ـ سنباده نرم یک برگ.
ـ نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف.
ـ میکرومتر یک عدد.
ـ چکش پلاستیکی یک عدد.
ـ دورسنج موتور یک عدد.

استاتور یک موتور ۳۶ شیار یا ۲۴ شیار را تحویل گرفته و تحت نظارت مربی خود محاسبات، رسم دیاگرام موتور به‌صورت طرح دوفاز ۶ قطب با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار را به‌صورت متحدالمرکز ترسیم و سیم‌پیچی کنید.

مراحل اجرای کار عملی باید به‌صورت زیر باشد:

ـ پیچیدن ۶ گروه کلاف دوپیچکی متحدالمرکز و ۶ گروه کلاف یک پیچکی تهیه کنید (شکل ۲۴).



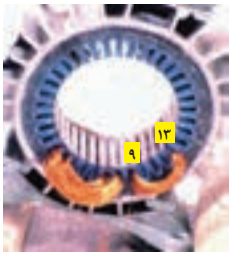
شکل ۲۴ـ ۶ گروه کلاف دو پیچکی و ۶ کلاف تکی

ـ عایق‌بندی استاتور را با کاغذهای پرشمان انجام دهید (شکل ۲۵).

شکل ۲۵ـ ۶ گروه کلاف دو پیچکی و ۶ کلاف تکی

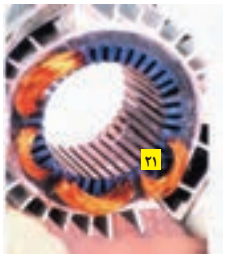
ـ با توجه به جدول متحدالمرکز شکل ۲۶ اولین گروه کلاف را با گام‌های ۲ به ۸ و۳ به ۷، در شیارهای استاتور قرار دهید.

شکل ۲۶ـ جای‌گذاری گروه کلاف شماره ۱ در شیارهای ۲ به ۸ و۳ به ۷



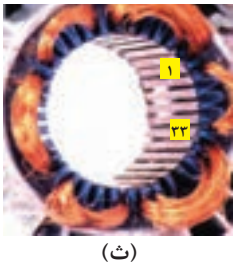
(الف)

(ب)



(پ)

(ت)



(ث)

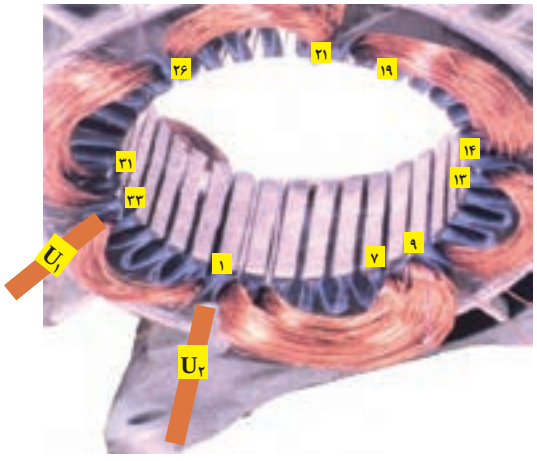
شکل ۲۷ـ تکمیل سیم‌بندی فاز اول U_1,U_2

سرسیمی که از شیار شماره ۲ خارج شده و مربوط به گروه کلاف شماره ۱ می‌باشد پس از عبور از وارنیش، به

سیم‌افشان با قطر مناسب اتصال دهید. وارنیش را مطابق شکل ۲۸ روکش آن قراردهید و به آن برچسب U_1 بزنید.

شکل ۲۸ـ هدایت فاز U_1 به سیم افشان

گروه کلاف‌ها را مطابق شکل ۲۹ سربندی کنید. سربندی با اتصال دور انجام می‌شود و سرسیم‌هایی که از شیار ۷ خارج شده به سرسیم شیار۱۳، ۹ به ۱۴، ۱۹به ۲۵، ۲۱به۲۶، ۳۱ به ۱ اتصال می‌یابند و U_2 از شیار ۳۳ به سیم افشان پس از عبور از وارنیش اتصال داده می‌شود.



شکل ۲۹ـ سربندی کلاف‌های فاز U_1,U_2

فاز دوم W_1,W_2 را با یک گروه کلاف دو پیچکی از شیار ۵ شروع کنید و کلاف کوچک آن را در شیارهای ۶، ۱۰ وکلاف بزرگ آن را در شیارهای ۵، ۱۱ قرار دهید. و سیم‌پیچی را شبیه فاز U_1,U_2 مطابق مسیرهای سفید رنگ کامل کنید. سراتصالات را به تخته کلم هدایت و سیم‌پیچی را نخ‌بندی کنید (شکل ۳۰).

شکل ۳۰ـ سیم‌پیچ فاز دوم هدایت سراتصالات به تخته کلم و نخ‌بندی سیم‌پیچی

فیلم

سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز از لحظه ۲۱: ۵۱: ۰۰ تا ۲۰: ۰۰: ۰۱

سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز خازن‌دار

موتورهای تک فاز با توان‌های کمتر از یک اسب بخار، بیشتر با راه‌انداز لحظه‌ای طراحی می‌شوند. سیم‌پیچ راه‌انداز این موتورها، پس از آنکه سرعت گردش موتور به ۷۵٪ دور نامی می‌رسد توسط کلیدهای گریز از مرکز یا رله‌های مغناطیسی از منبع تغذیه گرفته می‌شوند و موتور با سیم‌پیچ اصلی بار را به گردش درمی‌آورد. چون نقش سیم‌پیچ استارت، در موتورهای تک‌فاز، راه‌اندازی موتور می‌باشد، زمان اتصال آن به شبکه برق، خیلی کوتاه است. ازطرف دیگر هر چقدر مقاومت اهمی سیم‌پیچ راه‌انداز بیشتر باشد، گشتاور راه‌اندازی زیاد خواهد بود. برای افزایش مقاومت سیم‌پیچ استارت، قطر سیم آن را کمتر در نظر می‌گیرند. در عمل قطر سیم استارت در محدوده ۴۰ الی ۶۰ درصد قطر سیم‌پیچ اصلی انتخاب می‌شود. در محاسبه تعداد دور سیم‌پیچ استارت ولتاژ را حدود ۲۰٪ کمتر از ولتاژ سیم اصلی در نظر می‌گیرند.این عوامل باعث می‌شود که سیم‌پیچ استارت نسبت به سیم‌پیچ اصلی آسیب‌پذیرتر باشد. بدین‌علت موتورهای تک‌فاز را متحدالمرکز سیم‌پیچی می‌کنند، سیم‌پیچ استارت را در روی سیم‌های اصلی در داخل شیارها قرار می‌دهند تا در صورت آسیب دیدن سیم‌پیچ بتوانند سیم‌پیچ استارت را تعویض کنند. مدت زمان کوتاه اتصال سیم‌پیچ استارت به منبع تغذیه سبب می‌شود که بیشتر شیارهای استاتور را به سیم اصلی اختصاص دهند. بدین منظور $\frac{۲}{۳}$ شیارهای استاتور به سیم‌پیچ اصلی و $\frac{۱}{۳}$ بقیه را به سیم‌پیچ استارت منظور می‌کنند، تا در زمان کار موتور از قسمت زیاد هسته در تولید قدرت بهره‌برداری شود. در سیم‌پیچی موتورهای تک فاز با استارت موقت، برای ایجاد گشتاور قوی و برقراری حوزه دوار، اختلاف فاز الکتریکی سیم‌پیچ اصلی و استارت را، از نظر موقعیت مکانی، ۹۰ درجه الکتریکی درنظر می‌گیرند. در عمل برای تأمین اختلاف فاز مناسب بین سیم‌پیچ‌های اصلی و استارت روش‌های متفاوتی وجود دارد. از این لحاظ موتورهای تک فاز را، طبقه‌بندی می‌کنند.

در تعدادی از موتورهای تک‌فاز برای ایجاد اختلاف فاز بیشتر بین ولتاژ و جریان سیم‌پیچی‌های اصلی و کمکی از خازن در مسیر سیم‌پیچ کمکی به‌صورت سری استفاده می‌شود که این کار معمولاً درقالب سه شکل انجام می‌شود.

تحقیق

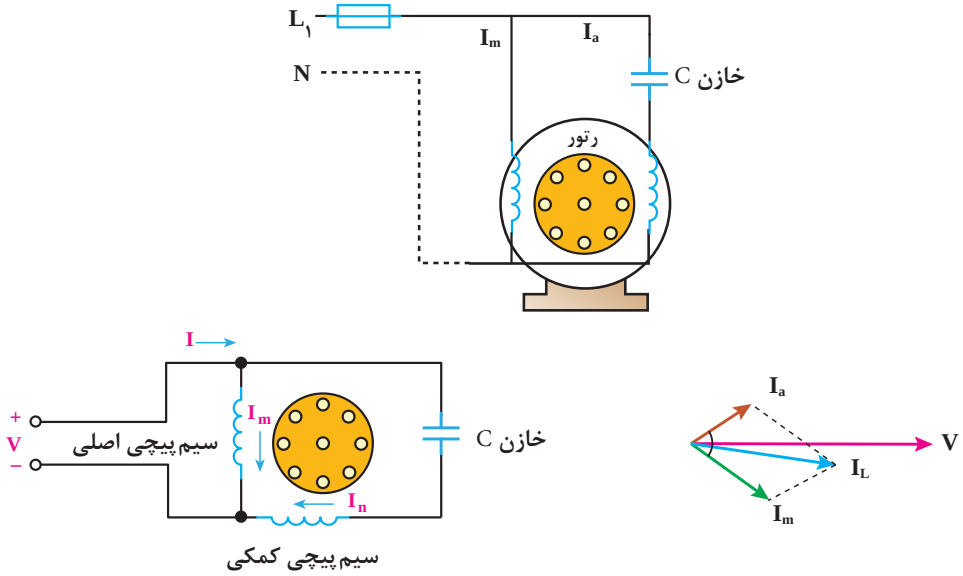
چگونه می‌توان از صحت خازن اطمینان حاصل کرد؟

خازن‌ها، در انواع دینامیکی و الکترولیتی، در راه‌اندازی موتورهای تک‌فاز ، به‌کار گرفته می‌شوند. خازن‌های الکترولیتی، در راه‌اندازهای لحظه‌ای، کاربرد دارند. این خازن‌ها در ظرفیت‌های تا ۲۰۰ میکروفاراد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الف) موتور تک‌فاز با خازن دائم کار

در موتورهای تک‌فاز، با راه‌اندازی دائم، از خازن‌های دینامیکی، که به خازن‌های خشک نیز، معروف هستند،

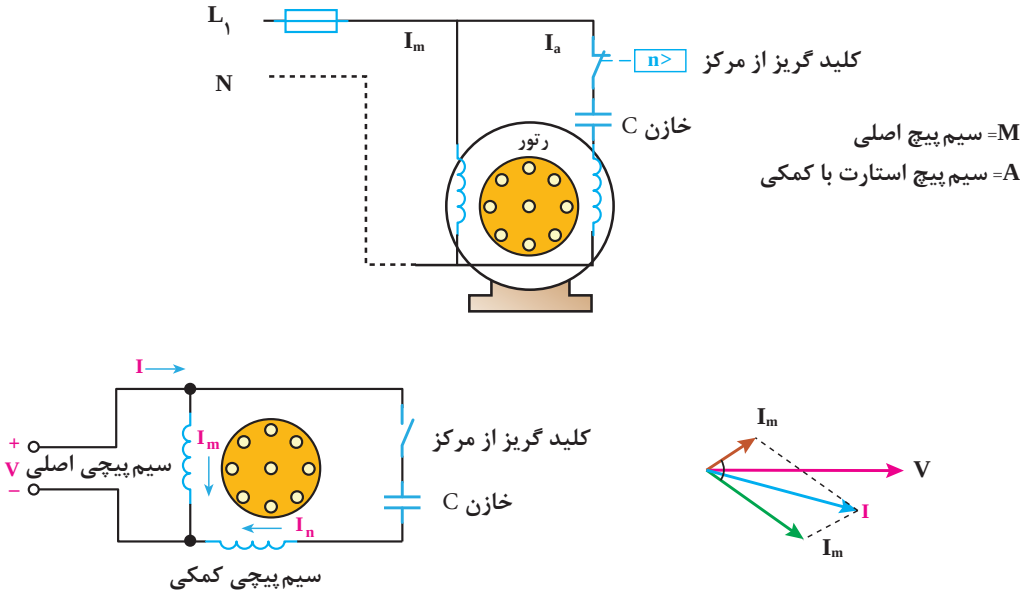
استفاده می‌شود. ظرفیت این خازن‌ها، تقریباً یک سوم خازن‌های الکترولیتی می‌باشند (شکل ۳۱).



شکل ۳۱ـ اتصال سیم‌پیچی‌های اصلی و کمکی با دیاگرام‌برداری موتور تک‌فاز با خازن دائم کار

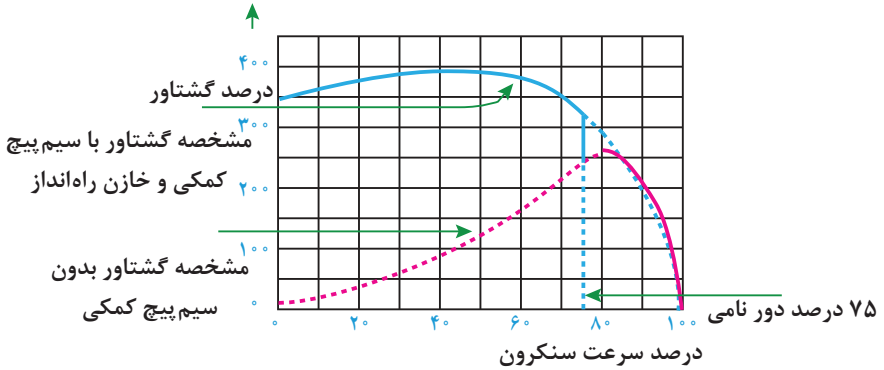
ب) موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز

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 ـ اتصال سیم‌پیچی‌های اصلی

منحنی مشخصه عملکرد موتورهای تک‌فاز با کلید گریز از مرکز و خازن راه‌انداز را در شکل (۳۳) مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۳ــ موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز و کلید گریزازمرکز

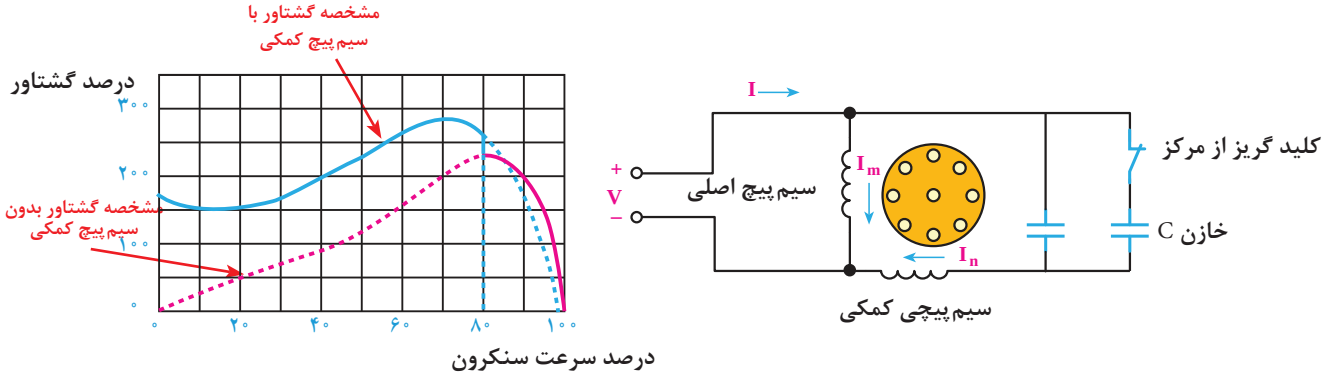
همان‌طوری که در منحنی مشخصه مشاهده می‌شود گشتاور راه‌اندازی موتورهای با خازن راه‌انداز نسبت به موتورهای با سیم‌پیچ کمکی دائم‌کار افزایش می‌یابد و در نتیجه موتور به‌صورت قوی‌تر اما با صدای کمتر و نرم‌تر راه‌اندازی می‌شود.

فیلم

محاسبات سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز لحظه ۰۰ً:۲۴: ۰۱ تا ۵۶ً:۲۵: ۰۱

پ) موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز و دائم‌کار (موتورهای دوخازنی)

در بعضی از موتورها، از هر دو نوع خازن، خشک و الکترولیتی استفاده می‌شود. خازن الکترولیتی پس از راه‌اندازی، توسط کلید گریزازمرکز از مدار الکتریکی، خارج می‌شود و خازن دائم‌کار (دینامیکی) تا زمانی که موتور کار می‌کند در مدار باقی خواهد ماند (شکل ۳۴).



ب) مشخصه گشتاور سرعت

الف) مدار الکتریکی

شکل ۳۴ــ مشخصه گشتاور دور

همان‌گونه که در ابتدا اشاره شد $\frac{۲}{۳}$ از شیارهای استاتور به سیم‌پیچ اصلی و $\frac{۱}{۳}$ بقیه را به سیم‌پیچ استارت اختصاص داده می‌شود. پس از راه‌اندازی، سیم‌پیچی کمکی در شرایط سیم‌پیچ استارت در داخل شیارها، بدون آنکه خاصیتی داشته باشد، غیر فعال باقی می‌ماند. بنابراین از $\frac{۱}{۳}$ قدرت استاتور موتور، استفاده نمی‌شود. این خاصیت به نوبه خود، بازده ماشین‌های تک‌فاز را کاهش می‌دهد.

مثال زیر نحوه محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز دارای خازن راه‌انداز را ارائه می‌دهد.

مثال ۴ـ۵: محاسبات سیم‌پیچی و دیاگرم سیم‌پیچی موتور تک‌فاز ۲۴ شیار ۲ قطب را با راه‌انداز لحظه‌ای انجام داده و دیاگرام آن را ترسیم کنید.

حل: ابتدا $\frac{۲}{۳}$ شیارها را برای سیم‌پیچ اصلی و $\frac{۱}{۳}$ بقیه شیارهای استاتور را برای سیم‌پیچ راه‌انداز منظور می‌شود. محاسبات سیم‌پیچی به شکل زیر دنبال می‌شود.

$$Z=۲۴ \quad , \quad ۲P=۲ \quad , \quad m=۱$$

$$Z_m=\frac{۲}{۳}Z=\frac{۲}{۳}\times ۲۴=۱۶ \quad \text{شیارهای اصلی}$$

$$Z_a=\frac{۱}{۳}Z=\frac{۱}{۳}\times ۲۴=۸ \quad \text{شیارهای استارت}$$

$$q_m=\frac{Z_m}{۲P\times m}=\frac{۱۶}{۲\times ۱}=۸ \rightarrow q'_m=\frac{q_m}{۲}=\frac{۸}{۲}=۴$$

$$q_a=\frac{Z_a}{۲P\times m}=\frac{۸}{۲\times ۱}=۴ \rightarrow q'_a=\frac{q_a}{۲}=\frac{۴}{۲}=۲$$

$$\alpha_{ez}=\frac{P\times ۳۶۰}{Z}=\frac{۱\times ۳۶۰}{۲۴}=۱۵^\circ$$

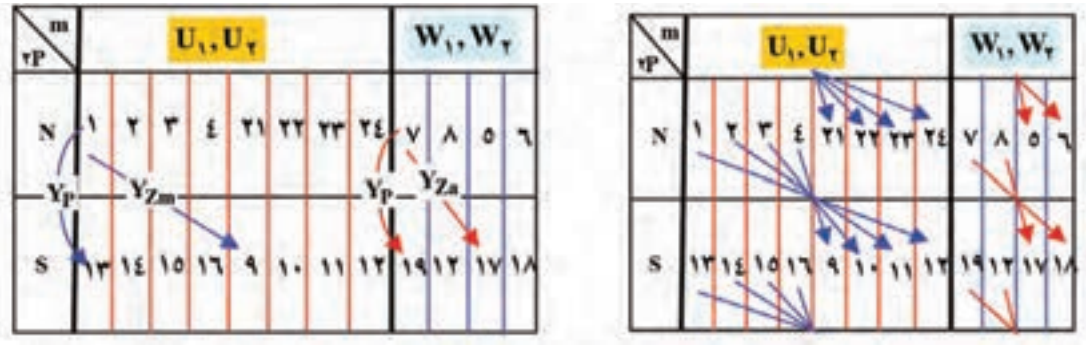
$$Y_P=\frac{Z}{۲P}=\frac{۲۴}{۲}=۱۲ \rightarrow y_{Zm}=Y_p-q'_m=۱۲-۴=۸$$

$$Y_{Za}=Y_p-q'_a=۱۲-۲=۱۰$$

تشکیل جدول

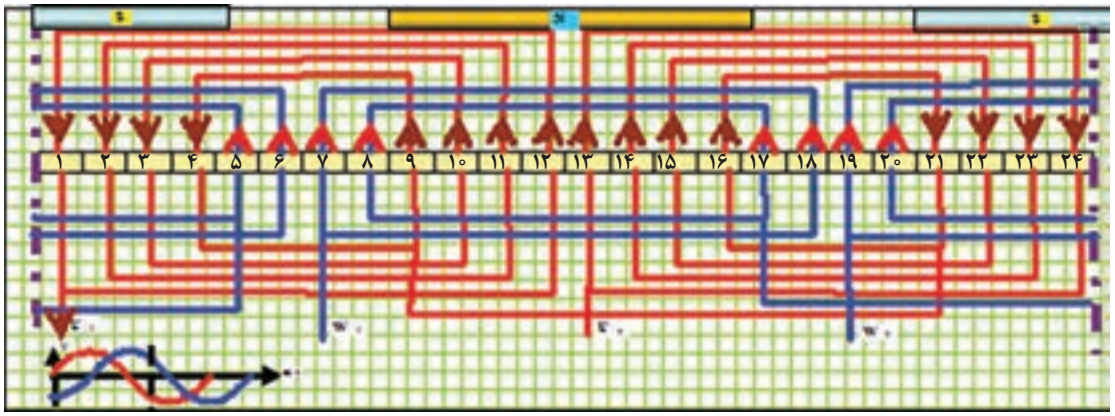
جدول سیم‌پیچی مطابق شکل ۳۵ تشکیل می‌شود. ستون $U_۱,U_۲$ براساس Y_{Zm}, Y_P و ستون مربوط به فاز q'_m را براساس Y_{ZA}, Y_P و $W_۱,W_۲$ کامل می‌شود. در فاز $U_۱,U_۲$، ستون به دو قسمت تقسیم شده و هر قسمت نیز به q'_m تقسیم می‌شود. ازشروع فاز q'_m، عدد متوالی درخانه‌های جدول ثبت می‌شود. در فاز $W_۱,W_۲$، ستون مربوطه به دو قسمت تقسیم شده و هر قسمت به q'_a تقسیم می‌شود، از شروع فاز $W_۱$، اعداد متوالی، به تعداد q'_a، در

خانه‌های مربوطه نوشته می‌شود. در فاز U_1,U_2 گام سیم‌پیچی 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.

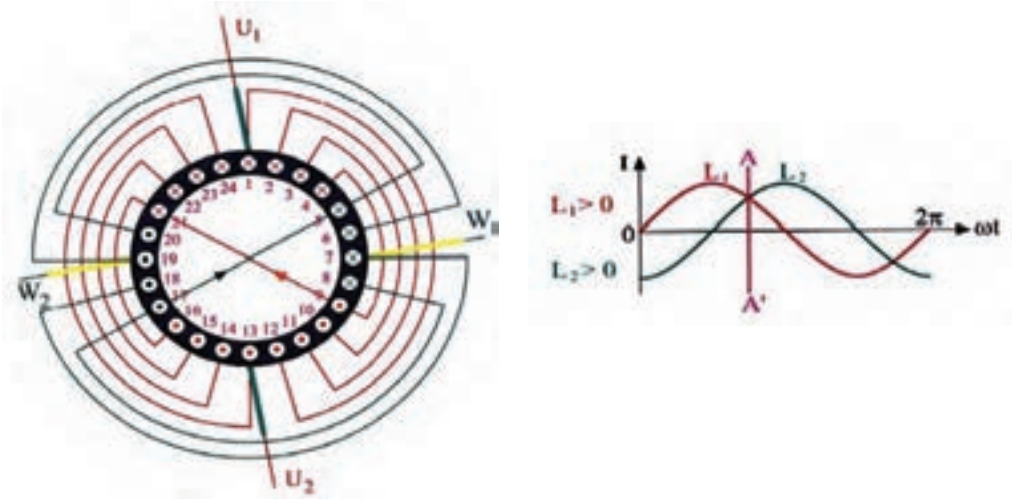


شکل ۳۵ــ تنظیم جدول موتور ۲۴ شیار ۲ قطب با استارت موقت براساس سیم‌پیچی متحدالمرکز

رسم دیاگرام گسترده



شکل ۳۶ــ دیاگرام گسترده متحدالمرکز موتور ۲۴شیار۲ قطب با راه‌انداز لحظه‌ای



شکل ۳۷ــ دیاگرام مدور سیم‌پیچی موتور تک فاز ۲۴ شیار ۲ قطب با راه‌انداز لحظه‌ای

فیلم

تبدیل الکتروموتور سه فاز به صورت تک‌فاز از لحظه ۵۵ً:۲۱َ: ۰۱ تا لحظه ۶۲ً:۲۱َ: ۰۱

کار عملی ۲

هدف: سیم‌پیچی موتور با سیم‌پیچ کمکی (راه‌انداز خازنی)

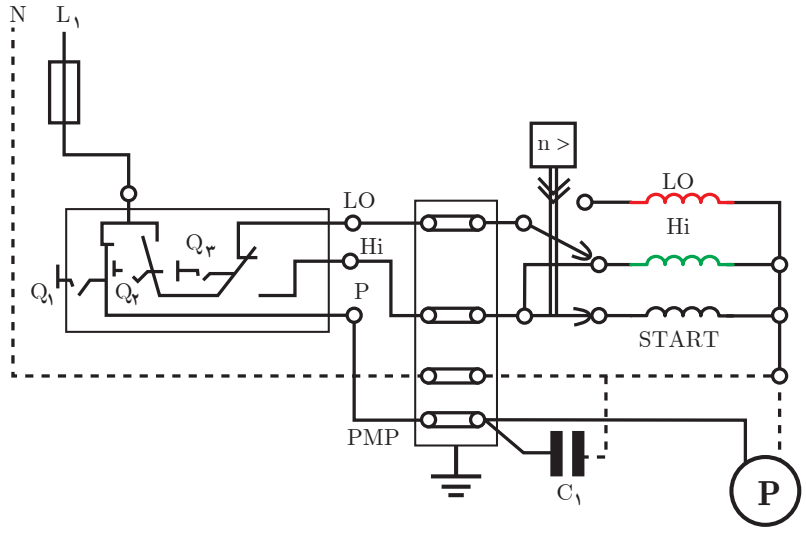
وسایل و تجهیزات:

ـ پوسته استاتور ۳۶ شیار یک عدد
ـ استاتور نگهدار یک عدد.
ـ کلاف پیچ یک عدد.
ـ قالب کلاف متحدالمرکز یک عدد.
ـ سیم لاکی با قطر مورد نیاز موتور.
ـ سیم افشان نمره ۱ یا ۱/۵، ۲ متر.
ـ هویه یک عدد.
ـ روغن لحیم.
ـ سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪.
ـ عایق پرشمان ۰/۵ و ۰/۳۵ از هر کدام یک برگ.
ـ وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها.
ـ تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی.
ـ آچار تخت و آچارزینگی و آچاربوکس از هرکدام یک ست کامل.
ـ انبردست یک عدد.
ـ شارلاک.
ـ کوره حرارتی یک عدد
ـ پیچ‌گوشتی تخت و چارسو کوچک متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد.
ـ دم باریک یک عدد.
ـ سیم‌چین یک عدد.
ـ سیم لخت‌کن یک عدد.
ـ چاقو یا کاتر یک عدد.
ـ سنباده نرم یک برگ.
ـ نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف.
ـ میکرومتر یک عدد.
ـ چکش پلاستیکی یک عدد.
ـ دورسنج موتور یک عدد.

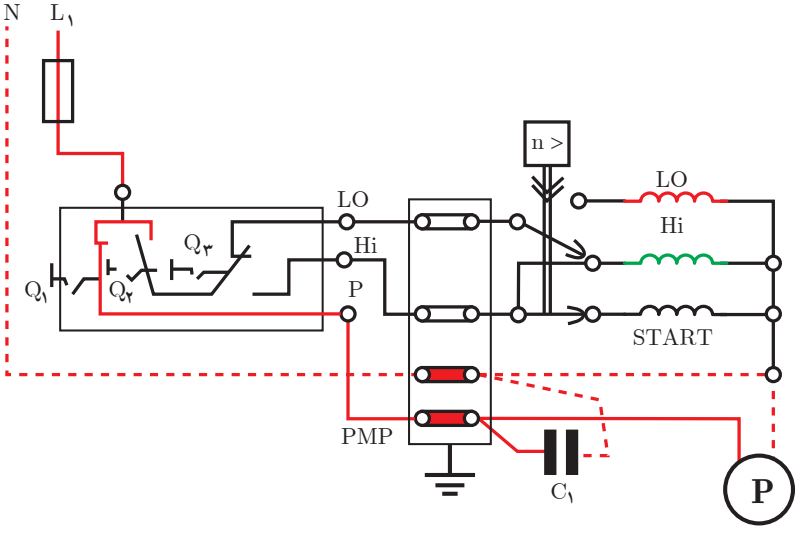
استاتور یک موتور ۳۶ شیار یا ۲۴ شیار را تحویل گرفته و تحت نظارت مربی خود محاسبات را انجام دهید و دیاگرام موتور به‌صورت تک‌فاز ۶ قطب را با سیم‌پیچ کمکی راه‌انداز خازنی به‌صورت متحدالمرکز رسم و سیم‌پیچی کنید.

سیم‌پیچی موتورهای تک فاز دوسرعته با یک سیم‌پیچ راه‌انداز

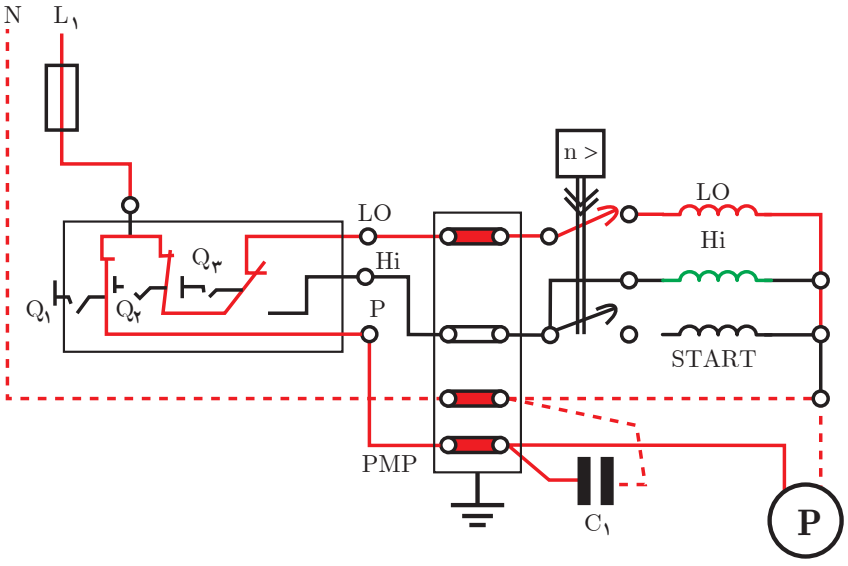
در موتورهای دوسرعته با یک سیم‌پیچ راه‌انداز، عملکرد کلید گریز از مرکز روی کلید تبدیل، موجب حذف سیم‌پیچ راه‌انداز می‌شود. به علت اهمیت کلید تبدیل و کارایی عمده آن در صنعت موتور کولرهای آبی، ساختمان و عملکرد این کلید، در چند مدار الکتریکی بررسی می‌شود (شکل ۳۸).



شکل ۳۸ـ کلید در حالت خاموش

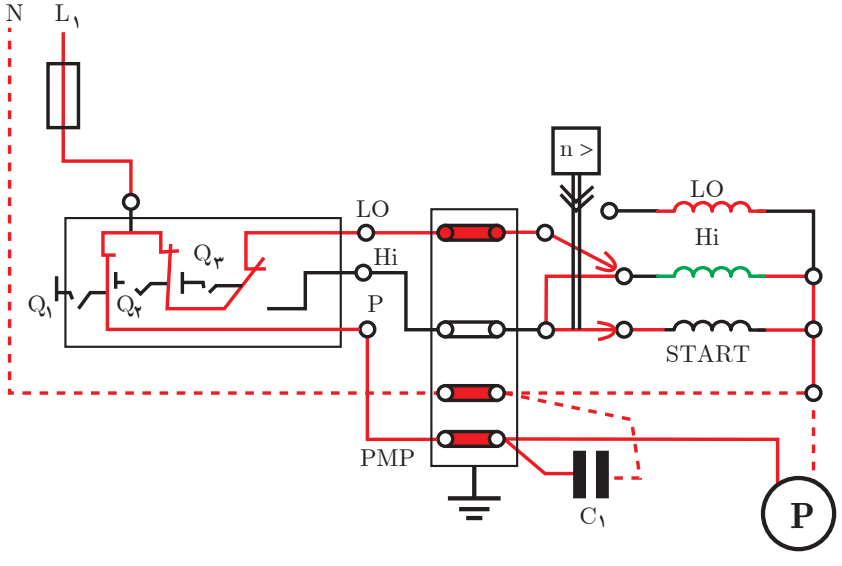


شکل ۳۹ ـ اگر کلید Q_1 به وضعیت اتصال برود و کلیدهای Q_2 و Q_3 تغییر نکند، فقط پمپ آب وارد مدار شده و با ریختن آب روی پوشال‌ها، آنها را خیس خواهد کرد



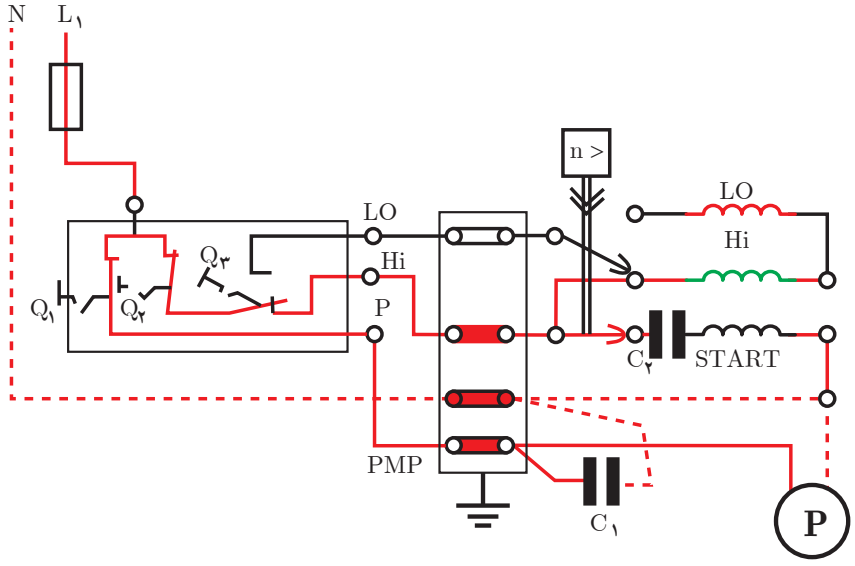
شکل ۴۰ـ موتور در حالت دور کند

اگر کلید Q_1 و Q_2 روشن وکلید 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 (راه‌اندازی با دور تند) می‌باشد. توجه شود سیم‌پیچ راه‌انداز این موتورها بدون خازن و از نوع راه‌انداز مقاومتی است. خازن C در مدار که با پمپ آب همواره موازی کار می‌کند، برای اصلاح ضریب توان شبکه به‌کار می‌رود.



شکل ۴۱ـ 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 کُند برق‌دار می‌شود (شکل ۴۲). موتور با دور کُند به‌کار خود ادامه خواهد داد.

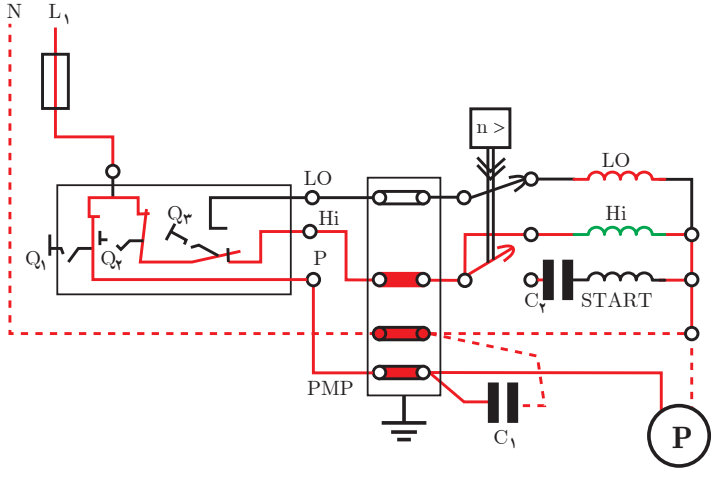


شکل ۴۲ـ موتور در حالت دور کند

سؤال: پس از تغییر وضعیت کلید کولر از حالت خاموش به حالت روشن کولر راه‌اندازی نمی‌شود. به علت آن درکدام 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 دورتند درخواست می‌شود. این مدار الکتریکی برای موتورهای کولر با راه‌انداز خازنی می‌باشد قبل از عمل کلید گریز از مرکز خازن $C_۲$ 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 ۴۳ـ وضعیت دور تند پس از عمل کلید گریز از مرکز خواهد بود

محاسبات سیم‌پیچی

محاسبات سیم‌پیچی برای دور تند و سیم‌پیچ راه‌انداز مربوط به آن ارائه می‌شود. سیم‌پیچ استارت در بعضی مواقع چهار بوبینه و برخی سه بوبینه، مانند سیم‌پیچ کلاف‌های اصلی دور تند پیچیده می‌شود. برای این منظور سیم‌پیچ استارت سه بوبینه نظیر کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی در نظر گرفته می‌شود.

$Z = ۳۶ \quad , \quad ۲P = ۴ \quad , \quad m = ۱$

$Z_m = \frac{۲}{۳}Z = \frac{۲}{۳} \times ۳۶ = ۲۴$ شیارهای سیم‌پیچ اصلی

$Z_a = \frac{۲}{۳}Z = \frac{۲}{۳} \times ۳۶ = ۲۴$ شیارهای سیم‌پیچ استارت

$$q_m = \frac{Z_m}{۲P \times m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۱} = ۶ \rightarrow q'_m = \frac{q_m}{۲} = ۳$$

$$q_a = \frac{Z_a}{۲P \times m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۱} = ۶ \rightarrow q'_a = \frac{q_a}{۲} = \frac{۶}{۲} = ۳$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z} = \frac{۲ \times ۳۶۰}{۳۶} = ۲۰$$

$$Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۳۶}{۴} = ۹ \rightarrow y_{Zm} = Y_p - q'_m = ۹ - ۳ = ۶ \rightarrow y_{Za} = Y_p - q'_a = ۹ - ۳ = ۶$$

$$U_۱ = ۱ \rightarrow W_۱ = ۱ + \frac{۹۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۹۰}{۲۰} = ۵.۵ \rightarrow W_۱ = ۵ \text{ با کسری گام}$$

محاسبات دور کند

$Z = ۳۶ \quad , \quad ۲P = ۶ \quad , \quad m = ۱$

$Z_m = \frac{۲}{۳}Z = \frac{۲}{۳} \times ۳۶ = ۲۴$ شیارهای سیم‌پیچ اصلی

$$q_m = \frac{Z_m}{۲P \times m} = \frac{۲۴}{۶ \times ۱} = ۴ \rightarrow q'_m = \frac{q_m}{۲} = \frac{۴}{۲} = ۲$$

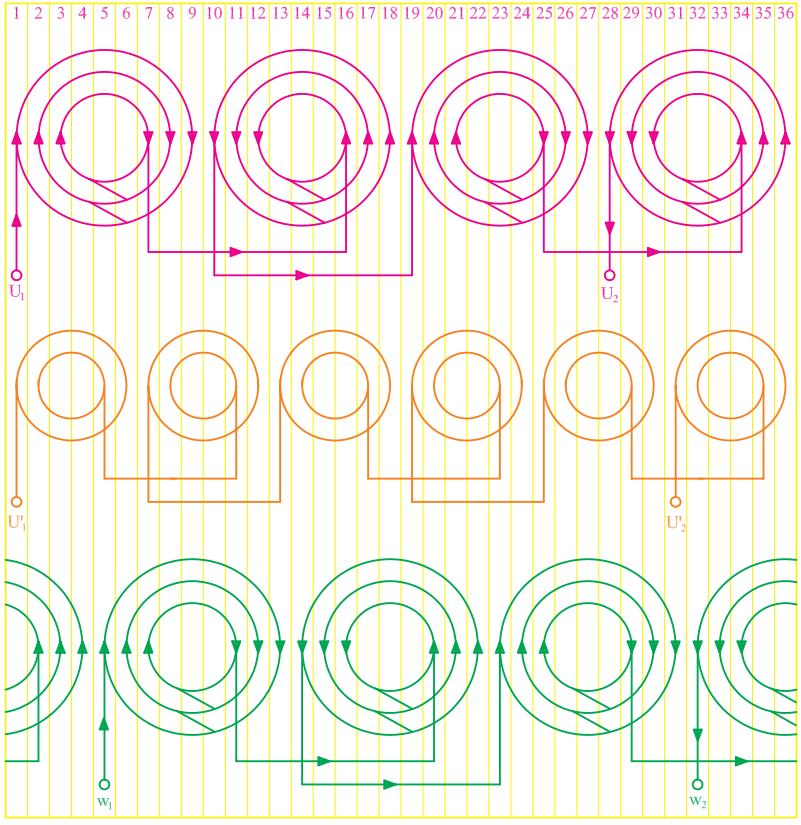
$Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۳۶}{۶} = ۶ \rightarrow y_{Zm} = Y_p - q'_m = ۶ - ۲ = ۴$, $U_۱ = ۱$ شروع سیم‌پیچ اصلی

تشکیل جدول

m / ۲P	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

m / ۲ P	U ۲۱ , U ۲۲			
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 ۴۴ــ تنظیم جدول سیم‌پیچی دورتند (۴ قطب) و دور کند (۶ قطب) موتور دو سرعته ۳۶ شیار با یک سیم‌پیچ راه‌انداز، براساس سیم‌پیچی متحدالمرکز



شکل ۴۵ ــ دیاگرام گسترده موتورشیار ۶ و ۴ قطب

استاتورهای کولرهای آبی طراحی خاصی دارد، عمق شیارها براساس مقدار سیمی که در خود جای می‌دهند، طرح می‌شود. در بعضی از شیارها، سه بازو یا دو بازو یا یک بازو قرارمی‌گیرد. بنابراین بعضی شیارها عمیق، نیمه عمیق وکم عمق هستند.لازم است شیار شروع صحیح انتخاب شود وگرنه سیم‌پیچی به نتیجه نخواهد رسید. یک ورق از مجموعه استاتور با عمق‌های 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 می‌دهند. پوسته را آن‌چنان می‌چرخانند که پنجره‌ها به طرف سیم‌پیچ، و قسمت بدون پنجره، به طرف بیرون باشد. مطابق شیاری که در امتداد اولین پنجره سمت چپ قرار می‌گیرد. شیار شروع سیم‌بندی خواهد بود.

شکل ۴۶ـ عمق متفاوت شیارها و روش انتخاب شیار شروع سیم‌پیچی

فعالیت

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 سیم‌پیچی را تعیین کنید. تعداد هر بوبین و قطر سیم و طول قالب‌های مورد نیاز را به‌دست آورید.

جدول ۱ـ مشخصات سیم‌پیچی دور زیاد کولر آبی

قدرت استاتور برحسب 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
$\frac{1}{4}$	۰/۶۵	۱ـ۹	۲ـ۸	۳ـ۷	۶۰	۵۵	۴۵	۲۸/۵	۲۳/۵	۱۹/۵	۳/۷۵	۸/۹
$\frac{1}{3}$	۰/۷۰	۱ـ۹	۲ـ۸	۳ـ۷	۵۵	۵۰	۴۰	۳۰	۲۵	۲۱	۴/۳	۸/۹
$\frac{1}{2}$	۰/۸۰	۱ـ۹	۲ـ۸	۳ـ۷	۴۴	۴۰	۳۳	۳۲	۲۷	۲۳	۵/۴	۸/۹
$\frac{3}{4}$	۰/۹۵	۱ـ۹	۲ـ۸	۳ـ۷	۴۲	۴۰	۳۲	۳۲/۵	۲۷	۲۳	۵/۴	۸/۹

جدول ۲ـ مشخصات سیم‌پیچی دورکم کولر آبی

قدرت استاتور برحسب 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	۱ـ۶	۲ـ۵	۹۰	۹۰	۲۲	۱۸	۳/۷۵	۸/۹
$\frac{1}{3}$	۰/۵۰	۱ـ۶	۲ـ۵	۸۴	۸۴	۲۳/۵	۲۰	۴/۳	۸/۹
$\frac{1}{2}$	۰/۵۵	۱ـ۶	۲ـ۵	۷۰	۷۰	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹
$\frac{3}{4}$	۰/۶۰	۱ـ۶	۲ـ۵	۶۵	۶۵	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹

جدول ۳ـ مشخصات سیم‌پیچی راه‌انداز موقت سه بوبینه موتور کولر آبی

قدرت استاتور برحسب 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	۱ـ۹	۲ـ۸	۳ـ۷	۳۵	۳۵	۲۰	۲۶	۲۲/۵	۱۸/۵	۳/۷۵	۸/۹
$\frac{1}{3}$	۰/۵۰	۱ـ۹	۲ـ۸	۳ـ۷	۳۴	۳۵	۱۸	۲۸	۲۴	۲۰	۴/۳	۸/۹
$\frac{1}{2}$	۰/۵۰	۱ـ۹	۲ـ۸	۳ـ۷	۳۴	۳۵	۲۱	۲۹	۲۲/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹
$\frac{3}{4}$	۰/۵۵	۱ـ۹	۲ـ۸	۳ـ۷	۲۰	۲۰	۲۴	۲۹	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹

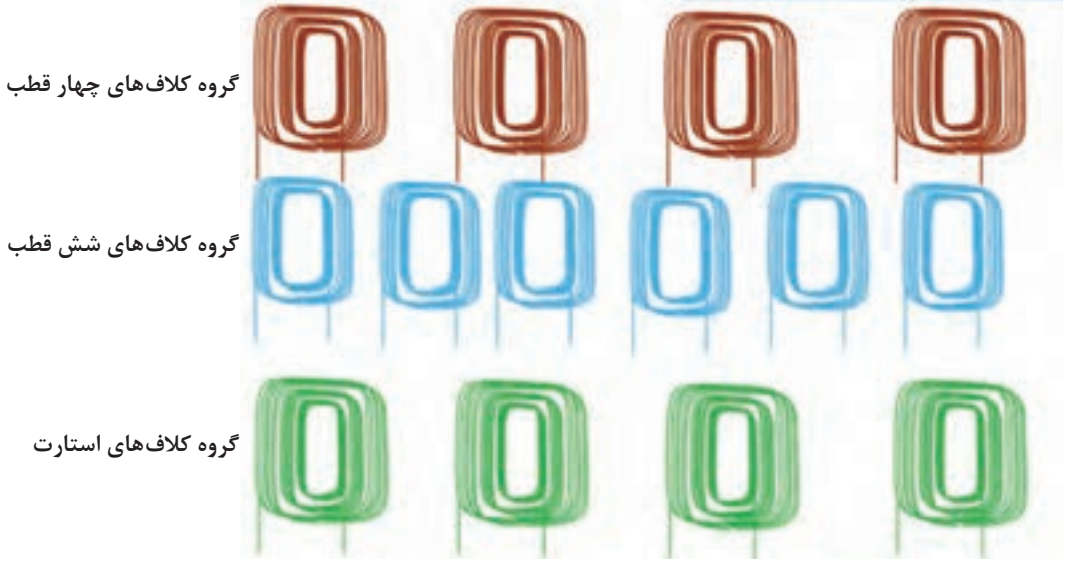
جدول ۴ـ مشخصات سیم‌پیچی راه‌انداز موقت چهار بوبینه موتورکولر آبی

طول بوبین ۴ به cm	طول بوبین ۳ به cm	طول بوبین ۲ به cm	طول بوبین ۱ به cm	تعداد دور بوبین ۴	تعداد دور بوبین ۳	تعداد دور بوبین ۲	تعداد دور بوبین ۱	گام بوبین ۴	گام بوبین ۳	گام بوبین ۲	گام بوبین ۱	قطر سیم مسی به mm	قدرت استاتور برحسب اسب بخار
۱۸/۵	۲۲/۵	۲۶	۳۱	۲۰	۳۵	۳۵	۳۶	۴ـ۷	۳ـ۸	۲ـ۹	۱ـ۱۰	۰/۴۰	$\frac{1}{4}$
۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۲۲	۳۵	۳۴	۳۲	۴ـ۷	۳ـ۸	۲ـ۹	۱ـ۱۰	۰/۴۵	$\frac{1}{3}$
۲۲/۵	۲۵/۵	۲۹	۳۴	۲۰	۳۷	۳۲	۳۱	۴ـ۷	۳ـ۸	۲ـ۹	۱ـ۱۰	۰/۵۰	$\frac{1}{2}$
۲۲/۵	۲۵/۵	۲۹	۳۴	۱۲	۲۰	۲۰	۲۰	۴ـ۷	۳ـ۸	۲ـ۹	۱ـ۱۰	۰/۵۵	$\frac{3}{4}$

تهیه گروه کلاف‌های سیم‌پیچی

فعالیت

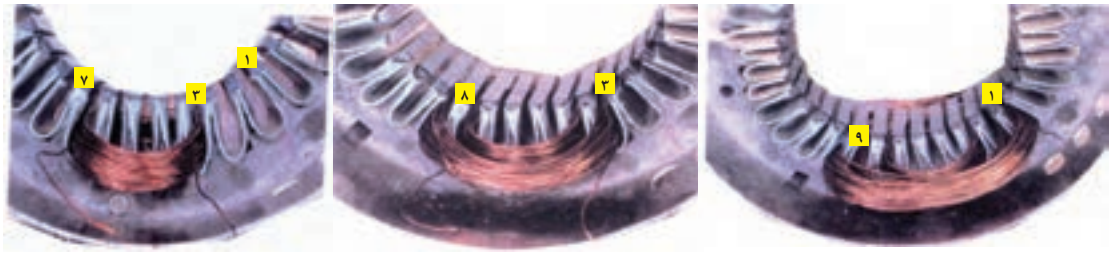
چهار گروه کلاف ۳ بوبینه برای سیم‌پیچی ۴ قطب، ۶ گروه کلاف ۲ بوبینه برای سیم‌پیچی ۶ قطب و چهار گروه کلاف ۳ بوبینه برای استارت سیم‌پیچ ۴ قطب تهیه کنید (شکل ۴۷).



شکل ۴۷ـ تهیه گروه کلاف‌های سیم‌پیچی

سؤال: با توجه به تعداد قطب حالت‌های دور کند و تند کولر در هر حالت دور نامی کولر چند دور در دقیقه است؟

یک گروه کلاف ۳ بوبینه سیم‌پیچ اصلی ۴ قطب را انتخاب کنید و بازوهای آن را به‌ترتیب در گام‌ها ۳به ۷، ۲ به ۸ و ۱ به ۹ قرار دهید(شکل ۴۸).

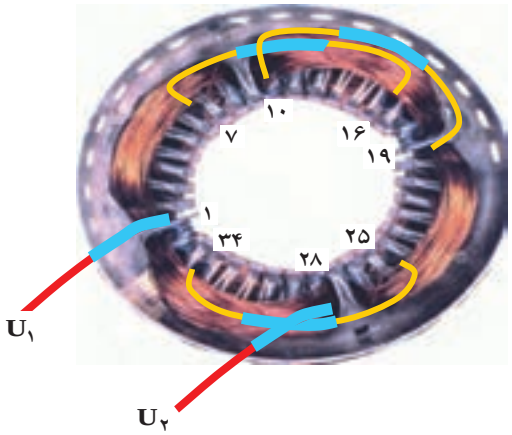


شکل ۴۸ـ قرار دادن گروه کلاف شماره یک از سیم‌پیچی دور تند درشیارهای استاتور

سه گروه کلاف بعدی مطابق دستورالعمل گروه کلاف شماره ۱ در شیارهای استاتور قرار دهید (شکل ۴۹).

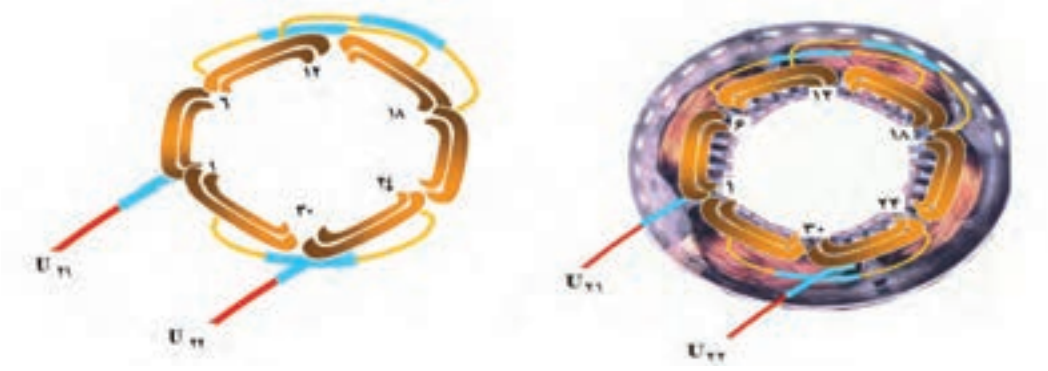
شکل ۴۹ـ قرار دادن گروه کلاف‌های دور تند در شیارهای استاتور

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 سیم‌پیچی را سربندی کنید محل اتصال‌ها را پس از عبور از وارنیش، لحیم‌کاری 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 برچسب‌های U_2, U_1 آنها را مشخص کنید (شکل ۵۰).



شکل ۵۰ـ سربندی کلاف‌های دور تند

سیم‌پیچ دور کند را در شیارهای ۲و۵ ـ ۱و۶ ـ ۸ و۱۱ ـ ۷و۱۲ ـ ۱۴و۱۷ ـ۱۳ و۱۸ ـ۲۰و۲۳ ـ ۱۹ و۲۴ ۲۶ و۲۹ ـ ۲۵و۳۰ ـ ۳۲و۳۵ ـ۳۰ و۳۶ قرار دهید (شکل ۵۱).

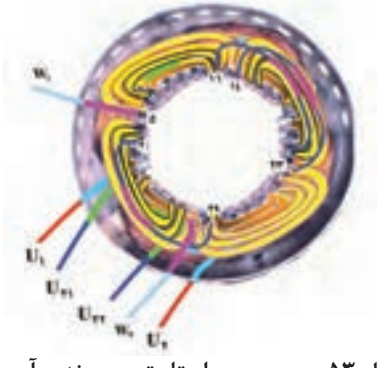


شکل ۵۱ـ موقعیت گروه کلاف‌های دور کند

از طریق اتصال، ته کلاف اول در شماره ۵، به ته کلاف دوم در شماره۱۱، 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 کارکنید. وارنیش‌ها را به محل اتصالات روکش کنید. سروته دور کند را واقع در شیار شماره ۱و۳۱ پس از عبور از وارنیش، به سیم افشان اتصال دهید، آنها را با برچسب‌های $U_{۲۲},U_{۲۱}$ مشخص کنید (شکل ۵۲).

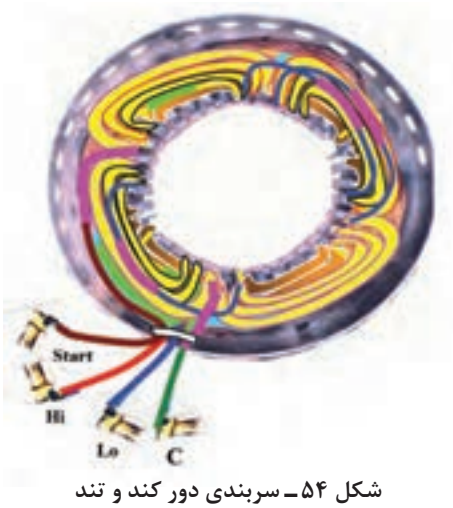
شکل ۵۲ـ سربندی گروه کلاف‌های دور کند

سیم‌پیچ استارت را از شیار شماره ۵ شروع کنید و مطابق شکل ۵۳ سربندی آن را انجام دهید. خروجی‌های آن را با برچسب‌های $W_{۲},W_{۱}$ مشخص کنید.



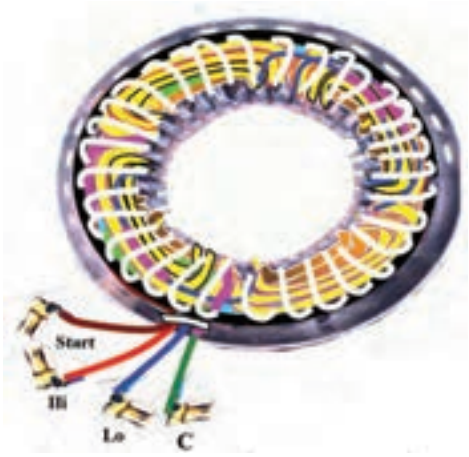
شکل ۵۳ـ سیم‌پیچی استارت و سربندی آن

خروجی‌های با برچسب‌های $U_{۲۲}, W_۲, U_۲$ را به هم اتصال دهید و مجموعه را به سر سیم C اتصال دهید $U_۱$ را به سر سیم Hi و $U_{۲۱}$ را به سرسیم Lo و $W_۱$ را به سر سیم Start هدایت کنید (شکل ۵۴).



شکل ۵۴ ـ سربندی دور کند و تند

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.



شکل ۵۵ ـ نخ‌بندی موتور کولر

ایمنی

قبل از اتصال الکتروموتور از عدم اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها مطمئن شوید.

فیلم

سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز به صورت دو طبقه و سیم‌پیچی کولر از لحظهٔ ۱۳:۲۱:۰۱ تا ۴۲:۲۶:۰۱

کار عملی ۳

کارعملی شماره ۳

وسایل مورد نیاز

- پوسته استاتور ۳۶ شیار یک عدد
- استاتور نگهدار یک عدد.
- کلاف پیچ یک عدد.
- قالب کلاف متحدالمرکز یک عدد.

ـ سیم لاکی با قطر مورد نیاز موتور.
ـ سیم افشان نمره ۱یا ۱/۵، ۲متر.
ـ هویه یک عدد.
ـ روغن لحیم.
ـ سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪.
ـ عایق پرشمان ۰/۵ و۰/۳۵ از هر کدام یک برگ.
ـ وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها.
ـ تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی.
ـ آچارتخت و آچارِرینگی و آچاربوکس از هرکدام یک ست کامل.
ـ انبردست یک عدد.
ـ شارلاک.
ـ کوره حرارتی یک عدد
ـ پیچ‌گوشتی تخت و چارسو کوچک، متوسط و بزرگ، هر کدام یک عدد.
ـ دم باریک یک عدد.
ـ سیم‌چین یک عدد.
ـ سیم لخت‌کن یک عدد.
ـ چاقو یا کاتر یک عدد.
ـ سنباده نرم یک برگ.

کار عملی ۴

یک موتور ۳۶ شیار تک‌فاز کولری از انبار تحویل بگیرید. این موتور را، به صورت۴ و ۶ قطب با راه‌انداز لحظه‌ای با یک سیم‌پیچ راه‌انداز سیم‌پیچی کنید. دیاگرام سیم‌پیچی آن را ترسیم و سیم‌پیچی کامل آن را اجرا کنید (شکل ۵۶).

شکل ۵۶ــ موتور کولر با راه‌انداز خازنی

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز

شرح کار:

شناسایی انواع الکتروموتور تک‌فاز — تفاوت سیم‌پیچی راه‌انداز و کمکی

کاربرد کلید گریز از مرکز — سیم‌پیچی و رسم دیاگرام الکتروموتور تک‌فاز

استاندارد عملکرد: محاسبه، ترسیم دیاگرام از روی جدول، سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز و راه‌اندازی آن به کمک ابزار مناسب

شاخص‌ها:

محاسبات و رسم جدول

ترسیم دیاگرام گسترده و مدور

سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز به صورت متحدالمرکز و زنجیره‌ای

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: فضای مناسب ـ ابزار مناسب ـ مدت زمان متناسب با حجم کار

ابزار و تجهیزات: ابزار مربوط به کارگاه سیم‌پیچی شامل: بوبین پیچ، پوسته خالی الکتروموتور، سیم لاکی و... آچارتخت و پیچ‌گوشتی، دورسنج، میز تست الکتروموتور ـ لباس کار

معیار شایستگی:

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	
	میانگین نمرات		*

* 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 دربارهٔ 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 دبیرخانهٔ 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 ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

کتاب کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ـ 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	شهرتهران	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 کرمی	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

۱ـ برنامه درسی «کابل کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی» دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
۲ـ تکنولوژی و کارگاه برق صنعتی، اعتضادی محمود و دیگران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵
۳ـ برشور و کاتالوگ شرکت‌های سازنده کابل، سینی کابل، نردبان کابل و مفصل
۴ـ سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز، تکفاز و بازپیچی الکتروموتورها، علی عراقی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۷
۵ـ محاسبه و طراحی موتورهای الکتریکی سه‌فاز، علی عراقی و دیگران، شرکت سیم لاکی فارس، ۱۳۷۳
۶ـ برشورهای دستگاه‌های اندازه‌گیری تابلویی