

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَّآلِ مُحَمَّدٍ وَّعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



سیم پیچی ماشین های الکتریکی

رشته الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخه فنی و حرفه ای

پایه یازدهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



نام کتاب:

سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی - ۲۱۱۲۶۴

پدیدآورنده:

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:

علی‌اکبر مطیع بیرجندی، شهرام خدادادی، مجتبی انصاری‌پور، محمدحسن اسلامی، علیرضا حجرگشت، امیرحسین ترکمانی، سعید ابراهیمی، نقی اصغری آقا باقر (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
شهرام خدادادی، سعید ابراهیمی، مصطفی حق مرادی نیا، محسن ملاحی (اعضای گروه تألیف) - علی عراقی، شهرام خدادادی (ویراستار فنی)

مدیریت آماده‌سازی هنری:

اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی:

جواد صفری (مدیر هنری) - رضوان جهانی فریمانی (صفحه‌آرا) - مریم کیوان (طراح جلد) - سعید ابراهیمی، فاطمه رئیس‌یان فیروزآباد (رسام) - فاطمه پزشکی، سید کیوان حسینی، منیژه متولی، حمید ثابت کلاچاهی و زهره برهانی زرنندی (امور آماده‌سازی)

نشانی سازمان:

تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

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

وب‌گاه: www.irttextbook.ir و www.chap.sch.ir

ناشر:

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

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

چاپخانه:

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ:

چاپ اول ۱۴۰۵

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.



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

پودمان اول: سیم پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز، تک ورودی - تک خروجی..... ۱

- واحد یادگیری ۱: سیم پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز بر اساس پارامترهای الکتریکی ۲
- واحد یادگیری ۲: سیم پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز بر اساس مشخصات قرقه ۳۷

پودمان دوم: سیم پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز، چند ورودی - چند خروجی ۴۹

- واحد یادگیری ۱: سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ مجزا ۵۰
- واحد یادگیری ۲: سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ مشترک ۶۲

پودمان سوم: سیم پیچی موتورهای سه فاز یک طبقه ۷۳

- واحد یادگیری ۱: عایق کاری و جا زدن کلاف های موتور سه فاز یک طبقه ۷۴
- واحد یادگیری ۲: راه اندازی و آزمایش موتورهای سه فاز یک طبقه ۱۱۰

پودمان چهارم: سیم پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه ۱۲۵

- واحد یادگیری ۱: سیم پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه گام کامل ۱۲۶
- واحد یادگیری ۲: سیم پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه گام کسری ۱۴۵

پودمان پنجم: سیم پیچی موتورهای تک فاز ۱۶۹

- واحد یادگیری ۱: سیم پیچی موتورهای تک فاز یک سرعت ۱۷۰
- واحد یادگیری ۲: سیم پیچی موتورهای تک فاز دوسرعت (موتور کولر) ۱۹۸

مراجع و منابع ۲۲۱

این کتاب در سال های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ از منظر چهار گروه از دنیای کار (کارفرمایان بزرگ، خبرنگاران حرفه ای، فروشندگان خدمات و کالا و انجمن های حرفه ای) و چهار گروه از دنیای آموزش (هنرآموزان خبره، مربیان سازمان آموزش و فنی حرفه ای، هنرجویان پایه دوازدهم و فارغ التحصیلان شاغل) مورد ارزشیابی کشوری قرار گرفت و نتایج آن در محتوا اعمال گردید.

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و ضرورت تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های آموزشی را بر اساس نیازهای کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران بازطراحی و تألیف کنیم.

یکی از مهم‌ترین تغییرات در کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای، توجه به آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی به معنای توانایی انجام یک کار واقعی به صورت درست، استاندارد و ایمن است. این توانایی مجموعه‌ای از دانش، مهارت و نگرش را در بر می‌گیرد.

در کتاب سیم پیچی ماشین‌های الکتریکی چهار دسته شایستگی مورد توجه قرار گرفته است:

۱- شایستگی‌های فنی؛ برای ورود به بازار کار؛ مانند شناسایی اجزای ماشین‌های الکتریکی، انجام محاسبات سیم‌پیچی، کلاف‌پیچی، عایق کاری، جاکگذاری کلاف‌ها، سربندی و آزمایش سیم‌پیچ‌ها؛

۲- شایستگی‌های غیرفنی؛ برای پیشرفت و موفقیت در آینده شغلی؛ مانند مسئولیت‌پذیری، دقت، نظم، کار گروهی، نوآوری، اخلاق حرفه‌ای، مدیریت منابع و مصرف بهینه مواد و انرژی؛

۳- شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات؛ مانند استفاده از نرم‌افزارها، منابع دیجیتال، فیلم‌های آموزشی و ابزارهای محاسباتی مرتبط با سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی؛

۴- شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر؛ مانند جست‌وجوی اطلاعات، استفاده از منابع تکمیلی، به‌روز نگه داشتن دانش فنی و سازگاری با فناوری‌های جدید. بر این اساس، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش، با بهره‌گیری از اسناد بالادستی و مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی، هنرآموزان، کارشناسان فنی و خبرگان دنیای کار، مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین کرده است. این اسناد، مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته به شمار می‌آیند.

کتاب **سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی** برای هنرجویان پایه یازدهم رشته الکتروتکنیک تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای ادامه تحصیل، ورود به بازار کار و موفقیت در حرفه‌های مرتبط با نصب، تعمیر، نگهداری و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ضروری است.

هنرجویان عزیز، تلاش کنید تمام شایستگی‌های آموزش داده‌شده در این کتاب را به صورت عملی فراگیرید و در فرایند ارزشیابی به اثبات برسانید. یادگیری این درس تنها به دانستن مطالب نظری محدود نمی‌شود، بلکه باید بتوانید فعالیت‌های کارگاهی را با دقت، ایمنی و مطابق با اصول فنی و استانداردهای حرفه‌ای انجام دهید. محتوای کتاب به صورت پودمانی تنظیم شده است. هر پودمان شامل واحدهای یادگیری و فعالیت‌های عملی است که مراحل انجام آنها به صورت گام‌به‌گام ارائه می‌شود. پس از یادگیری هر پودمان، انتظار می‌رود شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنید. شرط لازم برای کسب شایستگی در هر پودمان، کسب شایستگی در تمام واحدهای یادگیری آن پودمان است.

در صورت احراز نشدن شایستگی در یک یا چند واحد یادگیری پس از ارزشیابی نخست، فرصت جبران، تمرین بیشتر و ارزشیابی دوباره تا پایان سال تحصیلی وجود خواهد داشت. ارزشیابی هر واحد یادگیری شامل بررسی عملکرد مستمر، کیفیت انجام فعالیت‌های عملی، رعایت اصول فنی و ایمنی و کسب شایستگی‌های غیرفنی است. دقت در اندازه‌گیری، انتخاب صحیح ابزار و مواد، رعایت نظم کارگاهی، کاهش ضایعات، همکاری با دیگران و مسئولیت‌پذیری، بخشی از فرایند ارزشیابی شما خواهد بود. علاوه بر کتاب درسی، امکان استفاده از سایر اجزای بسته آموزشی طراحی شده برای این درس نیز وجود دارد. فیلم‌های آموزشی، محتوای الکترونیکی، نرم‌افزارها، تصاویر تکمیلی، راهنمای فعالیت‌های عملی و دیگر منابع آموزشی می‌توانند به درک بهتر مباحث و کسب شایستگی‌های مورد انتظار کمک کنند.

هنرجویان عزیز می‌توانند با مراجعه به وبگاه دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش به نشانی <http://tvoccd.oerp.ir> از عناوین، منابع تکمیلی و اجزای بسته آموزشی مربوط به رشته الکتروتکنیک آگاه شوند. توصیه می‌شود از این منابع با راهنمایی هنرآموز و در کنار فعالیت‌های نظری و کارگاهی کتاب استفاده کنید.

فعالیت‌های یادگیری مربوط به شایستگی‌های غیرفنی، از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست، فناوری اطلاعات و ارتباطات و یادگیری مادام‌العمر، همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب و بسته آموزشی ارائه شده‌اند. کوشش کنید این شایستگی‌ها را در کنار مهارت‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و در انجام فعالیت‌های فردی و گروهی به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول اساسی انجام کار در کارگاه برق است. کار با ابزارهای برقی، سیم‌ها، مواد عایقی، دستگاه‌های کلاف‌پیچی و ماشین‌های الکتریکی، بدون رعایت اصول ایمنی می‌تواند خطرآفرین باشد. بنابراین توصیه‌های هنرآموز، علائم هشداردهنده و دستورالعمل‌های ایمنی بیان شده در کتاب را جدی بگیرید و پیش از شروع هر فعالیت، از ایمن بودن محیط، ابزار و تجهیزات اطمینان حاصل کنید.

امید است با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت کسب مهارت‌های حرفه‌ای، ورود موفق به بازار کار، پیشرفت صنعت برق، استقلال کشور و توسعه اجتماعی و اقتصادی برداشته شود.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

سخنی با هنرآموزان گرامی

کتاب حاضر با هدف تسهیل فرایند آموزش و یادگیری و ایجاد درکی روشن‌تر از مباحث سیم‌پیچی تدوین شده است. در بازنگری محتوای کتاب تلاش شده است تصاویر با کیفیت و وضوح بیشتری ارائه شوند و دیاگرام‌ها نیز با دقت بالاتر و به شکلی منظم و قابل فهم ترسیم شوند.

آموزش‌ها تا حد امکان به صورت گام‌به‌گام تنظیم شده‌اند تا هنرآموز بتواند مطالب نظری و فعالیت‌های عملی را با ترتیب مناسب به هنرجویان ارائه کند و هنرجویان نیز مراحل انجام کار را به‌درستی دنبال کنند.

همچنین برای تمرکز بیشتر بر اهداف اصلی کتاب، مطالب مربوط به کلیدهای دستی و کابل کشی عمومی حذف شده‌اند تا فرصت بیشتری برای آموزش مفاهیم، روش‌ها و مهارت‌های تخصصی سیم‌پیچی فراهم شود.

امید است این تغییرات، ضمن افزایش دقت و اثربخشی آموزش، زمینه یادگیری بهتر، اجرای صحیح فعالیت‌های کارگاهی و ارتباط مؤثرتر میان مباحث نظری و عملی را فراهم سازد.

این کتاب دارای پنج پودمان است و شرط لازم برای کسب شایستگی در هر دو پودمان کسب شایستگی در هر دو واحد یادگیری آن پودمان است. در صورت احراز نشدن شایستگی در هر یک از واحدهای یادگیری پس ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی دوباره تا پایان سال تحصیلی وجود دارد. ارزشیابی هر واحد یادگیری نیز از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی فنی تشکیل شده است و شرط لازم برای محاسبه این دو بخش، کسب شایستگی در بخش شایستگی‌های غیر فنی است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته -یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیرفنی و مراحل کلیدی بر اساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول: با عنوان «سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی-تک‌خروجی» است. در واحد یادگیری اول سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز بر اساس پارامترهای الکتریکی و در واحد یادگیری دوم سیم پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز براساس مشخصات قرقه شرح داده شده است.

پودمان دوم: عنوان «سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، چند ورودی - چندخروجی» دارد در واحد یادگیری اول سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم‌پیچ مجزا و در واحد یادگیری دوم سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک آموزش داده شده است.

پودمان سوم: دارای عنوان «سیم‌پیچی موتورهای سه فاز یک طبقه» است. در این پودمان ابتدا عایق کاری و جازدن کلاف‌های موتور سه فاز یک طبقه و راه‌اندازی و آزمایش موتورهای سه فاز یک طبقه به صورت گام به گام آموزش عملی و تئوری داده شده است.

پودمان چهارم: «سیم‌پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه» نام دارد. که در واحد یادگیری اول سیم پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه گام کامل و در واحد یادگیری دوم سیم پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه گام کسری شرح و آموزش داده شده است.

پودمان پنجم: با عنوان «سیم پیچی موتورهای تک فاز» است که در آن هنرجویان در واحد یادگیری اول ابتدا با سیم پیچی موتورهای تک فاز یک سرعت آشنا می‌شوند و در واحد یادگیری دوم سیم پیچی موتورهای تک فاز دوسرعت (موتور کولر) آموزش داده می‌شود.

امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق گردد.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

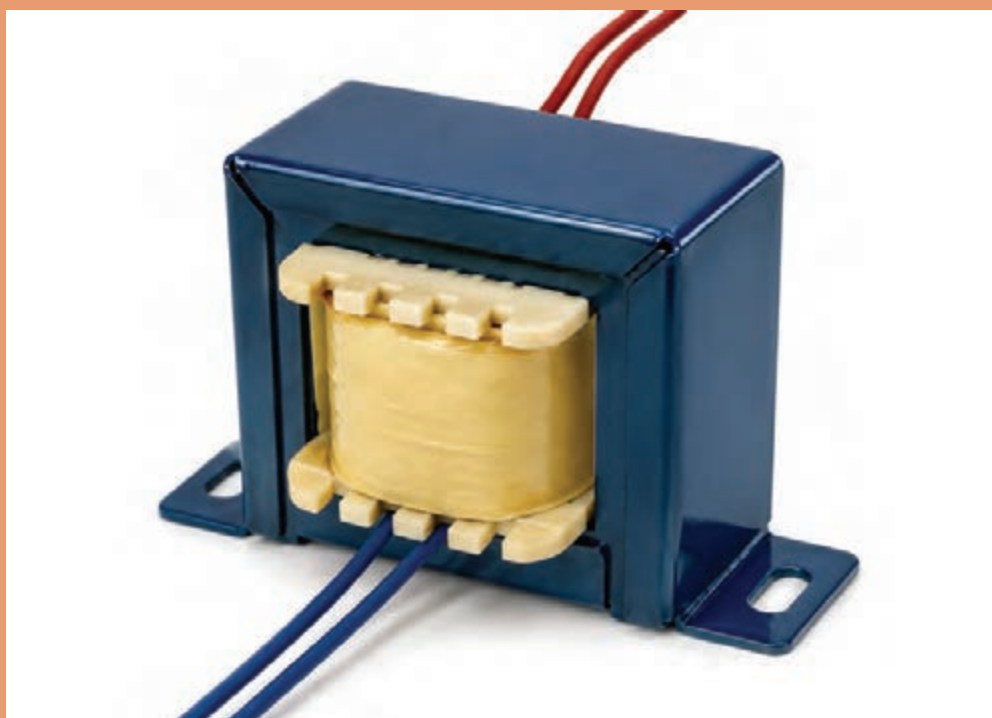


نظر سنجی کتاب درسی



پودمان اول

سیم پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز، تک ورودی - تک خروجی



واحد یادگیری ۱

سیم پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز بر اساس پارامترهای الکتریکی

آیامی دانید

- ۱ اساس کار ترانسفورماتور چگونه است؟
- ۲ اجزای تشکیل دهنده ترانسفورماتور کدام است؟
- ۳ مفاهیم ترانسفورماتور ایده آل و ترانسفورماتور واقعی چه تفاوتی دارند؟
- ۴ محاسبات و سیم پیچی ترانسفورماتور تک فاز، تک ورودی - تک خروجی چگونه است؟
- ۵ دور بر ولت چه مفهومی دارد؟

استاندارد عملکرد

- پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود محاسبه و سیم پیچی انواع ترانسفورماتورهای تک فاز، تک ورودی - تک خروجی را انجام دهد.

مقدمه

ترانسفورماتورها مبدل‌هایی هستند، که انرژی الکتریکی را بدون تغییر نوع انرژی، با مقادیر مختلف در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهند. این خصوصیت به مهندسين برق این امکان را می‌دهد تا وسایل الکتریکی را در انواع مختلف با جریان‌ها و ولتاژهای گوناگون طراحی کنند. بدین طریق در مواقعی که احتمال خطر برق‌گرفتگی وجود داشته باشد وسایلی را با ولتاژ کم طراحی کنند که خطر برق‌گرفتگی نداشته باشد. در صورتی که نیاز به جریان زیاد باشد، با تغییر در مقدار ولتاژ، می‌توان جریان زیادی برای مواقعی مانند جوشکاری فراهم کرد. ترانسفورماتورها در انتقال توزیع انرژی الکتریکی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند. معمولاً در ابتدای خطوط انتقال ولتاژ افزایش داده می‌شود که به واسطه آن اولاً: امکان انتقال را با ولتاژ بالا ممکن می‌سازند. ثانیاً: به دلیل افزایش ولتاژ جریان عبوری از خطوط انتقال کاهش یافته و در نتیجه تلفات خطوط انتقال بسیار کاهش می‌یابد. در انتهای خطوط که محل توزیع برق است با کاهش ولتاژ به اندازه‌ای که برای مصرف مناسب باشد، در نتیجه میزان جریان افزایش یافته و این امکان را فراهم می‌آورد تا جریان دهی به تعداد زیادی مصرف‌کننده افزایش یابد. ضمناً ترانسفورماتورها در موارد دیگری همچون صنعت خودروسازی، کوره‌های القایی، وسایل روشنایی و روشنایی‌های تزئینی، اندازه‌گیری‌ها و حفاظت‌های الکتریکی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در شکل ۱ چند نمونه ترانسفورماتور که در زمینه‌های مختلف (خطوط انتقال شبکه توزیع و لوازم خانگی) استفاده می‌شود را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱- چند نمونه ترانس تک‌فاز

اجزای اصلی ترانسفورماتور

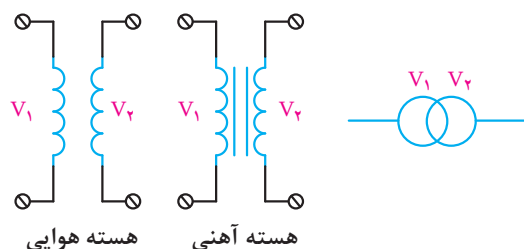
ترانسفورماتور از دو قسمت اصلی تشکیل شده است:

۱ هسته آهنی

۲ سیم‌پیچی‌ها

سیم‌پیچی ترانسفورماتورها در ساده‌ترین حالت به دو دسته تقسیم می‌شوند. سیم‌پیچی که به ولتاژ ورودی متصل می‌شود، اصطلاحاً «سیم‌پیچی اولیه» و 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 می‌شوند.

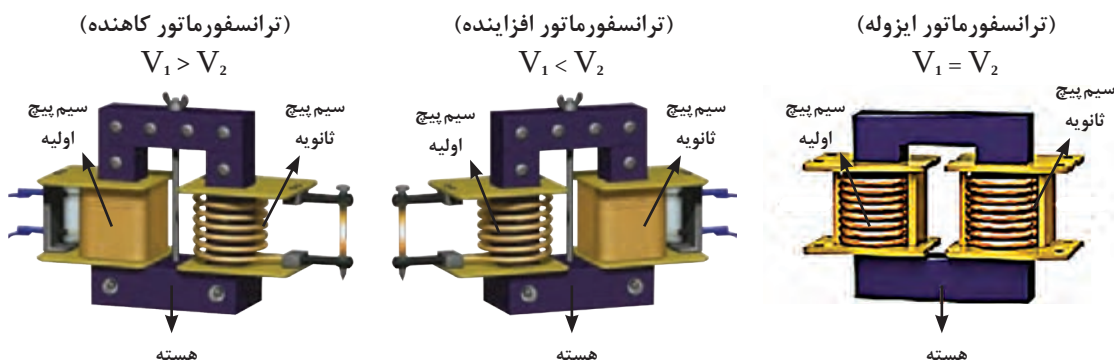
در مباحث الکتریکی از علائم اختصاری که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید برای نشان دادن ترانسفورماتورها استفاده می‌شود.



شکل ۲- علائم اختصاری ترانسفورماتور

با توجه به توضیحات داده شده پس می‌توان نتیجه گرفت که از نظر سطح ولتاژ، ترانسفورماتورها به سه صورت تقسیم‌بندی می‌شوند.

در شکل ۳ ترانسفورماتورهای تک‌فاز در سه حالت کاهنده، افزایشنده و ایزوله نشان داده شده است.



شکل ۳- انواع ترانسفورماتورها از نظر سطح ولتاژ

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

۲ یک ترانسفورماتور کاهنده مثلاً $\frac{220}{12}V$ تهیه کنید. با استفاده از اهم‌متر مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه آن را اندازه‌گیری کنید. چه تفاوتی می‌بینید؟ چرا؟

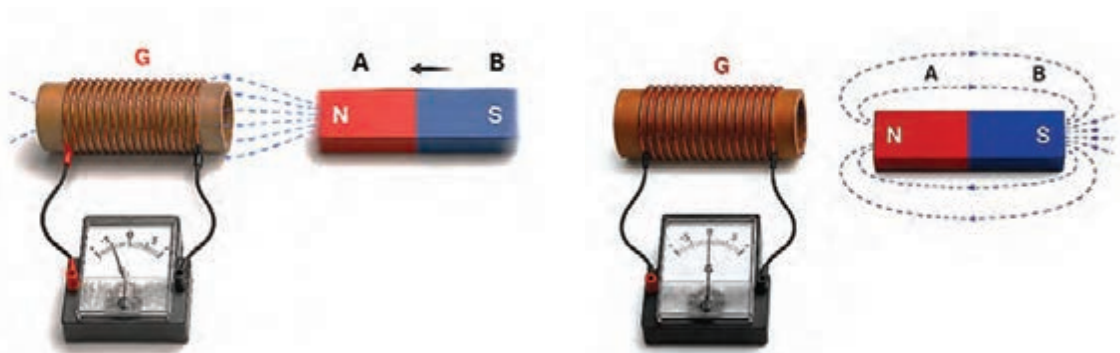
فعالیت



اساس کار ترانسفورماتورها

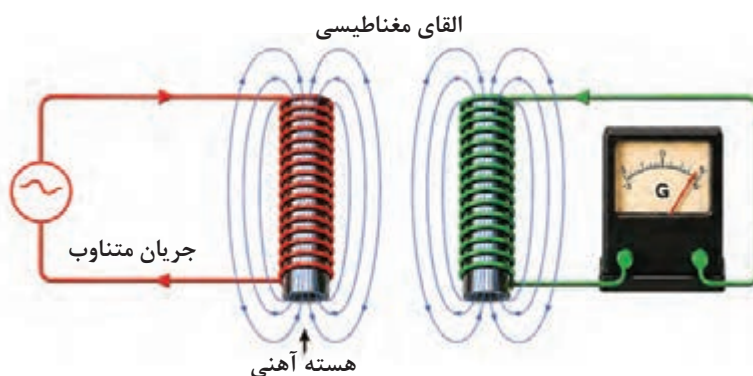
اساس ترانسفورماتورها برپایه پدیده «القای متقابل» مباحث مغناطیسی است. همان‌طوری که درمباحث مغناطیسی سال‌های گذشته آشنا شده‌اید هرگاه یک آهن‌ربا مشابه شکل ۴ را به سمت یک سیم‌پیچ نزدیک و یا دور کنیم، مشاهده می‌کنیم که عقربه آمپرمتري که به دو سر آن متصل است منحرف می‌شود. این مطلب

نشان‌دهنده آن است که بدون اتصال مداری یا اتصال فیزیکی آهنربا با سیم‌پیچ نیروی محرکه الکتریکی در سیم‌پیچ به وجود آمده که باعث جاری شدن جریان در مدار سیم‌پیچ و آمپر متر شده است.



شکل ۴- انواع ترانسفورماتورها از نظر سطح ولتاژ

اصطلاحاً به این نیروی محرکه تولید شده در دوسر سیم‌پیچ و جریان جاری شده در مدار آن «نیروی محرکه القایی» و «جریان القایی» گفته می‌شود. با توجه به همین آزمایش حال اگر دو سیم‌پیچ در مجاورت هم قرار گیرند به طوری که به یکی از آنها (مثلاً اولیه) مطابق شکل ۵ 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 فوران (شار) مغناطیسی متغیر، مدار خود را از درون و اطراف سیم‌پیچ اولیه می‌بندد.



شکل ۵- اثر میدان مغناطیسی متغیر روی سیم‌پیچ مقابل

اگر همه یا قسمتی از این شار از سیم‌پیچ دومی (ثانویه) عبور کند، به علت متغیر بودن شار، بر اساس قانون فاراده، در این سیم‌پیچ نیروی محرکه الکتریکی القا خواهد شد، که با آهنگ تغییر شار و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه متناسب خواهد بود. شار متغیر در سیم‌پیچ اولیه نیز، نیروی محرکه القا می‌کند. این نیروی محرکه بر اساس قانون لنز با عامل به وجود آورنده آن، یعنی تغییرات شار مخالفت می‌کند.

$$E_1 = -N_1 \frac{\Delta\phi_1}{\Delta t} \quad E_2 = -N_2 \frac{\Delta\phi_2}{\Delta t}$$

E_1 نیروی محرکه القایی در سیم پیچ اولیه، E_2 نیروی محرکه القایی در سیم پیچ ثانویه، N_1 تعداد حلقه‌های سیم پیچ اولیه و N_2 تعداد حلقه‌های سیم پیچ ثانویه است. $\frac{\Delta\phi_1}{\Delta t}$ آهنگ تغییر شار در سیم پیچ اولیه و $\frac{\Delta\phi_2}{\Delta t}$ آهنگ تغییر شار در سیم پیچ ثانویه می‌باشد.

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

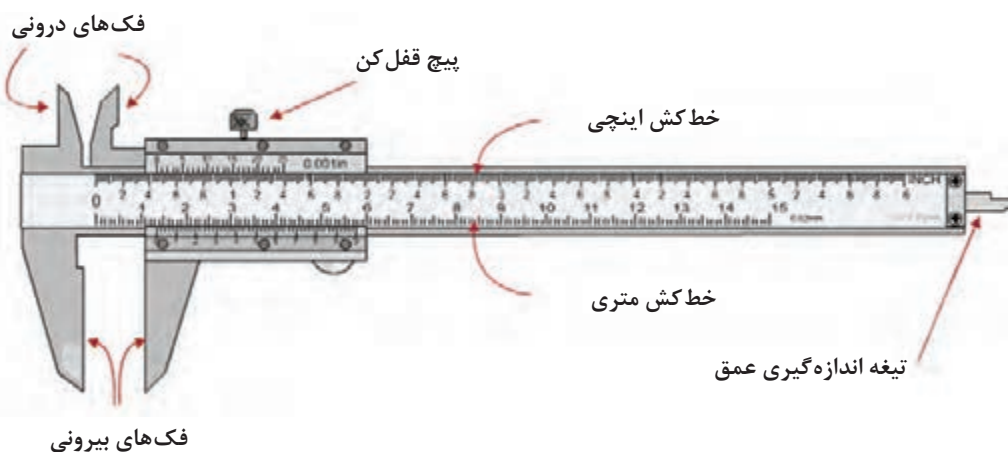
بر اثر عبور جریان از سیم پیچ دوم و به وجود آمدن میدان مغناطیسی در فضای اطراف آن یک اثر متقابل از جانب سیم پیچ دوم روی سیم پیچ اول نیز به وجود خواهد آمد. به اثر میدان‌های مغناطیسی هر دو سیم پیچ بر روی یکدیگر «القا متقابل» گفته می‌شود که از این پس به عنوان اساس کار برای تولید نیروی محرکه القایی در ترانسفورماتورها می‌دانیم.

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

توضیح

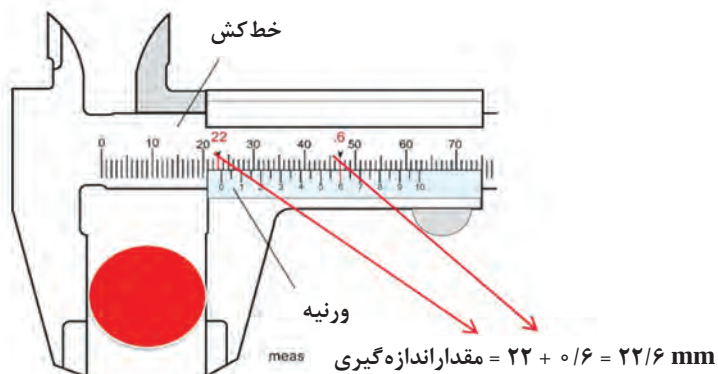


کولیس: کولیس وسیله اندازه‌گیری، فاصله بین دونقطه، با دقت اندازه‌گیری یک دهم میلی‌متر می‌باشد. کولیس از یک خط کش مدرج، یک ورنیه، دوفک بیرونی، دوفک درونی و یک تیغه تشکیل می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶- اجزای تشکیل‌دهنده کولیس

■ **روش اندازه گیری با کولیس:** قطعه ای بین دو فک قرار داده شود (سنجش قطر خارجی). قسمت صحیح را قبل از صفر ورنیه، از خط کش بر حسب میلی متر خوانده می شود. قسمت اعشاری را از ورنیه جدا ساخته، در این حالت یکی از اعداد ورنیه، با یکی از اعداد خط کش در امتداد هم قرار می گیرند این عدد قسمت اعشاری اندازه گیری را نشان خواهد داد. بنابراین، دقت اندازه گیری دهم میلی متر خواهد بود (شکل ۷).



شکل ۷- اندازه گیری قطر خارجی با کولیس

با کولیس می توان قطر داخلی قطر خارجی و عمق اجسام را اندازه گیری نمود (شکل ۸).



اندازه گیری عمق



اندازه گیری قطر خارجی



اندازه گیری قطر داخلی

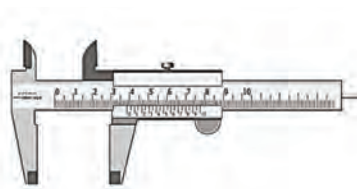
شکل ۸- انواع اندازه گیری های کولیس



کولیس دیجیتالی



کولیس گیج دار

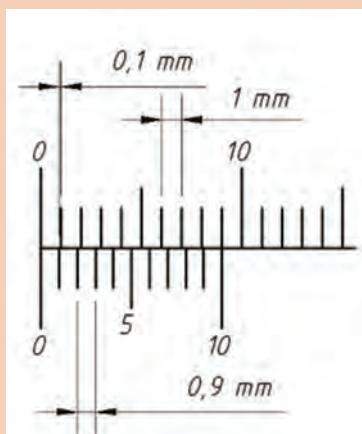


کولیس چاقویی (کاردی)

شکل ۹- انواع کولیس ها

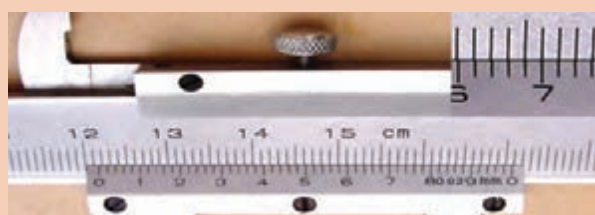
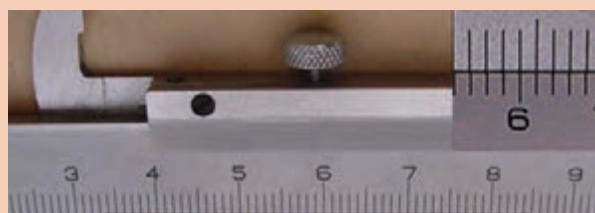
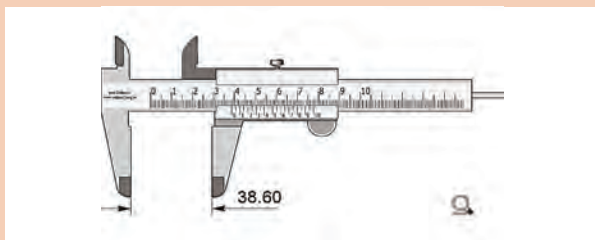


۱ مقدار نشان داده شده توسط کولیس در شکل ۱۰ چند است؟



شکل ۱۰- بخشی از ورنیه

۲ مقادیری که دستگاه‌های کولیس در شکل ۱۱ نشان می‌دهند را مشخص کنید.



شکل ۱۱- قرائت کولیس



شکل ۱۲- انواع قرقره‌های پلاستیکی

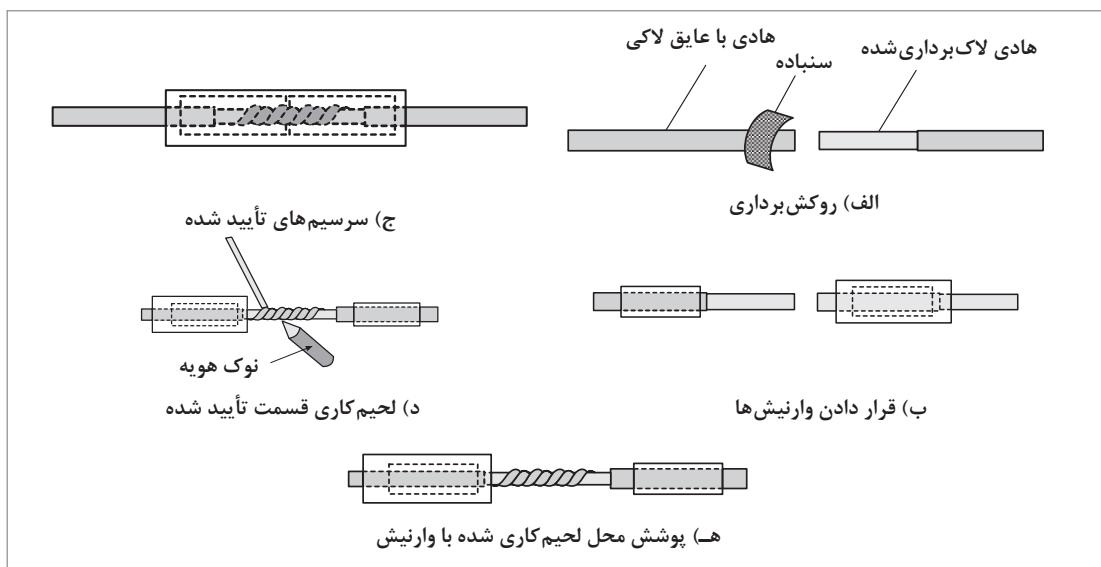
■ قرقره‌های ترموپلاست ترانس پیچی: قرقره‌های

ترموپلاست ترانسفورماتور از مواد عایق مقاوم در برابر حرارت و فشار ساخته می‌شوند و برای نگهداری سیم‌پیچ‌ها به کار می‌روند. این قرقره‌ها در انواع مختلف EI، UI و هسته‌های فریت تولید شده و باعث نظم بهتر سیم‌پیچی می‌شوند. استفاده از ترموپلاست باکیفیت، استحکام مکانیکی بالا و عایق‌بندی مطمئن ترانسفورماتور را تضمین می‌کند. وزن کم، دوام مناسب و مقاومت در برابر حرارت از مهم‌ترین مزایای قرقره‌های ترموپلاست هستند.



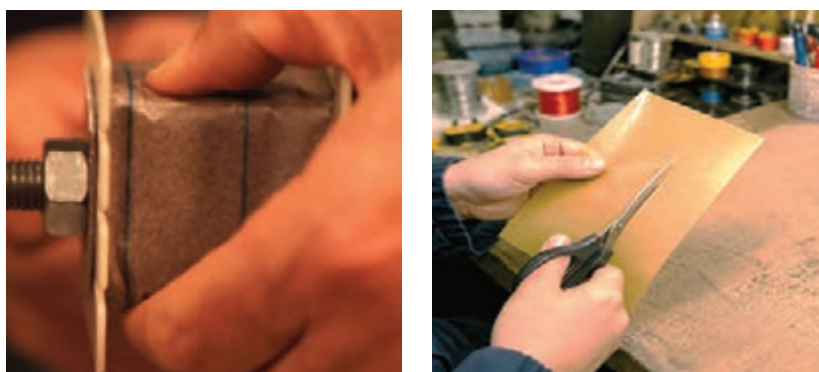
■ وارنیش: معمولاً برای محکم کردن اتصال سیم‌های

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



شکل ۱۳- وارنیش

■ **کاغذ پرشمان:** کاغذهای عایق الکتریکی هستند که در ضخامت‌های مختلف وجود دارند و 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 ۱۴- ورقه‌های عایق کاغذی

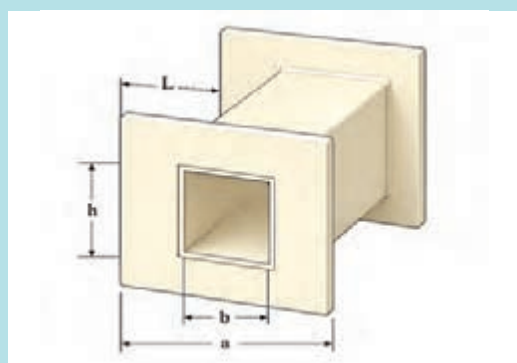


شکل ۱۵- انواع سرسیم

■ **سر سیم:** برای اتصال سیم‌های ترانسفورماتور به شبکه یا مصرف‌کننده می‌توان از سر سیم استفاده کرد که در شکل ۱۵ با چند نمونه از آنها آشنا می‌شویم.

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

کار عملی



شکل ۱۶- یک قرقره پلاستیکی

مواد، ابزار و تجهیزات: کولیس، میکرومتر، سیم لاکه، وارنیش، قرقره ترانس، انواع ورق‌های E.I چند اندازه مختلف از قرقره‌های پلاستیکی ترانسفورماتورها را در اختیار گرفته و مقادیر نشان داده شده در شکل ۱۶ را مطابق شکل ۱۷ با کولیس اندازه‌گیری کنید.

پودمان اول : سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی-تک خروجی



(ج)



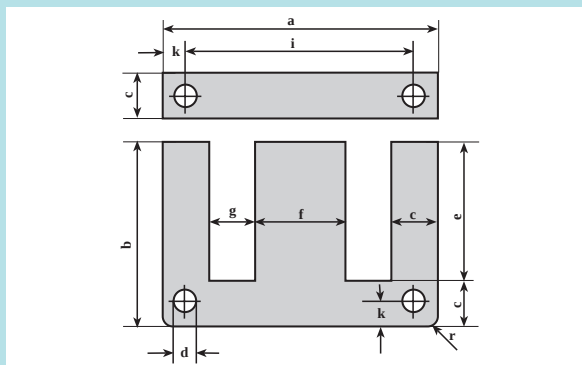
(ب)



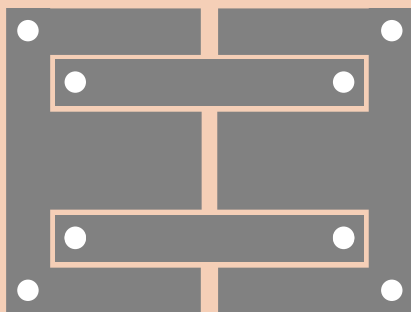
(الف)

شکل ۱۷- اندازه‌گیری‌های مختلف در قرقره پلاستیکی

■ دو اندازه مختلف از ورق‌های EI ترانسفورماتورها را در اختیار گرفته و مقادیر نشان داده‌شده در شکل را با کولیس اندازه‌گیری کنید. چه ارتباطی بین مقدار وسط هسته (f) با دو ضلع کناری (C) وجود دارد؟ علت این ارتباط چیست؟



شکل ۱۸- ورقه‌های EI



شکل ۱۹- برش ورقه‌های EI

چرا در ساخت هسته‌های EI ترانسفورماتورها به صورت شکل ۱۹ عمل می‌شود؟

فعالیت



۱ چند نمونه قرقه سیم لاکی مختلف را در اختیار گرفته و با میکرومتر قطر سیم لاکی آنها را اندازه گیری کرده و جدول ۱ را تکمیل کنید.

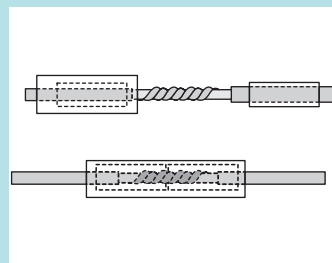
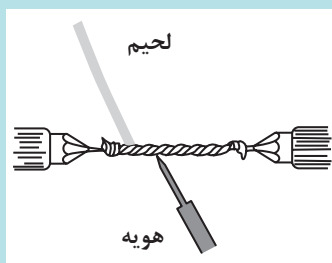
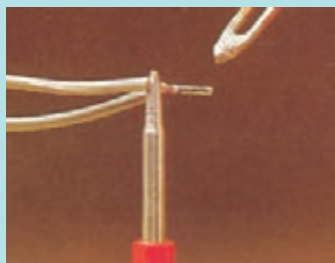


شکل ۲۰- قرقه های سیم لاکی و قرائت قطر با میکرومتر

جدول ۱- محاسبه قطر لاکی

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

۲ چند رشته سیم لاکی را مطابق شکل ۲۱ به یکدیگر اتصال داده و پس از لحیم کاری مناسب روی اتصال ها را با وارنیش پلاستیکی بپوشانید (اندازه روکش برداری و وارنیش ها توسط مربی در اختیار شما گذاشته می شود).



شکل ۲۱- لحیم کاری دو سیم لاکی

روابط اساسی ترانسفورماتور

همان‌گونه که اشاره شد اگر سیم‌پیچ اولیه یک ترانسفورماتور، با جریان متناوب سینوسی تغذیه شود، جریان متناوب سینوسی در سیم‌پیچ اولیه برقرار شده و در نتیجه براساس قانون اورستد شار مغناطیسی متغیری در سیم‌پیچ اولیه به وجود می‌آید که به واسطه آن سبب القا نیروی محرکه در سیم‌پیچی می‌شود. مقدار نیروی محرکه القا شده در سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه را از روابط زیر می‌توان به دست آورد.

$$E_1 = 4.44 \times f \times \phi \times N_1 = 4.44 \times f \times B \times A_{fe} \times N_1 \quad (1)$$

$$E_2 = 4.44 \times f \times \phi \times N_2 = 4.44 \times f \times B \times A_{fe} \times N_2 \quad (2)$$

E_1 - نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه بر حسب ولت

E_2 - نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه بر حسب ولت

N_1 - تعداد دور سیم‌پیچ اولیه

N_2 - تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه

ϕ - برآیند شارهای مغناطیسی متغیر هسته بر حسب وبر

B - چگالی میدان در هسته بر حسب تسلا

f - فرکانس ولتاژ تغذیه بر حسب هرتز

در مورد ترانسفورماتوری که تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه آن برابر باشد تحقیق نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

تحقیق کنید



■ ترانسفورماتور ایده‌آل:

در ترانسفورماتورهای ایده‌آل تمام شار مغناطیسی که در سیم‌پیچ اولیه تولید می‌شود از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند. این نوع ترانسفورماتورها یک تعریف ذهنی است و در عمل امکان دستیابی به چنین ترانسفورماتورهایی امکان‌پذیر نیست.

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

$$E_1 = V_1, \quad E_2 = V_2, \quad S_1 = S_2$$

باتوجه به روابط ۱ و ۲ می‌توان نوشت:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44 \times f \times B \times A \times N_1}{4.44 \times f \times B \times A \times N_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3)$$

$$S_1 = V_1 \times I_1, \quad S_2 = V_2 \times I_2 \Rightarrow S_1 = S_2$$

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (4)$$

در یک ترانسفورماتور ایده‌آل نسبت دورها با نسبت نیروهای محرکه و ولتاژها رابطه مستقیم و با نسبت جریان‌ها رابطه عکس دارد و به صورت رابطه $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = a$ نوشته و با حرف a نشان داده می‌شود. به این رابطه نسبت‌ها، رابطه اساسی در ترانسفورماتورهای ایده‌آل گفته و a را «ضریب تبدیل» ترانسفورماتور می‌گویند.

مثال



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

حل:

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{V_1}{200} = \frac{1000}{400} \Rightarrow V_1 = 500 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R} = \frac{200}{20} = 10 \text{ A}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \frac{1000}{400} = \frac{10}{I_1} \Rightarrow I_1 = 4 \text{ A}$$

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

تلفات در ترانسفورماتورهای ایده‌آل: به مجموع تلفات هسته (آهنی - P_{fe}) و تلفات سیم پیچی (مس - P_{cu}) «تلفات ترانسفورماتور» گفته می‌شود که به صورت حرارت در اطراف ترانسفورماتور از بین می‌روند.

$$\Delta P = P_{fe} + P_{cu} \quad \text{تلفات ترانسفورماتور}$$

در ترانسفورماتور ایده‌آل چون از تلفات هسته P_{fe} و تلفات سیم پیچی P_{cu} صرف نظر می‌شود لذا هیچگونه تلفات وجود ندارد. در نتیجه برای این نوع ترانسفورماتورها می‌توان نوشت:

$$\Delta P = 0 \Rightarrow P_1 = P_2 \Rightarrow S_1 = S_2$$

راندمان در ترانسفورماتور ایده‌آل: نسبت توان خروجی P_2 به توان ورودی P_1 ترانسفورماتور را «راندمان» گفته و با η نشان داده می‌شود و مقدار آن را از رابطه می‌توان به دست آورد. در ترانسفورماتور ایده‌آل چون تلفات وجود ندارد و توان‌های ورودی و خروجی برابرند به همین دلیل راندمان این ترانسفورماتورها ۱۰۰٪ در نظر گرفته می‌شود.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \Rightarrow \eta = \frac{S_2}{S_1} \times 100$$

پودمان اول : سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی-تک خروجی

در کتب مرجع برای انجام محاسبات عملی ترانسفورماتورهای تک‌فاز و انتخاب راندمان محدوده‌ای مطابق جدول ۲ پیشنهاد شده است.

جدول ۲- راندمان ترانسفورماتور به ازای قدرت‌های مختلف

فردت ترانس VA	(۵۰-۰)	(۲۰۰-۵۱)	(۱۰۰۰-۲۰۱)
راندمان %n	(%۷۰ - %۸۰)	(%۸۰ - %۹۰)	(%۸۵ - %۹۵)

تفاوت ترانسفورماتور ایده‌آل و واقعی چیست؟

سؤال



رابطه بین توان ورودی، خروجی و تلفات در ترانسفورماتورهای واقعی چگونه است ؟

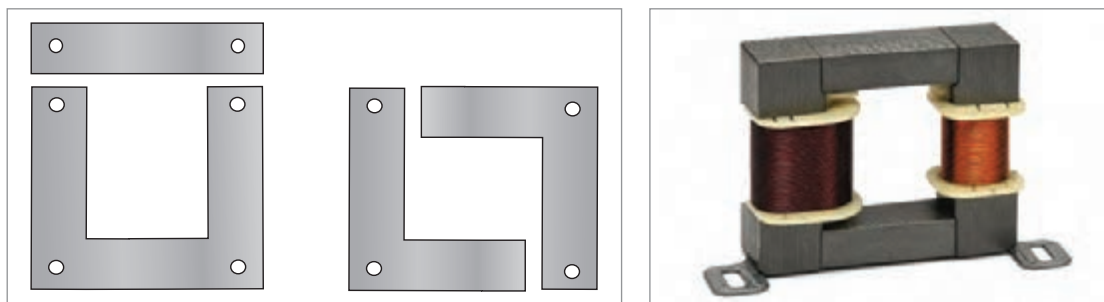
تحقیق کنید



انواع ترانسفورماتور از نظر ساختمانی (قرار گرفتن سیم‌پیچ‌ها)

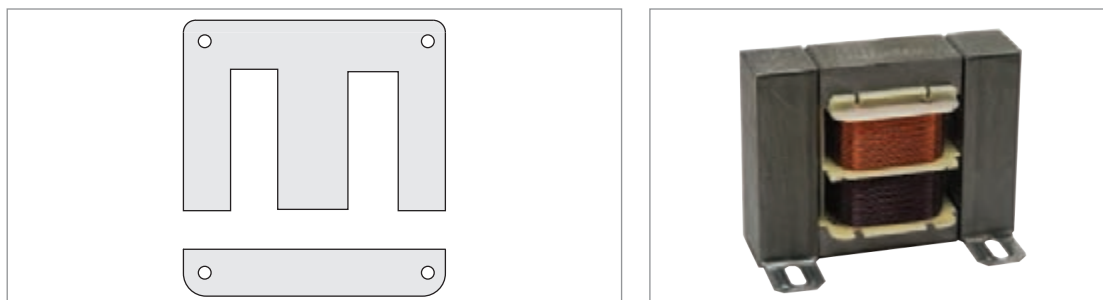
از نظر ساختمانی و با توجه به نحوه قرار گرفتن سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورهای تک‌فاز می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد.

الف) اگر هریک از سیم‌پیچ‌ها روی یک پایه هسته پیچیده شوند به آن «هسته ستونی» گویند. ورق‌های هسته این نوع ترانسفورماتور به صورت دو ورق L یا دو ورق UI است که به همراه تصویر کامل ترانسفورماتور شکل ۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۲- ترانسفورماتور با هسته ستونی

ب) اگر هر دو سیم پیچ مطابق شکل ۲۳ روی یک پایه هسته پیچیده شوند ترانسفورماتور را با «هسته زرهی» گویند. ورق این نوع ترانسفورماتورها به صورت EI ساخته می شود که به همراه تصویر کامل ترانسفورماتور در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۳- ترانسفورماتور با هسته زرهی

در عمل برای پیچیدن سیم پیچ های ترانسفورماتور (زرهی یا ستونی) ابتدا سیم پیچ ها را بر روی قرقره ای از جنس عایق می پیچند و سپس آن را درون هسته جای می دهند.

تحقیق کنید



سیم پیچی ترانسفورماتورهای وسایل زیر، روی یک بازو یا دو بازوی مختلف هسته پیچیده می شوند.
الف) ترانسفورماتور هویه تفنگی
ب) ترانسفورماتور جوشکاری مدل پله ای
ج) ترانسفورماتور جوشکاری مدل هسته متحرک

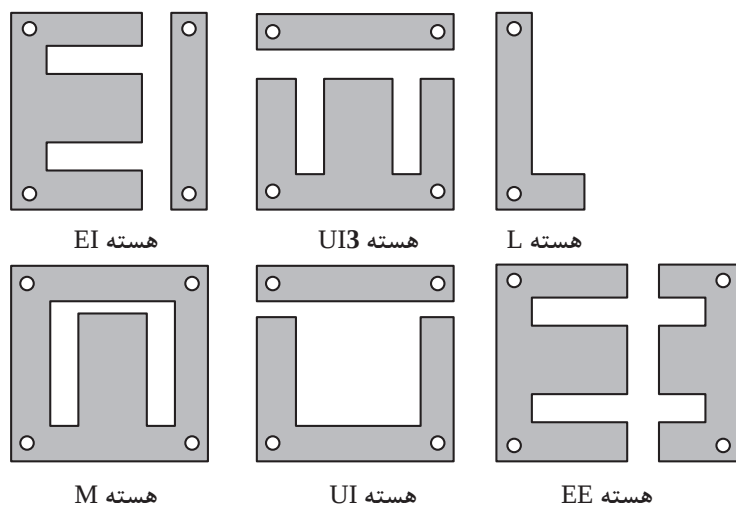
هسته ترانسفورماتور

هسته ترانسفورماتور متشکل از ورق های نازک است که سطح آنها با توجه به قدرت ترانسفورماتور محاسبه می شود. برای کم کردن تلفات آهنی، هسته ترانسفورماتورها باید دو ویژگی بسیار مهم داشته باشند.

۱ داشتن حداقل تلفات پس ماند مغناطیسی (هیستریزیس)

۲ داشتن حداقل تلفات جریان گردابی (فوکو)

با افزودن ناخالصی سیلیس به آهن می توان از هسته مرغوب با حداقل تلفات هیستریزیس بهره مند شد. همچنین با ورق، ورق کردن هسته می توان تلفات فوکو را به حداقل رساند. در عمل علاوه بر ورق، ورق کردن هسته، ورقه های هسته با افزودن روکش ورنی، آنها را نسبت به هم عایق می کنند. لعاب روکش ورق حدود ۰/۰۱ میلی متر است که طی دو مرحله روکش و در هر مرحله ۰/۰۵ میلی متر و روی ورق ها روکش ورنی می دهند. ورقه های ترانسفورماتور را در ضخامت های ۰/۳۵ میلی متر و ۰/۵ میلی متر و در اندازه های استاندارد مختلف ساخته می شوند. ورقه های هسته به صورت ۳UI ، EE ، UI ، L و M برش داده می شوند. در شکل ۲۴ نمونه هایی از هسته ها مشاهده می شود.



شکل ۲۴- چند نمونه ورق‌های هسته‌های ترانسفورماتور

معمولی‌ترین ورق‌های استاندارد شده به شکل EI است که اندازه‌های استاندارد آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

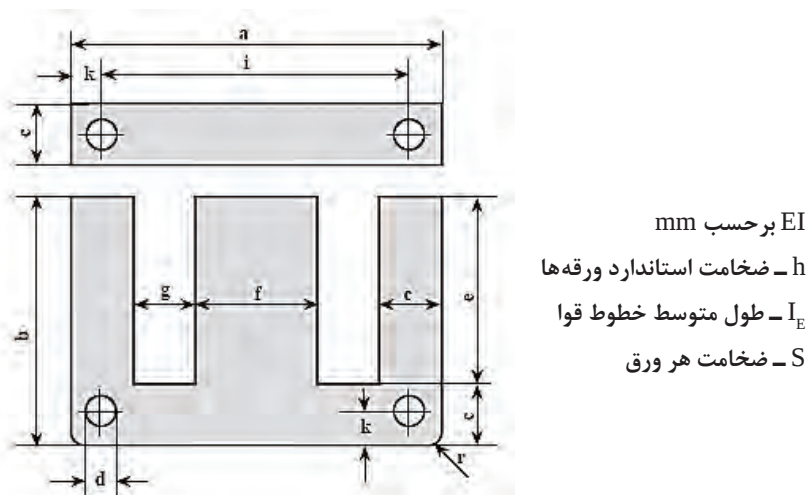
جدول ۳- برای ورق‌های ترانسفورماتور با مشخصات $f=50$ و $g=c$ (مقادیر بر حسب mm)

	EI ۳۰	EI ۳۶	EI ۴۲	EI ۴۸	EI ۵۴	EI ۶۰	EI ۶۶	EI ۷۵	EI ۷۸	EI ۸۴a	EI ۸۴b	EI ۹۶	EI ۱۰۵	EI ۱۲۰	EI ۱۳۵	EI ۱۵۰
a	۳۰	۳۶	۴۲	۴۸	۵۴	۶۰	۶۶	۷۵	۷۸	۸۴	۸۴	۹۶	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰
b	۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۳۶	۴۰	۴۴	۵۰	۵۲	۵۶	۵۶	۶۴	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
c	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲/۵	۱۳	۱۴	۱۴	۱۶	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵
d	—	—	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۵/۵	۵/۵	۶/۸	۷/۸
e	۱۵	۱۸	۲۱	۲۴	۲۷	۳۰	۳۳	۳۷/۵	۳۹	۴۲	۴۲	۴۸	۵۲/۵	۶۰	۶۷/۵	۷۵
f	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵	۲۶	۲۸	۲۸	۳۲	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
g	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲/۵	۱۳	۱۴	۱۴	۱۶	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵
h	۱۰/۵	۱۲/۵	۱۴/۸	۱۶/۸	۱۸/۸	۲۱	۲۳	۲۶	۲۷/۵	۲۹/۵	۴۳/۵	۳۳/۵	۳۷	۴۱/۷	۴۷/۴	۵۱/۷
i	—	—	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۲/۵	۶۵	۷۰	۷۰	۸۰	۸۷/۵	۱۰۰	۱۱۲/۵	۱۲۵
k	—	—	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶/۲۵	۶/۵	۷	۷	۸	۹	۱۰	۱۱/۲۵	۱۲/۵
L _E	۶۰	۷۲	۸۴	۹۶	۱۰۸	۱۲۰	۱۳۲	۱۵۰	۱۵۶	۱۶۸	۱۶۸	۱۹۲	۲۱۵	۲۴۰	۲۷۰	۳۰۰
r	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۵	۵	۶	۶
s	۰/۵ تا ۰/۱			۰/۵ تا ۰/۳۵												

ادامه جدول ۳- برای ورق‌های ترانسفورماتور با مشخصات $g=c$ و $2c=f$ (مقادیر بر حسب mm)

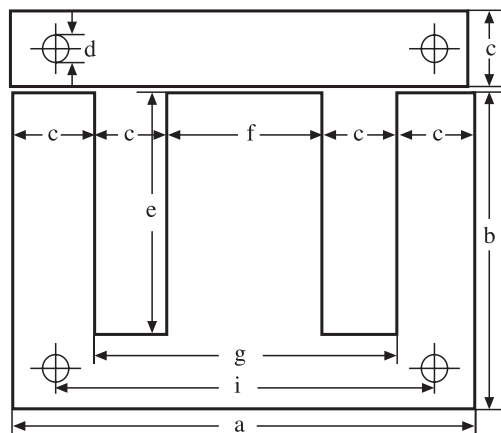
	EI ۹۲a	EI ۹۲b	EI ۱۰۶a	EI ۱۰۶b	EI ۱۳۰a	EI ۱۳۰b	EI ۱۵۰a	EI ۱۵۰b	EI ۱۷۰a						
a	۹۲	۹۲	۱۰۶	۱۰۶	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۷۰						
b	۶۲/۵	۶۲/۵	۷۰/۵	۷۰/۵	۸۷/۵	۸۷/۵	۱۰۰	۱۰	۱۱۴						
c	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۷/۵	۵/۱۷	۲۰	۲۰	۲۸						
d	۴/۵	۴/۵	۵/۵	۵/۵	۶/۸	۶/۸	۷/۸	۷/۸							
e	۵۱	۵۱	۵۶	۵۶	۷۰	۷۰	۸۰	۸۰	۸۵						
f	۲۳	۲۳	۲۹	۲۹	۳۵	۳۵	۴۰	۴۰	۵۷						
g	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۳۰	۳۰	۳۵	۳۵	۲۸/۵						
h	۲۴/۵	۳۳/۵	۴۶/۵	۴۶/۵	۴۷/۷	۴۷/۷	۴۱/۷	۵۱/۷							
i	۸۲	۸۲	۹۴	۹۴	۱۱۵	۱۱۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۴۲						
k	۵	۵	۶	۶	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۱۴						
L _E	۱۹۴	۱۹۴	۲۱۸	۲۱۸	۲۷۰	۲۷۰	۳۱۰	۳۱۰							
r	۵	۴	۵	۵	۶	۶	۶	۶	۶						
s	۰/۵ تا ۰/۱		۰/۳۵ تا ۰/۵												

این ورق‌ها را باید در داخل قرقه به‌طور متناوب از دوطرف قرقه جا زد تا بدین ترتیب فاصله هوایی و در نتیجه تلفات پراکندگی کم می‌شود. شکل ۲۵ حروف اختصاری ورق EI را نشان می‌دهد.



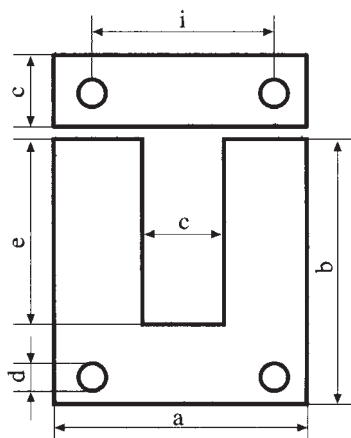
شکل ۲۵- حروف ورقه‌های EI

توضیح: بین اندازه‌های ورق EI و UI ارتباطی وجود دارد که در شکل‌های ۲۶ و ۲۷ مشخصات ظاهری و روابط بین ابعاد ورق‌های EI و UI نشان داده شده است.



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

شکل ۲۶- ابعاد و روابط ورق EI



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

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

$$e = a$$

شکل ۲۷- ابعاد و روابط ورق UI

محاسبات عملی ترانسفورماتورهای تک‌فاز

برای محاسبه و طراحی ترانسفورماتور به یک مجموعه اطلاعات اولیه نیاز است تا با استفاده از آنها، پارامترهای مجهول را محاسبه کرده و ساخت.

محاسبات ترانسفورماتور را به شکل‌های مختلف می‌توان انجام داد. در این پودمان با دو روش آن آشنا می‌شوید:

■ روش اول: محاسبات ترانسفورماتور براساس پارامترهای الکتریکی مورد نیاز

برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت سیم‌پیچی ترانسفورماتور می‌بایست مطابق مراحل زیر عمل کرد.

■ مشخص کردن پارامترهای مورد نیاز برای محاسبات

- ۲ محاسبه قدرت اولیه
- ۳ تعیین سطح مقطع هسته
- ۴ محاسبه دور بر ولت
- ۵ تعیین درصد افت ولتاژ سیم پیچی
- ۶ تعیین تعداد دور اولیه و دور ثانویه
- ۷ محاسبه چگالی جریان
- ۸ محاسبه قطر سیم اولیه و ثانویه
- ۹ تعیین نوع ورق و تعداد ورق ها
- ۱۰ انتخاب قرقره

مرحله اول – مشخص کردن پارامترهای مورد نیاز برای محاسبات: برای ورود به محاسبات لازم است تا در ابتدا پارامترهای الکتریکی V_1, V_2, I_2 و ضخامت ورق مشخص باشند.

$$V_1 = ? \quad V_2 = ? \quad I_2 = ? \quad \text{mm} = ? \text{ ضخامت ورق هسته}$$

مرحله دوم – محاسبه قدرت اولیه: قدرت ظاهری سیم پیچ اولیه را با توجه به قدرت ظاهری و راندمان ترانسفورماتور از رابطه زیر می توان به دست آورد. لازم به ذکر است معمولاً راندمان ترانسفورماتورهای با قدرت های کمتر از ۱۰۰۰ وات – آمپر را ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ بسته به کیفیت ساخت می توان در نظر گرفت. در این جا برای انجام محاسبات میانگین این بازه که برابر ۰/۹ می باشد را در نظر می گیریم.

$$S_2 = V_2 \times I_2$$

$$\eta = 90\%$$

$$\eta = \frac{S_2}{S_1} \Rightarrow S_1 = \frac{S_2}{90\%} \text{ VA}$$

مرحله سوم – تعیین سطح مقطع هسته و تعداد ورق ها: مبنای تعیین سطح مقطع هسته های ترانسفورماتور، توان ظاهری خروجی آن می باشد.

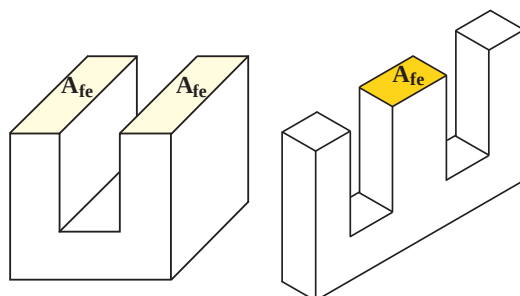
برای کاهش تلفات فوکو، ضخامت ورقه های آهن سیلیس دار هسته ترانسفورماتور را ۰/۳۵ یا ۰/۵ میلی متر ساخته می شوند. سطح مقطع ظاهری حجم بیشتری نسبت به سطح مقطع واقعی (مؤثر) دارد. اگر سطح مقطع مؤثر را با A_{fe} و سطح مقطع ظاهری را با A'_{fe} نمایش دهیم می توان رابطه ۵ را برای محاسبه سطح مقطع مؤثر هسته های ترانسفورماتور نوشت.

$$A_{fe} = K \sqrt{S_1} \quad (5)$$

مقدار ضریب K بین ۰/۸ تا ۱/۲ متغیر است هر چقدر توان ترانسفورماتور بیشتر باشد، مقدار K کاهش یافته و به مقدار ۰/۸ نزدیک تر می شود. مقدار سطح مقطع ظاهری هسته از رابطه ۶ می توان تعیین کرد..

$$A'_{fe} = \frac{A_{fe}}{\text{ضریب تورق}} = \frac{A_{fe}}{0.9} = 1.1 \times A_{fe} \quad (6)$$

در شکل ۲۸ سطح مقطع هسته در دو نوع ورق EI و U نشان داده شده است.



شکل ۲۸- سطح مقطع هسته EI و U

در دو مدل هسته E و U شکل ۲۸ چه ارتباطی بین سطح مقطع هسته وجود دارد؟ در مورد آن بحث کنید.

فعالیت



مرحله چهارم - محاسبه دور بر ولت: برای محاسبه تعداد دور سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه می‌بایست ابتدا مقدار پارامتر «دور بر ولت» و سپس تعداد دورها را به دست آوریم. مبنای محاسبات تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه رابطه نیروی محرکه (E) می‌باشد. در صورتی که به جای E مقدار یک ولت در نظر گرفته شود در این صورت تعداد دور برای یک ولت به دست می‌آید که اصطلاحاً به این پارامتر «دور بر ولت» می‌گویند و با N_V نشان می‌دهند.

$$E = 4.44 \times f \times B_m \times A_{fe} \times N$$

$$E = 1 \text{ V} \rightarrow N_V = \frac{1}{4.44 \times f \times B_m \times A_{fe}}$$

برای محاسبه مقدار دور بر ولت اگر A_{fe} را بر حسب سانتی‌متر مربع و B_m را بر حسب گوس در نظر گرفته شوند از روابط خلاصه شده زیر می‌توان استفاده کرد.

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

$$N_V = \frac{37/5}{A_{fe} [\text{Cm}^2]}$$

هسته مرغوب

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

$$N_V = \frac{45}{A_{fe} [\text{Cm}^2]}$$

هسته معمولی

توجه



در ساخت ترانسفورماتورها، اگر ورق‌ها با چگالی $B_m = 12000 \text{ [Gs]}$ در دسترس نبوده و فرکانس شبکه نیز $f = 50 \text{ [Hz]}$ نباشند در این حالت از رابطه کلی زیر باید استفاده شود.

$$N_V = \frac{1}{4.44 \times f \times B_m \times A_{fe}}$$

سؤال



مقدار دور بر ولت به چه عواملی بستگی دارد؟

مرحله پنجم – تعیین درصد افت ولتاژ سیم پیچی: با توجه به اینکه با عبور جریان از سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور افت ولتاژ در آنها به وجود می‌آید که موجب کاهش ولتاژ خواهد شد لذا برای داشتن ولتاژ خروجی مورد نظر لازم است تا در محاسبه دقیق تعداد دور سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه درصدی افت ولتاژ را در نظر گرفت. برای این منظور و بر پایه مقدار توان ترانسفورماتور که در جدول ۴ آمده است می‌بایست در قالب یکی از حالات زیر مقدار درصد افت ولتاژ را تعیین کرد.

جدول ۴- درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتورها

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

نکته



برای محاسبه سهم درصد افت ولتاژ هر یک از سیم پیچ‌های ترانسفورماتور، یکی از دو روش زیر استفاده می‌شود.

۱ مقدار درصد افت ولتاژ اولیه را $\frac{1}{3}$ کل افت ولتاژ کل و درصد افت ولتاژ ثانویه را $\frac{2}{3}$ آن در نظر گرفته می‌شود.

$$\% \Delta V_1 = \frac{1}{3} \times \% \Delta V$$

$$\% \Delta V_2 = \frac{2}{3} \times \% \Delta V$$

۲ مقدار درصد افت ولتاژ اولیه را $\frac{1}{2}$ کل افت ولتاژ و درصد افت ولتاژ ثانویه نیز $\frac{1}{2}$ آن در نظر گرفته می‌شود

$$\% \Delta V_1 = \frac{1}{2} \times \% \Delta V$$

$$\% \Delta V_2 = \frac{1}{2} \times \% \Delta V$$

تذکر

در صورتی که مقدار توان ترانسفورماتور مورد نظر، مستقیماً از جدول قابل استخراج نباشد و عدد توان در بین دو مقدار توان قرار گیرد باید با انجام یک تناسب مقدار دقیق آن را محاسبه کرد.



(با جزییات این مسئله در مثال‌های حل شده در صفحات بعد آشنا خواهید شد.)

توضیح

در عمل به کارگیری از روش اول برای تقسیم درصد افت ولتاژ نسبت به روش دوم مناسب‌تر است چرا که خروجی ترانسفورماتور در شرایط کار نامی دارای افت ولتاژ کمتری است.

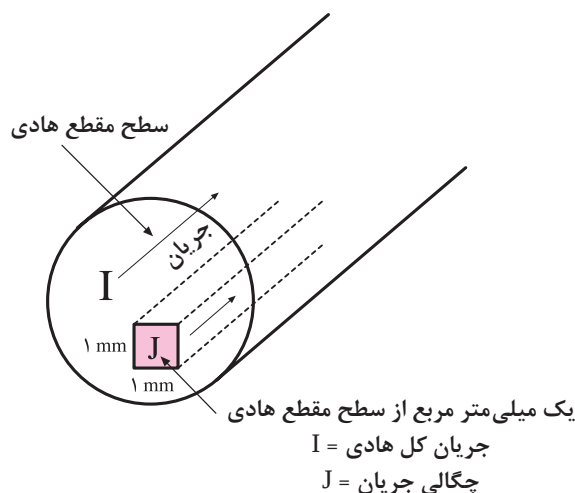


مرحله ششم – محاسبه تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه: برای محاسبه تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه از روابط زیر می‌توان استفاده کرد.

$$N_1 = N_V \times V_1 \times (1 - \% \Delta V_1)$$

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

مرحله هفتم – تعیین چگالی جریان: چگالی جریان نشان‌دهنده بزرگی شدت جریانی است که هر میلی‌متر مربع از یک سیم می‌تواند آن را تحمل کند. واحد آن آمپر بر میلی‌متر مربع بوده و آن را با J نشان می‌دهند. در شکل ۲۹ مفهوم چگالی با تصویر نشان داده شده است.



شکل ۲۹- چگالی جریان در سیم

در جدول ۵ مقدار چگالی جریان ترانسفورماتورها که متناسب با محدوده توان‌های مختلف است را مشاهده می‌کنید. همان‌طوری که مشاهده می‌کنید با افزایش توان ترانسفورماتورها مقدار چگالی جریان کاهش می‌یابد. در این مرحله با مشخص بودن توان ظاهری ثانویه می‌توان مقدار چگالی جریان را از جدول ۵ استخراج کرد.

جدول ۵- چگالی جریان در سیم پیچی ترانسفورماتور

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

مرحله هشتم - محاسبه قطر سیم اولیه و ثانویه: قطر سیم در سیم پیچ های ترانسفورماتور باید به گونه ای 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.

باتوجه به ویژگی های فوق پس می توان نتیجه گرفت که قطر سیم متأثر از توان ترانسفورماتور و چگالی جریان می باشد.

برای محاسبه قطر سیم ثانویه نیز مشابه اولیه از رابطه زیر می توان استفاده کرد.

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \Rightarrow d = 1/13 \sqrt{A}$$

پس روابط نهایی d_1 و d_2 برای محاسبه قطر سیم اولیه و ثانویه به صورت زیر خواهد بود.

$$d_1 = 1/13 \sqrt{A_1}$$

$$d_2 = 1/13 \sqrt{A_2}$$

$$A_1 = \frac{I_1}{J}, \quad A_2 = \frac{I_2}{J}$$

در صورت استاندارد نبودن قطرهای به دست آمده برای سیم پیچ های اولیه و ثانویه با مراجعه به جدول ۶ نزدیک ترین سیم استاندارد که قطر آن از قطر سیم به دست آمده بیشتر است را انتخاب کنید.

جدول ۶- قطر سیم های لاکه استاندارد

تعداد دو در هر	مقاومت سیم	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم	قطر سیم با لاکه	قطر سیم mm
Cm ²	Ω/m		mm ²	mm	mm
۲۰۰۰۰	۸/۹۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۲۰	۰/۰۶۲	۰/۰۵
۱۵۰۰۰	۶/۲۱	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲۸	۰/۰۷۵	۰/۰۶

پودمان اول : سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی- تک خروجی

تعداد دو در هر Cm ^۲	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm ^۲	قطر سیم با لاک mm	قطر سیم mm
۱۱۰۰۰	۴/۵۶	۰/۰۳۷	۰/۰۰۳۹	۰/۰۸۵	۰/۰۷
۹۰۰۰	۳/۴۹	۰/۰۴۸	۰/۰۰۵۰	۰/۰۹۵	۰/۰۸
۷۰۰۰	۲/۷۶	۰/۰۶۰	۰/۰۰۶۴	۰/۱۰۸	۰/۰۹
۶۰۰۰	۲/۲۳	۰/۰۷۴	۰/۰۰۷۹	۰/۱۱۵	۰/۱۰
۵۰۰۰	۱/۸۴	۰/۰۸۵	۰/۰۰۹۵	۰/۱۳	۰/۱۱
۴۰۰۰	۱/۵۵	۰/۱۰۵	۰/۰۱۱۵	۰/۱۴	۰/۱۲
۳۶۰۰	۱/۳۲	۰/۱۲۰	۰/۰۱۳۳	۰/۱۵	۰/۱۳
۳۲۰۰	۱/۱۴	۰/۱۴۳	۰/۰۱۵۴	۰/۱۶	۰/۱۴
۲۸۰۰	۰/۹۹	۰/۱۶۴	۰/۰۱۷۷	۰/۱۷	۰/۱۵
۲۵۰۰	۰/۸۷	۰/۱۸۶	۰/۰۲۱۱	۰/۱۸	۰/۱۶
۲۲۵۰	۰/۷۷۳	۰/۲۱۰	۰/۰۲۲۷	۰/۱۹	۰/۱۷
۲۰۰۰	۰/۶۸۹	۰/۲۳۵	۰/۰۲۵۴	۰/۲۰	۰/۱۸
۱۸۰۰	۰/۶۱۹	۰/۲۶۰	۰/۰۲۸۴	۰/۲۱	۰/۱۹
۱۶۵۰	۰/۵۵۷	۰/۲۸۹	۰/۰۳۱۴	۰/۲۲	۰/۲۰
۱۵۰۰	۰/۵۰۷	۰/۳۳۰	۰/۰۳۴۶	۰/۲۳	۰/۲۱
۱۴۰۰	۰/۴۶۰	۰/۳۵۰	۰/۰۳۸	۰/۲۴	۰/۲۲
۱۳۰۰	۰/۴۲۲	۰/۳۹۰	۰/۰۴۲	۰/۲۵	۰/۲۳
۱۲۰۰	۰/۳۸۸	۰/۴۲۵	۰/۰۴۵	۰/۲۶	۰/۲۴
۱۱۰۰	۰/۳۵۷	۰/۴۶۰	۰/۰۴۹	۰/۲۷	۰/۲۵
۱۰۲۰	۰/۳۳۰	۰/۴۹۵	۰/۰۵۳	۰/۲۸۵	۰/۲۶
۹۵۰	۰/۳۰۶	۰/۵۳۳	۰/۰۵۷	۰/۲۹۵	۰/۲۷
۸۷۰	۰/۲۸۵	۰/۵۷۱	۰/۰۶۲	۰/۳۰۵	۰/۲۸
۸۰۰	۰/۲۶۶	۰/۶۱۲	۰/۰۶۶	۰/۳۱۵	۰/۲۹
۷۷۰	۰/۲۴۸	۰/۶۴۵	۰/۰۷۱	۰/۳۳	۰/۳۰

تعداد دو در هر Cm ^۲	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm ^۲	قطر سیم با لاک mm	قطر سیم mm
۶۹۰	۰/۲۱۸	۰/۷۴۰	۰/۰۸۰	۰/۳۵	۰/۳۲
۵۸۰	۰/۱۸۲۴	۰/۸۹۰	۰/۰۹۶	۰/۳۸	۰/۳۵
۵۲۰	۰/۱۶۲۲	۰/۹۹۴	۰/۱۰۸	۰/۴۰	۰/۳۷
۴۵۰	۰/۱۳۹۶	۱/۱۶۰	۰/۱۲۶	۰/۴۳	۰/۴۰
۳۷۰	۰/۱۱۰۳	۱/۴۸۰	۰/۱۵۹	۰/۴۸	۰/۴۵
۳۰۰	۰/۰۸۹۴	۱/۸۳۰	۰/۱۹۶	۰/۵۴	۰/۵۰
۲۵۰	۰/۰۷۳۸	۲/۲۰۰	۰/۲۳۸	۰/۵۹	۰/۵۵
۲۱۰	۰/۰۶۲۱	۲/۶۲	۰/۲۸۳	۰/۶۴	۰/۶۰
۱۸۰	۰/۰۵۲۶	۲/۹۷	۰/۳۳۴	۰/۶۹	۰/۶۵
۱۶۰	۰/۰۴۵۵	۳/۴۳	۰/۳۸۵	۰/۷۴	۰/۷۰
۱۴۰	۰/۰۳۹۵	۳/۹۵	۰/۴۴۴	۰/۷۹	۰/۷۵
۱۲۰	۰/۰۳۴۸	۴/۴۸	۰/۵۰۴	۰/۸۴	۰/۸۰
۱۱۰	۰/۰۳۰۹	۵/۰۵	۰/۵۶۸	۰/۸۹	۰/۸۵
۱۰۰	۰/۰۲۷۵	۵/۶۶	۰/۶۳۶	۰/۹۴	۰/۹۰
۹۰	۰/۰۲۴۷	۶/۳۱	۰/۷۰۹	۰/۹۹	۰/۹۵
۸۱	۰/۰۲۲۳	۷/۰۰	۰/۷۸۶	۱/۰۶	۱/۰۰
۷۵	۰/۰۱۸۵	۸/۴۶	۰/۹۵۰	۱/۱۶	۱/۱۰
۵۶	۰/۰۱۵۵	۱۰/۰۹	۱/۱۳۱	۱/۲۶	۱/۲۰
۴۸	۰/۰۱۳۲	۱۱/۸	۱/۳۳۷	۱/۳۶	۱/۳۰
۴۰	۰/۰۱۴۰	۱۳/۷	۱/۵۳۹	۱/۴۶	۱/۴۰
۳۳	۰/۰۰۹۹	۱۵/۷۵	۱/۷۷۰	۱/۵۶	۱/۵۰
۲۵	۰/۰۰۸۸	۱۷/۹	۲/۰۱۱	۱/۶۶	۱/۶۰
۲۰	۰/۰۰۷۷	۲۰/۲	۲/۲۷۰	۱/۷۶	۱/۷۰
۱۷	۰/۰۰۶۹	۲۲/۶	۲/۵۴۵	۱/۸۶	۱/۸۰

پودمان اول : سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی-تک خروجی

تعداد دو در هر Cm ^۲	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm ^۲	قطر سیم با لاک mm	قطر سیم mm
۱۵	۰/۰۰۶۲	۲۵/۲	۲/۸۳۵	۱/۹۶	۱/۹۰
۱۲	۰/۰۰۵۶	۲۸/۰۰	۳/۱۴۲	۲/۰۷	۲
۷	۰/۰۰۳۶	۴۳/۷	۴/۹۰۸	۲/۵۷	۲/۵
—	۰/۰۰۲۵	۶۲/۹	۷/۰۷۰	۳/۰۸	۳

انتخاب ورق استاندارد

برای تعیین نوع ورق بر اساس سطح مقطع هسته از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد. پس از محاسبه مقدار سمت راست معادله باید به جدول ورق‌های EI مراجعه و ورق مناسب استاندارد را انتخاب کرد.

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

با توجه به ورق EI استاندارد تعیین شده، مقدار عرض ورق را طبق رابطه $f = \frac{1}{3}a$ می‌توان به دست آورد و سپس براساس آن ضخامت هسته و تعداد ورق‌های مورد نیاز ترانسفورماتور را مطابق روابط زیر به دست آورد.

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{A_{fe}}{f}$$

برای به دست آوردن تعداد ورق‌های مورد نیاز از رابطه زیر می‌بایست استفاده کرد.

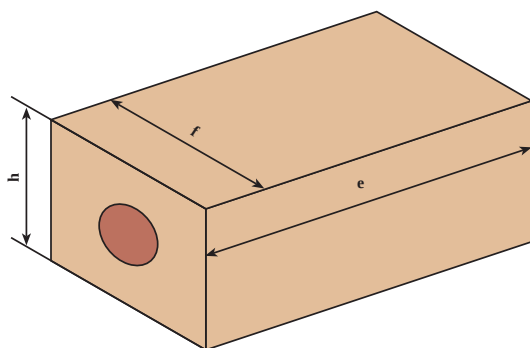
$$\text{تعداد ورق‌ها} = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}}$$

در استفاده از رابطه تعداد ورق‌ها به این نکته می‌بایست توجه کرد که ضخامت ورق‌ها در دو سایز ۰/۳۵ و ۰/۵۰ میلی‌متری ساخته می‌شوند لذا در جای‌گذاری داخل رابطه به این نکته باید توجه خاص داشت.

تذکر



مرحله دهم – انتخاب قرقره و تهیه مغزی قرقره: در این مرحله می‌توان با مراجعه به جدول ورق‌های EI هسته سایر مشخصات ورق را نیز استخراج و براساس بررسی و مقایسه اعداد با مشخصات قرقره‌های ترموپلاستی که در بازار موجود هستند قرقره مناسب برای سیم‌پیچی را انتخاب کرد. علاوه بر رعایت نکته اشاره شده می‌بایست از یک قطعه چوب به شکل مکعب مستطیل براساس ابعاد نشان داده شده در شکل ۳۰ تهیه شود چراکه در زمان سیم‌پیچی لازم است تا این قطعه چوب در داخل قرار گرفته و سپس با قرار دادن محور بوبین پیچ و بستن آن دستگاه کار سیم‌پیچی انجام شود.



شکل ۳۰- قالب چوبی

برای آشنایی با چگونگی محاسبه یک ترانسفورماتور در قالب یک مثال و به ترتیب مراحل که آموزش داده شده مورد بررسی قرار گرفته است.

مثال



یک ترانسفورماتور یک فاز با ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت، ولتاژ ثانویه ۱۲ ولت و جریان ثانویه ۲/۵ آمپر مورد نیاز است اگر چگالی هسته ۱۲۰۰۰ گوس و فرکانس شبکه برق ۵۰ هرتز باشد مطلوب است محاسبات لازم برای ساخت این ترانسفورماتور را انجام دهید.

حل:

$$V_1 = 220 \text{ V}, V_2 = 12 \text{ V}, I_2 = 2/5, B_m = 12000 \text{ Gs}, f = 50 \text{ Hz}$$

$$S_2 = V_2 \times I_2 = 12 \times 2/5 = 30 \text{ VA}$$

$$A_{fe} = 1/2 \sqrt{S_2} = 1/2 \sqrt{30} = 1/2 \times 5/48 = 6/58 \text{ Cm}$$
 سطح مقطع حقیقی آهن

$$N_V = \frac{37/5}{S} = \frac{37/5}{6/58} = 4/51$$
 دور بر ولت

با در نظر گرفتن اعداد افت ولتاژ در جدول ۴ مقدار دقیق آن را به صورت زیر به دست آورد.

$$\Delta V_{(30)} = ?$$

$\frac{S_2}{25}$	$\rightarrow$	$\frac{\Delta V}{15}$
$\frac{50}{50}$	$\rightarrow$	$\frac{12}{12}$
$\Delta S' = 25$		$\Delta V' = 3$
$30 - 25 = 5$		$X = \frac{5 \times 3}{25} = 0/6$

$$\% \Delta V_{(r_o)} = \% \Delta V_{(r_d)} - X \Rightarrow \% \Delta V_{(r_o)} = \% 15 - 0/6 \Rightarrow \% \Delta V_{(r_o)} = \% 14/4$$

$$\% \Delta V_1 = \frac{1}{3} \times \% \Delta V \Rightarrow \% \Delta V_1 = \frac{1}{3} \times 14/4 = \% 4/8 \Rightarrow \Delta V_1 = \frac{\% \Delta V_1}{100} = \frac{\% 4/8}{100} = 0/048 V$$

$$\% \Delta V_2 = \frac{2}{3} \times \% \Delta V \Rightarrow \% \Delta V_2 = \frac{2}{3} \times 14/4 = \% 9/6 \Rightarrow \Delta V_2 = \frac{\% \Delta V_2}{100} = \frac{\% 9/6}{100} = 0/096 V$$

$$N_1 = V_1 \times N_V \times (1 - \Delta V_1) \Rightarrow N_1 = 220 \times 4/51 \times (1 - 0/048) = 1193/8 = 1194 \text{ دور}$$

$$N_2 = V_2 \times N_V \times (1 + \Delta V_2) \Rightarrow N_2 = 12 \times 4/51 \times (1 + 0/096) = 35/51 = 36 \text{ دور}$$

$$\eta = \frac{S_2}{S_1} \Rightarrow S_1 = \frac{S_2}{\eta} = \frac{30}{0/9} \Rightarrow S_1 = 33/3 \text{ VA}$$

$$S_1 = V_1 \times I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{S_1}{V_1} = \frac{33/3}{220} = 0/15 \text{ A}$$

از جدول ۵ چگالی جریان برابر $J = 4 \text{ A/mm}^2$ است.

$$A_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{0/15}{4} = 0/06 \text{ mm}^2 \Rightarrow d_1 = 1/13 \sqrt{A_1} = 1/13 \sqrt{0/0375} = 0/218 \text{ mm}$$

$$A_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{2/5}{4} = 0/6 \text{ mm}^2 \Rightarrow d_2 = 1/13 \sqrt{A_2} = 1/13 \sqrt{0/6} = 0/87 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow EI \rightarrow 78 \text{ نوع EI} \leq 30 \sqrt{A_{fe}} \quad \text{نوع EI} \leq 30 \sqrt{6/58} = 77/1$$

براساس عدد به‌دست آمده پس نوع EI استاندارد را از جدول ۳، ۷۸ EI می‌توان انتخاب کرد که در آن $f = 26 \text{ mm}$ است و ضخامت هسته برابر است با:

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{A_{fe}}{f} = \frac{6/58 \times 10^2 \text{ mm}}{26 \text{ mm}} = 25/3 \text{ mm}$$

$$EI = \frac{25/3}{0/5} = 50/6 \cong 51 \text{ عدد ورق}$$

کار کلاسی



با تشکیل گروه‌های ۳ یا ۴ نفری با هم کلاسی‌های خود هر یک از ترانسفورماتورهای مشخص شده زیر را محاسبه کرده و در خاتمه با جابه‌جا کردن برگه‌های محاسباتی گروه خود با سایر گروه‌ها، محاسبات انجام شده را مورد بررسی قرار داده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

(الف)

$$V_1 = 220 \text{ V} , V_2 = 24 \text{ V} , I_2 = 3 , B_m = 12000 \text{ Gs} , f = 50 \text{ Hz} \quad \text{ضخامت ورق} = 0/5 \text{ mm}$$

(ب)

$V_1 = 220V$ ، $V_r = 24V$ ، $I_r = 4$ ، $Bm = 12000Gs$ ، $f = 50Hz$ ، ضخامت ورق $= 0/35 mm$

(ج)

$V_1 = 220V$ ، $V_r = 6V$ ، $I_r = 3$ ، $Bm = 12000Gs$ ، $f = 50Hz$ ، ضخامت ورق $= 0/5 mm$

تمرین



پس از محاسبه هر یک از ترانسفورماتورهای خواسته شده زیر اطلاعات را در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

۱ $V_1 = 220V$ ، $V_r = 12V$ ، $I_r = 5$ ، $Bm = 12000Gs$ ، $f = 50Hz$ ، ضخامت ورق $= 0/5 mm$

۲ $V_1 = 220V$ ، $V_r = 110V$ ، $I_r = 6$ ، $Bm = 12000Gs$ ، $f = 50Hz$ ، ضخامت ورق $= 0/35 mm$

۳ $V_1 = 220V$ ، $V_r = 24V$ ، $I_r = 3$ ، $Bm = 9000Gs$ ، $f = 50Hz$ ، ضخامت ورق $= 0/35 mm$

کار عملی

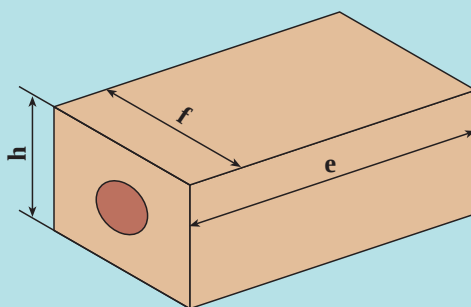


هدف: انجام محاسبات و اجرای سیم پیچی ترانسفورماتور ۲۲۰/۱۲ ولت
تجهیزات، ابزار و مواد لازم:

قرقره - ترانسفورماتور، سیم لاک، قالب چوبی، بوبین پیچ، عایق کاغذی، سیم افشان، ورقه های EI و هویه و سیم لحیم

طبق مراحل زیر با نحوه اجرای کار عملی سیم پیچی ترانسفورماتورها آشنا می شوید.

مرحله ۱- انجام محاسبات و انتخاب قرقره مناسب: پس از انجام محاسبات مربوط به اندازه قرقره، تعداد دور اولیه و ثانویه و قطر سیم های اولیه و ثانویه در قدم اول قرقره مناسب را تهیه و یک لایه نازک عایق بر روی محل قرارگیری سیم های لاک پیچیده می شود تا از آسیب های احتمالی جلوگیری شود. برای نصب قرقره روی دستگاه باید از یک قالب متناسب با حجم داخل قرقره استفاده کرد. جنس این قالب معمولاً از چوب و شکل آن مکعب مستطیل است. در شکل ۳۱ اندازه های آن داده شده است.



شکل ۳۱- تهیه قالب چوبی

پس از جا زدن قالب چوبی در داخل قرقره و بستن آن بر روی دستگاه بوبین پیچ می‌توان سیم‌پیچی را شروع کرد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲- بستن قرقره روی بوبین پیچ



مرحله ۲- آماده‌سازی مقدماتی سیم پیچ اولیه: در صورتی که قطر سیم لاکی محاسبه شده نازک باشد، یک سیم عایق دار انتخاب نموده، با سیم لخت کن روکش برداری می‌شود. روکش سیم لاکی را نیز با سنباده نرم یا مواد شیمیایی مخصوص با احتیاط برداشته و پس از اتصال به سیم افشان و انجام عملیات لحیم کاری (در سال دهم لحیم کاری آموزش داده شده است) توسط وارنیش عایق می‌شود. در شکل ۳۳ این مراحل نشان داده شده است.

شکل ۳۳- اتصال سیم افشان به سیم لاکی



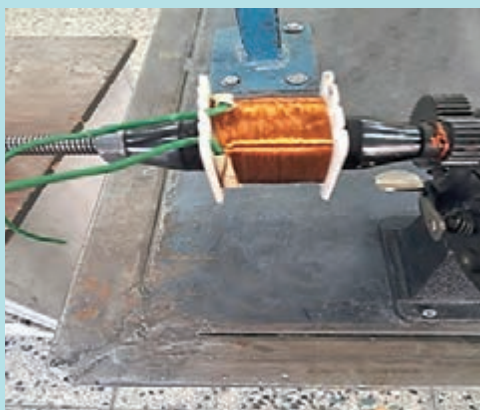
در ادامه قسمت لحیم شده از پایین ترین سوراخ دیواره قرقره و کف آن خارج می‌شود (شکل ۳۴).

شکل ۳۴- قرار دادن وارنیش و خارج کردن سیم از قرقره



مرحله ۳ - پیچیدن سیم پیچ اولیه: با توجه به تعداد دور به دست آمده برای اولیه، سیم پیچ اولیه با دقت پیچیده می شود. باید توجه نمود اگر سیم پیچی مرتب در کنار هم و در یک ردیف قرار نگیرد ممکن است فضای قرقره سریع تر از حد انتظار پر شده و سیم پیچ ها درون آن جا نشوند.

شکل ۳۵- منظم پیچیدن ترانسفورماتور



در انتهای سیم پیچ اولیه، مجدداً سیم افشان به سیم لاکی اتصال داده و پس از لحیم کاری و عایق نمودن توسط وارنیش از یکی از سوراخ های قرقره در کنار سیم قبل خارج می شود.

شکل ۳۶- خارج کردن انتهای سیم پیچ اولیه از قرقره



مرحله ۴- عایق کاری بین دو سیم پیچ: قبل از شروع سیم پیچ ثانویه، می بایست بین اولیه و ثانویه عایق شود. برای این کار، از عایق برشمان یا عایق های مناسب دیگر استفاده می شود (شکل ۳۷).

شکل ۳۷- عایق کردن بین اولیه و ثانویه



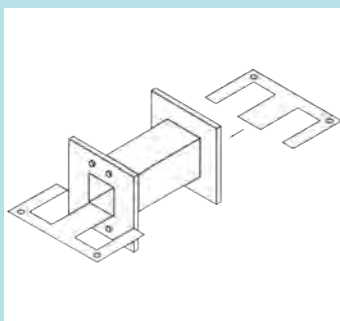
مرحله ۵- پیچیدن سیم ثانویه: سیم‌پیچ ثانویه با توجه به تعداد دور به دست آمده و قطر محاسبه شده مانند سیم‌پیچ اولیه انجام می‌شود. باید توجه نمود در سیم‌پیچ ثانویه اگر جریان بالا باشد (معمولاً بالاتر از ۴ آمپر) بین هر لایه سیم‌پیچ که بر روی قرقره پیچیده می‌شود یک لایه عایق نیز قرار می‌گیرد. کلیه مراحل مانند سیم‌پیچ اولیه دنبال شده و پس از انجام کار عایقی روی آن پیچیده می‌شود (شکل‌های ۳۸ و ۳۹).

شکل ۳۸- پیچیدن سیم‌پیچ ثانویه



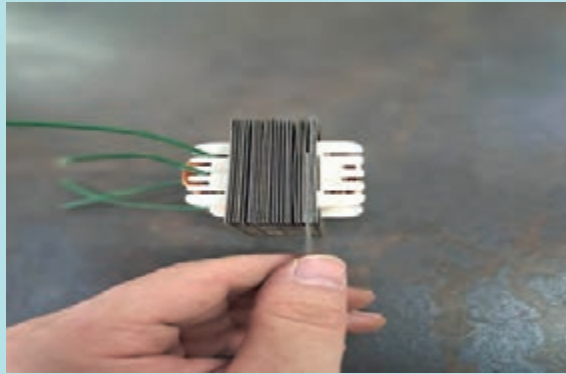
شکل ۳۹- خارج کردن دو سر سیم‌پیچ ثانویه از قرقره و عایق‌کاری نهایی

مرحله ۶- جازدن هسته‌های EI: با توجه به تعداد ورقه‌های محاسبه شده، ورقه‌های E را به صورت چپ و راست (یکی از چپ، یکی از راست) داخل هسته قرار داده می‌شود. دقت شود قرقره کاملاً پر شود.



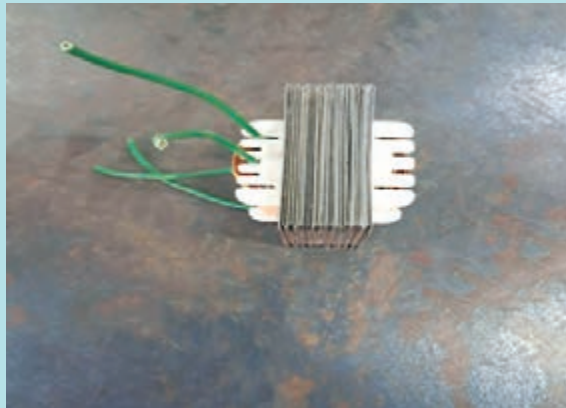
شکل ۴۰- نحوه قرار دادن E در قرقره

در ادامه ورقه‌های I بین ورقه E قرار داده می‌شود تا هسته محکم شود.



شکل ۴۱- قرار دادن I

در صورتی که هسته خوب پر نشده باشد و فضای خالی بین ورقه‌ها باشد ترانسفورماتور هنگام کار صدا می‌دهد.



شکل ۴۲- قرار دادن ورقه‌های EI

پس از تکمیل کار و اطمینان از عملکرد صحیح ترانسفورماتور، برای جلوگیری از سر و صدا و داشتن استحکام مکانیکی مناسب، می‌توان از قاب دور هسته یا استفاده از پیچ و مهره برای محکم کردن ورق‌های EI استفاده کرد.

خودآزمایی

۱ سه سیم لاکی با قطرهای مختلف انتخاب کنید. قطر هر سیم را با میکرومتر اندازه بگیرید و سطح مقطع آنها را از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

۲ علت قرار دادن عایق بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه چیست؟ در صورت حذف این عایق چه خطرهایی ایجاد می‌شود؟

۳ مراحل اجرای سیم‌پیچی یک ترانسفورماتور را از انتخاب قرقره تا جا زدن ورق‌های EI به ترتیب بنویسید.

۴ یک ترانسفورماتور ایده‌آل دارای ۱۰۰۰ دور در سیم‌پیچ اولیه و ۲۰۰ دور در سیم‌پیچ ثانویه است. اگر ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت باشد، ولتاژ ثانویه را محاسبه کنید.

۵ یک ترانسفورماتور ایده‌آل، ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت، ولتاژ ثانویه ۲۲ ولت و جریان ثانویه ۵ آمپر است. موارد زیر را محاسبه کنید:

الف) توان ظاهری خروجی

ب) جریان سیم‌پیچ اولیه

ج) ضریب تبدیل ترانسفورماتور

۶ سطح مقطع مؤثر هسته یک ترانسفورماتور برابر ۶/۲۵ سانتی‌متر مربع است. اگر هسته مرغوب باشد، دور بر ولت ترانسفورماتور را محاسبه کنید.

۷ یک ترانسفورماتور با مشخصات زیر باید طراحی شود:

$$V_1 = 220\text{ V}$$

$$V_2 = 24\text{ V}$$

$$I_2 = 3\text{ A}$$

راندمان را ۹۰ درصد، ضریب سطح مقطع هسته را $K = 1/2$ و چگالی جریان را $J = 3\text{ A/mm}^2$ در نظر بگیرید و موارد زیر را محاسبه کنید:

الف) توان ظاهری ثانویه

ب) توان ظاهری اولیه

ج) سطح مقطع مؤثر هسته

د) جریان اولیه

ه) سطح مقطع سیم اولیه و ثانویه

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز بر اساس پارامترهای الکتریکی

نام و نام خانوادگی		شماره ملی		تاریخ ارزشیابی:		نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه :	تعمیرکاران برق صنعتی	کد پیمانۀ/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۱	استاندارد عملکرد کار:
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۱.۳	مخاسبه و سیم‌پیچی انواع ترانسفورماتورهای تک‌فاز تک ورودی - تک خروجی بر اساس پارامترهای الکتریکی
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۱۱	کار	سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز براساس پارامترهای الکتریکی	سطح شایستگی	تسلط	

ردیف	مرا حل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/ داوری/ نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
	کار با کولیس ، میکرومتر	در کارگاه سیم‌پیچی سیم لاک، قرقره ترانسفورماتور، کولیس، میکرومتر زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	اندازه‌گیری قطر داخلی، اندازه‌گیری قطر خارجی، اندازه‌گیری قطر سیم	۳	
				اندازه‌گیری قطر داخلی، اندازه‌گیری قطر خارجی	۲	
				اندازه‌گیری قطر داخلی	۱	
۲	نصب عایق و سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور	در کارگاه سیم‌پیچی سیم لاک، یوبین پیچ، وارنیش، لاک، سیم افشان، اهم متر، هویه و قلع، جعبه ابزار سیم کشی زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	سیم پیچی منظم لایه به لایه	۳	
				نصب عایق و سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور	۲	
				سیم‌پیچی اولیه	۱	
۳	نصب عایق و سیم‌پیچی ثانویه ترانسفورماتور	در کارگاه سیم‌پیچی سیم لاک، یوبین پیچ، وارنیش، لاک، سیم افشان، اهم متر، هویه و قلع، جعبه ابزار سیم کشی زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	نصب عایق و سیم‌پیچی منظم لایه به لایه	۳	
				نصب عایق و سیم‌پیچی ثانویه ترانسفورماتور	۲	
				سیم‌پیچی ثانویه	۱	
۴	انجام آزمایش بی‌باری و بارداری ترانسفورماتور	در کارگاه سیم‌پیچی ترانسفورماتور سیم‌پیچی شده، مولتی متر، مصرف کننده ۱۲ ولت زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	اندازه‌گیری جریان بی‌باری و بارداری، اندازه‌گیری ولتاژ اولیه، اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۳	
				اندازه‌گیری ولتاژ اولیه، اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۲	
				اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۱	
شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت‌پذیری و رعایت اخلاق حرفه‌ای در طول انجام فعالیت‌ها مشاهده مستقیم، چک لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار						
☐ بلی ☐ خیر						
ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)						

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ از نصب عایق و سیم‌پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور (مراحل بحرانی)

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف‌نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت‌ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲

سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز بر اساس مشخصات قرقره

آیا می‌دانید

- ۱ ابعاد استاندارد قرقره‌های ترموپلاست چقدر است؟
- ۲ مراحل محاسبات ترانسفورماتور براساس مشخصات قرقره چگونه است؟
- ۳ آزمایش بی‌باری ترانسفورماتور چگونه و با چه هدفی انجام می‌شود؟
- ۴ آزمایش بارداری ترانسفورماتور به چه منظور و چگونه انجام می‌شود؟
- ۵ با افزایش یا کاهش بار متصل به خروجی ترانسفورماتور چه تغییری در پارامترهای الکتریکی آن به وجود می‌آید؟

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود محاسبه و سیم‌پیچی انواع ترانسفورماتورهای تک‌فاز تک ورودی را براساس پارامترهای قرقره انجام داده و آزمایش‌های اصلی ترانسفورماتور انجام دهد.

همان گونه که در مباحث قبل اشاره شد محاسبات ترانسفورماتور را به شکل های مختلف می توان انجام داد. در واحد کار قبل با روش اول (برمبنای پارامترهای الکتریکی) و در این واحد کار با روش دوم آشنا می شوید.

روش دوم: محاسبات ترانسفورماتور بر اساس پارامترهای ظاهری قرقره موجود

در این روش برای محاسبه پارامترهای موردنیاز جهت سیم پیچی ترانسفورماتور می بایست مطابق مراحل زیر عمل کرد.

- ۱ برداشتن ابعاد ظاهری قرقره موجود
- ۲ محاسبه سطح مقطع ظاهری و واقعی هسته
- ۳ محاسبه توان های اولیه و ثانویه
- ۴ محاسبه دور بر ولت
- ۵ محاسبه درصد افت ولتاژ سیم پیچی ها
- ۶ محاسبه تعداد دور اولیه و دور ثانویه
- ۷ تعیین چگالی جریان
- ۸ محاسبه قطر سیم اولیه و ثانویه
- ۹ تعیین نوع و تعداد ورق های هسته
- ۱۰ محاسبه ارتفاع قرقره جهت مقایسه و بررسی

همان طوری که در مراحل ذکر شده این روش مشاهده می کنید اغلب مراحل مشابه روش قبل است و در چند مورد جابه جایی در اجرای مراحل به وجود آمده است. به همین خاطر از بیان توضیحات اضافی خودداری شده و با ذکر یک مثال به بررسی این روش می پردازیم.

مثال



مطلوب است محاسبات لازم برای سیم پیچی یک ترانسفورماتور با ولتاژ اولیه ۲۲۰ و ولتاژ ثانویه ۱۲ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز و هسته هایی با اندوکسیون 12000 Gs و ضخامت ۰/۵ میلی متر را بر روی قرقره ای با مشخصات ظاهری داده شده انجام دهید.

حل: بررسی انجام محاسبات به کمک این روش طبق مراحل زیر می بایست عمل کرد.



شکل ۴۳- قرقره پلاستیکی

مرحله ۱- برداشتن ابعاد ظاهری قرقره موجود

در شکل ۴۳ چند سایز از قرقره های ترمو پلاست و در جدول ۷ مشخصات ظاهری و استاندارد این نوع قرقره ها نشان داده شده است. در این روش فرض بر آن است که قرقره با مشخصات ظاهری آن را داریم و محاسبات بر پایه آن انجام خواهد شد.

جدول ۷- ابعاد قرقره‌های پلاستیکی استاندارد

نوع	a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)
EI ۳۰	۱۹/۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۴/۵
EI ۳۸	۲۵/۱	۱۳/۳	۱۳/۶	۱۸/۷
EI ۴۲	۲۷/۲	۱۴/۵	۱۴/۸	۲۰/۵
EI ۴۸	۳۱/۲	۱۶/۵	۱۶/۸	۲۳/۵
EI ۵۴	۳۵/۲	۱۸/۵	۱۸/۸	۲۶/۵
EI ۶۰	۳۹/۱	۲۰/۶	۲۱/۰	۲۹
EI ۶۶	۴۳/۱	۲۲/۶	۲۴/۷	۳۲
EI ۷۸	۵۱/۱	۲۶/۶	۲۷/۵	۳۸
EI ۸۴a	۵۵/۱	۲۸/۶	۲۹/۵	۴۱
EI ۸۴b	۵۵/۱	۲۸/۶	۴۳/۵	۴۱
EI ۹۲a	۶۷/۴	۲۳/۶	۲۴/۵	۴۷
EI ۹۲b	۶۷/۴	۲۳/۶	۳۳/۵	۴۷
EI ۹۶a	۶۲/۴	۳۲/۶	۳۷/۵	۵۰
EI ۹۶b	۶۲/۴	۳۲/۶	۴۵/۷	۵۰
EI ۹۶c	۶۲/۴	۳۲/۶	۵۹/۷	۵۰
EI ۱۵۰a	۱۰۷	۴۰/۷	۴۱/۶	۷۹
EI ۱۰۶a	۷۵/۵	۲۹/۶	۳۳/۵	۵۵
EI ۱۰۶b	۷۵/۴	۲۹/۶	۴۶/۵	۵۵
EI ۱۲۰a	۷۷/۵	۴۰/۸	۴۱/۷	۵۹
EI ۱۲۰b	۷۷/۵	۴۰/۸	۵۳/۷	۵۹
EI ۱۲۰c	۷۷/۵	۴۰/۸	۷۳/۷	۵۹
EI ۱۳۰a	۹۲	۳۵/۷	۳۷/۷	۶۹
EI ۱۳۰b	۹۲	۳۵/۷	۴۷/۷	۶۹
EI ۱۴۰a	۹۷	۵۱	۴۹/۶	۷۳/۵
EI ۱۴۰b	۹۷	۵۱	۶۶/۶	۷۳/۵

نوع		a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)
EI	۱۴۰C	۹۷	۵۱	۹۲/۶	۷۳/۵
EI	۱۵۰b	۱۰۷	۴۰/۷	۵۱/۷	۷۹
EI	۱۵۰C	۱۰۷	۴۰/۷	۶۱/۷	۷۹
EI	۱۷۰a	۱۲۱	۴۵/۷	۵۶/۷	۹۴
EI	۱۷۰b	۱۲۱	۴۵/۷	۶۶/۷	۹۴
EI	۱۷۰C	۱۲۱	۴۵/۷	۷۶/۷	۹۴
EI	۱۹۵a	۱۳۶	۵۶/۵	۵۷/۷	۱۲۴
EI	۱۹۵b	۱۳۶	۵۶/۵	۷۰/۷	۱۲۴
EI	۱۹۵C	۱۳۶	۵۶/۵	۸۵/۷	۱۲۴
EI	۲۳۱a	۱۵۹	۶۶/۵	۶۴/۷	۱۴۳
EI	۲۳۱b	۱۵۹	۶۶/۵	۸۰/۷	۱۴۳
EI	۲۳۱C	۱۵۹	۶۶/۵	۹۹/۷	۱۴۳

$$f = ? \quad h = ? \quad e = ?$$

مرحله ۲- محاسبه سطح مقطع ظاهری و واقعی هسته

با کمی دقت در شکل ۳۰ مشاهده می‌شود که از حاصل ضرب دو اندازه f و h سطح مقطع ظاهری هسته به دست می‌آید.

$$A'_{fe} = f \times h = ۲۶ \times ۲۸ = ۷۲۸ \text{ mm}^2 = ۷/۲۸ \text{ Cm}^2$$

این سطح مقطع ظاهری هسته ترانسفورماتور از ورق‌های آهن و لایه نازکی از شارلاک که روی هر یک از ورق‌ها قرار گرفته که کمی موجب افزایش سطح مقطع هسته شده است. برای محاسبه سطح مقطع واقعی (خالص) هسته آهن از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد.

$$A_{fe} = A'_{fe} \times ۰/۹ = ۷/۲۸ \times ۰/۹ = ۶/۵۵ \text{ Cm}^2$$

مرحله ۳- محاسبه توان‌های اولیه و ثانویه

$$A_{fe} = ۱/۲\sqrt{S_1} \Rightarrow S_1 = \left(\frac{A_{fe}}{۱/۲}\right)^2 \Rightarrow S_1 = \left(\frac{۶/۵۵}{۱/۲}\right)^2 = ۲۹/۷۹ \text{ VA}$$

$$\eta = \frac{S_r}{S_1} \Rightarrow S_r = S_1 \times \eta = ۲۹/۷۹ \times ۰/۹ \Rightarrow S_r = ۲۶/۸۱ \text{ VA}$$

مرحله ۴- محاسبه دور بر ولت

$$N_V = \frac{37/5}{A_{fe}} = \frac{37/5}{6/55} = 5/72 \text{ دور بر ولت}$$

مرحله ۵- تعیین درصد افت ولتاژ سیم‌پیچی‌ها

با در نظر گرفتن اعداد افت ولتاژ در جدول ۴ مقدار دقیق آن را به صورت زیر می‌توان به دست آورد.

$$\Delta V_{(26/81)} = ?$$

$\frac{S_r}{25}$	$\rightarrow$	$\frac{\Delta V}{15}$
50	$\rightarrow$	12
$\Delta S' = 25 \qquad \Delta V' = 3$		
$26/81 - 25 = 1/81$	$X = \frac{1/81 \times 3}{25} = 0/22$	

$$\% \Delta V_{(26/81)} = \Delta V_{(25)} - X \Rightarrow \% \Delta V_{(26/81)} = \% 15 - \% 0/22 \Rightarrow \% \Delta V_{(26/81)} = \% 14/78$$

$$\% \Delta V_1 = \frac{1}{3} \times \% \Delta V \Rightarrow \% \Delta V_1 = \frac{1}{3} \times \% 14/78 = \% 4/93 \Rightarrow \Delta V_1 = \frac{\% \Delta V_1}{100} = \frac{\% 4/93}{100} = 0/0493V$$

$$\% \Delta V_2 = \frac{2}{3} \times \% \Delta V \Rightarrow \% \Delta V_2 = \frac{2}{3} \times \% 14/78 = \% 9/85 \Rightarrow \Delta V_2 = \frac{\% \Delta V_2}{100} = \frac{\% 9/85}{100} = 0/0985V$$

مرحله ۶- محاسبه تعداد دور اولیه و دور ثانویه

$$N_1 = V_1 \times N_V \times (1 - \Delta V_1) \Rightarrow N_1 = 220 \times 5/72 \times (1 - 0/049) = 1196/73 \cong 1197 \text{ دور}$$

$$N_2 = V_2 \times N_V \times (1 + \Delta V_2) \Rightarrow N_2 = 12 \times 5/72 \times (1 + 0/098) = 75/36 \cong 75 \text{ دور}$$

مرحله ۷- تعیین چگالی جریان

از جدول ۵ و با توجه به توان ترانسفورماتور، مقدار چگالی جریان برابر $J = 4 \text{ A/mm}^2$ است.

مرحله ۸- محاسبه قطر سیم اولیه و ثانویه

$$A_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{0/14}{4} = 0/035 \text{ mm}^2 \Rightarrow d_1 = 1/13 \sqrt{A_1} = 1/13 \sqrt{0/035} = 0/21 \text{ mm}$$

$$A_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{2/23}{4} = 0/557 \text{ mm}^2 \Rightarrow d_2 = 1/13 \sqrt{A_2} = 1/13 \sqrt{0/557} = 0/84 \text{ mm}$$

مرحله ۹- تعیین نوع و تعداد ورق‌های هسته

$$\text{نوع EI} \leq 30 \sqrt{A_{fe}} \qquad \text{نوع EI} \leq 30 \sqrt{6/55} = 76/77 \cong 77$$

با توجه به اینکه نوع EI استاندارد از جدول ۳، ۷۸ EI می باشد که در آن $f = 26 \text{ mm}$ است و ضخامت هسته و تعداد ورق ها برابر است با:

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{A_{fe}}{f} = \frac{6/55 \times 10^2 \text{ mm}}{26 \text{ mm}} = 25/19 \cong 25/2 \text{ mm}$$

$$\text{عدد} = \frac{EI}{\frac{25/2}{0/5}} = 50/4 \cong 50$$

مرحله ۱۰- محاسبه ارتفاع قرقره جهت بررسی و مقایسه

$$h = \frac{A'_{fe}}{f}$$

$$A'_{fe} = \frac{A_{fe}}{0/9}$$

$$A_{fe} = \text{ضخامت هسته} \times f$$

کار عملی



هدف: انجام محاسبات و اجرای سیم پیچی ترانسفورماتور ۲۲۰/۱۲ ولت بر اساس مشخصات قرقره تجهیزات، ابزار و مواد لازم: قرقره ترانس، عایق برشمان، سیم لاکی با دو سایز مناسب اولیه و ثانویه، وارنیش، چسب کاغذی، هویه، سیم لحیم و روغن لحیم کاری، سیم افشان نمره ۱، سنباده نرم، ورقه EI متناسب با قرقره، سیم چین، سیم لخت کن، چکش پلاستیکی

مرحله ۱ (انجام محاسبات و انتخاب قرقره مناسب): مطابق آموزش داده شده در متن درس، محاسبات مربوط به ترانسفورماتور ۲۲۰/۱۲۷ تک فاز ۳A را انجام و در دفتر گزارش کار خود یادداشت نمایید. مطابق پارامترهای دست آمده، قرقره مناسب را انتخاب و قالب چوبی بسازید.

مرحله ۲ (آماده سازی مقدماتی سیم پیچ اولیه): سیم لاکی با قطر مناسب اولیه و ثانویه که در محاسبات به آن رسیده اید را از انبار کارگاه تحویل بگیرید.

به سیم پیچ اولیه مطابق آموزش کتاب، سیم افشان لحیم نموده و عایق کاری را انجام دهید. سیم افشان را از پایین ترین سوراخ قرقره خارج نمایید.

مرحله ۳ (پیچیدن سیم پیچ اولیه): با توجه به تعداد دور N۱، سیم پیچ اولیه را بپیچید و انتهای سیم را نیز با سیم افشان اتصال دهید و عایق کاری را انجام داده و از قرقره خارج کنید.

مرحله ۴ (عایق کاری بین دو سیم پیچ): پس از اتمام کار سیم پیچ اولیه، یک لایه عایق به اندازه عرض قرقره برش زده و دور سیم پیچ اولیه بپیچید تا نسبت به سیم پیچ ثانویه عایق شود.

مرحله ۵ (پیچیدن سیم ثانویه): همانند سیم پیچ اولیه، سیم پیچ ثانویه را با در نظر گرفتن قطر، تعداد دور و مرتب بودن در قرقره بپیچید.

اتصال به سیم افشان، هویه کاری، عایق کاری و خارج نمودن از قرقره مانند سیم پیچ اولیه دنبال شود.

مرحله ۶ (جاذدن هسته های EI): ورقه EI مناسب را به صورت چپ و راست جا زده و قرقره را پر نمایید. در این قسمت می توان با استفاده از چکش پلاستیکی و زدن ضربه آرام ورقه ها را محکم نمایید.

تذکر

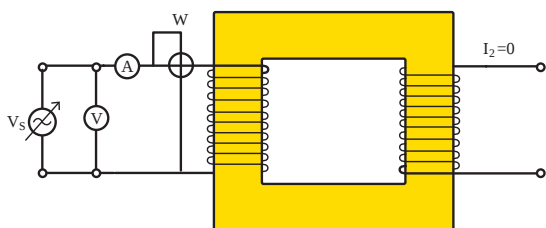


- با توجه به اینکه قرقره‌ها از جنس پلاستیک هستند، در وارد کردن ضربه دقت نمایید تا قرقره آسیب نبیند.
- هرگز بدون حضور مربی کارگاه به تابلوهای آزمایش برق دست نزنید.

در این واحدکار و در ادامه واحدکار اول با چندآزمایش برای بررسی صحت عملکرد و اندازه‌گیری مقادیر ورودی و خروجی ترانسفورماتور آشنا خواهید شد.

آزمایش‌های اصلی ترانسفورماتور

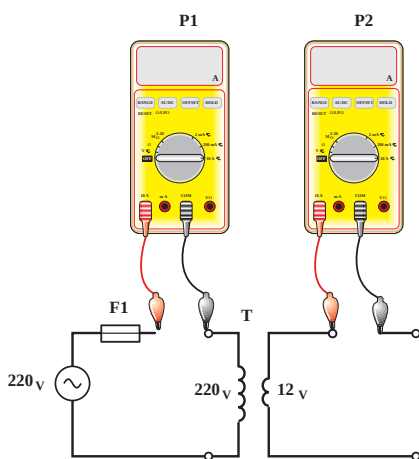
۱- آزمایش بی‌باری ترانسفورماتور



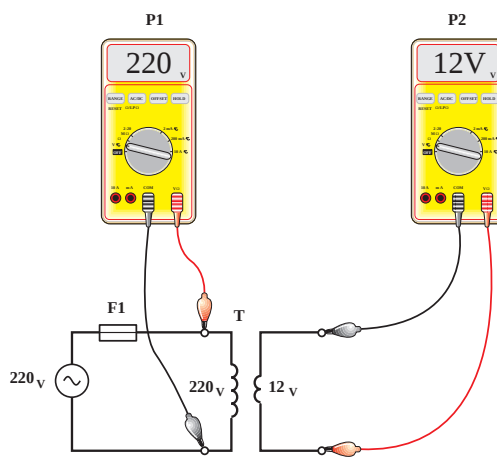
شکل ۴۴- مدار آزمایش بی‌باری

در آزمایش بی‌باری یکی از اهداف تعیین تلفات هسته می‌باشد. در این آزمایش، ثانویه ترانسفورماتور بدون بار بوده و در فرکانس نامی مطابق شکل ۴۴ و اتصال چند وسیله اندازه‌گیری (آمپر متر، ولت متر و وات متر) به یک منبع ولتاژ متغیر وصل می‌شود. منبع ولتاژ متغیر را آن قدر تغییر می‌دهیم تا ولت متر ولتاژ نامی ترانسفورماتور را نشان دهد. در این حالت وات متر تلفات بی‌باری یا همان تلفات

هسته را نشان خواهد داد. مقداری که آمپر متر نشان می‌دهد جریان بی‌باری ترانسفورماتور I_0 می‌باشد. در محیط هنرستان برای بررسی عملکرد صحیح ترانسفورماتور لازم است تا مطابق شکل‌های ۴۵ و ۴۶ یک بار توسط دو ولت متر ولتاژ اولیه و ثانویه و بار دیگر توسط دو آمپر متر جریان عبوری از سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را اندازه‌گیری شود.



شکل ۴۶- اندازه‌گیری جریان حالت بی‌باری



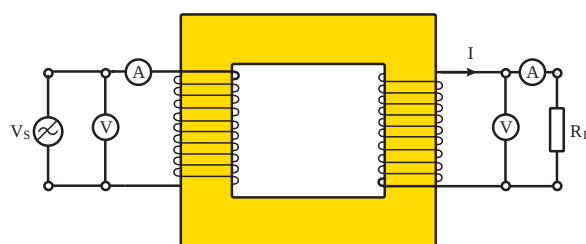
شکل ۴۵- اندازه‌گیری ولتاژ حالت بی‌باری



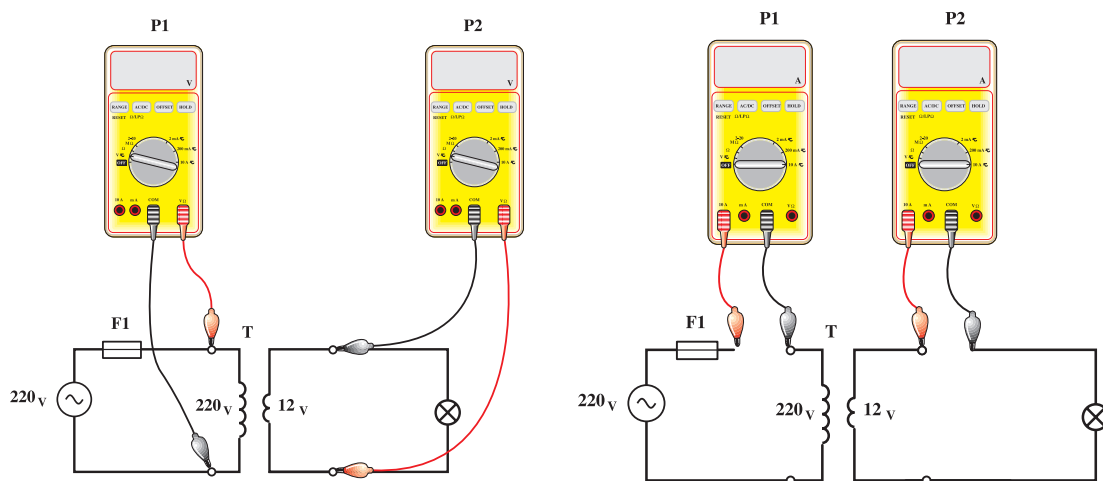
آیا ولتاژ بی‌باری ترانسفورماتور از مقدار محاسبه شده بیشتر است؟ چرا؟

۲- آزمایش بارداری ترانسفورماتور:

در آزمایش بارداری هدف اندازه‌گیری ولتاژ و جریان موردنیاز مصرف‌کننده در حال کار است. برای انجام آزمایش مطابق شکل ۴۷، ثانویه ترانسفورماتور در کنار اتصال به مصرف‌کننده چند وسیله اندازه‌گیری (آمپرتر، ولت‌متر و وات‌متر) در فرکانس نامی به یک منبع ولتاژ وصل می‌شوند. مقداری که آمپرترها نشان می‌دهند جریان‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور زیر بار است.



شکل ۴۷- مدار آزمایش بارداری



شکل ۴۸- اندازه‌گیری ولتاژ حالت بارداری

شکل ۴۹- اندازه‌گیری جریان حالت بارداری

هدف: انجام آزمایش‌های بی‌باری و بارداری ترانسفورماتور

طبق توضیحات داده شده و تصاویر نشان داده شده در متن و همچنین شکل‌های ۵۰ و ۵۱ با قرار دادن ولت‌متر و آمپرتر در مسیر سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه آزمایش‌های بی‌باری و بارداری ترانسفورماتور پیچیده شده را انجام داده و مقادیر قرائت شده را در جدول ۸ بنویسید.



پودمان اول : سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی- تک خروجی



شکل ۵۰



شکل ۵۱

جدول ۸- مقدار کمیت‌های مختلف در حالت‌های بی‌باری و بارداری

کمیت‌ها	حالت بی‌باری	حالت بارداری
ولتاژ اولیه		
ولتاژ ثانویه		
جریان اولیه		
جریان ثانویه		

- ۱ روش محاسبه ترانسفورماتور در این واحد یادگیری، طراحی بر اساس چه اطلاعاتی انجام می شود؟ مراحل اصلی این روش را به ترتیب بنویسید.
- ۲ قرقره ای دارای عرض هسته $f = ۲۶ \text{ mm}$ و ضخامت هسته $h = ۲۸ \text{ mm}$ است. الف) سطح مقطع ظاهری هسته را محاسبه کنید. ب) اگر ضریب تورق $۰/۹$ باشد، سطح مقطع واقعی هسته را به دست آورید.
- ۳ هدف از آزمایش بی باری ترانسفورماتور چیست؟ در این آزمایش وضعیت سیم پیچ ثانویه چگونه است و آمپر متر، ولت متر و وات متر چه کمیت هایی را اندازه گیری می کنند؟
- ۴ ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور در حالت بی باری و بارداری چه تفاوتی دارد؟ علت کاهش ولتاژ ثانویه هنگام اتصال بار را توضیح دهید.
- ۵ مراحل اجرای سیم پیچی ترانسفورماتور بر اساس قرقره موجود را از آماده سازی سیم پیچ اولیه تا جازدن ورق های EI، به ترتیب شرح دهید. همچنین توضیح دهید چرا ورق های EI باید به صورت یکی از چپ و یکی از راست در قرقره قرار گیرند.

پودمان اول : سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی–تک خروجی

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز بر اساس مشخصات قرقه

نام و نام خانوادگی		حرفه :	تعمیرکاران برق صنعتی	کد پیمان/پودمان	شماره ملی	تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه :	تعمیرکاران برق صنعتی	کد پیمان/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۱	استاندارد عملکرد کار:	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳	محاسبه و سیم‌پیچی انواع ترانسفورماتورهای تک‌فاز تک ورودی – تک خروجی براساس پارامترهای قرقه	
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۱۲	کار	سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز براساس مشخصات قرقه	سطح شایستگی	تسلط		

ردیف	مرا حل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
	محاسبات و اجرای سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور ۱۲ / ۲۲۰ ولت براساس مشخصات قرقه	در کارگاه سیم‌پیچی با قرقه ترانسفورماتور، سیم لاکه مناسب، کولیس یا خط‌کش، ماشین حساب، کاغذ محاسبات، دستگاه سیم‌پیچی، ابزار عایق کاری زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	سیم‌پیچی منظم لایه به لایه	۳	
				نصب عایق و سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور	۲	
				سیم‌پیچی اولیه	۱	
۲	محاسبات و اجرای سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور ۱۲ / ۲۲۰ ولت براساس مشخصات قرقه	سیم لاکه، بوبین پیچ، وارنیش، لاک، سیم افشان، اهم متر، هویه و قلع، جعبه ابزار سیم‌کشی زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	نصب عایق و سیم‌پیچی منظم لایه به لایه	۳	
				نصب عایق و سیم‌پیچی ثانویه ترانسفورماتور	۲	
				سیم‌پیچی ثانویه	۱	
۳	انجام آزمایش بی‌باری ترانسفورماتور	ترانسفورماتور سیم‌پیچی شده، مولتی‌متر، مصرف‌کننده ۱۲ ولت زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	اندازه‌گیری جریان بی‌باری، اندازه‌گیری ولتاژ اولیه، اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۳	
				اندازه‌گیری ولتاژ اولیه، اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۲	
				اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۱	
۴	انجام آزمایش بارداری ترانسفورماتور	ترانسفورماتور سیم‌پیچی شده، مولتی‌متر، مصرف‌کننده ۱۲ ولت زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	اندازه‌گیری جریان بارداری، اندازه‌گیری ولتاژ اولیه، اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۳	
				اندازه‌گیری ولتاژ اولیه، اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۲	
				اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه	۱	
شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:		استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت‌پذیری و رعایت اخلاق حرفه‌ای در طول انجام فعالیت‌ها	مشاهده مستقیم، چک‌لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار	رعایت نسبی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار.	۴	
				عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، یا بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.	۱	
یشایی کار (شایستگی انجام کار)						
یلی						
خیر						

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ از محاسبات و اجرای سیم‌پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور ۱۲ / ۲۲۰ ولت بر اساس مشخصات قرقه (مراحل بحرانی)

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف‌نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت‌ها

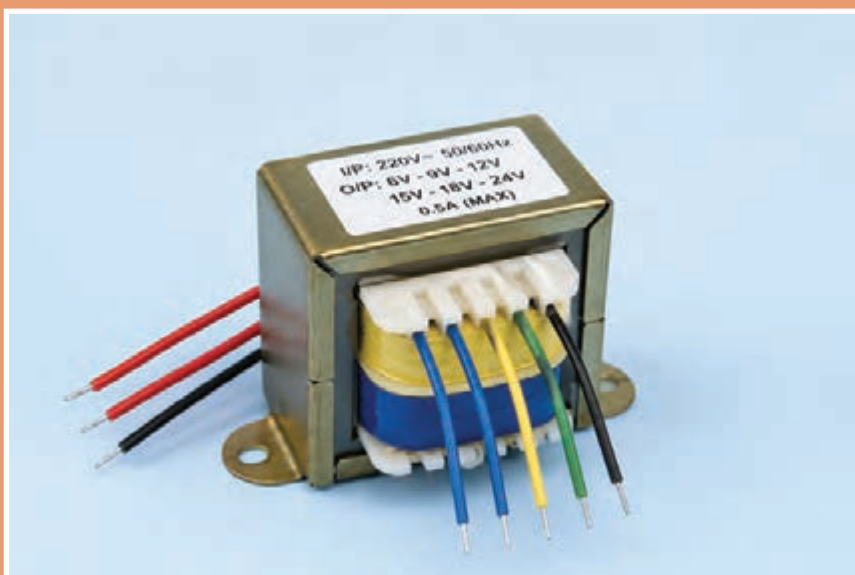
تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.





پودمان دوم

سیم پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز، چند ورودی - چند خروجی



واحد یادگیری ۱

سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ مجزا

آیامی دانید

- ۱ با ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ‌های مجزا آشنایی دارید؟
- ۲ تعیین سطح مقطع هسته ترانسفورماتور چند ورودی چند خروجی با سیم پیچ مجزا چگونه است؟
- ۳ نحوه محاسبه تعداد دور و افت ولتاژ در ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی سیم پیچ‌های مجزا چگونه انجام می‌شود؟
- ۴ نحوه محاسبه قطر سیم پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی سیم پیچ‌های مجزا به چه صورت است؟
- ۵ در سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی سیم پیچ‌های مجزا به چه نکاتی باید توجه نمود؟

استاندارد عملکرد

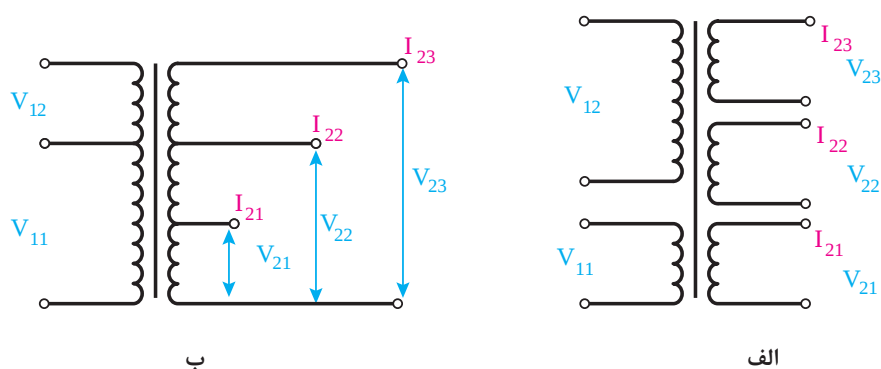
- پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود محاسبه ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی سیم پیچ‌های مجزا را انجام داده و سیم پیچی نماید.

مقدمه

در پودمان اول با ترانسفورماتورهای ساده آشنا شدید؛ ترانسفورماتورهایی که یک سیم پیچ اولیه و یک سیم پیچ ثانویه داشتند. اما در دنیای واقعی، اغلب به ترانسفورماتورهایی نیاز است که بتوانند چند ولتاژ مختلف را همزمان تأمین کنند یا قابلیت اتصال به چند منبع ورودی متفاوت را به صورت غیر همزمان داشته باشند. به این ترانسفورماتورها، چندورودی - چندخروجی گفته می‌شود (شکل ۱). این ترانسفورماتورها را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم‌بندی نمود:

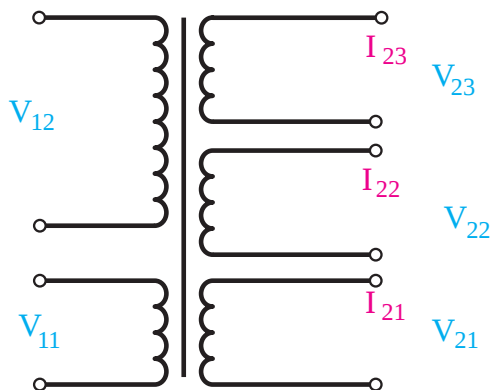
■ ترانسفورماتورهایی با چند سیم پیچ مجزا در اولیه و چند سیم پیچ مجزا در ثانویه (شکل ۱- الف)

■ ترانسفورماتورهایی با یک سیم پیچ چند سر در اولیه و ثانویه (شکل ۱- ب)

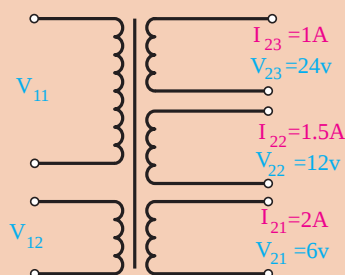


شکل ۱- ترانسفورماتورهای چند ورودی چند خروجی

در این واحد یادگیری با ترانسفورماتورهایی آشنا خواهید شد که چند سیم پیچ مجزا در اولیه با قابلیت اتصال به ولتاژهای مختلف و چند سیم پیچ مجزا در ثانویه با قابلیت اتصال به چند مصرف کننده مختلف را دارند. یک نمونه از آن در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- ترانسفورماتوری با دو سیم پیچ مجزا در اولیه و سه سیم پیچ مجزا در ثانویه



ترانسفورماتوری را در نظر بگیرید که قابلیت اتصال به ولتاژهای ۱۱۰ و ۲۲۰ ولت را داشته باشد، این ترانسفورماتور می‌تواند به صورت همزمان سه مصرف‌کننده ۶، ۱۲ و ۲۴ ولت، با جریان‌های ۱، ۱/۵ و ۲ آمپر را تغذیه کند. در این مثال فرض شده که مصرف‌کننده‌ها به صورت همزمان در مدار باشند. برای درک بهتر، اطلاعات مثال داده شده در شکل ۳ نمایش داده می‌شود. بر اساس چندگام، محاسبات ترانسفورماتورهای چندورودی و چندخروجی انجام می‌شود:

شکل ۳- ترانسفورماتور مثال داده شده

مرحله اول - محاسبه توان کل خروجی ترانسفورماتور: در گام نخست، توان خروجی ترانسفورماتور محاسبه می‌شود. برای ترانسفورماتورهایی که چندین ولتاژ در ثانویه دارند، در صورتی که از همه خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان استفاده شود، توان کل خروجی از حاصل جمع توان‌های خروجی، به دست می‌آید. برای مثال بالا:

$$S_r = S_{r1} + S_{r2} + S_{r3}$$

$$S_r = (V_{r1} \times I_{r1}) + (V_{r2} \times I_{r2}) + (V_{r3} \times I_{r3}) = (6 \times 2) + (12 \times 1.5) + (24 \times 1) = 48 \text{ V.A}$$

توجه به این نکته که می‌توان به‌طور متوسط راندمان ترانسفورماتورهایی با توان کمتر از ۱۰۰ ولت آمپر، را برابر با ۹۰ درصد در نظر گرفت، از رابطه راندمان، مقدار توان اولیه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$S_1 = \frac{S_r}{\eta} = \frac{48}{0.9} = 53.33 \text{ [V.A]}$$

مرحله دوم - محاسبه سطح مقطع واقعی هسته: برای به‌دست آوردن سطح مقطع واقعی هسته، از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$A_{fe} = 1/2 \times \sqrt{S_1} = 1/2 \times \sqrt{53.33} = 8.736 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{سطح مقطع خالص هسته ترانسفورماتور}$$

$$A'_{fe} = \frac{A_{fe}}{0.9} = 9.7 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{سطح مقطع ظاهری هسته ترانسفورماتور}$$

مرحله سوم - محاسبه دور بر ولت ترانسفورماتور: برای هسته مرغوب با چگالی شار مغناطیسی ۱۲۰۰۰ گوس، مقدار دور بر ولت ترانسفورماتور به صورت زیر به دست می‌آید:

$$n_v = \frac{37/5}{A_{fe}} = \frac{37/5}{9.7} = 3/86 \text{ [دور بر ولت]}$$

مرحله چهار - محاسبه درصد افت ولتاژ و تعداد دور سیم پیچ‌های ترانسفورماتور: برای به دست آوردن تعداد دور سیم پیچ ترانسفورماتور، نیاز به داشتن مقدار افت ولتاژ ترانسفورماتور مورد نظر خواهد بود. طبق جدول ۴ پودمان یک، مقدار افت ولتاژ برای توان‌های ۲۵ و ۵۰ ولت آمپر به ترتیب برابر با ۱۴

و ۱۲ درصد می باشد؛ یعنی با افزایش ۲۵ ولت آمپر در توان ترانسفورماتور (۲۵ = ۵۰ - ۲۵)، به مقدار ۲ درصد از افت ولتاژ کاسته می شود (۱۴ - ۱۲ = ۲).
 قدرت خروجی ترانسفورماتور مورد نظر ما ۴۸ ولت آمپر است که ۲۳ ولت آمپر بیشتر از ۲۵ ولت آمپر می باشد مقدار $\Delta V\%$ آن را چنین می توان محاسبه کرد.

$$\Delta V(48) = ?$$

$\frac{S_r}{25}$	$\frac{\Delta V}{14}$
$\frac{50}{12}$	

$$\Delta S' = 25 \quad \Delta V' = 4$$

$$50 - 48 = 2 \quad X = \frac{2 \times 4}{25} = 0.32$$

$$\% \Delta V_{(48)} = \% \Delta V_{25} + \% \Delta V_{(48)} = 12 + 0.32 = \% 12.32$$

$$N_{11} = n_v \times v_{11} \times \left(1 - \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times 110 \times \left(1 - \frac{0.32}{2}\right) = 398.78 \approx 399 \text{ دور}$$

$$N_{12} = n_v \times v_{12} \times \left(1 - \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times 220 \times \left(1 - \frac{0.32}{2}\right) = 797.56 \approx 798 \text{ دور}$$

در سیم پیچ ثانویه نیز، می بایست متناسب با ۵۰ درصد از کل افت ولتاژ محاسبه شده را به تعداد دور سیم پیچ ثانویه افزود:

$$N_{21} = n_v \times v_{21} \times \left(1 + \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times 6 \times \left(1 + \frac{0.32}{2}\right) = 24.56 \approx 25 \text{ دور}$$

$$N_{22} = n_v \times v_{22} \times \left(1 + \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times 12 \times \left(1 + \frac{0.32}{2}\right) = 49.13 \approx 49 \text{ دور}$$

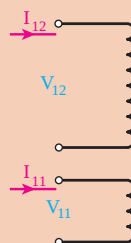
$$N_{23} = n_v \times v_{23} \times \left(1 + \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times 24 \times \left(1 + \frac{0.32}{2}\right) = 98.27 \approx 98 \text{ دور}$$

مرحله پنجم - محاسبه سطح مقطع سیم پیچ ثانویه: برای تعیین قطر سیم پیچ های ثانویه، ابتدا می بایست مقدار چگالی جریان را با مراجعه به جدول ۵ در پودمان یک انتخاب نمود. سپس با استفاده از روابطی که در پودمان قبل بیان شده است، قطر هر سیم پیچ محاسبه می شود.

$$d_{21} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{21}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{2}{4}} = 0.8 \text{ [mm]}$$

$$d_{22} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{22}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{1/5}{4}} \approx 0.7 \text{ [mm]}$$

$$d_{23} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{23}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{1}{4}} \approx 0.55 \text{ [mm]}$$



شکل ۴- جریان عبوری از هر سیم پیچ در سمت ثانویه

مرحله ششم - محاسبه سطح مقطع سیم پیچ اولیه:

برای به دست آوردن قطر سیم پیچ اولیه، نیاز به داشتن جریان اولیه می باشد، برای این کار، ابتدا باید توان اولیه را به دست آورد و براساس توان اولیه به دست آمده، مقدار جریان هر یک از سیم پیچ ها در اولیه به دست می آید:

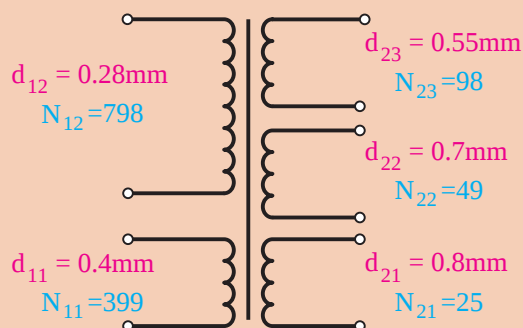
$$I_{11} = \frac{S_1}{V_{11}} = \frac{53/3}{110} = 0/48 [A]$$

$$I_{12} = \frac{S_1}{V_{12}} = \frac{53/3}{220} = 0/24 [A]$$

و سپس، قطر هر یک از سیم پیچ ها به دست می آید:

$$d_{11} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{11}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{0/48}{4}} \cong 0/40 \text{ mm}$$

$$d_{12} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{12}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{0/24}{4}} \cong 0/28 \text{ mm}$$



برای جلوگیری از اشتباه در هنگام کار عملی نتایج به دست آمده بر روی شکل ۵ نمایش داده می شود:

شکل ۵- تمامی اطلاعات مورد نیاز برای سیم پیچی

ترانسفورماتور

مرحله هفتم - به دست آوردن اندازه هسته: اندازه مناسب برای هسته هایی به شکل EI از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{اندازه هسته} \leq 30 \sqrt{A_{fe}} = 30 \sqrt{8/736} = 88/5$$

با توجه به مقدار به دست آمده و سپس مراجعه به جدول ۳، اندازه مناسب برای هسته ترانس مورد نظر، EI۸۴ می باشد.

مرحله هشتم - انتخاب قرقره: با توجه به اینکه نوع ورقه EI۸۴ به دست آمده است با مراجعه به جدول قرقره‌های پلاستیکی که در پودمان قبل ارائه شده است می‌توان یکی از دو مدل EI۸۴a یا EI۸۴b را انتخاب نمود.

پس از انتخاب قرقره می‌بایست بررسی نمود که آیا ارتفاع مناسب برای قرار گرفتن سیم‌پیچی‌ها وجود دارد یا خیر؟

تذکر

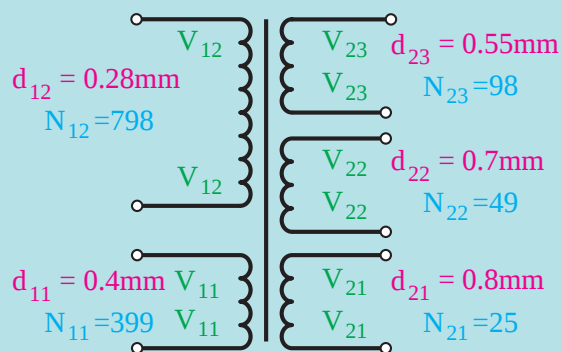


کار عملی



هدف: ساخت ترانسفورماتور تک فاز دارای چند ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مجزا ابزار، مواد و تجهیزات: ابزار لحیم، قرقره ترانسفورماتور با اندازه محاسبه شده، ورق هسته با اندازه محاسبه شده، سیم لاکه بر اساس محاسبات، دستگاه بوبین پیچ، سیم، دم باریک، سیم افشان با سطح مقطع ۱ میلی متر مربع، وارنیش، کاغذ پرشمان، چسب کاغذی، کاغذ سنباده نرم

مرحله اول: ابتدا با ترسیم شکل ترانسفورماتور، اطلاعات مورد نیاز بر روی آن ثبت شود. در شکل ترسیمی باید مواردی همچون تعداد دور، قطر سیم هر قسمت و نام گذاری سر سیم‌ها به وضوح مشخص باشد.



شکل ۶- نام گذاری سر سیم‌ها، قبل از شروع سیم پیچی

مرحله دوم: مشابه کار انجام شده در پودمان قبل، در صورتی که سطح تماس قرقره با سیم لاکه دارای خراش و زبری زیادی است، با استفاده از کاغذ پرشمان و چسب کاغذی، یک لایه کاغذ عایق گذاری شود تا سیم لاکه آسیب نبیند.

مرحله سوم: قرقره ترانسفورماتور با استفاده از مغزی چوبی مناسب آن، بر روی دستگاه بوبین پیچ محکم بسته شود.

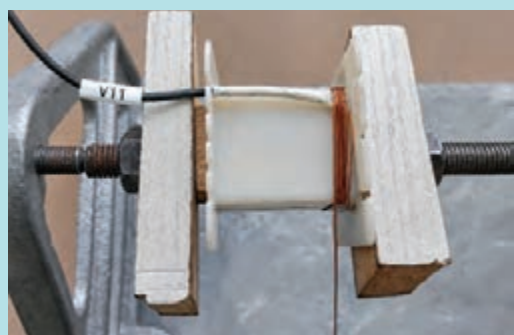
جهت جلوگیری از قطع شدگی سیم لاکه، پس از عایق برداری آن، سیم افشان مناسب به سیم لاکه لحیم شود و پس از آن با وارنیش مناسب، محل لحیم کاری، عایق شود. سیم افشان از شیارهای کنار قرقره به بیرون هدایت شود و بر روی میله بوبین پیچ با استفاده از چسب کاغذی محکم شود. دقت شود که شیار مورد استفاده تا انتهای محل قرارگیری سیم لاکه عمق داشته باشد.



شکل ۸- عمق شیارهای جانبی، یکسان نیست

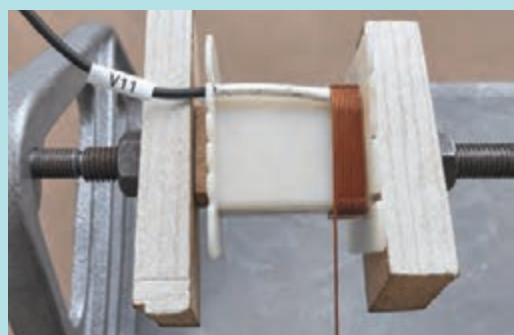


شکل ۷- قرارگیری وارنیش و سیم افشان در پایین ترین سطح سیم پیچی



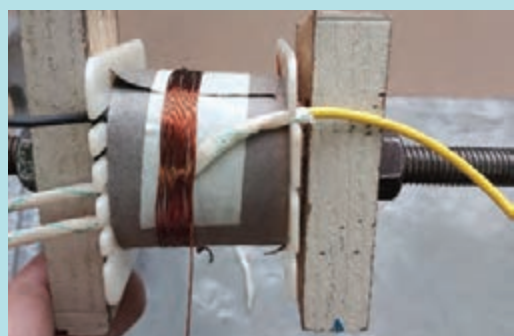
شکل ۹- نام گذاری سیم خروجی از قرقره

مرحله چهارم: بهتر است بر روی سر سیم‌های خروجی از ترانسفورماتور، با استفاده از چسب کاغذی، اسم گذاری شود. اسم گذاری باید با شکل ترسیمی در ابتدای کار عملی انطباق داشته باشد (شکل ۹).



شکل ۱۰- مرتب پیچیدن سیم پیچ ترانسفورماتور

مرحله پنجم: پس از صفر کردن شمارنده بوبین پیچ، به تعداد محاسبه شده، سیم لاک‌پسیده شود. در حین انجام کار، سعی شود تا سیم‌های لاک‌پس به صورت مرتب در کنار هم قرار بگیرند تا سطح سیم پیچی، یکنواخت گردد. این کار باعث می‌شود، فضای کمتری از سیم پیچ اشغال شود و سیم پیچ‌ها بهتر بتوانند گرمای خود را دفع کنند.



شکل ۱۱- عایق کردن بین سیم پیچ اولیه و ثانویه

مرحله ششم: پس از اتمام تعداد دور سیم پیچ اول و بردن سیم لاک‌پس، عایق برداری سیم انجام شود و سپس به سیم افشان لحیم شود. سر سیم موجود از یکی از شیارها با عمق مناسب به بیرون آورده شود و سپس بر روی سیم پیچ یک لایه عایق کاغذی مناسب قرار بگیرد.

■ سیم پیچ دوم در اولیه نیز مانند سیم پیچ اول، پیچیده شود.

■ جهت افزایش مقاومت الکتریکی بین سیم پیچ اولیه و ثانویه، بر روی سیم پیچ اولیه باید عایق گذاری شود.

■ صحت اتصالات سیم پیچ اولیه توسط اهم متر، بررسی شود.

■ برای سیم پیچ ثانویه نیز مانند سیم پیچ اولیه اقدام شود. در پایان کار برای جلوگیری از باز شدن و آسیب دیدن سیم پیچ ثانویه آن توسط عوامل خارجی، از کاغذ پریشان مناسب استفاده شود.

مرحله هفتم: پس از جدا کردن قرقره از دستگاه بوبین پیچ، با استفاده از ورقه های هسته، عملیات هسته گذاری ترانسفورماتور انجام شود.



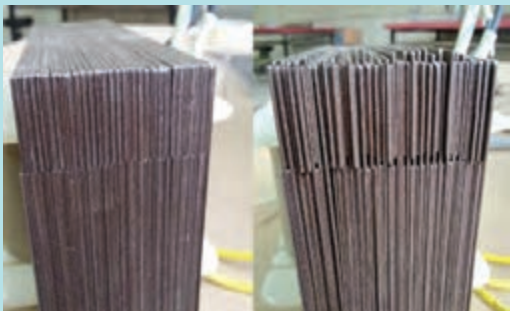
شکل ۱۲- جاگذاری ورقه EI

هنگام جاگذاری هسته ترانسفورماتور، مراقب باشید تا نوک تیز گوشه های آن به دست شما آسیب نرساند.

نکات ایمنی



■ برای اطمینان از اتصال صحیح قسمت های E و I هسته، ابتدا ترانسفورماتور روی سطحی صلب و محکم مانند زمین کارگاه، قرار گیرد و سپس با چکش پلاستیکی روی ورق ها ضربه زده شود. در نهایت، با استفاده از پیچ و مهره مناسب، تمام ورقه های هسته محکم شوند.



شکل ۱۳- ضربه به هسته با استفاده از چکش پلاستیکی

شکل ۱۴- تأثیر ضربات چکش پلاستیکی بر نظم هسته ها

■ پیش از اتصال به شبکه برق، تمام اتصالات با اهم متر بررسی شود. همچنین نبود اتصال بدنه بین سیم پیچ ها و هسته باید بررسی شود.



شکل ۱۵- محاسبه اتصال بدنه

■ پس از اطمینان از صحت اتصالات الکتریکی، می‌توان با نظارت مربی مربوطه، ترانسفورماتور را به شبکه برق متصل نمود.



شکل ۱۶- منبع ولتاژ متغیر AC

برای داشتن ولتاژ ۱۱۰ ولت جهت اتصال به ورودی ترانسفورماتور، می‌توان از منبع ولتاژ متغیر استفاده نمود. به این وسیله اتوترانسفورماتور متغیر و یا واریاک نیز گفته می‌شود.

تذکر



اتصال ترانسفورماتور به برق شهر، به خصوص به ۲۲۰ ولت، حتماً باید با نظرات دبیر مربوطه صورت پذیرد.

نکته



مرحله هشتم: اندازه گیری ولتاژ: آزمایش صحت عملکرد ترانسفورماتور در دو حالت، بدون بار و زیر بار انجام شود و مقادیر به دست آمده یادداشت شود (مصرف کننده‌ها در حالت زیر بار باید همزمان در مدار قرار بگیرند).

جدول ۱- جدول اندازه گیری ولتاژهای خروجی به ازای ورودی‌های مختلف

تفاوت دو حالت	مقدار ولتاژ در بار نامی	مقدار ولتاژ در بی باری	پایانه های مختلف ترانسفورماتور	ولتاژ ورودی (ولت)
			$V_{21}-V_{21}$	۱۱۰
			$V_{22}-V_{22}$	۱۱۰
			$V_{23}-V_{23}$	۱۱۰

تفاوت دو حالت	مقدار ولتاژ در بار نامی	مقدار ولتاژ در بی باری	پایانه های مختلف ترانسفورماتور	ولتاژ ورودی (ولت)
			$V_{r1}-V_{r1}$	۲۲۰
			$V_{r2}-V_{r2}$	۲۲۰
			$V_{r3}-V_{r3}$	۲۲۰

تفاوت مقادیر در دو حالت بی باری و بارنامی، چه علتی دارد؟

پرسش



کار عملی



هدف: محاسبه مقاومت بین سیم پیچ های مجزا

ابزار، مواد و تجهیزات: قرقره ترانسفورماتور پیچیده شده در کار عملی قبل، مولتی متر

■ با استفاده از اهم متر، مقدار مقاومت سیم پیچ های مختلف ترانسفورماتور در زمانی که از شبکه برق جدا می باشد را به دست آورید.

جدول ۲- جدول اندازه گیری مقاومت های مختلف

مقدار مقاومت	پایانه های مختلف ترانسفورماتور
	۱۱۰
	۲۲۰
	$V_{11}-V_{11}$
	$V_{12}-V_{12}$
	$V_{r1}-V_{r1}$
	$V_{r2}-V_{r2}$
	$V_{r3}-V_{r3}$

از مقادیر به دست آمده در مقاومت ها، چه نتیجه ای می توان گرفت؟

پرسش





به یکی از دوستان خود در کلاس بگویید که برچسب سر سیم ترانسفورماتور خود را باز کند و ترانسفورماتور را در اختیار شما قرار دهد.

با استفاده از اهم متر و اطلاعات جدول بالا، سر سیم های ترانسفورماتور دوست خود را نام گذاری کنید. سپس با نظارت دبیر مربوطه، ترانسفورماتور را به منبع تغذیه متصل و نتایج را بررسی کنید.

- ۱ اتصالات ترانسفورماتور به صورتی تغییر کند تا در سمت ثانویه، ولتاژ ۲۴ ولت ایجاد شود.
- ۲ ترانسفورماتوری مناسب برای سه مصرف کننده که نزدیک هم می باشد را طراحی نمایید. این مصرف کننده به ولتاژهای مختلف ۱۲، ۲۴، ۶۰ ولت با جریان ۵/۰، ۱ و ۱ آمپر نیاز دارند. سیم پیچ ثانویه از یکدیگر مجزا باشند.

خودآزمایی

- ۱ ترانسفورماتورهای چندورودی - چندخروجی با سیم پیچ های مجزا را تعریف کنید و تفاوت آنها را با ترانسفورماتورهای ساده تک ورودی - تک خروجی توضیح دهید.
- ۲ ترانسفورماتوری دارای دو ورودی ۱۱۰ و ۲۲۰ ولت و سه خروجی زیر است:
 $24V, 1A$ $12V, 1/5A$ $6V, 2A$
 اگر هر سه خروجی به طور هم زمان استفاده شوند، توان ظاهری کل خروجی ترانسفورماتور را محاسبه کنید.
- ۳ در ترانسفورماتورهای چندخروجی با سیم پیچ های مجزا، قطر سیم هر سیم پیچ ثانویه بر چه اساسی محاسبه می شود؟ توضیح دهید چرا قطر سیم خروجی ۶ ولت با جریان ۲ آمپر از قطر سیم خروجی ۲۴ ولت با جریان ۱ آمپر بیشتر است.
- ۴ در کار عملی ساخت ترانسفورماتور چندورودی - چندخروجی، پیش از اتصال ترانسفورماتور به شبکه برق چه آزمایش ها و بررسی های ایمنی باید انجام شود؟ نقش اهم متر و بررسی اتصال بدنه را توضیح دهید.

ارزشیابی شایستگی سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی – چند خروجی با سیم پیچ مجزا

نام و نام خانوادگی	شماره ملی	تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	کد پیما/پودمان	استاندارد عملکرد کار:	محاسبه و سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی – چند خروجی سیم پیچ های مجزا
۷۴۱۲۱۳	۷۴۱۲۱۳۰۱۲	L3	مهارت
کد وظیفه شغل	کد وظیفه شغل	کد وظیفه شغل	کد وظیفه شغل
۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱
کد کار	کد کار	کد کار	کد کار
۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/داوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	نصب عایق و سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مجزا	در کارگاه سیم پیچی با فرقه و هسته ترانسفورماتور، سیم لاکه مناسب، کاغذ عایق، دستگاه سیم پیچی، شمارنده دور، کولیس یا خط کش، ماشین حساب، دم باریک، نوار عایق، اهم متر، تجهیزات ایمنی در زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنجرو، چک لیست مراحل کار، بررسی محاسبات انجام شده، ارزیابی کار	عایق گذاری اولیه به طور کامل و استاندارد انجام شده، سیم پیچی اولیه با تعداد دور دقیق و مطابق مشخصات ترانس چند سر اجرا شده، لایه ها منظم و بدون آسیب به روکش سیم هستند و آماده ادامه سیم پیچی ثانویه می باشد.	۳	
۲	نصب عایق و سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مجزا	در کارگاه سیم پیچی با فرقه و هسته ترانسفورماتور، سیم لاکه مناسب، کاغذ عایق، دستگاه سیم پیچی، شمارنده دور، کولیس یا خط کش، ماشین حساب، دم باریک، نوار عایق، اهم متر، تجهیزات ایمنی در زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنجرو، چک لیست مراحل کار، بررسی محاسبات انجام شده، ارزیابی کار	عایق گذاری ثانویه به طور کامل و استاندارد انجام شده، سیم پیچی ثانویه با تعداد دور دقیق و مطابق مشخصات ترانس چند سر اجرا شده، لایه ها منظم و بدون آسیب به روکش سیم هستند.	۳	
۳	جاذدن هسته	در کارگاه سیم پیچی فرقه سیم پیچی شده، هسته ترانسفورماتور (ورقه های E و I)، چکش پلاستیکی، پیچ و مهره یا بست مهار، ابزار تمیز کاری، تجهیزات ایمنی زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنجرو، چک لیست مراحل مونتاژ، بررسی صحت قرار گیری ورقه های هسته، ارزیابی استحکام مونتاژ	هسته به صورت کامل، منظم و بدون فاصله غیرمجاز در فرقه قرار گرفته، ورقه ها به درستی چفت شده اند و ترانسفورماتور از نظر مکانیکی محکم و بدون لرزش مونتاژ شده است.	۳	
۴	آزمایش بی باری در سیم پیچ های مختلف	در کارگاه سیم پیچی ترانسفورماتور یا الکتروموتور آماده آزمایش، منبع تغذیه مناسب، آمپر متر یا کلمپ متر، ولت متر، وات متر (در صورت وجود)، سیم و کابل اتصال، تجهیزات حفاظتی و ایمنی برق، فرم ثبت نتایج زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنجرو، چک لیست مراحل تست، بررسی نحوه اتصال مدار، ارزیابی مقادیر جریان و ولتاژ بی باری، کنترل ثبت نتایج، پرسش شفاهی	آزمایش بی باری به صورت صحیح و ایمن روی سیم پیچ های مختلف انجام شده، مقادیر جریان و ولتاژ به درستی اندازه گیری و ثبت شده و هنجرو توانایی تحلیل وضعیت عملکرد دستگاه در حالت بی باری را دارد.	۳	
شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت پذیری و رعایت اخلاق حرفه ای در طول انجام فعالیت ها	رعایت نسبی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار.	چک لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار	عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست محیطی، با بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.	۱	

بلی ☐

خیر ☐

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ از نصب عایق و سیم پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مجزا (مراحل بحرانی)

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

- تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲

سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ مشترک

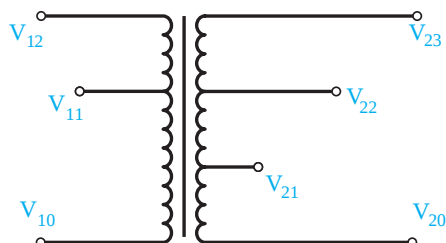
آیامی دانید

- ۱ با ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ های مشترک آشنایی دارید؟
- ۲ تعیین سطح مقطع هسته ترانسفورماتور چند ورودی چند خروجی با سیم پیچ های مشترک چگونه است؟
- ۳ نحوه محاسبه تعداد دور و افت ولتاژ در ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ های مشترک چگونه انجام می شود؟
- ۴ نحوه محاسبه قطر سیم پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ های مشترک به چه صورت است؟
- ۵ در سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ های مشترک به چه نکاتی باید توجه نمود؟

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود محاسبه ترانسفورماتورهای چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ های مشترک را انجام داده و سیم پیچی نماید.

ترانسفورماتور با سیم پیچ چند سر در اولیه و ثانویه



شکل ۱۷- ترانسفورماتور چند ورودی - چند خروجی با سیم پیچ مشترک

در واحد یادگیری اول این پودمان، با ترانسفورماتورهایی که در اولیه و ثانویه خود دارای چند سیم پیچ مجزا از هم که می توانند جداگانه مصرف کننده هایی را جریان بدهند، آشنا شدید. در این واحد یادگیری، با ترانسفورماتورهایی آشنا خواهید شد که در اولیه و ثانویه خود یک سیم پیچ دارند، اما با قابلیت اتصال به چند ولتاژ در اولیه و تأمین چند ولتاژ در ثانویه.

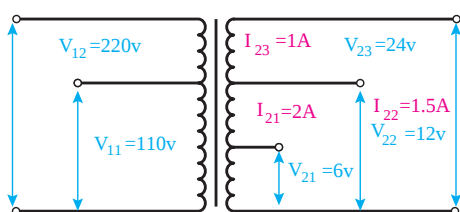
برای مثال در یک مصرف کننده الکترونیکی، نیاز است به صورت همزمان سه ولتاژ ۶، ۱۲ و ۲۴ ولت با جریان هایی به ترتیب ۲، ۱/۵ و ۱ آمپر استفاده شود. در این مثال فرض شده که مصرف کننده از هر سه خروجی ترانسفورماتور به صورت همزمان استفاده می کند.

مثال



در صورتی که بخواهیم از هر دو ورودی به طور همزمان استفاده کنیم (مثلاً هر دو به برق وصل باشند)، چه اتفاقی می افتد؟

تحقیق کنید



شکل ۱۸- ترانسفورماتور چند ورودی چند خروجی با سیم پیچ مشترک

برای درک بهتر، اطلاعات مثال داده شده بر روی شکل نمایش داده شود. سپس بر اساس چند گام محاسبات مربوط به ترانسفورماتور انجام گردد.

مرحله اول - محاسبه توان کل خروجی ترانسفورماتور: در

مرحله نخست، توان خروجی ترانسفورماتور را به دست می آوریم. برای ترانسفورماتورهایی که چندین ولتاژ در ثانویه دارند، در صورتی که همه خروجی ها به طور هم زمان استفاده شود، توان کل خروجی از حاصل جمع توان خروجی ها، به دست آید. برای مثال بالا:

$$S_r = S_{r1} + S_{r2} + S_{r3}$$

$$S_r = (V_{r1} \times I_{r1}) + (V_{r2} \times I_{r2}) + (V_{r3} \times I_{r3}) = (24 \times 1) + (12 \times 1/5) + (6 \times 2) = 48 \text{ [V.A]}$$

مرحله دوم - محاسبه سطح مقطع واقعی هسته: برای به دست آوردن سطح مقطع واقعی هسته، از رابطه صفحه بعد استفاده می گردد:

$$S_1 = \frac{S_r}{\eta} = \frac{48}{0.9} = 53.3 \text{ [V.A]}$$

برای به دست آوردن سطح مقطع واقعی هسته، از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$A_{fe} = 1/2 \times \sqrt{S_1} = 1/2 \times \sqrt{53.3} = 8.736 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{سطح مقطع خالص هسته ترانسفورماتور}$$

$$A'_{fe} = \frac{A_{fe}}{0.9} = 9.7$$

در صورتی که جهت پیچش قسمت‌های مختلف هر یک از سیم‌پیچ‌های اولیه یا ثانویه تغییر کند، چه تأثیری بر عملکرد ترانسفورماتور می‌گذارد؟

تحقیق کنید



مرحله سوم – محاسبه دور بر ولت ترانسفورماتور: با توجه به مقدار سطح مقطع واقعی هسته، مقدار دور بر ولت، برای هسته مرغوب به صورت زیر به دست می‌آید:

$$n_v = \frac{37/5}{A'_{fe}} = \frac{37/5}{9.7} = 3/86 \text{ [دور بر ولت]}$$

مرحله چهارم – محاسبه درصد افت ولتاژ و تعداد دور سیم پیچ های ترانسفورماتور

۱ در این مرحله محاسبه درصد افت ولتاژ مشابه حالت قبل (سیم پیچ مجزا) می‌باشد.

$$\frac{25}{2} = \frac{2}{x} \Rightarrow x = \frac{2 \times 2}{25} = 0.16$$

$$N_{11} = n_v \times V_{11} \times \left(1 - \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times 110 \times \left(1 - \frac{0.1216}{2}\right) = 398.78 \cong 399 \text{ دور}$$

$$N_{12} = n_v \times (V_{12} - V_{11}) \times \left(1 - \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 4/51 \times (220 - 110) \times \left(1 - \frac{0.1216}{2}\right) = 398.78 \cong 399 \text{ دور}$$

۲ برای به دست آوردن تعداد دور هر سیم پیچ، ولتاژ دو سر همان سیم پیچ را باید در نظر گرفت.

نکته



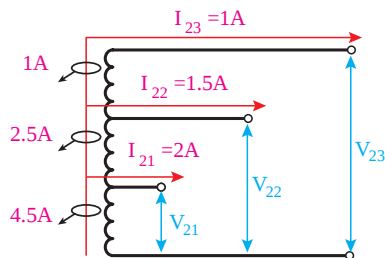
در سیم پیچ ثانویه، متناسب با ۵۰ درصد از کل افت ولتاژ محاسبه شده به تعداد دور سیم پیچ ثانویه افزوده می‌شود:

$$N_{r1} = n_v \times V_{r1} \times \left(1 + \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times 6 \times \left(1 + \frac{0.1216}{2}\right) = 24.37 \cong 24 \text{ دور}$$

$$N_{r2} = n_v \times (V_{r2} - V_{r1}) \times \left(1 + \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times (12 - 6) \times \left(1 + \frac{0.1216}{2}\right) = 24.37 \cong 24 \text{ دور}$$

$$N_{r3} = n_v \times (V_{r3} - V_{r2}) \times \left(1 + \frac{\% \Delta V}{2}\right) = 3/86 \times (24 - 12) \times \left(1 + \frac{0.1216}{2}\right) = 48.74 \cong 49 \text{ دور}$$

مرحله پنجم - محاسبه سطح مقطع سیم پیچ ثانویه: برای تعیین قطر سیم پیچ های ثانویه، نخست مقدار چگالی جریان را با مراجعه به جدول مربوطه در پودمان قبل انتخاب کنید. با توجه به اینکه ترانسفورماتور به صورت هم زمان به تمامی خروجی های خود جریان می دهد، باید جریان عبور واقعی از هر سیم پیچ را مطابق شکل ۱۹ مشخص شود. در نهایت، با استفاده از روابطی که در پودمان اول آموخته اید، قطر هر سیم پیچ محاسبه می شود.



شکل ۱۹- جریان عبوری از هر سیم پیچ در سمت ثانویه

$$d_{r1} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{r1} + I_{r2} + I_{r3}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{2 + 1/5 + 1}{4}} = 1/2 \text{ [mm]}$$

$$d_{r2} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{r2} + I_{r3}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{1/5 + 1}{4}} = 0/9 \text{ [mm]}$$

$$d_{r3} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{r3}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{1}{4}} \cong 0/56 \text{ [mm]}$$

برای سیم سوم، سیم لاکه ۰/۵۵ انتخاب می شود

مرحله ششم - محاسبه سطح مقطع سیم پیچ اولیه: برای به دست آوردن جریان هر یک از سیم پیچ های اولیه، ابتدا باید توان اولیه را به دست آورد. راندمان در ترانسفورماتورهایی با توان کمتر از ۵۰۰ ولت آمپر، بین ۸۰ تا ۹۰ درصد می باشد. برای ترانسفورماتور مورد نظر مقدار راندمان ۹۰ درصد در نظر گرفته می شود، مقدار توان اولیه را می توان از رابطه راندمان و به صورت زیر به دست می آورد:

$$S_1 = \frac{S_2}{\eta} = \frac{48}{0/9} = 53/3 \text{ [V.A]}$$

براساس توان اولیه به دست آمده، مقدار جریان هر یک از سیم پیچ ها در اولیه را به دست می آوریم:

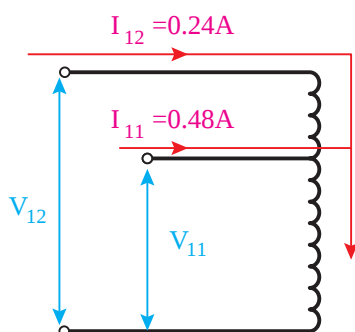
$$I_{11} = \frac{S_1}{V_{11}} = \frac{53/3}{110} = 0/48 \text{ [A]}$$

$$I_{12} = \frac{S_1}{V_{12}} = \frac{53/3}{220} = 0/24 \text{ [A]}$$

و سپس، قطر هر یک از سیم پیچ‌ها را به دست می‌آوریم:

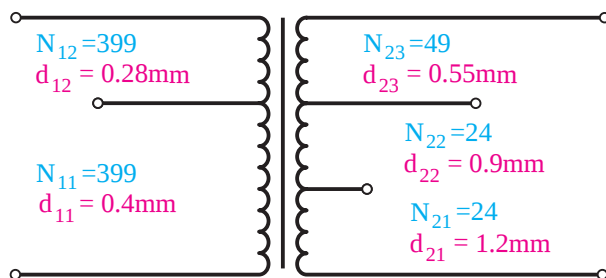
$$d_{11} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{11}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{0/48}{4}} \cong 0/40 \text{ mm}$$

$$d_{12} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{12}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{0/24}{4}} \cong 0/28 \text{ mm}$$



شکل ۲۰- جریان ورودی

بنابراین با توجه به تعداد دورهای به دست آمده برای سیم پیچ اولیه باید ۳۹۹ دور را با سیم لاکه قطر ۰/۴۰ و ادامه آن تا ۳۹۹ دور دیگر را با قطر ۰/۲۸ پیچید.
بهتر است برای جلوگیری از اشتباه در هنگام کار عملی، نتایج به دست آمده را بر روی شکل نمایش دهیم:



شکل ۲۱- تمامی اطلاعات مورد نیاز برای سیم پیچی ترانسفورماتور

مرحله هفتم - به دست آوردن اندازه هسته: برای هسته‌هایی با شکل EI از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{اندازه هسته} \leq 30 \sqrt{A_{fe}} = 30 \sqrt{8/736} = 88/5$$

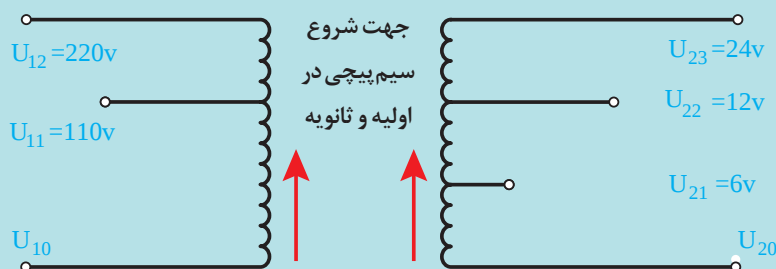
بنابراین با توجه به مقدار به دست آمده و جدول ۳، اندازه مناسب برای هسته ترانس موردنظر، EI۸۴ می‌باشد.

مرحله هشتم - انتخاب قرقره: با توجه به اینکه نوع ورقه EI۸۴ به دست آمده است با مراجعه به جدول قرقره‌های پلاستیکی که در پودمان قبل ارائه شده است می‌توان یکی از دو مدل EI۸۴a یا EI۸۴b را انتخاب نمود.

کار عملی

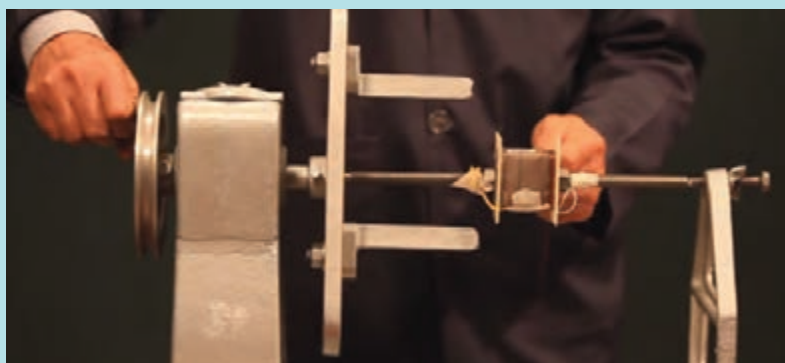


ساخت ترانسفورماتور تک فاز دارای چند ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مشترک
ابزار، مواد و تجهیزات: ابزار لحیم، قرقره ترانسفورماتور با اندازه محاسبه شده، ورق هسته با اندازه محاسبه شده، سیم لاکی براساس محاسبات، دستگاه بوبین پیچ، سیم، دم باریک، سیم افشان با سطح مقطع ۱ میلی متر مربع، وارنیش، کاغذ پرشمان، چسب کاغذی، کاغذ سنباده نرم
مرحله اول: مانند واحد یادگیری قبل ابتدا با ترسیم شکل ترانسفورماتور، اطلاعات مورد نیاز بر روی آن ثبت شود. در شکل ترسیمی باید مواردی همچون تعداد دور، قطر سیم هر قسمت و نام گذاری سر سیم‌ها به وضوح مشخص باشد.



شکل ۲۲- ترسیم شکل و نام گذاری سر سیم‌ها، قبل از شروع سیم پیچی

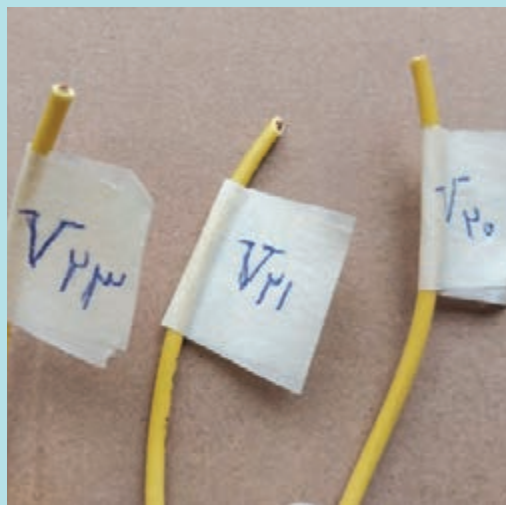
- در صورتی که سطح تماس قرقره با سیم لاکی دارای خراش و زبری زیادی است، با استفاده از کاغذ پرشمان و چسب کاغذی، یک لایه عایق گذاری شود تا سیم لاکی آسیب نبیند.
- قرقره ترانسفورماتور با استفاده از مغزی چوبی مناسب آن، بر روی دستگاه بوبین پیچ محکم بسته شود.



شکل ۲۳- قرار دادن قرقره در بوبین پیچ

مرحله دوم: جهت جلوگیری از قطع شدگی سیم لاک، پس از عایق برداری سیم لاک، به سیم افشان لحیم شود و پس از آن با وارنیش مناسب، محل لحیم کاری، عایق شود. سیم افشان از شیارهای کنار قرقره به بیرون هدایت شود و بر روی میله بوبین پیچ با استفاده از چسب کاغذی محکم شود. دقت شود که شیار مورد استفاده تا انتهای محل قرارگیری سیم لاک عمق داشته باشد.

■ بهتر است بر روی سر سیم های خروجی ترانسفورماتور، با استفاده از چسب کاغذی، اسم گذاری شود. این اسم گذاری باید همانند اسم گذاری بر روی ترانسفورماتور ترسیمی باشد.



شکل ۲۴- برچسب گذاری سیم پیچ ها

■ پس از صفر کردن شمارنده بوبین پیچ، به تعداد محاسبه شده، سیم لاک پیچیده شود. در حین انجام کار، سعی شود تا سیم های لاک به صورت مرتب در کنار هم قرار بگیرند تا سطح سیم پیچی، یکنواخت گردد.

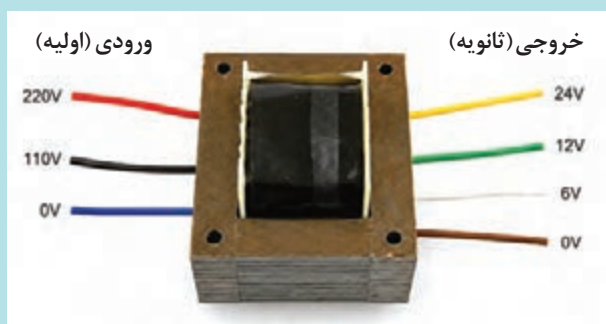
■ پس از رسیدن به محل انشعاب، سیم لاک برش خورده و مانند سر سیم آغازین، پس از لاک برداری به سیم افشان متصل شود. پس از عایق گذاری محل انشعاب با استفاده از وارنیش مناسب، ادامه پیچیدن سیم لاک تا انتها انجام شود. در صورتی که قطر سیم تغییر می کند، برای ادامه کار می بایست، از سیم لاک با قطر جدید استفاده نمود.

■ در پایان پیچیدن سیم پیچ اولیه، همانند ابتدای کار، برای سر سیم خروجی از سیم افشان استفاده شود.

■ در این مرحله، سطح سیم پیچی شده با استفاده از کاغذ پریشان عایق بندی شود. این کار باعث افزایش مقاومت الکتریکی بین سیم پیچ اولیه و ثانویه می گردد.

■ صحت اتصالات سیم پیچ اولیه توسط اهم متر، بررسی شود.

■ برای سیم پیچ ثانویه نیز مانند سیم پیچ اولیه اقدام شود. در پایان کار برای جلوگیری از باز شدن سیم پیچ ثانویه و آسیب دیدن آن توسط عوامل خارجی، از کاغذ پریشان مناسب استفاده شود. مطابق مطالب گفته شده در کار عملی قبل، ورقه های EI را جا زده و محک کنید.



شکل ۲۵- ترانسفورماتور چند سرورودی و خروجی با سیم پیچ مشترک

- پیش از اتصال به شبکه برق، تمام اتصالات با اهم متر بررسی شود. همچنین نبود ارتباط الکتریکی بین سیم پیچ ها و هسته باید بررسی شود.
 - پس از اطمینان از صحت اتصالات الکتریکی، می توان با نظارت مربی مربوطه، ترانسفورماتور را به شبکه برق متصل نمود.
- آزمایش صحت عملکرد ترانسفورماتور در دو حالت، بدون بار و با بار انجام شود و مقادیر به دست آمده یادداشت شود.

جدول ۳- جدول اندازه گیری ولتاژهای خروجی به ازای ورودی های مختلف

مقدار خطا در عمل	مقدار ولتاژ در بار نامی	مقدار ولتاژ در بی باری	پایانه های مختلف ترانسفورماتور	ولتاژ ورودی (ولت)
			$V_{r0}-V_{r1}$	۱۱۰
			$V_{r0}-V_{r1}$	۲۲۰
			$V_{r0}-V_{r2}$	۱۱۰
			$V_{r0}-V_{r2}$	۲۲۰

آیا می توان سیم پیچ های ثانویه را به صورت سری یا موازی به یکدیگر متصل نمود؟

تحقیق کنید



تمرین



یک نمونه از ترانس های چند خروجی، ترانسفورماتور با سر وسط می باشد. ترانسفورماتوری تک فاز با قابلیت اتصال با ولتاژ ۲۲۰ ولت که دو خروجی ۱۲ ولت ۵ آمپر دارد که سیم پیچ های آنها به یکدیگر متصل می باشد. چگالی ورق هسته آن ۱۲۰۰۰ گوس و ضخامت ورق ها ۰/۵ میلی متر در نظر گرفته شود.



کاربرد ترانسفورماتور با سر وسط چیست؟

هدف: انجام آزمایش بی‌باری و بارداری با ترانسفورماتور چند سر ورودی و خروجی با سیم پیچ مشترک

ابزار، مواد و تجهیزات: ترانسفورماتور پیچیده شده در کار عملی قبل، مولتی متر، مصرف‌کننده‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ولت

مرحله اول: مشابه کار عملی که در پودمان اول انجام دادید، ولتاژ بی‌باری و جریان مدار باز خروجی را اندازه‌گیری کنید.

مرحله دوم: با اتصال بارهای مختلف به خروجی، ولتاژ و جریان حالت بارداری محاسبه و یادداشت کنید. نتایج را در دفتر گزارش کار ثبت کنید.

خودآزمایی

۱ تفاوت ترانسفورماتور چندورودی - چندخروجی با سیم‌پیچ مشترک و ترانسفورماتور دارای سیم‌پیچ‌های مجزا را توضیح دهید.

۲ در یک ترانسفورماتور با سیم‌پیچ مشترک، خروجی‌های زیر به‌طور هم‌زمان استفاده می‌شوند:

$6V, 2A$

$12V, 1/5A$

$24V, 1A$

توان ظاهری کل خروجی ترانسفورماتور را محاسبه کنید.

۳ چرا برای محاسبه تعداد دور هر قسمت از سیم‌پیچ مشترک، باید اختلاف ولتاژ دو سر همان بخش در نظر گرفته شود؟ برای بخش بین خروجی‌های ۶ و ۱۲ ولت، ولتاژ مبنای محاسبه چند ولت است؟

۴ در سیم‌پیچ ثانویه مشترک، چرا قسمت ابتدایی سیم‌پیچ باید جریان مجموع مصرف‌کننده‌ها را تحمل کند؟

جریان عبوری از بخش‌های زیر را مشخص کنید:

■ بخش صفر تا ۶ ولت

■ بخش ۶ تا ۱۲ ولت

■ بخش ۱۲ تا ۲۴ ولت

۵ مراحل ایجاد انشعاب در سیم‌پیچ مشترک را توضیح دهید. همچنین بیان کنید چرا نام‌گذاری سرسیم‌ها، عایق‌کاری محل انشعاب و کنترل اتصال سیم‌پیچ‌ها با اهم‌متر ضروری است.

ارزشیابی شایستگی سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی – چند خروجی با سیم پیچ مشترک

نام و نام خانوادگی	شماره ملی	تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه:	تعمیرکاران برق صنعتی
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم پیچی ماشین های الکتریکی
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۲	کار:	سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی – چند خروجی با سیم پیچ مشترک
استاندارد عملکرد کار:	۷۴۱۲۱۳۰۱۲	محاسبه و سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی – چند خروجی با سیم پیچ های مشترک	مهارت

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/دآوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	نصب عایق و سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مشترک	در کارگاه سیم پیچی و با قرقره و هسته ترانسفورماتور، سیم لاکه مناسب، کاغذ عایق، دستگاه سیم پیچی، شمارنده دور، کولیس یا خط کش، ماشین حساب، دمباریک، نوار عایق، اهم متر، تجهیزات ایمنی در زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل کار، بررسی محاسبات انجام شده، ارزیابی کار	عایق گذاری اولیه به طور کامل و استاندارد انجام شده، سیم پیچی اولیه با تعداد دور دقیق و مطابق مشخصات ترانس چند سر اجرا شده، لایه ها منظم و بدون آسیب به روکش سیم هستند و آماده ادامه سیم پیچی ثانویه می باشد.	۳	
۲	نصب عایق و سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مشترک	در کارگاه سیم پیچی و با قرقره و هسته ترانسفورماتور، سیم لاکه مناسب، کاغذ عایق، دستگاه سیم پیچی، شمارنده دور، کولیس یا خط کش، ماشین حساب، دمباریک، نوار عایق، اهم متر، تجهیزات ایمنی در زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل کار، بررسی محاسبات انجام شده، ارزیابی کار	عایق گذاری ثانویه به طور کامل و استاندارد انجام شده، سیم پیچی ثانویه با تعداد دور دقیق و مطابق مشخصات ترانس چند سر اجرا شده، لایه ها منظم و بدون آسیب به روکش سیم هستند.	۳	
۳	جاذدن هسته	در کارگاه سیم پیچی قرقره سیم پیچی شده، هسته ترانسفورماتور (ورقه های E و I)، چکش پلاستیکی، پیچ و مهره یا بست مهار، ابزار تمیزکاری، تجهیزات ایمنی زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل بررسی، مونتاژ، بررسی نحوه صحت قرارگیری ورقه های هسته، ارزیابی استحکام مونتاژ	هسته به صورت کامل، منظم و بدون فاصله غیرمجاز در قرقره قرار گرفته، ورقه ها به درستی چفت شده اند و ترانسفورماتور از نظر مکانیکی محکم و بدون لرزش مونتاژ شده است.	۳	
۴	آزمایش بی باری در سیم پیچ های مختلف	در کارگاه سیم پیچی ترانسفورماتور یا الکتروموتور آماده آزمایش، منبع تغذیه مناسب، آمپر متر یا کلمپ متر، ولت متر، وات متر (در صورت وجود)، سیم و کابل اتصال، تجهیزات حفاظتی و ایمنی برق، فرم ثبت نتایج زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل تست، بررسی نحوه اتصال مدار، ارزیابی مقادیر جریان و ولتاژ بی باری، کنترل ثبت نتایج، پرسش شفاهی	آزمایش بی باری به صورت صحیح و ایمن روی سیم پیچ های مختلف انجام شده، مقادیر جریان و ولتاژ به درستی اندازه گیری و ثبت شده و هنرجو توانایی تحلیل وضعیت عملکرد دستگاه در حالت بی باری را دارد.	۳	
شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت پذیری و رعایت اخلاق حرفه ای در طول انجام فعالیت ها	رعایت نسی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار.	عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست محیطی، یا بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.	۲	۱	

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)	بلی
	خیر

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ از نصب عایق و سیم پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مشترک (مراحل بحرانی)

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

- مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

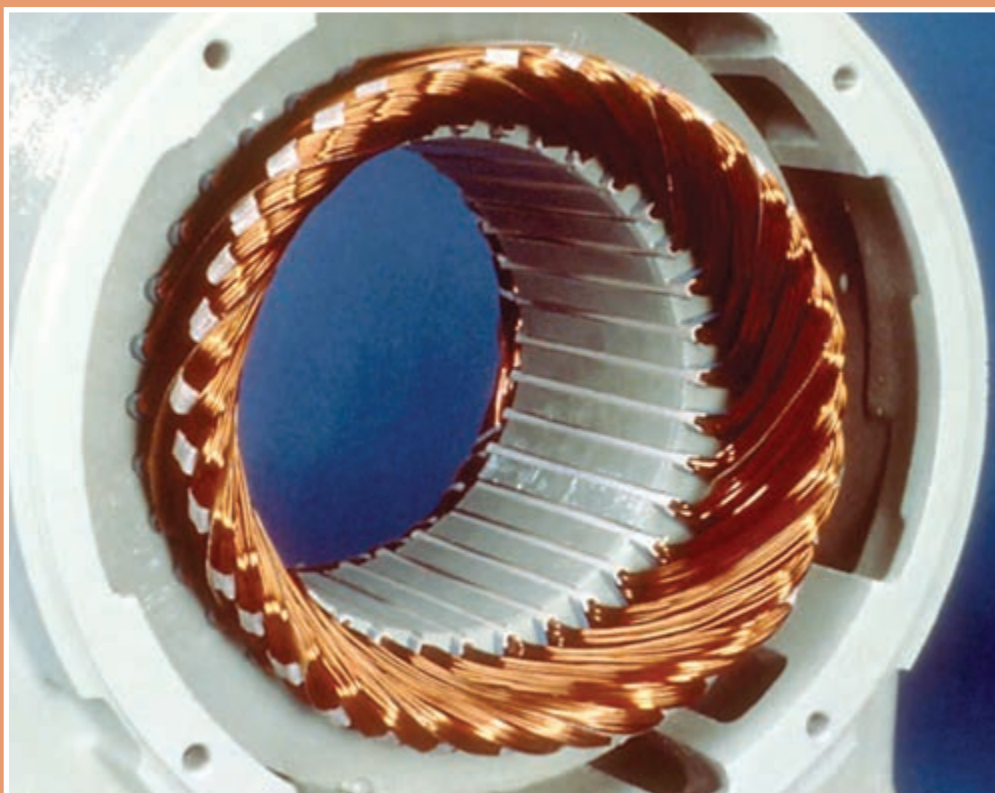
- تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.





پودمان سوم

سیم پیچی موتورهای سه فاز یک طبقه



واحد یادگیری ۱

عایق کاری و جازدن کلاف های موتور سه فاز یک طبقه

آیامی دانید

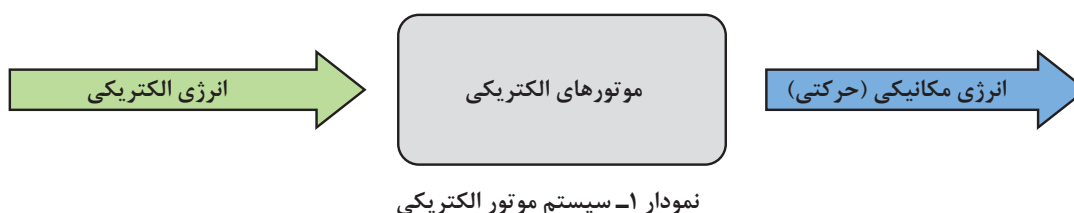
- ۱ موتورهای القایی چگونه کار می کنند؟
- ۲ سیم پیچی موتورهای الکتریکی به چه پارامترهایی نیاز دارد؟
- ۳ انواع سیم پیچی از نظر شکل کلاف ها چگونه است؟
- ۴ دیاگرام گسترده موتور آسنکرون سه فاز یک طبقه چگونه ترسیم می شود؟
- ۵ موتور سه فاز را چگونه عایق کاری می کنند؟
- ۶ نحوه پیچیدن کلاف و کار با بوبین پیچ چگونه انجام می شود؟
- ۷ سربندی و اتصالات موتور سه فاز با چه روش هایی انجام می شود؟

استاندارد عملکرد

- پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود پس از شناسایی اجزای الکتروموتور سه فاز سیم پیچی الکتروموتور سه فاز را سربندی نمایند.
- همچنین آنها قادر خواهند بود محاسبه و رسم دیاگرام سیم پیچی برای الکتروموتور سه فاز یک طبقه را انجام دهند.

مقدمه

موتور الکتریکی دستگاهی است که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی (حرکتی) تبدیل می‌کند. یکی از انواع این موتورها، موتورهای القایی است. اساس کار این موتورها بر قوانین الکترومغناطیس استوار است، در این الکتروموتورها، جریان سه فاز در سطح استاتور یک میدان مغناطیسی دوار ایجاد می‌کند، این میدان سبب القای جریان در مغتول‌های موتور می‌شود و موتور به حرکت درمی‌آید. از آنجا که جریان مغتول‌ها از طریق القای الکترومغناطیس تأمین می‌شود، به آنها موتورهای القایی می‌گویند.



موتورهای الکتریکی به دلیل راندمان بالا، عمر طولانی و نیاز کم به نگهداری به صورت گسترده در مصارف خانگی، صنایع کارگاهی و همچنین ماشین‌آلات بزرگ صنعتی و کارخانجات مورد استفاده قرار می‌گیرند. به موتورهایی که با برق جریان متناوب کار می‌کنند موتورهای الکتریکی AC گویند. موتورهای الکتریکی AC خود به دو دسته کلی موتورهای تک فاز و سه فاز تقسیم می‌شوند.

موتورهای سه فاز القایی (آسنکرون) از پرکاربردترین موتورهای سه فاز هستند که در صنایع کوچک و بزرگ و همچنین در خانه‌های مسکونی (پمپ آب سه فاز و موتور آسانسور) مورد استفاده قرار می‌گیرند، به همین دلیل در این پودمان هدف سیم‌پیچی موتورهای سه فاز آسنکرون می‌باشد. مزایای موتورهای الکتریکی سه فاز عبارت‌اند از:

- طراحی ساده
- قیمت ارزان
- هزینه نگهداری پایین
- اتصال ساده‌تر به منبع برق (مانند موتورهای تک فاز نیاز به تجهیزات راه‌اندازی کمکی ندارند)



شکل ۱- موتورهای الکتریکی AC



در یکی از پایگاه‌های هوش مصنوعی جمله «تفاوت‌های موتور تک‌فاز و سه فاز را برای من در جدول تنظیم کن» جست‌وجو نمایید و نتیجه حاصل شده را در دفتر گزارش کار خود ثبت کنید.

ساختمان داخلی موتورهای سه فاز

ساختمان داخلی موتورهای AC عمدتاً از دو بخش اصلی ساکن و متحرک تشکیل شده است.

۱- بخش ساکن یا ثابت

به بخش ساکن موتورهای الکتریکی AC استاتور^۱ گفته می‌شود. این بخش از ورقه‌های آهنی شیاردار تشکیل شده است. برای بهبود خواص مغناطیسی و نیز افزایش بازده ماشین‌های الکتریکی به ورقه‌های آهنی مقادیر مختلفی از سیلیسیم اضافه می‌کنند. این آلیاژ که با عنوان آهن سیلیس دار یا فولاد الکتریکی شناخته می‌شود به دلیل خواص عالی مغناطیسی جزء اصلی در ساخت قطعات ماشین‌های الکتریکی از جمله موتورها است. از طرفی جهت کاهش نوعی از تلفات انرژی، هسته‌های استاتور را ورقه‌ورقه می‌سازند که به این فرایند لمینیشن^۲ گفته می‌شود. سیم‌پیچ‌های موتور با محاسباتی دقیق و اصولی خاص در شیارهای استاتور قرار می‌گیرد.



شکل ۳- ورقه ورقه ساختن استاتور



شکل ۴- استاتور موتور الکتریکی

۲- بخش متحرک یا گردان

به بخش چرخنده یا متحرک موتورهای الکتریکی AC روتور^۳ گفته می‌شود. وظیفه اصلی روتور در موتورها این است که با همکاری با استاتور و میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط آن حرکت چرخشی تولید کند. هسته روتور هم معمولاً از ورقه‌های آهن سیلیس دار تشکیل شده است. در موتورهای الکتریکی AC دو نوع روتور رایج عبارت است از:

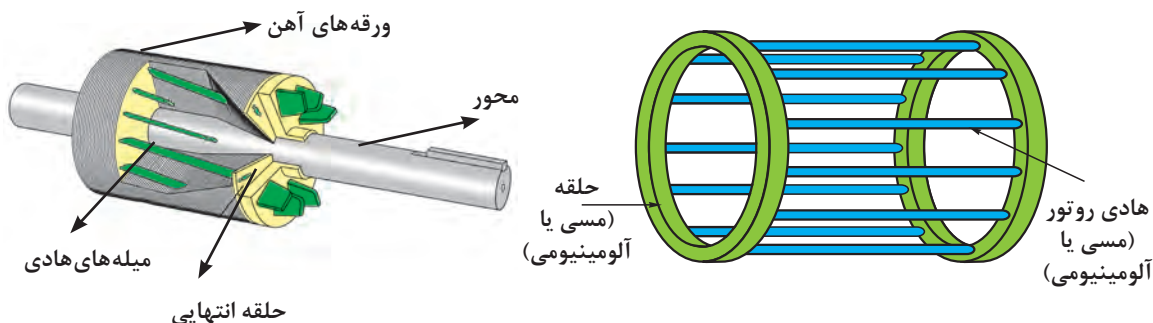
الف) روتور قفسی (قفس سنجابی): ساده‌ترین و پرکاربردترین نوع روتور قفسی (قفس سنجابی) است. این نوع روتور از میله‌های مسی یا آلومینیومی تشکیل شده که در شیارهای هسته روتور قرار گرفته‌اند. دو سر این میله‌ها را با حلقه‌هایی به همدیگر متصل می‌کنند و در نهایت شکلی شبیه به یک قفس سنجاب ایجاد

۱- Stator

۲- Lamination

۳- Rotor

می‌شود. هنگامی که میدان مغناطیسی دوار استاتور در روتور القا می‌شود، جریان‌های القایی در میله‌های روتور ایجاد و در نتیجه گشتاور چرخشی ایجاد می‌شود (شکل ۴).



(ب) تصویر برش خورده روتور قفس سنجابی

(الف) میله‌های روتور شبیه قفس سنجابی



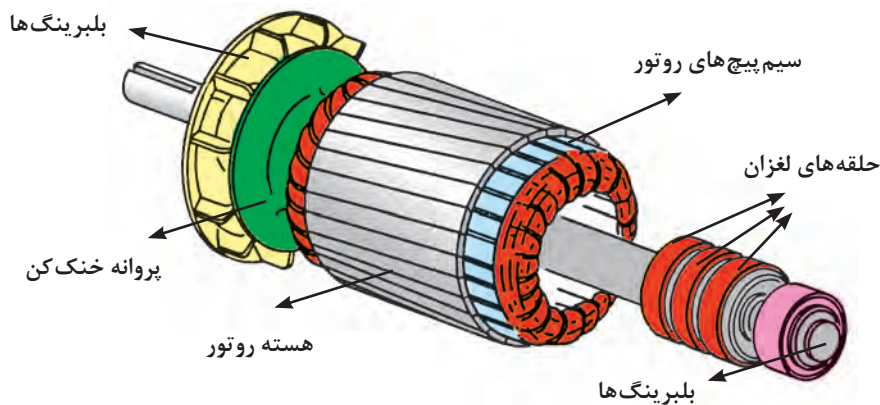
(ج) تصویر واقعی روتور قفس سنجابی

شکل ۴- روتور قفس سنجابی

از مزایای این نوع روتورها می‌توان به ساختار ساده، هزینه ساخت پایین، استحکام بالا و قابلیت تحمل اضافه بار اشاره کرد. از روتورهای قفس سنجابی در موتورهای القایی تک فاز و سه فاز با کاربردهای عمومی مانند پمپ‌ها، فن‌ها و کمپرسورها استفاده می‌شود.

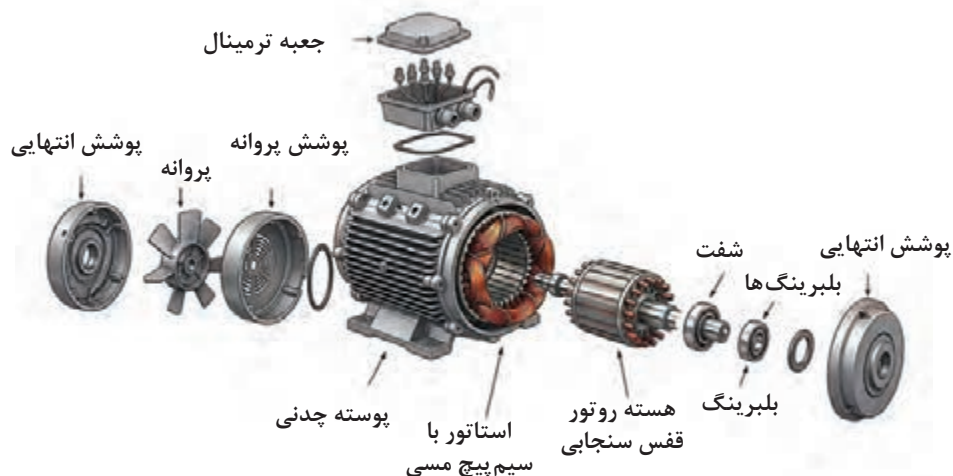
(ب) روتور سیم‌پیچی: در این نوع روتور، به جای استفاده از میله در روتور، آن را سیم‌پیچی می‌کنند و انتهای سیم‌پیچ را به حلقه‌های لغزشی وصل می‌کنند. این سرسیم‌های خروجی از روتور، قابل دسترسی‌اند و می‌توان با اضافه کردن مقاومت به سیم‌پیچ‌ها سرعت و گشتاور موتور را تغییر داد.

افزودن مقاومت به سیم‌پیچ، گشتاور راه‌اندازی را افزایش می‌دهد. پس از راه‌اندازی می‌توان مقاومت را کاهش و سرعت موتور را افزایش داد. گشتاور راه‌اندازی بالا، راه‌اندازی نرم و امکان کنترل سرعت از مزایای موتورهای با روتور سیم‌پیچی شده است. با این حال، هزینه ساخت بالاتر و راندمان کمتری نسبت به روتورهای قفس سنجابی دارند. از موتورهای با روتور سیم‌پیچی، در جرثقیل‌ها، بالابرها، ماشین‌آلات صنعتی، تجهیزات حمل و نقل و پمپ‌های بزرگ استفاده می‌شود. شکل ۵ روتور سیم‌پیچی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵- روتور سیم‌پیچی شده

علاوه بر بخش اصلی گفته شده، موتورهای از بخش‌های دیگری نیز تشکیل شده‌اند که مهم‌ترین آنها پروانه، بلبرینگ‌ها، پوسته چدنی استاتور و درپوش موتور است. در شکل زیر نقشه انفجاری یک موتور الکتریکی نشان داده شده است.

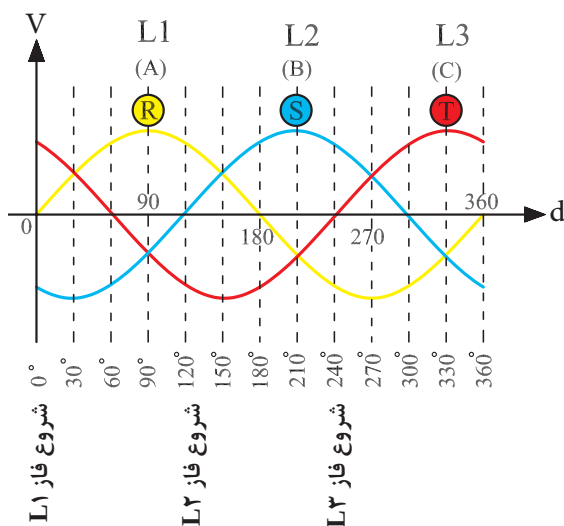


شکل ۶- نقشه انفجاری موتور الکتریکی AC

در اغلب موتورهای الکتریکی برای تهیه بهتر از یک پروانه و درپوش محافظ به جای درپوش انتهایی استفاده می‌شود که در شکل ۷ هر دو مورد نشان داده شده است.

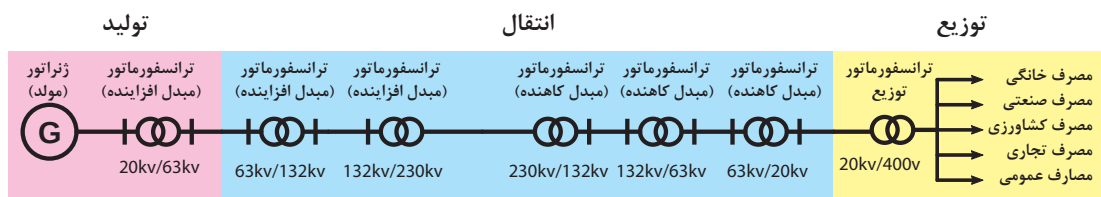
انرژی الکتریکی سه فاز

انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها به وسیله مولدهای سه فاز تولید می‌شود. نیروی محرکه الکتریکی (ولتاژ) تولید شده در مولدهای سه فاز به شکل سینوسی و با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه الکتریکی می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷- شکل موج ولتاژ القایی مولد سه فاز

انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه توسط شبکه‌های انتقال و توزیع به مصرف‌کننده‌ها می‌رسند. در شکل ۸ انتقال انرژی الکتریکی از نیروگاه تا مصرف‌کننده نشان داده شده است.



شکل ۸- نمودار تک خطی تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

در شبکه‌های سه فاز توزیع، ولتاژها و جریان‌ها با عناوینی به شرح زیر معرفی شده و به کار می‌روند.

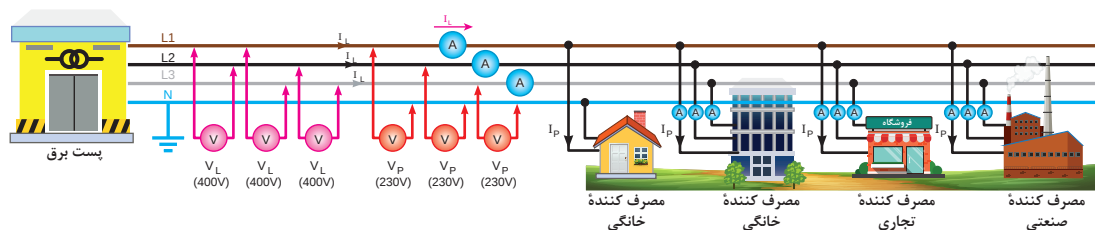
الف) ولتاژ خطی (V_L): به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) بین دو فاز یک شبکه سه فاز «ولتاژ خطی» گویند که در شبکه توزیع ایران مقدار آن 400 V است.

ب) ولتاژ فازی (V_p): به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) دو سر هریک از کلاف‌های (مسیرهای عبور جریان) یک مصرف‌کننده سه فاز، «ولتاژ فازی» گویند. به بیانی دیگر به اختلاف پتانسیل بین هر فاز و سیم نول نیز «ولتاژ فازی» گفته می‌شود. مقدار این ولتاژ در شبکه توزیع ایران 230 V است.

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

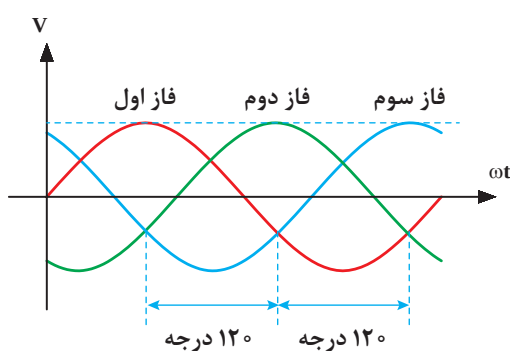
د) جریان فازی (I_p): به مقدار جریانی که از سیم‌پیچ هر فاز مصرف‌کننده سه فاز عبور می‌کند «جریان فازی» گویند.

شکل ۹ ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی را به‌ازای مصرف‌کننده‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۹- ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی

اساس کار موتورهای القایی سه فاز



شکل ۱۰- شکل موج ولتاژ سه فاز

زمانی که یک جریان متناوب سه فاز به سیم‌پیچ‌های استاتور (بخش ثابت موتور) اعمال می‌شود، جریان در سیم‌پیچ‌ها جاری شده و میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. به دلیل اختلاف فاز الکتریکی 120° درجه‌ای بین فازها (شکل ۱۰) و همچنین اختلاف فاز 120° درجه مکانی بین سیم‌پیچ‌های داخل استاتور (به نحوه قرار گرفتن سیم‌پیچی‌ها در کنار یکدیگر بستگی دارد)، در هر لحظه از زمان یکی از سیم‌پیچ‌ها حامل جریان شده و در فضای اطراف آن میدان‌های مغناطیسی به وجود می‌آید. میدان مغناطیسی تولید شده در

داخل فضای استاتور با سرعت ثابت (سرعت سنکرون) در حال چرخش است. اصطلاحاً به این میدان مغناطیسی در حال چرخش «مغناطیسی دوار» گویند که اساس کار موتورهای القایی سه فاز را شکل می‌دهند. این میدان مغناطیسی دوار از روی رساناهای روتور (بخش چرخنده) عبور می‌کند. طبق قانون القای الکترومغناطیسی فارادی، چون میدان نسبت به روتور در حال حرکت است، یک نیروی محرکه الکتریکی (ولتاژ) در میله‌های روتور القا می‌شود. از آنجا که میله‌های آلومینیومی روتور از دو طرف توسط حلقه‌های انتهایی اتصال کوتاه شده‌اند، این ولتاژ باعث جاری شدن جریان الکتریکی در روتور می‌شود. اکنون روتوری وجود دارد که حامل جریان است و در معرض یک میدان مغناطیسی (میدان استاتور) قرار دارد. هرگاه بر هر رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیرویی وارد شود، این نیروها باعث ایجاد گشتاور شده و روتور را در جهت حرکت میدان مغناطیسی استاتور به چرخش در می‌آورند.

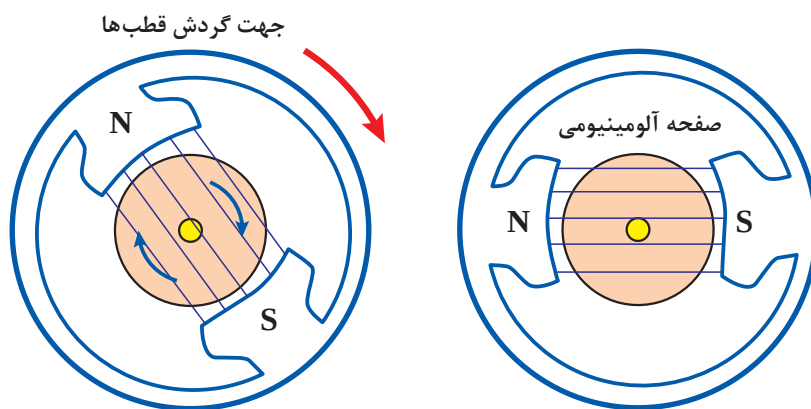
به بیانی دیگر، تصور کنید که صفحه آلومینیومی قادر است حول محور خود گردش کند، این صفحه در داخل دو قطب مغناطیسی مطابق شکل ۱۱ قرار داده شده و قطب‌های مغناطیسی به گردش درآورده می‌شود. مشاهده می‌شود صفحه آلومینیومی، نیز به دنبال قطب‌ها، ولی با سرعت کمتر از سرعت قطب‌ها به گردش درمی‌آید.

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 درمی آید. پس می توان نتیجه گرفت:

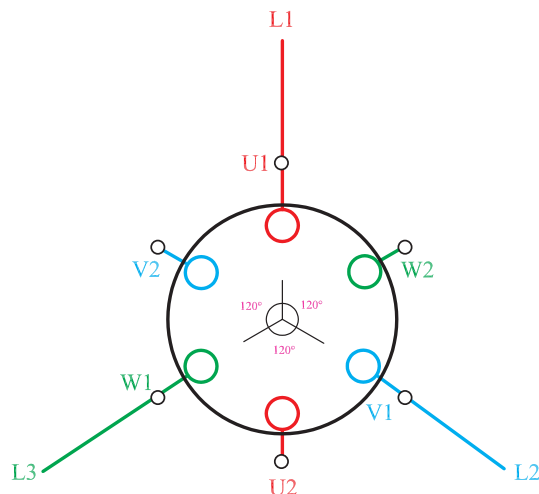
۱- جریان داخل صفحه آلومینیومی از طریق القای مغناطیسی تأمین می شود به همین دلیل این موتورها را موتورهای القایی می گویند.

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



شکل ۱۱- صفحه آلومینیومی در میدان استاتور

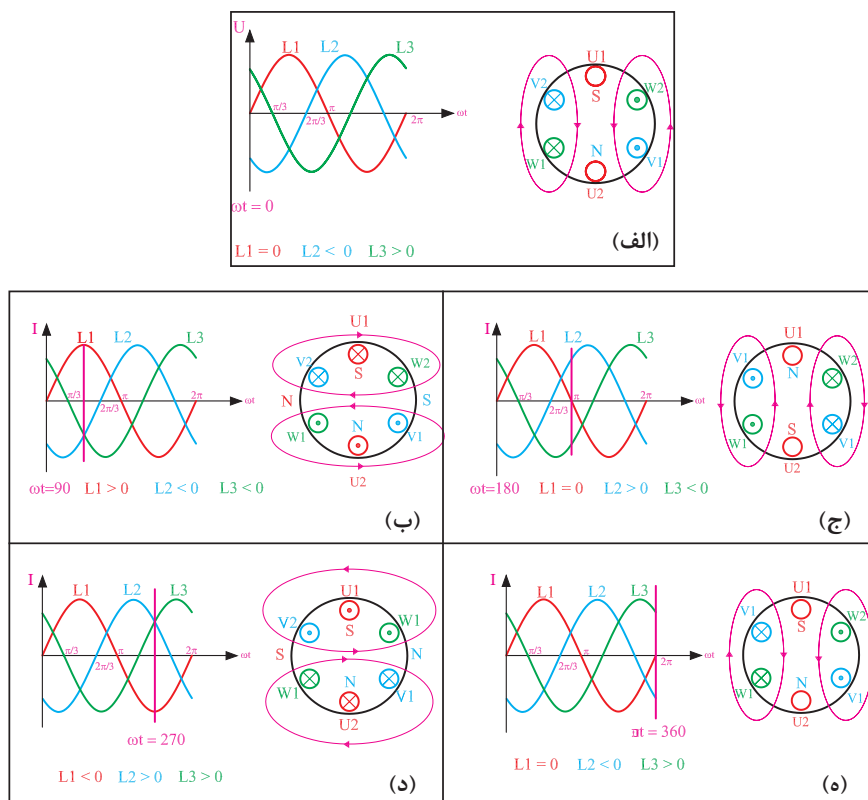
در موتورهای صنعتی جریان متناوب، سه فاز به سه سیم پیچ سه فاز متصل می شود و یک میدان مغناطیسی دوار در سطح استاتور با سرعت ثابت (سنکرون) $n_s = \frac{120 \times f}{p}$ به وجود می آید. در شکل ۱۲ وضعیت قرار گرفتن سه سیم پیچ که با یک اختلاف فاز مکانی 120° درجه در داخل استاتور جای می گیرند را مشاهده می کنید.



U1 U2- سر و ته سیم پیچ فاز اول
V1 V2- سر و ته سیم پیچ فاز دوم
W1 W2- سر و ته سیم پیچ فاز سوم

شکل ۱۲- وضعیت قرارگیری سیم پیچ ها در داخل استاتور

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 $n\pi$ به گردش درمی‌آید. شکل ۱۳ با بررسی در موقعیت‌های مختلف وضعیت میدان مغناطیسی دوار در فضای داخلی استاتور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳- وضعیت میدان مغناطیسی دوار در داخل استاتور موتور در موقعیت‌های مختلف

مفاهیم و روابط لازم برای سیم‌پیچی موتورهای سه فاز

۱- تعداد شیارهای استاتور (Z)

تعدادشیارها از روی استاتور قابل مشاهده بوده و آن را با حرف Z نمایش می‌دهند.

۲- تعداد فاز (m)

موتورهای الکتریکی موجود در صنعت عمدتاً به صورت سه فاز یا تک‌فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعداد فازهای موتور را با حرف m نشان می‌دهند، به عنوان مثال در موتور سه فاز، $m = 3$ است.

۳- تعداد قطب (۲P)

سرعت میدان دوار (سرعت سنکرون) موتورهای سه فاز را از رابطه صفحه بعد می‌توان به دست آورد. همان‌طور که از رابطه مشخص است سرعت چرخش با تعداد قطب موتور رابطه عکس دارد یعنی هرچه سرعت بیشتری مورد نیاز باشد تعداد قطب موتور کمتر خواهد بود.

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{2P}$$

$2p$: تعداد قطب

n_s : سرعت چرخش میدان دوار (سرعت سنکرون)

f : فرکانس موتور

برای محاسبه تعداد قطب‌های موتور از رابطه سرعت سنکرون داریم:

$$2P = \frac{120 \cdot f}{n_s}$$

سرعت چرخش موتورهای سه فاز به ازای تعداد قطب‌های مختلف در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

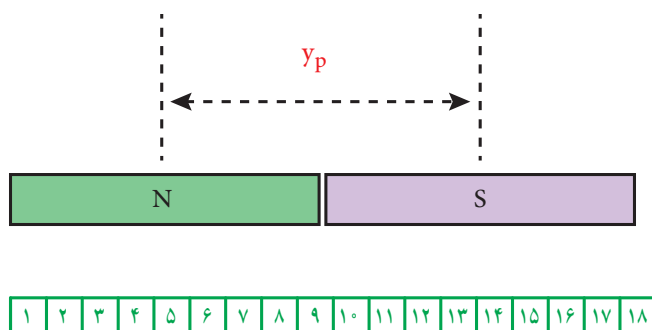
جدول ۱- رابطه سرعت با تعداد قطب در فرکانس ۵۰ هرتز

تعداد قطب ($2P$)	سرعت چرخش سنکرون (n_s) بر حسب دور بر دقیقه (RPM)
۲	۳۰۰۰
۴	۱۵۰۰
۶	۱۰۰۰
۸	۷۵۰
۱۰	۶۰۰
۱۲	۵۰۰

۴- گام قطبی (y_p)

به سطحی از استاتور که توسط قطب N یا S اشغال می‌شود گام قطبی گویند، به عبارت دیگر فاصله بین مرکز دو قطب غیرهمنام مجاور هم که بر حسب شیار بیان می‌شود را گام قطبی می‌نامند. شکل ۱۴ مفهوم گام قطبی را نمایش می‌دهد. این پارامتر از رابطه زیر به دست می‌آید:

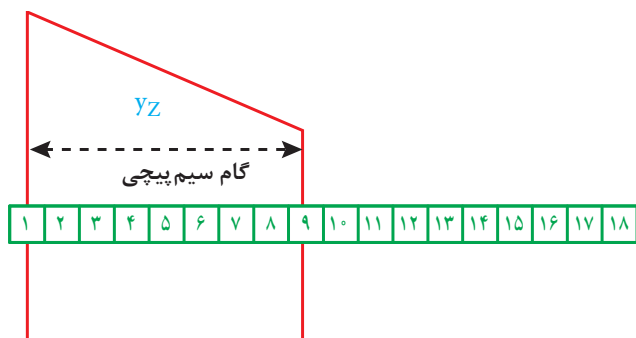
$$y_p = \frac{Z}{2P}$$



شکل ۱۴- گام قطبی

۵- گام سیم‌پیچی یا گام سیم‌بندی (y_z)

گام سیم‌بندی یا گام کلاف فاصله بین دو بازوی یک کلاف برحسب تعداد شیار می‌باشد که با حرف y_z نشان داده می‌شود (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- مفهوم گام سیم‌بندی

انواع گام سیم‌پیچی در موتورهای سه فاز: در موتورهای الکتریکی انتخاب نوع گام سیم‌بندی تأثیر مستقیمی بر بازدهی، میزان سیم مسی مصرفی و کیفیت کاری موتور

دارد. معمولاً موتورهای الکتریکی سه فاز در دو نوع گام کامل و گام کسری سیم‌پیچی می‌شوند.
الف) گام کامل: در صورتی که گام سیم‌بندی برابر با گام قطبی باشد ($y_z = y_p$) سیم‌بندی گام کامل است. در این نوع سیم‌بندی ولتاژ القا شده در دو بازوی کلاف با یکدیگر هم فاز بوده و به صورت جبری جمع می‌شوند که منجر به حداکثر شدن ولتاژ خروجی می‌شود.

ب) گام کسری یا گام کوتاه شده: در صورتی که گام سیم‌بندی کمتر از گام قطبی باشد ($y_z < y_p$)، سیم‌بندی گام کسری یا گام کوتاه می‌باشد.

در سیم‌پیچی گام کسری، چون گام سیم‌بندی از گام قطبی کمتر است، اختلاف فاز ابتدا و انتهای یک کلاف کمتر از 180° درجه الکتریکی می‌باشد و نیروی محرکه الکتریکی کاهش می‌یابد لذا برای جبران آن باید تعداد دور کلاف‌ها را متناسب با کوتاهی گام، افزایش داد. سیم‌پیچی گام کسری دارای مزایایی به شرح زیر است:

■ کاهش تلفات

■ کاهش وزن سیم مصرفی

■ تهویه بهتر و افزایش راندمان

شکل ۱۵ مفهوم گام سیم‌پیچی را نشان می‌دهد.

توضیح: با پیچیدن چند دور مشخص سیم بر روی قالب‌های کلاف پیچی، کلاف تشکیل می‌شود. تعداد دورهای هر کلاف را پارامترهای متعددی تعیین می‌کند. هر کلاف دارای دو بازو است که هرکدام در یک شیار استاتور قرار داده می‌شود.



ب) کلاف پیچ



الف) کلاف

در موتورهای سه فاز با توجه به اینکه به هر سیم‌پیچ ولتاژهای برابر متصل می‌شود، مشخصات تمام کلاف‌ها از قبیل تعداد دور و قطر سیم باید یکسان باشد.

۶- تعداد شیارهای هر قطب مربوط به هر فاز (q)

تعداد شیارهای هر فاز اشغال می‌کند تا یک قطب در موتور تشکیل شود. را با (q) نشان می‌دهند تعداد شیارهای هر قطب مربوط به هر فاز را از رابطه زیر می‌توان محاسبه نمود:

$$q = \frac{z}{2P \times m}$$

چون $y_p = \frac{z}{2p}$ و از طرفی در موتورهای سه فاز $m = 3$ است پس رابطه q را چنین نیز می‌توان نوشت:

$$q = \frac{1}{3} \times y_p$$

اگر q عدد صحیح ۱، ۲، ۳ و... باشد سیم‌پیچی با «شیار کامل» و اگر q عددی کسری شود اصطلاحاً سیم‌پیچی را «شیار کسری» گویند. شیار کسری و گام کسری دو مفهوم متفاوت هستند که در آینده به آن پرداخته خواهد شد.

۷- تعداد کلاف‌های مربوط به هر فاز (γ_m)

تعداد کلاف‌های مربوط به هر فاز باید یک عدد صحیح مثلاً ۱، ۲ و ۳ و... باشد. در سیم‌پیچی یک طبقه هریک از شیارها با یک بازوی کلاف پر می‌شود، بنابراین هر کلاف دو شیار را پر می‌کند و مقدار آن را از رابطه زیر می‌توان به دست آورد.

$$\gamma_m = \frac{z \cdot t}{2m}$$

t- تعداد طبقات سیم‌پیچی (سیم‌پیچی موتورهای سه فاز به صورت یک یا دو طبقه هستند)
به عنوان مثال براساس رابطه γ_m در یک موتور سه فاز ۳۶ شیار تعداد کلاف‌های هر فاز ۶ می‌باشد.

$$\gamma_1 = \frac{1 \times 36}{3 \times 2} = 6$$

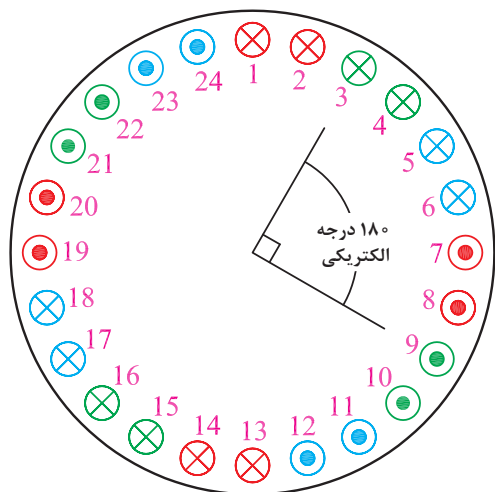
۸- زاویه الکتریکی بین دو شیار مجاور (α_{ez})

اختلاف زاویه الکتریکی هر شیار با شیار مجاور آن را «زاویه الکتریکی» گفته و با α_{ez} نشان داده می‌شود. برای محاسبه مقدار آن از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\alpha_{ez} = \frac{360 \times p}{z}$$

در رابطه زاویه الکتریکی بین دو شیار مجاور، p نشان‌دهنده تعداد زوج قطب (نصف تعداد قطب‌ها) است.

سر و ته یک کلاف در داخل استاتور ۱۸۰ درجه زاویه الکتریکی فاصله دارند (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- نمایش مفهوم زاویه الکتریکی داخل استاتور

تحقیق کنید



آیا در موتورهای الکتریکی مفهوم زاویه مکانیکی هم مطرح می‌باشد؟ در صورتی که پاسخ مثبت است مقدار آن را چگونه می‌توان به دست آورد؟ مطالب تهیه شده خود را در دفتر گزارش کار ثبت کنید.

۹- شیار شروع سیم‌پیچی هر فاز به هم

چون شروع فازها نسبت به هم ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند لذا شروع کلاف‌های هر فاز نیز با یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز مکانی دارند که براساس روابط زیر می‌توان محاسبه کرد.

$$۱ = \text{شروع شیار فاز اول}$$

$$۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}} = \text{شروع شیار فاز دوم}$$

$$۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}} = \text{شروع شیار فاز سوم}$$

۱۰- گام فازی (Y_{ph})

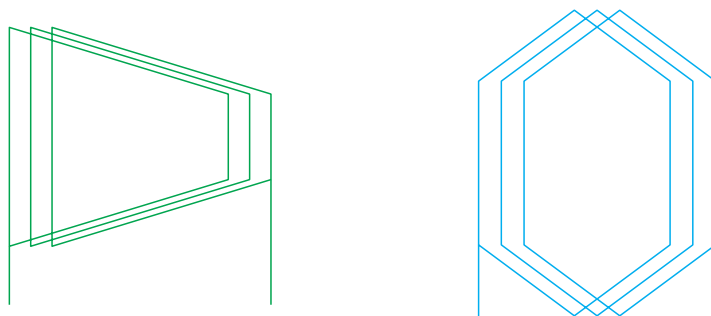
به تعداد شیارهایی که بین دو شیار شروع دو فاز قرار دارند را «گام فازی» گفته می‌شود. در موتورهای سه فاز از رابطه زیر می‌توان برای محاسبه گام فازی استفاده کرد. از مقدار گام فازی برای ترسیم و بررسی صحت نقشه سیم‌پیچی موتورهای سه فاز استفاده می‌شود.

$$Y_{ph} = \frac{2}{3} \times y_p$$

۱۱- فرم کلاف‌های سیم‌پیچی

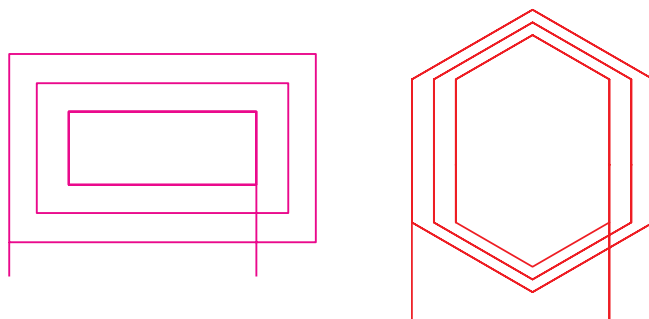
در حالت کلی دو نوع سیم‌پیچی برای موتورهای جریان متناوب در نظر گرفته می‌شود:

الف) سیم‌پیچی زنجیری (سیم‌پیچی با کلاف‌های مساوی): اندازه تمام کلاف‌های یک گروه که در داخل استاتور قرار می‌گیرند به یک اندازه می‌باشند. از آنجا که در موتورهای سه فاز تمام کلاف‌های فازهای مختلف باید یکسان باشند بنابراین تمام کلاف‌های داخل استاتور با اندازه‌های مساوی قرار دارند. شکل ۱۸ تصویر دو نمونه گروه کلاف مساوی (سیم‌پیچی زنجیری) را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- شکل ترسیم دو نمونه گروه کلاف مساوی (زنجیری)

ب) سیم‌پیچی متحدالمرکز (سیم‌پیچی با کلاف‌های نامساوی): در این نوع سیم‌پیچی کلاف‌های هر گروه با گام‌های مختلف استفاده می‌شود و هر کلاف بزرگ، کلاف کوچک‌تر را در برمی‌گیرد. در این سیم‌بندی در هر گروه از کلاف‌ها، گام کلاف بزرگ‌تر از گام کلاف قبلی خود دو شیار بزرگ‌تر است. برای پیچیدن این نوع کلاف‌ها از کلاف پیچ با گام نامساوی استفاده می‌شود. شکل ۱۹ تصویر دو نمونه گروه کلاف نامساوی (سیم‌پیچی متحدالمرکز) را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹- شکل ترسیم دو نمونه گروه کلاف نامساوی (متحدالمرکز)

معمولاً در سیم‌پیچی با کلاف‌های مساوی سیم مصرفی نسبت به سیم‌پیچی متحدالمرکز کمتر است. از آنجا که در سیم‌پیچی با گام مساوی، پیشانی کلاف‌های فازهای مختلف از روی هم عبور می‌کنند، برای جلوگیری از اتصال کوتاه باید نسبت به هم عایق شوند. همچنین سرعت عمل جهت تهیه قالب، پیچیدن و جا زدن کلاف‌ها در داخل شیار در حالت گام مساوی نسبت به متحدالمرکز بیشتر است.

۱۲- روش ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی

برای نشان دادن نوع سیم‌پیچی، فرم کلاف‌ها، ترتیب قرار گرفتن کلاف‌ها در شیارها، اتصال کلاف‌ها به یکدیگر و همچنین اتصال آنها به ترمینال‌های موتور از نقشه سیم‌پیچی استفاده می‌شود. برای ترسیم نقشه

سیم‌پیچی روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آنها ترسیم نقشه به روش «دیاگرام گسترده» است. در ترسیم نقشه به روش دیاگرام گسترده فرض می‌شود که استاتور در جهت یکی از شیارها بریده شده و سپس در روی یک صفحه باز شده و ترسیم می‌شود.

بدین ترتیب، شیارها در مجاور هم و در یک ردیف ترسیم می‌شوند. اشکال این نوع نقشه این است که اولین شیار و آخرین شیار که روی آن ترسیم می‌شوند، با وجود این که در استاتور در مجاورت هم هستند اما بر روی کاغذ در دو طرف نقشه قرار می‌گیرند. کلاف‌ها نیز در این قسمت به صورت بریده نشان داده می‌شوند. در این کتاب نیز تمام نقشه‌های داده شده به روش دیاگرام گسترده است و روش ترسیم آنها بعداً توضیح داده خواهد شد. برای مشخص شدن کلاف‌های فازهای مختلف از یکدیگر، باید در صورت امکان سیم‌های هر فاز را با یک رنگ ترسیم کرد.

۱۳- اتصالات گروه کلاف‌ها (سربندی موتور)

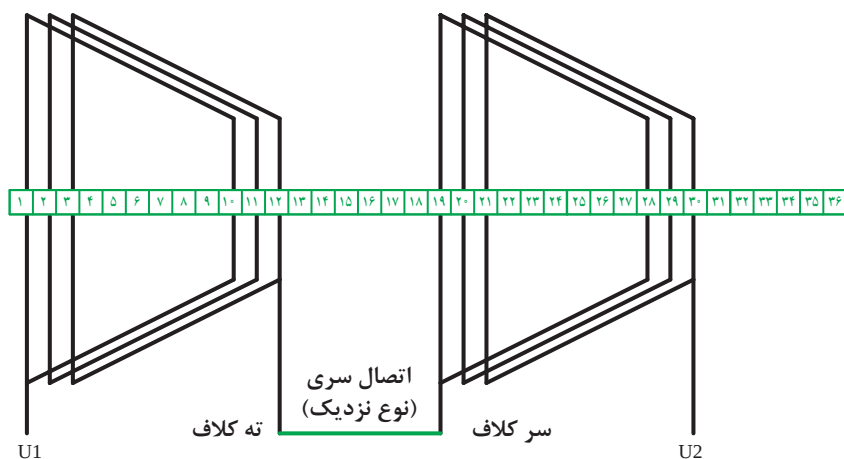
در سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی یکی از مراحل مهم سربندی گروه‌های کلاف هر فاز با یکدیگر است. تعداد گروه‌های کلاف‌های هر فاز را با G نشان می‌دهند و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$G = \frac{t \cdot z}{2q \cdot m}$$

t - نشان دهنده تعداد طبقه سیم‌پیچی موتور است

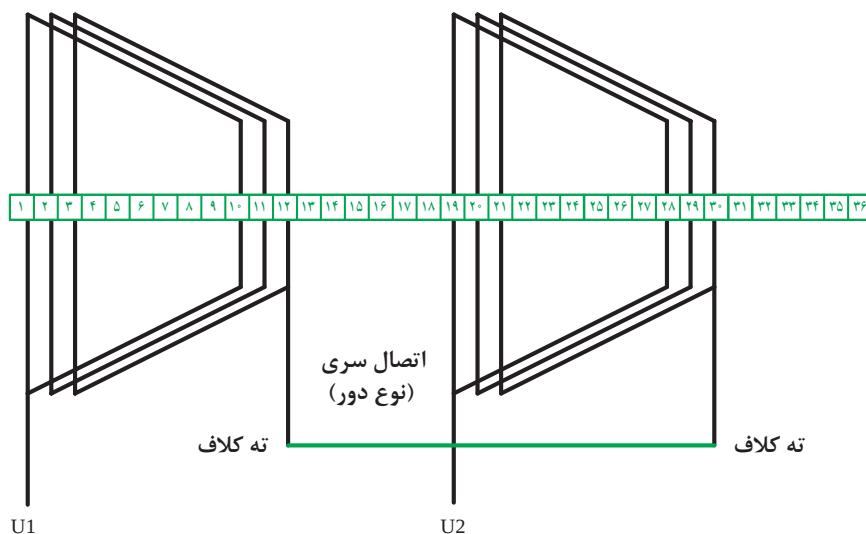
به عنوان مثال اگر در محاسبات یک موتور $G = 2$ شود، یعنی در هر فاز این موتور ۲ گروه کلاف وجود دارد که باید با هم سربندی و اتصال الکتریکی بین آنها برقرار شود. دو اتصال سری و اتصال موازی از اتصالات متداول موتورها است. برای تعیین نوع اتصال کلاف‌ها در موتورها از مقدار G استفاده می‌شود.

الف) اتصال سری کلاف‌ها: این نوع اتصال در موتورهای با قدرت کم انجام می‌شود. در نوع اتصال سری دو حالت وجود خواهد داشت. در حالت اول تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز (G) برابر تعداد نصف قطب‌ها (P) است. به این نوع سیم‌پیچی اصطلاحاً سیم‌پیچی «به ازای زوج قطب - ($G=P$)» گفته می‌شود. در این حالت از اتصال نزدیک یعنی (سر به ته یا ته به سر) استفاده می‌شود (شکل ۲۰).



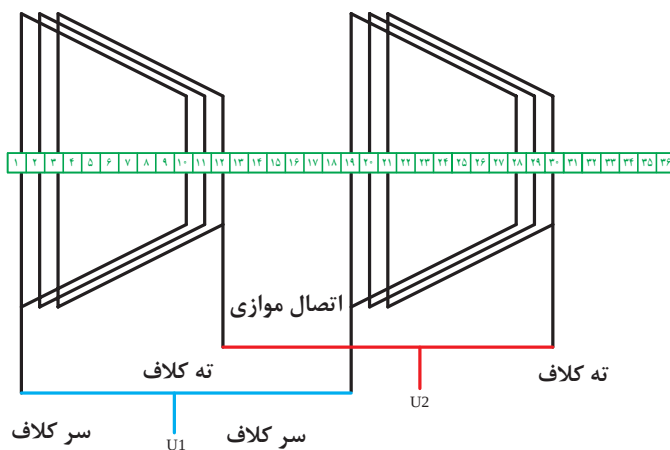
شکل ۲۰- اتصال سری از نوع اتصال نزدیک (ته به سر یا سر به ته)

حالت دوم زمانی است که تعداد گروه کلاف در هر فاز برابر تعداد قطب شود. به این حالت سیم‌بندی «به ازای قطب - $G=2P$ » گفته می‌شود. در این حالت اتصال کلاف‌ها به صورت اتصال دور یعنی (ته به ته یا سر به سر) باید باشد (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- اتصال سری از نوع اتصال دور (ته به ته یا سر به سر)

ب) **اتصال موازی کلاف‌ها:** اتصال موازی کلاف در موتورهای با توان زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۲۲ اتصال موازی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲- اتصال موازی

۱۴- جدول سیم‌پیچی موتورهای یک طبقه

با استفاده از جدول سیم‌پیچی رسم دیاگرام و سیم‌پیچی موتورها ساده‌تر می‌شود. دو نوع جدول علمی و عملی وجود دارد. در جدول سیم‌پیچی تعداد ستون‌ها برابر تعداد فازها و تعداد سطرها برابر با تعداد قطب‌ها است. هر ستون مربوط به هر فاز نیز به q قسمت تقسیم می‌شود، به‌طور مثال $q=2$ ، ستون مربوط به هر فاز به ۲ قسمت تقسیم می‌شود. واضح است تعداد خانه‌های این جدول برابر تعداد شیارهای استاتور است. جدول ۲ نمونه‌ای از جدول‌های علمی مربوط به مثالی با $q=2$ و چهار قطب به‌صورت گام کامل را نشان می‌دهد.

جدول ۲- جدول علمی ($q=2$ و $2p=4$)

فاز \ قطب	U1 , U2	V1 , V2	W1 , W2
N			
S	 $y_p=y_z$		
N			
S			

برای تکمیل شماره شیارهای جدول باید ابتدا شماره شیارهای شروع هر فاز را متناسب با موقعیت فازها در قطب‌های مورد نظرشان داخل جدول نوشته و سپس براساس گام‌های قطبی و گام سیم‌پیچی به‌دست آمده سایر شماره شیارها را تکمیل کرد. در برخی موارد برای نشان دادن بازوی دوم کلاف‌ها اعداد به‌همراه پریم نشان داده می‌شوند.

برای به‌دست آوردن جدول علمی کافی است ستون‌های مربوط به فازهای دوم و سوم با یکدیگر جابه‌جا شوند و اعداد شماره شیارها به‌ترتیب از شیار یک تا آخرین شماره شیار در داخل هر ستون نوشته شوند. هر سطر با سطر بالایی خود به اندازه y_p (گام قطبی) فاصله خواهد داشت. جدول زیر نمونه جدول علمی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- جدول علمی ($q=2$ و $2p=4$)

فاز \ قطب	U1 , U2	W1 , W2	V1 , V2
N			
S	 $y_p=y_z$		
N			
S			



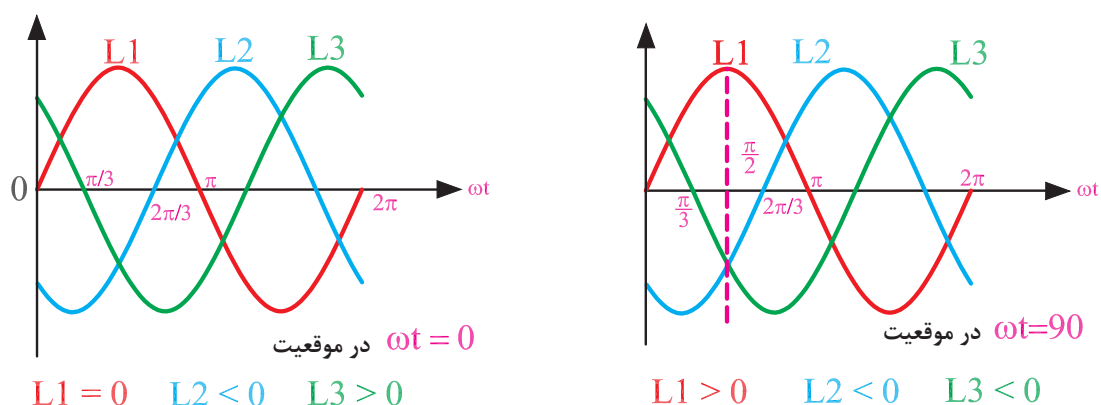
در جدول عملی با جابه جایی ستون‌های دوفاز موقعیتی که برای فازها در نظر گرفته می‌شود، کدام موقعیت روی موج سه فاز است؟



تمام مراحل و محاسبات شرح داده شده برای انجام یک سیم‌پیچی اصولی و دقیق لازم است. در بسیاری از کارگاه‌ها که موتورهای سوخته فقط براساس یک سری مشخصات ظاهری بازپیچی می‌شوند در زمان سیم‌پیچی توضیحات داده شده در نظر گرفته نمی‌شوند، در بازپیچی‌ها اغلب تکنسین با خارج کردن و شمارش تعداد گروه کلاف، تعداد دور هر کلاف و اندازه‌گیری گام سیم‌پیچی کار تجدید سیم‌پیچی را انجام می‌دهد.

۱۵- نحوه نمایش قطب‌سازی در سیم‌بندی موتور

برای نمایش تعداد قطب‌های ساخته شده در سیم‌پیچی استاتور که معمولاً روی دیاگرام گسترده موتور انجام می‌شود کافی است براساس انتخاب یکی از موقعیت‌های مکانی جریان‌های سه فاز و انتخاب قراردادی، برای ورودی و خروجی جریان‌ها (نیم‌سیکل مثبت - ورودی جریان به کلاف) و (نیم‌سیکل منفی - خروجی جریان از کلاف) وضعیت شیارها را مشخص کنیم. در شکل ۲۳ وضعیت فازها در دو موقعیت انتخاب شده روی موج سه فاز نشان داده شده است.



شکل ۲۳- موقعیت صفر و ۹۰ درجه روی شکل موج سه فاز

توضیح: برای تکمیل جداول سیم‌پیچی و نمایش نحوه قطب‌سازی سیم‌پیچی‌های موتور بر روی دیاگرام گسترده، مشخص کردن موقعیت (لحظه موردنظر) روی شکل موج سه فاز ضروری است. انتخاب لحظه موردنظر روی فازها کاملاً اختیاری است. در این کتاب برای تکمیل **جدول علمی** و ترسیم نقشه گسترده سیم‌پیچی موقعیت 30° و برای تکمیل **جدول عملی** و ترسیم نقشه گسترده سیم‌پیچی موقعیت 150° انتخاب و ملاک قرار گرفته است.



با توجه به شکل موج سه فاز وضعیت فازها در موقعیت 30° و 150° را بنویسید.

توضیح: انجام کلیه کارهای مورد نیاز برای سیم پیچی موتور مورد نظر به عنوان کارهای عملی در قالب واحد کارهای ۱ و ۲ این پودمان در نظر گرفته شده است که مراحل انجام کار به تفکیک در هر قسمت آمده است. در ادامه و در قالب یک مثال مراحل محاسباتی و ترسیمی لازم برای سیم پیچی یک موتور سه فاز یک طبقه مورد بررسی قرار گرفته است.



یک الکتروموتور سه فاز با استاتور ۳۶ شیار را در نظر بگیرید. اگر بخواهیم این موتور با سرعت 1500 دور بر دقیقه بچرخد، محاسبات و جدول سیم پیچی این موتور را به صورت یک طبقه با گام کامل بنویسید.
حل: با توجه به اینکه خواسته شده سرعت موتور 1500 دور بر دقیقه باشد، بنابراین تعداد قطب آن برابر خواهد بود با:

$$n_s = \frac{120f}{2P} \rightarrow 2P = \frac{120f}{n_s} = \frac{120 \times 50}{1500} = 4$$

معلومات: $z=36$, $2P=4$, $m=3$ و چون گام کامل است پس $y_p = y_z$

$$y_p = \frac{z}{2P} = \frac{36}{4} = 9 \rightarrow y_p = y_z = 9$$

$$q = \frac{z}{2P.m} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$$

$$\alpha_{ez} = \frac{360P}{z} = \frac{360 \times 2}{36} = 20^\circ$$

۱ = شماره شیار شروع فاز اول

$$\text{شماره شیار شروع فاز دوم} = 1 + \frac{120}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{120}{20} = 7$$

$$\text{شماره شیار شروع فاز سوم} = 1 + \frac{240}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{240}{20} = 13$$

$$G = \frac{t \times z}{2q.m} = \frac{1 \times 36}{2 \times 3 \times 3} = 2$$

از آنجا که $G=2$ بنابراین سیم بندی به ازای جفت قطب بوده و برای اتصال کلاف های موتور باید از اتصال نزدیک (ته به سر) استفاده شود.

با توجه به اینکه در این موتور سه فاز، $q=3$ و $2P=4$ ، جدول سیم پیچی آن شامل ۴ سطر (به تعداد قطب) و ۳ ستون (به تعداد فازها) خواهد بود. همچنین چون $q=3$ است، پس هر ستون نیز خود به ۳ قسمت تقسیم خواهد شد. در ادامه جدول علمی و عملی به ترتیب در جدول های ۴ و ۵ آمده است.

جدول ۴- جدول علمی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب یک طبقه

فاز قطب	U2 , U1			V2 , V1			W2 , W1		
N	۱	۲	۳	۳۴	۳۵	۳۶	۱۳	۱۴	۱۵
S	۱۰ $Y_p = Y_z$	۱۱	۱۲	۷	۸	۹	۲۲	۲۳	۲۴
N	۱۹	۲۰	۲۱	۱۶	۱۷	۱۸	۳۱	۳۲	۳۳
S	۲۸	۲۹	۳۰	۲۵	۲۶	۲۷	۴	۵	۶

جدول ۵- جدول علمی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب یک طبقه

فاز قطب	U2 , U1			W2 , W1			V2 , V1		
N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
S	۱۰ $Y_p = Y_z$	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

عایق کاری داخل شیارها

پس از انجام محاسبات موتور لازم است تا اقدامات لازم برای پیچیدن کلاف سیم‌ها و جازدن آنها در داخل شیار انجام شود.

هنگام جا زدن کلاف‌ها ممکن است لاک روی سیم‌ها آسیب ببینند بنابراین لازم است تا جهت جلوگیری از اتصال سیم‌ها با ورق‌های هسته موتور، داخل شیارهای استاتور عایق کاری شود. جنس عایق معمولاً از کاغذ آغشته به روغن یا کاغذ برشمان است. کاغذ برشمان نوعی عایق الکتریکی از جنس فیبر سلولزی است. این عایق مقاومت بالایی در برابر حرارت و پارگی دارد که ضخامت آن به اندازه شیار و ولتاژ سیم‌پیچ بستگی دارد. در جدول ۶ ضخامت عایق‌های مناسب برای ولتاژهای مختلف داده شده است.

جدول ۶- ضخامت کاغذ برشمان مناسب برای ولتاژهای مختلف

ولتاژ فازی [v]	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۵۰	۴۵۰-۶۰۰	۶۰۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰
ضخامت عایق [mm]	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۱

تمرین



- ۱ محاسبات یک موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه گام کامل را انجام داده و دیاگرام گسترده آن را به همراه جداول (علمی و عملی) سیم‌پیچی در دفتر گزارش کار خود بنویسید.
- ۲ محاسبات یک موتور سه فاز ۲۴ شیار ۲ قطب یک طبقه گام کامل را انجام داده و دیاگرام گسترده آن را به همراه جداول (علمی و عملی) سیم‌پیچی در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

کار عملی



هدف: آماده‌سازی و عایق‌گذاری داخل شیارهای استاتور الکتروموتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار
مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته موتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۲- عایق برشمان ۳- کاتر ۴- خط‌کش ۵- کولیس

مراحل انجام کار:



شکل ۲۴- شماره‌گذاری شیار شروع

۱- **انجام محاسبات:** محاسبات مربوط به موتور ۳۶ شیار که در مثال موجود در متن درس حل شده را به همراه جدول در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

در صورتی که موتور موجود در کارگاه ۲۴ شیار می‌باشد ابتدا محاسبات مربوطه را برای حالت ۴ قطب یک طبقه با گام کامل انجام دهید. جدول سیم‌پیچی مربوطه را بنویسید.

۲- **شماره‌گذاری شیارها:** ابتدا شیارهای استاتور را بشمارید. بهتر است شیار شماره ۱ را علامت‌گذاری کرده و جهت حرکت برای سیم‌پیچی را برای خود انتخاب کنید. (به عنوان مثال به صورت ساعت گرد شماره شیارها را تعیین کنید).



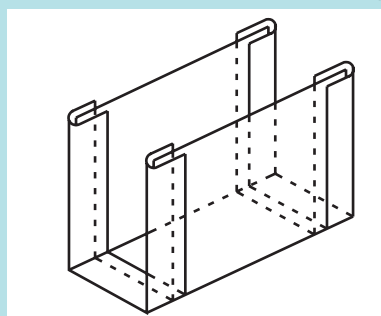
شکل ۲۵- اندازه‌گیری طول استاتور

۳- **اندازه‌گیری طول استاتور:** برای درست کردن عایق‌های زیرین (عایق بین شیار استاتور و سیم‌پیچ) مطابق شکل ۲۵ طول یکی از شیارهای استاتور را با یک کولیس اندازه‌گیری کنید. برای قرائت عدد روی کولیس از مربی خود کمک بگیرید
توضیح: در صورتی که کولیس در اختیار ندارید می‌توانید از خط‌کش استفاده کنید.

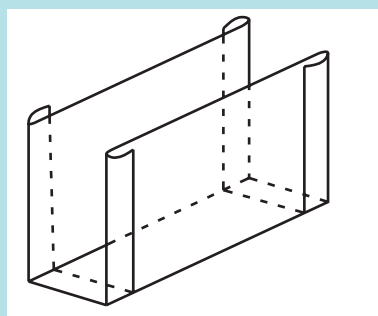
۴- ساخت عایق‌های شیار: پس از اندازه‌گیری طول استاتور نوبت به ساخت عایق مناسب جهت قرار دادن در شیارهای استاتور است. طول عایق معمولاً بین ۶ تا ۱۰ میلی‌متر بیشتر از طول شیار و عرض آن باید مطابق شکل شیار استاتور درست شود. لبه‌های عایق باید از دو طرف شیار مطابق شکل ۲۷ به طرف خارج شیار تا زده شود. این کار برای جلوگیری از حرکت عایق درون شیار استاتور بوده و باعث افزایش استحکام مکانیکی عایق در آن قسمت می‌شود.



شکل ۲۶- اندازه‌گیری و برش عایق موجود در کارگاه



(ب)



(الف)

شکل ۲۷- تا کردن و خم کردن لبه عایق

پس از ساختن عایق برای تمامی شیارها لازم است آنها مطابق شکل ۲۹ در داخل شیارها جا زده شود. تمام شیارهای موتور را عایق‌گذاری نموده و به مربی کارگاه نشان دهید.



شکل ۲۹- قرار دادن عایق آماده شده داخل شیار



شکل ۲۸- عایق آماده شده



شکل ۳۰- اندازه‌گیری تجربی محیط کلاف



شکل ۳۱- تنظیم کلاف پیچ

۵- ساخت کلاف الگوی سیم‌پیچی: در این مرحله برای تنظیم

قالب کلاف پیچ لازم است تا اقدام به تهیه اندازه کلاف الگو برای تنظیم دستگاه کلاف پیچ شود.

برای این منظور ابتدا از شیار شماره یک که انتخاب کرده‌اید شروع کنید. سپس شیار بعدی را با توجه به گام سیم‌پیچی $(1+Y_z)$ مشخص کنید.

پس از آن مطابق شکل ۳۰ قطعه سیمی را در دو شیار مشخص اول و انتهایی قرار دهید. به سیم مزبور، فرم و اندازه کلاف‌ها را می‌دهیم، سپس دوسر سیم را به هم نزدیک می‌کنیم و می‌تابانیم. پیشانی کلاف می‌بایست مطابق شکل ۳۰ به اندازه ۲ انگشت با شیارهای استاتور فاصله داشته باشد.

اگر اندازه سیم تک حلقه زیاد باشد ممکن است برای بستن درپوش و جازدن روتور مزاحمت ایجاد کند و در صورتی که اندازه سیم الگو کمتر باشد کار جا زدن کلاف‌ها در داخل استاتور با مشکل مواجه خواهد شد.

در این مثال، شیار شماره ۱۰ شیار مقصد می‌شود (اصطلاحاً اندازه کلاف این موتور ۱ به ۱۰ است).

بعد از اندازه‌گیری، کلاف الگو را در کلاف پیچ قرار داده و دو بازوی کلاف پیچ را تنظیم می‌کنیم تا سیم به حالت کاملاً کشیده باشد.

۶- پیچیدن و آماده کردن گروه کلاف‌ها: با توجه به مقدار q

و تعداد دور تعیین شده توسط مربی برای هر کلاف، شروع به پیچیدن کلاف‌ها کنید. در این مثال، $q=3$ است، بنابراین سه کلاف پیوسته با تعداد دور و قطر سیم که مربی تعیین کرده است را روی کلاف پیچ بپیچید. (به عنوان مثال ۵۰ دور سیم لاکی با قطر ۰/۵ میلی‌متر)

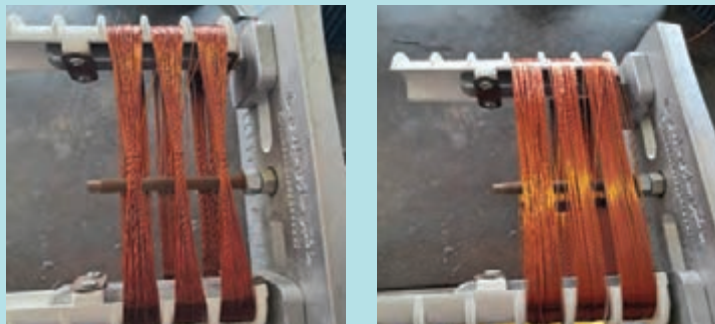
همان گونه که در جدول علمی یا عملی مشخص است هر فاز به ۲ گروه کلاف ۳ پیچک نیاز دارد. به همین خاطر برای سیم‌پیچی این موتور باید ۶ گروه کلاف ۳ پیچکی روی کلاف پیچ پیچیده شود. بدون تغییر دادن اندازه کلاف پیچ زنجیری کل ۶ گروه کلاف مورد نیاز موتور را بپیچید.

در صورت تمایل برای آشنایی با نحوه محاسبه تعداد دور و قطر سیم که جزء اهداف این پودمان نیست به سایر کتب موجود در این زمینه مراجعه کرده و با تهیه خلاصه گزارشی برای هم‌کلاسی‌های خود ارائه دهید.

پژوهش کنید



پس از اتمام پیچیدن و قبل از بیرون آوردن کلاف‌ها، برای جلوگیری از به هم ریختگی، هر بازوی کلاف را با یک تکه سیم لاکی مطابق شکل ۳۲ ببندید.



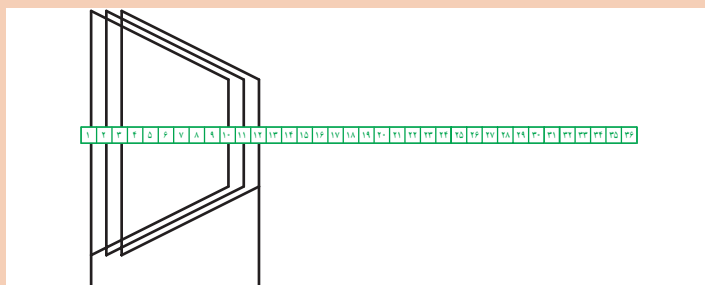
شکل ۳۲- آماده‌سازی کلاف‌ها

مثال



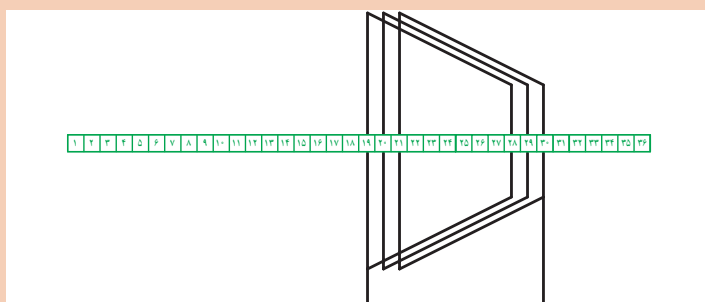
الکتروموتور سه فاز با استاتور ۳۶ شیار ۴ قطب مثال ۱ را در نظر گرفته و دیاگرام گسترده آن را به صورت مرحله به مرحله برای هر فاز رسم کنید.

حل: برای رسم دیاگرام موتور موردنظر کفایت کمی به جدول سیم‌پیچی دقت کرده و براساس مقادیر به دست آمده برای Q , Y_z , Y_p و شماره شیارهای شروع هر فاز مشابه شکل ۳۳ اقدام به رسم دیاگرام کنید. همان‌طور از جدول سیم‌پیچی مشخص است **گروه کلاف اول از فاز اول** مطابق شکل ۳۳ در شیارهای مربوطه به صورت (۱ به ۱۰، ۲ به ۱۱ و ۳ به ۱۲) باید ترسیم شوند.



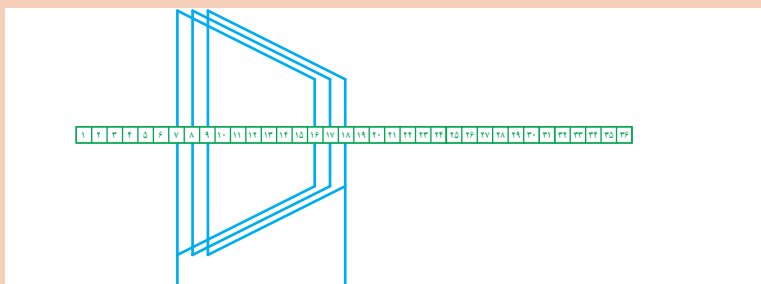
شکل ۳۳- گروه کلاف اول از فاز اول

و به همین ترتیب **گروه کلاف دوم از فاز اول** مطابق شکل ۳۴ در شیارهای مربوطه به صورت (۱۹ به ۲۸، ۲۰ به ۲۹ و ۲۱ به ۳۰) ترسیم می‌شوند.



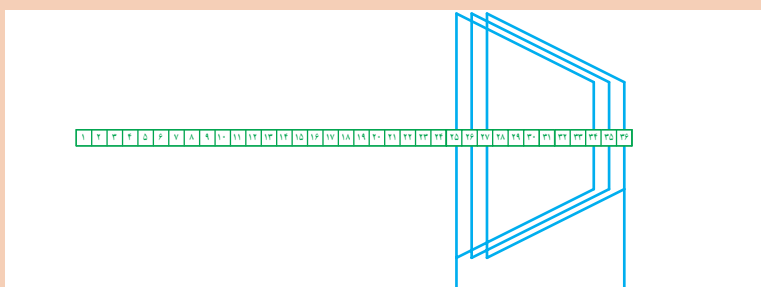
شکل ۳۴- گروه کلاف دوم از فاز اول

در ادامه نیز مشابه فاز اول مطابق شکل ۳۵ می‌بایست پیچک‌های گروه کلاف اول از فاز دوم را در شیارهای مربوطه به صورت (۷ به ۱۶، ۸ به ۱۷ و ۹ به ۱۸) رسم کرد.



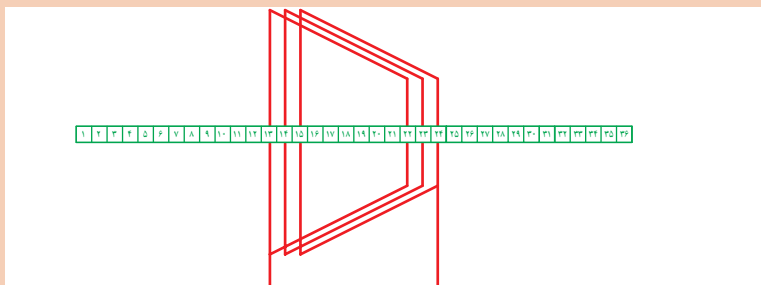
شکل ۳۵- گروه کلاف اول از فاز دوم

مطابق شکل ۳۶ پیچک‌های گروه کلاف دوم مربوط به فاز دوم نیز در شیارهای مربوطه به صورت (۲۵ به ۳۴، ۲۶ به ۳۵ و ۲۷ به ۳۶) ترسیم می‌شوند.



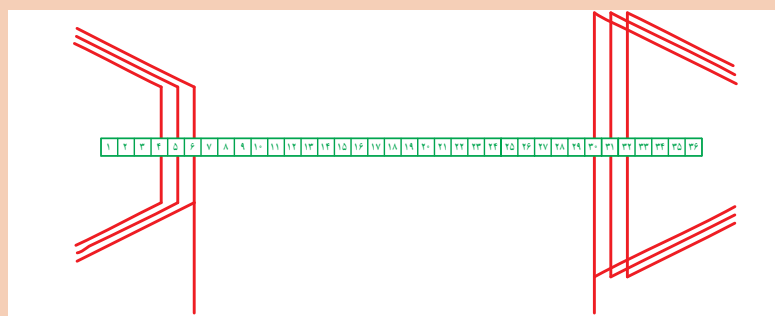
شکل ۳۶- گروه کلاف دوم از فاز دوم

برای فاز سوم نیز مشابه دوفاز دیگر اقدام می‌شود. پیچک‌های گروه کلاف اول مربوط به فاز سوم مانند شکل ۳۷ در شیارهای مربوطه به صورت (۱۳ به ۲۲، ۱۴ به ۲۳ و ۱۵ به ۲۴) رسم می‌شوند.



شکل ۳۷- گروه کلاف اول از فاز سوم

در خاتمه نیز مشابه شکل ۳۸ پیچک‌های گروه کلاف دوم مربوط به فاز سوم در شیارهای مربوطه به صورت (۳۱ به ۴۰، ۳۲ به ۴۱ و ۳۳ به ۴۲) ترسیم می‌شوند.



شکل ۳۸- گروه کلاف دوم از فاز سوم (آخرین گروه)

با کمی دقت مشخص است که شیارهای ۱ و ۳۰ به ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز اول (U_1 و U_2)، شیارهای ۷ و ۳۶ به ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز دوم (V_1 و V_2) و شیارهای ۱۳ و ۶ به ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز سوم (W_1 و W_2) هستند.

توصیه می‌شود در حین اجرای کار عملی شماره شیار ابتدا و انتهای سیم‌پیچی‌های سه فاز موتور را با برچسب یا نوارچسب کاغذی مشخص کنید.

نکته



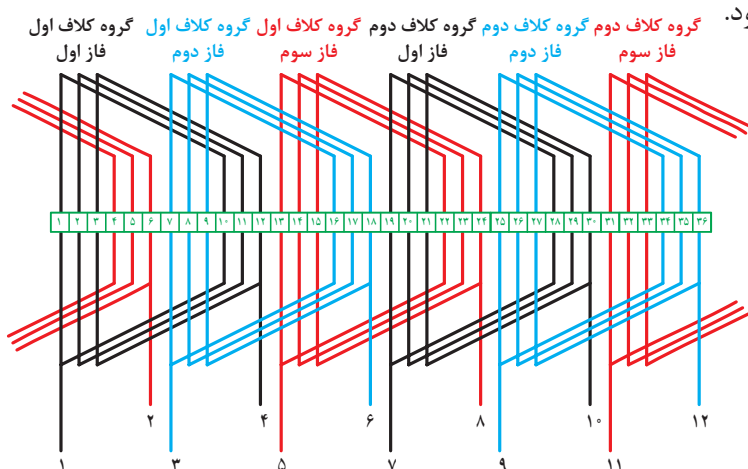
تذکر



برای اینکه شکل زنجیری سیم‌پیچی در فضای داخلی استاتور حفظ شود، ضروری است در خاتمه کار ابتدا بازوهای جازده شده از گروه کلاف اول فاز اول در شیارهای ۱، ۲ و ۳ را با دقت از جای خود خارج کرده و بازوهای انتهایی گروه کلاف دوم از فاز سوم جازده شوند و سپس بازوهای مربوط به شیارهای ۱، ۲ و ۳ جای خود قرار گیرند.

اتصال گروه کلاف‌ها (سربندی موتور)

پس از قراردادن گروه کلاف‌های هر سه فاز در شیارهای استاتور، ۱۲ سر سیم مطابق شکل ۳۹ از شیارهای موتور خارج می‌شود.

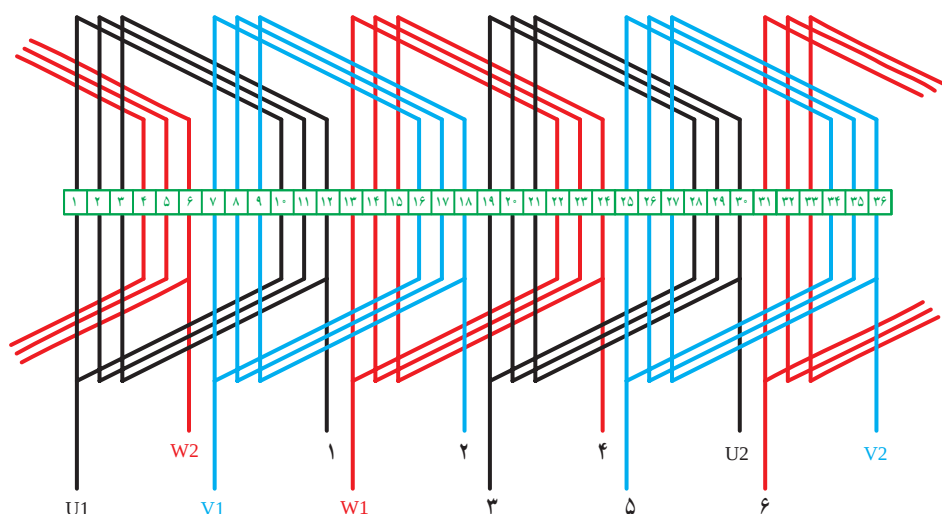


شکل ۳۹- ۱۲ سر سیم خارج شده از شیارهای مختلف

شش سرسیم، مربوط به ابتدا و انتهای سیم‌پیچی‌های سه فاز موتور است. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد این شیارها عبارت‌اند از:

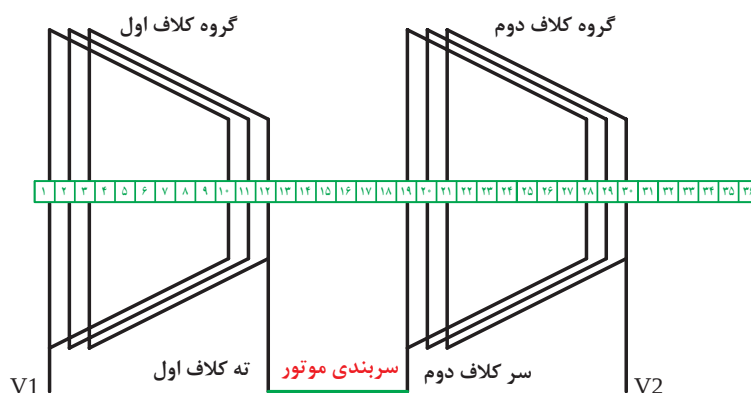
۱ و ۳۰ که ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز اول (U_1 و U_2)، ۷ و ۳۶ به ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز دوم (V_1 و V_2) و ۱۳ و ۶ به ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز سوم (W_1 و W_2) هستند که در انتهای کار سیم‌پیچی به تخته کلم موتور هدایت خواهند شد.

مطابق دیاگرام نشان داده شده در شکل ۴۰ شش سرسیم دیگر که از شیارهای شماره ۱۲ و ۱۹ (مربوط به فاز اول)، شیارهای شماره ۱۸ و ۲۵ (مربوط به فاز دوم) و شیارهای شماره ۲۴ و ۳۱ (مربوط به فاز سوم) باقی می‌مانند که می‌بایست به یکدیگر اتصال داده شوند. اصطلاحاً به این کار اتصال (لحیم‌کاری) گروه کلاف‌های موتور به یکدیگر «سربندی موتور» گفته می‌شود.

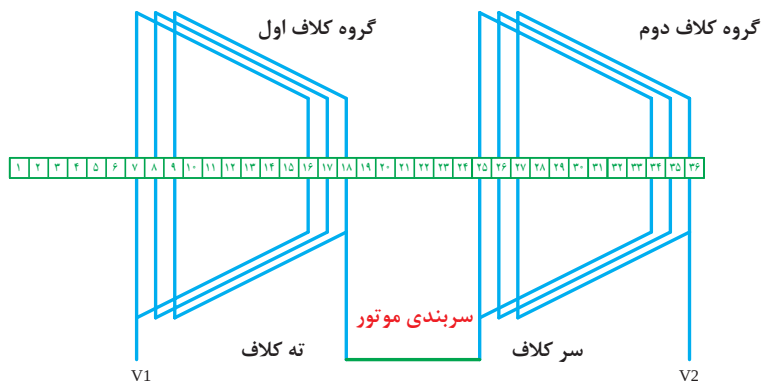


شکل ۴۰- شش سر باقی‌مانده بعد از اتصال سر سیم‌های افشان به سر و ته کلاف

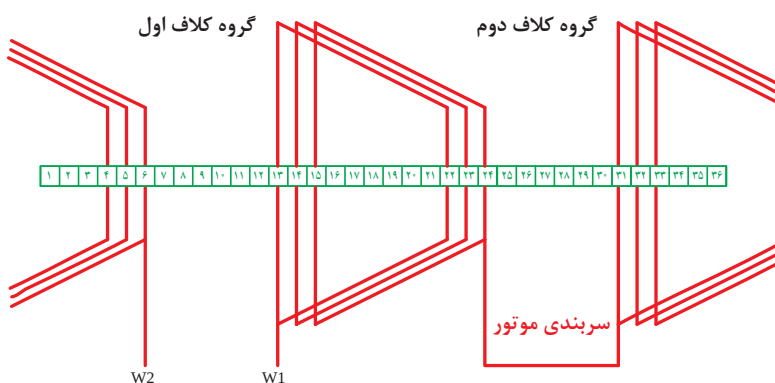
چون براساس محاسبات مقدار $G=P=2$ به دست آمده است پس اتصال سربندی موتور از نوع اتصال نزدیک (ته به سر) است. در شکل ۴۱ نحوه سربندی گروه کلاف‌های فاز اول نشان داده شده است.



شکل ۴۱- نحوه سربندی گروه کلاف‌های فاز اول (اتصال نزدیک)

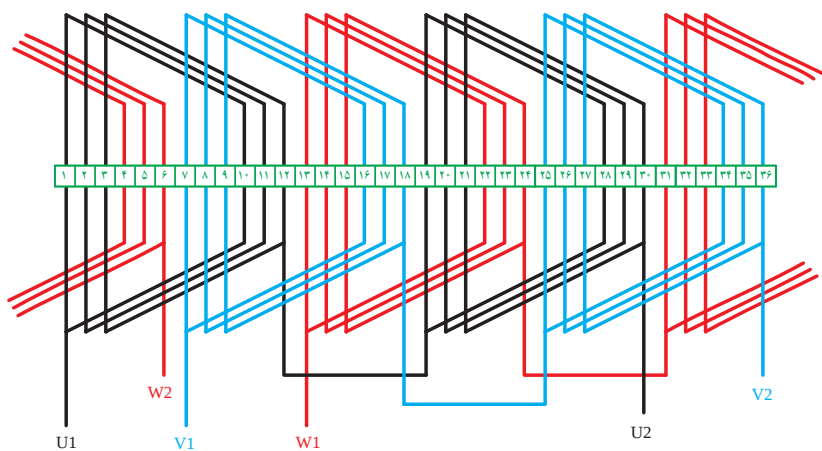


شکل ۴۲- نحوه سربندی گروه کلاف‌های فاز دوم (اتصال نزدیک)



شکل ۴۳- نحوه سربندی گروه کلاف‌های فاز سوم (اتصال نزدیک)

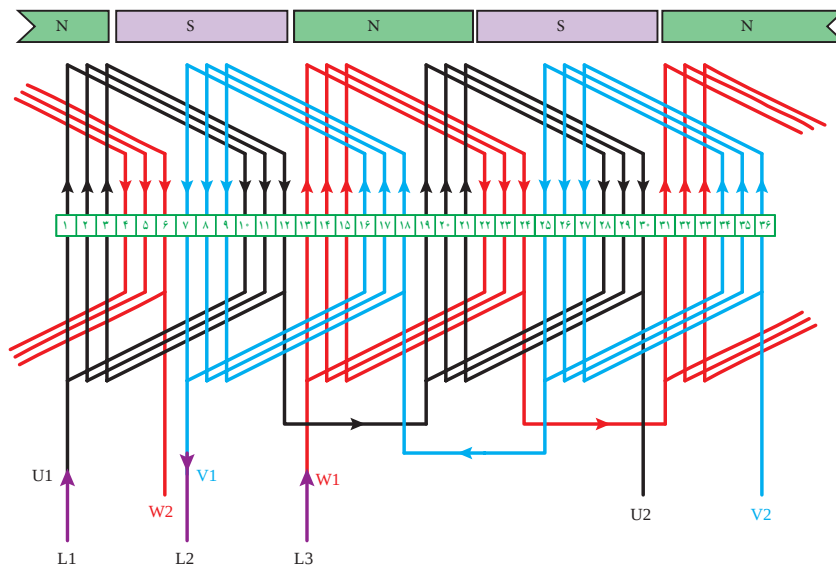
شکل ۴۴ سربندی‌های لازم بین گروه کلاف‌های سه فاز و همچنین سر و ته کلاف‌های سیم‌پیچی‌های سه فاز را نشان می‌دهد.



شکل ۴۴- دیاگرام گسترده موتور ۳۶ شیار یک طبقه

قطب‌سازی روی دیاگرام گسترده موتور

در صفحات قبل با نحوه قطب‌سازی آشنا شده‌اید. برای نمایش تعداد قطب ساخته شده روی دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور کفایت فازها در یکی از موقعیت‌های مکانی در نظر گرفته شود (مثلاً ۳۰ درجه) و سپس با توجه به اینکه در آن لحظه جریان در نیم‌سیکل مثبت یا منفی است و طبق اصولی که در قسمت‌های قبل با آن آشنا شده‌اید جهت جریان جاری در گروه کلاف‌های سه فاز را تعیین می‌کنیم. در نتیجه شیارهای با جهت جریان یکسان یک قطب را می‌سازند. طبق قرارداد جهت جریان‌های ورودی به کلاف‌ها (رو به بالا) قطب N و جهت جریان‌های خروجی از کلاف‌ها (رو به پایین) قطب S را می‌سازند. در شکل ۴۵ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور سه فاز ۳۶ شیار ۴ قطب یک طبقه را به همراه قطب‌سازی در شیارهای آن برای موقعیت ۳۰ درجه مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۵- دیاگرام گسترده موتور ۳۶ شیار ۴ قطب یک طبقه (دیاگرام کامل موتور)

هدف: کلاف‌گذاری، سربندی الکتروموتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب به صورت یک طبقه مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۳۶ شیار ۲- کلاف‌پیچ ۳- سیم لاکه سایز ۰/۵-۴ عایق برشمان ۵- کاتر ۶- خط‌کش ۷- کولیس ۸- نخ ۹- هویه، سیم لحیم و روغن لحیم کاری ۱۰- سیم افشان سایز ۱ میلی‌متر مربع ۱۱- سیم‌چین و دم‌باریک

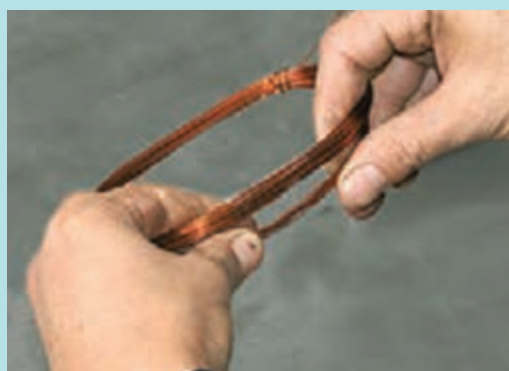
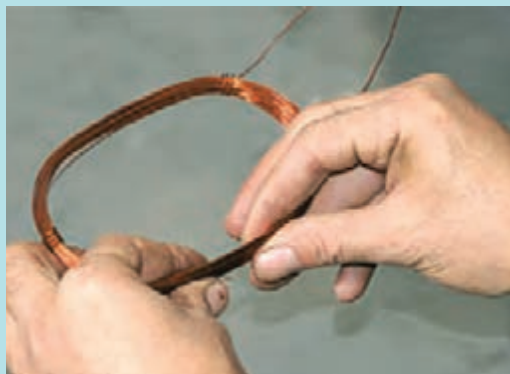
مراحل انجام کار:

پس از عایق‌کاری استاتور در کار عملی شماره ۱، نوبت به کلاف‌گذاری و سیم‌پیچی موتور می‌رسد. بدین‌منظور مراحل را به صورت زیر دنبال می‌کنیم:

۱- جای‌گذاری کلاف‌ها در شیارها: در شکل ۴۶ نحوه صحیح در دست گرفتن کلاف نشان داده شده است. به نحوه قرارگیری کلاف در بین انگشتان دقت نمایید.

کار عملی





شکل ۴۶- نحوه درست گرفتن کلاف در دست و حالت صحیح انگشتان

هنگام جا زدن کلاف‌ها باید بسیار دقت کرد (مخصوصاً کلاف دوم) که جهت جا زدن آن به درستی انجام شود تا موجب تقویت شار مغناطیسی شود. پس از قرار دادن هر بازو در داخل شیار باید یک عایق بر روی بازوی کلاف جازده شده قرار دهید تا سیم‌پیچ از جای خود خارج نشود. در شکل‌های ۴۷ و ۴۸ به ترتیب نحوه جا زدن کلاف به شکل صحیح و همچنین نحوه نادرست جا زدن نشان داده شده است.



شکل ۴۸- نحوه نادرست کلاف گذاری

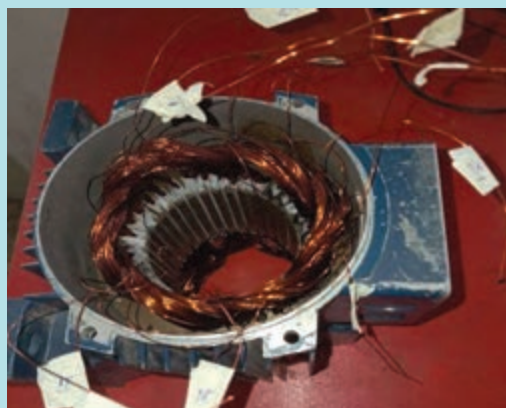


شکل ۴۷- نحوه صحیح جازدن کلاف

لازم به ذکر است اولاً هنگام جا زدن بازوی کلاف‌ها باید عایق تکه سیم لاکی پیچیده شده دور هر بازو را نیز باز کنید، ثانیاً عایق بر روی بازوی کلاف نباید از شیار بیرون بزند زیرا فاصله هوایی بین استاتور و روتور بسیار ناچیز است و هنگام جا زدن روتور این عایق‌ها مشکل ساز خواهند شد. برای راحتی کار در مراحل بعدی توصیه می‌شود با یک تکه نوار چسب کاغذی شماره شیارهایی که سر و ته کلاف از آنها خارج می‌شود مشخص نمایید.



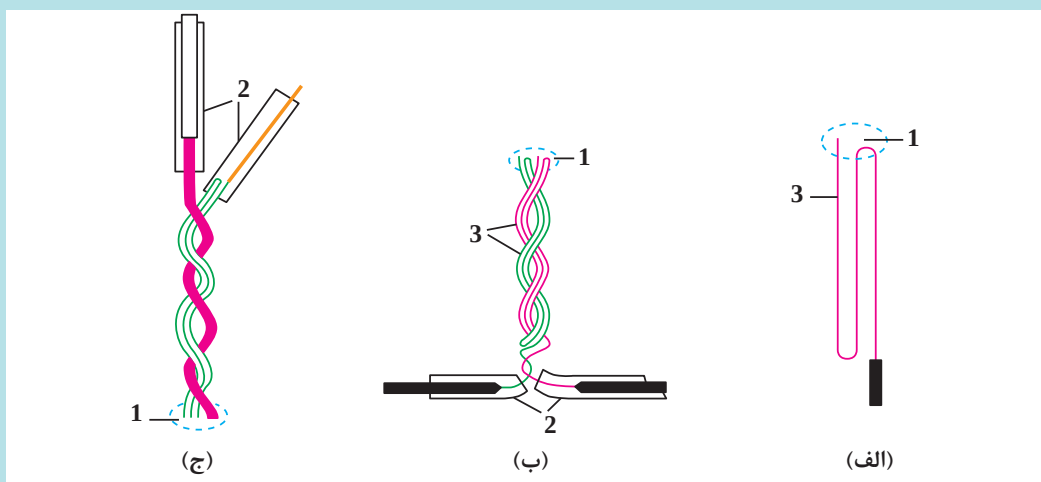
شکل ۴۹- کلاف‌های آماده و جا زده شده در شیارها



شکل ۵۰- جای گذاری تمام کلاف‌ها

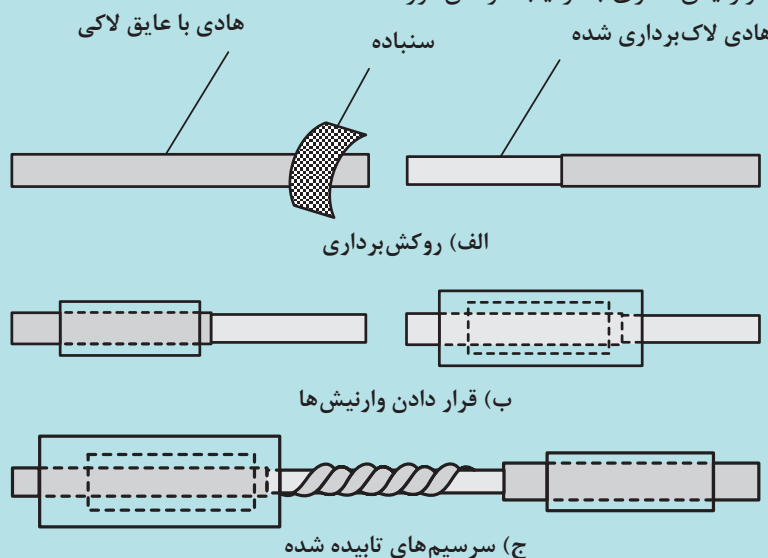
۲- لحیم کاری اتصالات داخلی (سربندی موتور): برای اتصال دو سیم لاکی یا سیم لاکی به سیم افشان می‌بایست از لحیم کاری جهت استحکام بیشتر استفاده نمود. در لحیم کاری سیم‌های ضخیم و تسمه‌ها به یکدیگر، بهتر است هریک از سیم‌ها جداگانه قلع اندود و سپس به یکدیگر لحیم شوند. اگر درجه حرارت کار موتور بالا باشد، نمی‌توان با لحیم کردن معمولی کلاف‌ها را به یکدیگر یا به ترمینال خروجی اتصال داد. در این صورت می‌توان از لحیم فسفر مس (LCuP8) با درجه ذوب ۷۰۷ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت لحیم کاری ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد استفاده نمود. در صورتی که قطر هریک از سیم‌ها از یک میلی‌متر کمتر باشد، باید سیم‌ها را با خم کردن مجدد، آن چنان

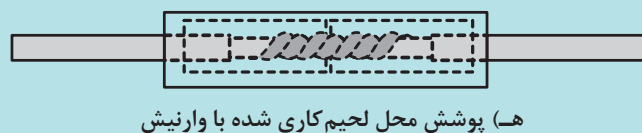
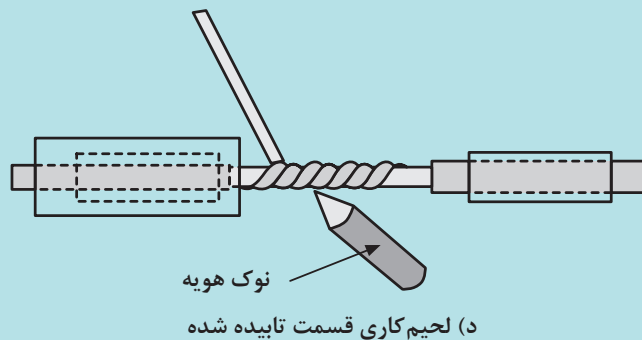
پهلوی هم قرار داد که سطح جوشکاری از 0.75 میلی‌متر مربع کمتر نباشد. در سیم‌های با قطر کمتر از یک میلی‌متر مطابق شکل زیر محل جوش را چند بار خم نموده و در محل تاخورد به یکدیگر می‌تابانیم و سپس سر آنها را جوش می‌دهیم.



شکل ۵۱- چگونگی اتصال سیم‌ها با قطر کمتر از یک میلی‌متر

لازم به ذکر است تمام قسمت‌هایی که به یکدیگر جوش داده یا لحیم می‌شوند می‌بایست توسط وارنیش از سایر نقاط عایق شوند. این وارنیش‌ها قبل از اتصال دو انتهای سیم به یکدیگر در روی سیم‌ها جا زده می‌شوند. این کار علاوه بر عایق کردن، از خوردگی الکتریکی که تحت تأثیر مواد لحیم‌کاری و قرار گرفتن محل اتصال بر روی سیم‌های دیگر ایجاد می‌شود جلوگیری می‌کند. در شکل زیر نحوه وارنیش‌گذاری به ترتیب مراحل آورده شده است.





شکل ۵۲- نحوه وارنیش گذاری



شکل ۵۳- لاک برداری سیم لاک



شکل ۵۴- لحیم کاری سر سیم های موتور

به یاد داشته باشید قبل از اتصال سیم لاک به سیم افشان یا به سیم لاک دیگر، حتماً لاک سیم محل اتصال با یک سنباده نرم برداشته شود (شکل ۵۳).

لازم به ذکر که روش های دیگری مانند روش شیمیایی جهت برداشتن لاک روی سیم لاک وجود دارد که در اینجا به جزئیات آن اشاره نشده است.

- با توجه به توضیحات داده شده با انجام لحیم کاری مانند شکل ۵۴ اتصالات لازم را انجام داده و ۶ سیم مربوط به (سر و ته) کلاف های موتور را به تخته کلم موتور هدایت کرده و زیر پیچ های مربوطه اتصال دهید.

در ادامه باید ۶ سیم خارج شده از شیارهای موتور را طبق مطالبی که آموزش آن داده شد با یکدیگر به صورت اتصال نزدیک متصل کرد.

یعنی سیم خارج شده از شیار شماره ۱۲ که ته کلاف گروه اول از فاز اول است را به سیم خارج شده از شیار ۱۹ که سر کلاف گروه دوم از فاز اول است را به یکدیگر متصل کنید. (اتصال ته به سر) به همین ترتیب سیم خارج شده از شیار شماره ۱۸ را به سیم خارج شده از شیار شماره ۲۵ و همچنین سیم خارج شده از شیار شماره

۲۴ را به سیم خارج شده از شیار شماره ۳۱ اتصال داده و پس از عایق کاری توسط وارنیش در داخل موتور قرار دهید. شکل‌های ۵۵ و ۵۶ فرایند لحیم کاری را نشان می‌دهد.



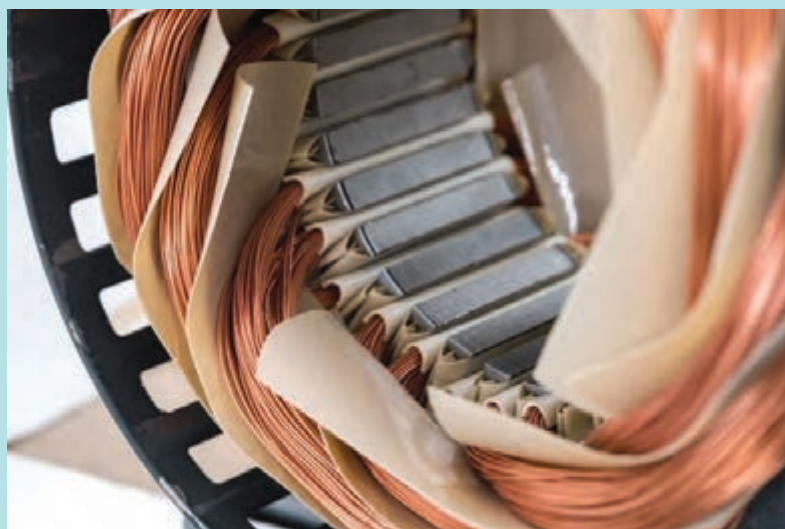
شکل ۵۶- لحیم کاری اتصالات کلاف‌های موتور



شکل ۵۵- سربندی (اتصال) کلاف‌های موتور

۳- هدایت سر سیم‌های موتور به تخته کِلِم: سرکلاف‌های $U1$ ، $V1$ و $W1$ سه فاز موتور که از شیارهای ۱، ۷ و ۱۳ و ته کلاف‌های $U2$ ، $V2$ و $W2$ که از شیارهای ۲۸، ۳۴ و ۴ خارج شده‌اند را مطابق توضیحات داده شده در متن درس به تخته کِلِم موتور هدایت کرده و زیر پیچ‌های مربوطه ببندید.

۴- عایق‌گذاری بین گروه کلاف‌های فازها: با استفاده از کاغذ برشمان در روی پیشانی سیم‌پیچی موتور، بین گروه کلاف‌های فازهای مختلف را عایق‌گذاری کنید (شکل ۵۷).



شکل ۵۷- عایق‌گذاری بین پیشانی کلاف فازهای مختلف

- ۱ ساختمان داخلی موتورهای AC عمدتاً از دو بخش اصلی..... و..... تشکیل شده است.
- ۲ طرز کار موتور القایی را شرح دهید.
- ۳ اجزای یک موتور سه فاز را توضیح دهید.
- ۴ در یک الکتروموتور سه فاز ۲۴ شیار، ۴ قطب، گام کامل و یک طبقه، شروع فاز دوم کدام است؟
- الف) ۵ (ب) ۷ (ج) ۹ (د) ۱۱
- ۵ موتور سه فاز ۳۶ شیار با سرعت حدود ۱۰۰۰ دور بر دقیقه می‌چرخد. اگر به‌صورت یک طبقه و گام کامل سیم‌پیچی شود، تعداد گروه کلاف هر فاز کدام است؟
- الف) ۱ (ب) ۲ (ج) ۳ (د) ۴
- ۶ محاسبات جدول سیم‌بندی یک الکتروموتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب یک طبقه را نوشته و دیاگرام گسترده آن را رسم نمایید.

ارزشیابی شایستگی عایق کاری و جازدن کلاف‌های موتور سه فاز یک طبقه

نام و نام خانوادگی		شماره ملی		تاریخ ارزشیابی	نوبت
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه	تعمیر کاران برق صنعتی	کد پیمان/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۳
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۳۱	کار	عایق کاری و جازدن کلاف‌های موتور سه فاز یک طبقه	سطح شایستگی	مهارت

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	آماده‌سازی و عایق‌گذاری داخل شیارهای استاتور	در کارگاه سیم‌پیچی توسط استاتور، عایق، خط‌کش، قیچی و درمیت تقریبی ۹۰ دقیقه	مشاهده مستقیم، چک‌لیست مراحل کار، بررسی کیفیت عایق‌گذاری، پرسش شفاهی درباره اصول عایق کاری و ایمنی	فرم دهی عایق متناسب با نوع شیار	۳	
				نصب عایق در استاتور	۲	
				برش عایق	۱	
۲	کلاف پیچی بوبین‌ها	در کارگاه سیم‌پیچی با استفاده از کلاف پیچ، سیم لاک، سیم چین و در مدت ۹۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی ابعاد و تعداد دور کلاف‌ها، ارزیابی کیفیت کلاف‌های ساخته‌شده	سیم پیچی یکپارچه	۳	
				سربندی و تعیین جهت بوبین‌ها	۲	
				سیم پیچی بوبین‌ها	۱	
۳	جازدن کلاف‌ها	در کارگاه سیم‌پیچی استاتور، کلاف‌های سیم لاک، وارنیش، سیم افشان، اهم متر، هویه و قلع، جعبه ابزار سیم‌کشی در مدت ۱۵۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی صحت کلاف‌گذاری و سربندی	جازدن کلاف‌ها و عایق کاری و فرم‌دهی	۳	
				جازدن کلاف‌ها و عایق کاری	۲	
				جازدن کلاف‌ها	۱	
۴	اتصال سرسیم‌ها به ترمینال و تست الکتریکی	در کارگاه سیم‌پیچی و با استاتور، سیم لاک، بوبین پیچ، وارنیش، لاک، سیم افشان، اهم متر، هویه و قلع، جعبه ابزار سیم‌کشی در مدت ۹۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار سربندی	تست با ولتاژ نامی	۳	
				اتصال سرسیم‌ها و وارنیش گذاری و تست الکتریکی	۲	
				اتصال سرسیم‌ها	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت‌پذیری و رعایت اخلاق حرفه‌ای در طول انجام فعالیت‌ها	مشاهده مستقیم، چک‌لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار	رعایت نسبی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار.	۲	
				عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، یا بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.	۱	

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)

☐ بلی
☐ خیر

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ از جازدن کلاف‌ها و اتصال سرسیم‌ها به ترمینال و تست الکتریکی (مراحل بحرانی)
- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش
- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

- مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت‌ها
- تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲

راه اندازی و آزمایش موتورهای سه فاز یک طبقه

آیامی دانید

- ۱ پلاک روی موتور چه اطلاعاتی به ما می دهد؟
- ۲ نواریندی موتور چگونه انجام می شود؟
- ۳ روتور چگونه در محل خود قرار می گیرد؟
- ۴ استانداردهای نام گذاری سرهای موتور روی تخته کلم چیست؟
- ۵ اتصالات ستاره و مثلث سیم پیچی های موتور چگونه بوده و چه تفاوت هایی دارد؟
- ۶ در راه اندازی موتور القایی سه فاز به چه نکاتی باید توجه کرد؟
- ۷ روش های قرائت جریان موتور چگونه است؟
- ۸ عیوب الکتریکی موتور سه فاز چطور شناسایی و رفع می شوند؟

استاندارد عملکرد

- پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود موتور را نواریندی و آماده راه اندازی نمایند.
- همچنین آنها قادر خواهند بود راه اندازی الکتروموتور سه فاز یک طبقه را انجام دهند.

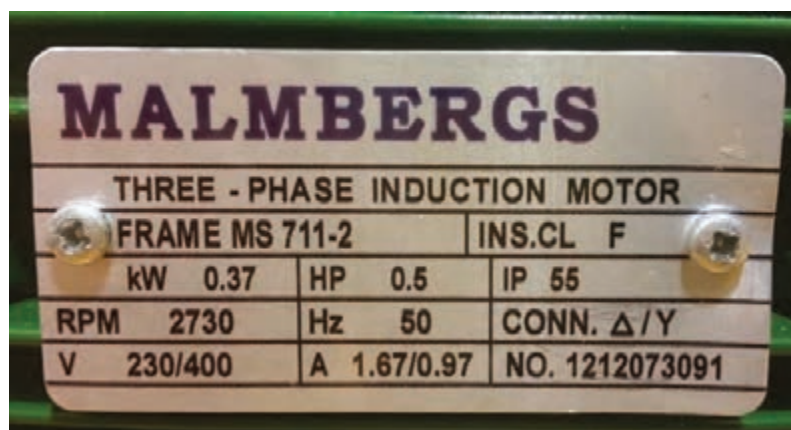


مقدمه

آشنایی با ساختار، مشخصات نامی و نحوه بهره‌برداری صحیح از این موتورها، یکی از مهارت‌های کلیدی برای هنجریان رشته برق محسوب می‌شود. در این واحد یادگیری، ابتدا به بررسی اطلاعات درج شده بر روی پلاک موتور به عنوان شناسنامه فنی پرداخته می‌شود تا هنجرو بتواند پارامترهای مهمی مانند ولتاژ، جریان، توان، فرکانس، سرعت و نوع اتصال را به درستی تحلیل و تفسیر کند. سپس اصول سیم‌بندی اتصال‌های ستاره و مثلث را آموزش دیده و موتور را راه‌اندازی کند.

پلاک موتور

هر ماشین الکتریکی دارای یک پلاک است که مانند شناسنامه آن است. بر روی پلاک موتور اطلاعات مهمی درج شده که نشان‌دهنده پارامترهای الکتریکی و مکانیکی موتور است. مهم‌ترین این اطلاعات عبارت‌اند از: ولتاژکار، فرکانس، توان، تعداد فاز، ضریب توان، کلاس عایقی، نحوه اتصال و... است. نکته بسیار مهم که از ولتاژ ثبت شده در پلاک می‌توان دریافت نمود این است که موتور در حالت ستاره، مثلث یا ستاره مثلث می‌تواند کار کند. در شکل زیر پلاک یک موتور سه فاز آورده شده است.



شکل ۵۸- پلاک یک موتور القایی سه فاز

در شکل ۵۸ توان موتور نیم اسب بخار، با سرعت 2730 دور بر دقیقه و فرکانس 50 هرتز است. ولتاژ کاری موتور در دو حالت فازی (230 ولت) و خطی (400 ولت) بوده نوع اتصال آن ستاره/ مثلث است. اطلاعات زیر توسط سازندگان موتور روی پلاک موتورها ثبت می‌شود.

۱- تعداد فازها: تعداد فازهای یک موتور بیانگر تک فاز و یا سه فاز بودن موتور بوده و بر روی پلاک موتور ذکر می‌شود.

۲- تیپ موتور: یکی از مشخصاتی که بر روی پلاک موتورها ذکر می‌شود، تیپ موتور است. این مشخصه توسط سازنده به صورت حروف و اعداد مشخصی بیان شده و حاوی پاره‌ای از اطلاعات درباره موتور همچون Frame یا فاصله مرکز شفت موتور تا محل نشیمن‌گاه، قطر شفت موتور و... است.

- ۳- توان نامی:** توان نامی یک موتور، میزان توانی است که موتور در شرایط کار نامی خود می‌تواند به بار تحویل دهد. این توان با توانی که موتور از شبکه می‌گیرد، متفاوت است.
- توانی که موتور از شبکه می‌گیرد برابر مجموع توان خروجی موتور و تلفات الکتریکی و مکانیکی موتور است. این توان معمولاً بر حسب اسب بخار بیان می‌شود، هر اسب بخار معادل ۷۴۶ وات است.
- ۴- نوع کار:** این مشخصه با علائم S۱ تا S۱۰ نشان داده می‌شود که هر کدام از این حالت‌ها بیانگر نوع کار و مدت زمان روشن بودن ماشین به‌طور نسبی است.
- به‌عنوان مثال S۱ بیانگر این است که موتور تحت بار نامی، در درجه حرارت پایدار و بدون وقفه کار می‌کند بدون اینکه از دمای مجاز موتور تجاوز کند.
- ۵- کلاس عایقی یا گروه مواد عایقی:** این مشخصه بیانگر میزان استقامت عایقی الکتروموتور در برابر حرارت است. در حالت‌هایی که کلاس عایقی استاتور و روتور متفاوت باشد. ابتدا کلاس عایق سیم‌پیچ استاتور و سیم‌پیچ روتور ذکر می‌شود. کلاس عایقی را معمولاً با حروف انگلیسی نشان می‌دهند. معمول‌ترین کلاس‌های عایقی برای موتورهای، کلاس F و B است که به ترتیب می‌توانند دماهای ۱۳۰، ۱۵۵ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل کنند. این دماها به ازای دمای محیط ۴۰ درجه سانتی‌گراد داده شده‌اند.
- ۶- ولتاژ نامی:** ولتاژ نامی در واقع ولتاژی است که موتور برای کار در آن ولتاژ طراحی شده است. در بازار، معمولاً موتورهای برای ولتاژهای نامی مختلف وجود دارند که این مقادیر استاندارد شده هستند و مقادیر خارج از استاندارد برای ولتاژ نامی وجود ندارد.
- ۷- فرکانس نامی:** فرکانس ولتاژی که به موتور اعمال می‌شود. بر روی سرعت موتور و تلفات موتور تأثیر به‌سزایی دارد. معمولاً موتورهای یک فرکانس نامی دارند که در این فرکانس موتور می‌تواند به سرعت نامی خود برسد.
- ۸- جریان نامی:** جریان مجازی است که می‌تواند در شرایط کارکرد عادی، از سیم‌پیچ‌های استاتور موتور عبور کند. جریانی که موتور از شبکه می‌کشد، در شرایط طولانی مدت نباید از این جریان بیشتر باشد.
- ۹- سرعت نامی:** سرعتی است که موتور برای کار در این طراحی شده است. سرعت نامی یک موتور معمولاً بر حسب دور در دقیقه و یا rpm بیان می‌شود. علاوه بر سرعت نامی، سرعت سنکرون موتور نیز بر روی پلاک آن ذکر می‌شود.
- ۱۰- ضریب توان نامی:** به‌طور کلی از آنجا که در موتورهای القایی از سیم‌پیچ‌های مختلف استفاده شده و این سیم‌پیچ‌ها دارای خاصیت سلفی است لذا میان جریانی که موتور از شبکه می‌کشد و ولتاژ شبکه اختلاف فازی به‌وجود می‌آید. این اختلاف فاز باعث می‌شود تا ضریب توان موتور کمتر از یک باشد. معمولاً سازنده‌ها ضریب توان موتور را در شرایط نامی یعنی بار، ولتاژ و فرکانس نامی، ارائه می‌کنند.
- ۱۱- نوع محافظت:** این مشخصه توسط حروف IP و دو عدد که به دنبال آن می‌آید مشخص می‌شود. عدد اول بیانگر میزان مقاومت موتور در برابر تماس و نفوذ اجسام خارجی است و عدد دوم نیز میزان مقاومت موتور در برابر نفوذ آب را مشخص می‌کند.
- به‌عنوان مثال اگر بر روی پلاک موتوری مشخصه IP44 ذکر شده باشد، بیانگر آن است که موتور در برابر اجسام خارجی بزرگ‌تر از قطر ۱ میلی‌متر و همچنین در مقابل پاشیده شدن آب از هر جهتی حفاظت شده است. موتورهایی که در آب غوطه‌ورند باید دارای درجه حفاظتی IP68 باشند.
- ۱۲- نوع یا کلاس قفس روتور:** این مشخصه را با حروف انگلیسی C و B یا D نشان می‌دهند. هر کدام از این نوع ماشین‌ها دارای مشخصه سرعت - گشتاور متفاوتی هستند.

به عنوان مثال موتور با تیپ D دارای گشتاور راه اندازی زیاد و جریان راه اندازی کم است. همچنین در شرایط کار عادی، سرعت آن فاصله زیادی تا سرعت سنکرون موتور دارد.

۱۳- ضریب خدمات یا ضریب کارکرد: این مشخصه بیانگر میزان اضافه باری است که موتور می تواند در شرایط کاری طولانی مدت تحمل کند. مثلاً اگر ضریب خدمات برابر با $1/15$ باشد یعنی، موتور می تواند باری به اندازه $1/15$ برابر بار نامی خود را تحمل کند.

۱۴- حداکثر دمای محیط: حداکثر دمایی است که موتور در آن محیط می تواند در شرایط بار نامی خود کار کند بدون اینکه به عایق موتور آسیبی وارد شود. این دما معمولاً برحسب سانتی گراد بیان می شود.

۱۵- بازده: بازده یک موتور برحسب تعریف، نسبت توانی است که موتور به بار می دهد، به توانی که موتور از شبکه می گیرد. در بسیاری از موارد بازده موتور در شرایط کار نامی نیز روی پلاک موتور ذکر می شود.

۱۶- نوع اتصال سیم پیچی استاتور: در موتورهای القایی سه فاز ممکن است سیم پیچی های استاتور در داخل موتور توسط سازنده به صورت ستاره یا مثلث بسته شده باشند. در این حالت نوع اتصال بر روی پلاک موتور ذکر می شود.

همچنین ممکن است سازنده، امکان دسترسی به تمامی سرهای سیم پیچ های استاتور را به مصرف کننده داده باشد تا بتواند موتور را به دلخواه خود، ستاره یا مثلث ببندد.

چند نمونه پلاک موتور سه فاز از شرکت های تولید کننده مختلف را یافته و اطلاعات استخراج شده از هریک از آنها را بررسی نموده و به تفکیک در دفتر گزارش کار خود ثبت نمایید.

پژوهش کنید



در واحد یادگیری قبل نحوه ساخت عایق، تنظیم کلاف پیچ، کلاف گذاری و سربندی موتورهای القایی سه فاز بیان شد. در این واحد یادگیری نواربندی، نحوه سوار کردن و راه اندازی موتور القایی شرح داده می شود.

کار عملی



هدف: تست مقاومتی سیم پیچی، اتصال بدنه و نواربندی (نخ پیچی) سیم پیچی

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۳۶ شیار سیم پیچی شده در کار عملی ۲- روتور ۳- درپوش موتور ۴- چکش لاستیکی

۱- اندازه گیری مقاومت اهمی و اتصال بدنه سیم پیچ ها: به کمک یک اهم متر و راهنمایی مربی خود سیم پیچی های موتور را از نظر سالم بودن سربندی گروه کلاف های سه فاز و همچنین نداشتن اتصال بدنه مورد بررسی قرار دهید.



شکل ۵۹- تست بدنه و تست صحت سر و ته کلاف ها



در پایان کار لحیم کاری با راهنمایی مربی خود و استفاده از قسمت اهم متری یک دستگاه مولتی متر سر و ته کلاف های هر فاز را مطابق شکل ۵۹ مورد بررسی قرار دهید تا از عدم قطعی در اتصالات ایجاد شده اطمینان حاصل کنید.

راهنمایی

۱ با اتصال اهم متر به سروته کلاف های هر فاز می بایست کمترین مقاومت مشاهده شود و در ضمن سر یا ته کلاف های هر فاز با فاز دیگر هیچ گونه ارتباطی نداشته باشند (مقاومت بی نهایت نشان داده شود)

۲ برای تشخیص اینکه سیم پیچی انجام شده با بدنه موتور هیچ ارتباطی ندارد (عدم اتصال بدنه) می بایست یک سر سیم اهم متر به بدنه موتور اتصال داده و سر دیگر اهم متر به تک تک سرسیم های موتور اتصال داده شود. در صورت عدم وجود اتصال بین بدنه و سیم پیچی موتور، اهم متر مقاومت بی نهایت را نشان خواهد داد.

۲- **نواربندی (نخ پیچی) موتور:** برای محکم شدن سیم های داخل موتور و نظم گرفتن آنها، عملیات نخ بندی باید انجام شود. برای نخ بندی از نخ ها و یا نوارهای کنفی موجود در کارگاه استفاده می شود. با راهنمایی مربی خود و یک تکه سیم لاکی با قطر بالا (مثلاً ۰/۷ میلی متر) یک سوزن درست کرده و کار نخ بندی را مطابق تصاویر نشان داده شده شکل زیر و نظارت مربی کارگاه انجام دهید. دقت کنید برای بهتر شدن فرایند نخ بندی، وارنیش های دور اتصالات زیر نخ به طور محکم قرار داده شوند. در موتورهای سه فاز ضروری است که گروه کلاف فازهای مختلف از یکدیگر عایق شوند به همین خاطر و با راهنمایی مربی خود در هنگام نواربندی از کاغذ برشمان به عنوان عایق بین کلاف ها استفاده کنید.



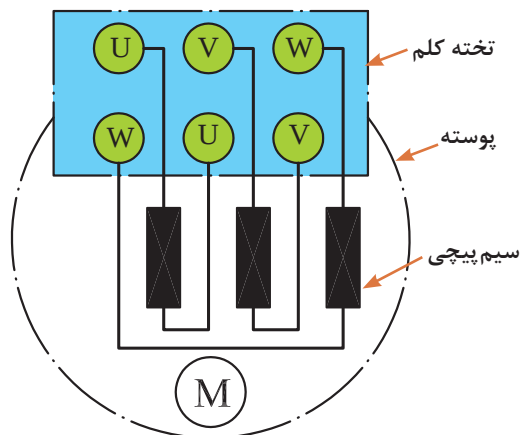
شکل ۶۱- استاتور پس از سربندی و نواربندی



شکل ۶۰- نواربندی

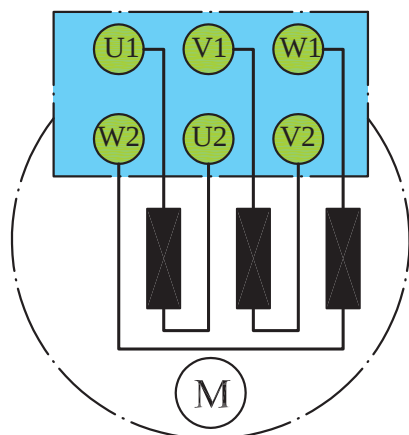


اتصال کلاف‌های موتور



شکل ۶۲- شمای حقیقی موتور سه فاز در استاندارد VDE

برای اتصال سیم‌پیچ‌های موتور سه فاز، سر سیم‌ها از داخل پوسته به یک محفظه یا ترمینال موتور هدایت می‌شوند که اصطلاحاً به آن «تخته کلم» گویند. در استاندارد (VDE) برای نشان دادن سر و ته کلاف‌های فاز از حرف استفاده می‌شود. برای نمایش سر کلاف فازهای اول تا سوم به ترتیب از حروف Y، U، V و W و برای نمایش ته کلاف‌ها به ترتیب از X، Z استفاده می‌شود. در شکل ۶۲ شمای حقیقی یک موتور سه فاز در استاندارد VDE را مشاهده می‌کنید.

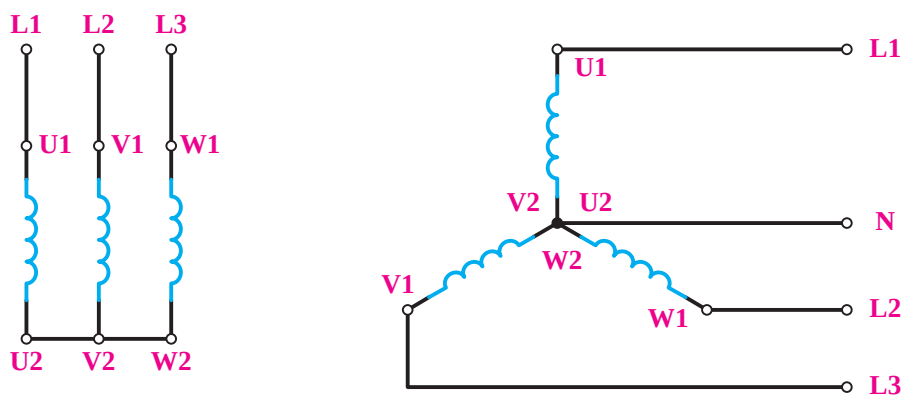


شکل ۶۳- شمای حقیقی موتور سه فاز در استاندارد IEC

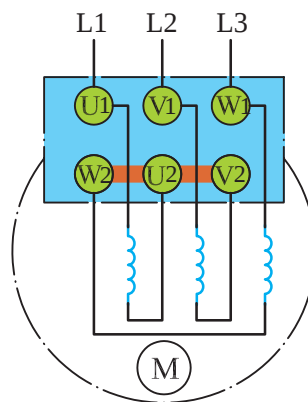
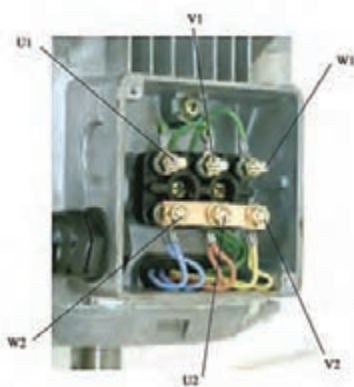
در استاندارد IEC برای نشان دادن سر کلاف‌ها به ترتیب از کلاف اول تا سوم از حروف (U1، V1 و W1) و برای نمایش ته کلاف‌ها به ترتیب از (U2، V2 و W2) استفاده می‌شود. در شکل ۶۳ چیدمان تخته کلم با توجه به استاندارد IEC نشان داده شده است.

برای راه‌اندازی موتورهای سه فاز آسنکرون، سیم‌پیچی‌های استاتور موتور در قالب یکی از اتصالات ۱- اتصال ستاره و ۲- اتصال مثلث راه‌اندازی می‌شوند.

۱- اتصال ستاره: هرگاه به ابتدای سیم‌پیچ‌های موتور (سر کلاف‌های U1، V1 و W1) به ترتیب شبکه سه فاز (L1، L2 و L3) را وصل کرده و انتهای سیم‌پیچ‌ها (ته کلاف‌ها U2، V2 و W2) را به یکدیگر وصل کنیم این اتصال را «اتصال ستاره» گویند. در تصاویر شکل ۶۴ اتصال ستاره به صورت مداری و در شکل ۶۵ نحوه اتصال روی تخته کلم موتور نشان داده شده است.

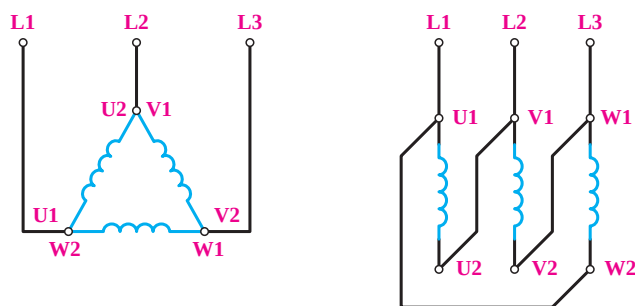


۶۴- شکل مداری اتصال ستاره

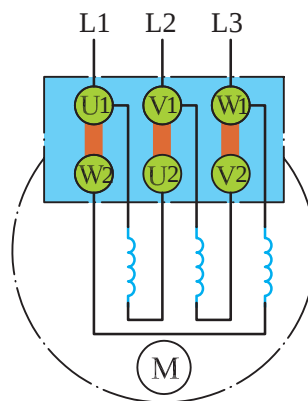
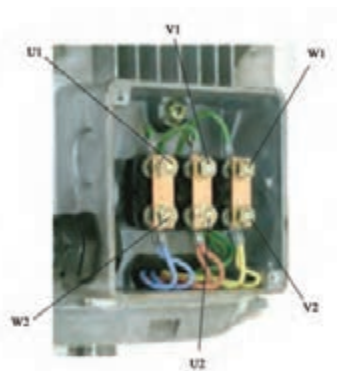


۶۵- اتصال ستاره روی تخته کلم موتور

۲- اتصال مثلث: هرگاه انتهای کلاف اول (U2) به ابتدای کلاف دوم (V1) و انتهای کلاف دوم (V2) به ابتدای کلاف سوم (W1) و به همین ترتیب انتهای کلاف سوم (W2) به ابتدای کلاف اول (U1) وصل شود، به این اتصال «اتصال مثلث» گویند. در شکل ۶۶ نحوه اتصال مثلث به صورت مداری و در شکل ۶۷ نحوه اتصال روی تخته کلم موتور نشان داده شده است.



۶۶- شکل مداری اتصال مثلث



شکل ۶۷- اتصال مثلث روی تخته کلم موتور

کار عملی



هدف: سوار کردن روتور و راه‌اندازی موتور
مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۲۴ یا ۳۶ شیار ۲- روتور ۳- درپوش موتور ۴- چکش لاستیکی
مراحل انجام کار:



شکل ۶۸- جا زدن روتور

سوار کردن روتور و بستن درپوش‌های موتور:
 ■ روتور را از سمت مخالف تخته کلم با احتیاط در داخل استاتور جا بزنید به طوری که سیم‌ها و عایق‌های داخل موتور آسیب نبینند (شکل ۶۸).



شکل ۶۹- سوار کردن روتور

(همان‌طور که گفته شد در صورتی که عایق‌ها از شیارها بالا زده باشد، روتور موقع جا زدن، گیر خواهد کرد).
 ■ درپوش موتور را از سمت تخته کلم جا زده با یک چکش پلاستیکی به آرامی به دو طرف ضربه زده تا درپوش در جای خود قرار گیرد. دقت کنید تا به پروانه و درپوش آسیب وارد نشود (شکل ۶۹).

■ باید دقت نمود که محل بستن پیچ‌های درپوش و پوسته تنظیم باشد و سپس پیچ‌های درپوش را قرار داده و با محکم کردن آن روتور را به پوسته موتور وصل کنید.

دقت کنید پیچ‌های درپوش را با اندازه‌ای محکم کنید که روتور بعد از سوار شدن به راحتی و با دست بچرخد و گیر مکانیکی نداشته باشد.

تذکر



شکل ۷۰- تشخیص گیر مکانیکی با چرخاندن محور

۱- تشخیص گیر مکانیکی با چرخاندن محور

■ محور روتور را با دست بچرخانید. در صورتی که به سختی چرخید باید مجدداً روتور را باز کرده و محل‌های درگیر روتور و استاتور (گیرهای مکانیکی) را برطرف نمایید (شکل ۷۰).
 ■ بهتر است قبل از آزمایش و اتصال به برق سه فاز، تست اتصال بدنه سیم‌پیچی‌ها دوباره بررسی شود. زیرا ممکن است در هنگام جا زدن روتور سیم‌ها آسیب دیده و با بدنه تماس پیدا کرده باشند.

۲- ایجاد اتصال ستاره روی تخته کلم:

■ با استفاده از تسمه‌های مسی روی تخته کلم انتهای کلاف‌های موتور (U2، V2 و W2) را به صورت ستاره اتصال دهید.

۳- اتصال سیم‌پیچی به تابلوی برق و راه‌اندازی موتور:

■ موتور را روی میز آزمایش قرار داده و سه آمپرتر را در مسیر سیم ورودی هر یک از سرکلاف‌های موتور (U1، V1 و W1) متصل کنید.

نکته مهم

هرگز بدون حضور مربی تابلوی آزمایش را روشن نکرده و موتور را راه‌اندازی نکنید.
 ■ در حضور مربی کارگاه و با رعایت نکات ایمنی، کلید تابلو را وصل کرده و موتور را راه‌اندازی کنید.
 ■ جریان لحظه راه‌اندازی هریک از فازها را اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید.

$$I_{\text{start}} (L1) = \dots\dots\dots I_{\text{start}} (L2) = \dots\dots\dots I_{\text{start}} (L3) = \dots\dots\dots$$

تحقیق کنید



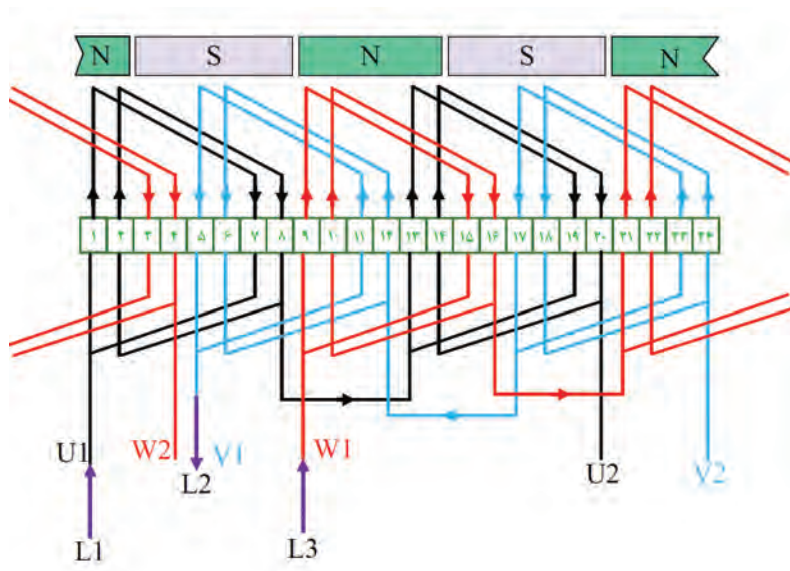
۱ در صورت وجود اختلاف بین جریان‌های سه فاز با یکدیگر علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

■ پس از ۲۰ ثانیه کار کردن موتور جریان دایم کار هریک از فازها را از روی آمپرترها قرائت نموده و یادداشت کنید.

$$I_L (L1) = \dots\dots\dots I_L (L2) = \dots\dots\dots I_L (L3) = \dots\dots\dots$$

۲ اگر اختلاف بین جریان‌های راه‌اندازی (I_{start}) و دایم کار (I_L) سه فاز وجود دارد علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

راهنمایی: به منظور کاهش خطا، بهتر شدن کیفیت کار و همچنین داشتن مرجعی برای مقایسه نقشه ترسیم شده توسط هنرجویان، دیاگرام سیم‌پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب یک طبقه در شکل ۷۱ نشان داده شده است.



شکل ۷۱- دیاگرام گسترده موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب یک طبقه با گام کامل

هنرآموزان عزیز، با توجه به اینکه ولتاژ کار مدار زیاد و خطر برق‌گرفتگی وجود دارد، لطفاً تذکرات لازم و نکات ایمنی را به هنرجویان گوشزد نموده و ترتیبی اتخاذ نمایید که بدون حضور مربی موتور سیم‌پیچی شده آزمایش نشود.

تذکر



توضیح: تا اینجا کار سیم‌پیچی یک موتور سه فاز تک طبقه گام کامل به پایان رسید. این کار به صورت یک کار آموزشی است. در صورتی که قرار باشد این موتور در شرایط واقعی کار کند، علاوه بر تغییراتی در تعداد دور و قطر سیم متناسب با توان مورد نیاز، مرحله بعدی به نام شارلاک زدن و پخت وجود دارد که هنرجویان علاقه‌مند می‌توانند در فیلم‌های آموزشی آن را دنبال نمایند.

عیب‌یابی موتورهای الکتریکی

موتورهای الکتریکی مانند تمامی تجهیزات و وسایل الکتریکی دیگر بر اثر اتفاقات دچار آسیب شده، سوخته یا معیوب می‌شوند. آزمایش و عیب‌یابی موتورهای سه فاز شامل مجموعه‌ای از بررسی‌های ظاهری، مکانیکی و تست‌های الکتریکی است. دو دسته از عیب‌های مکانیکی و الکتریکی در موتورهای سه فاز رخ می‌دهد که در نوع سیم‌پیچی یک طبقه و دو طبقه تقریباً یکسان است. در این واحد یادگیری به بررسی عیوب الکتریکی

پرداخته و در پودمان بعدی اشکالات مکانیکی بررسی خواهد شد. دلایل مختلفی باعث بروز اشکال در موتورها می‌شود:

۱- رطوبت و آب: نفوذ آب یا رطوبت به داخل موتورهای الکتریکی باعث خرابی در آنها می‌شود. عایق به کار رفته در موتورها می‌بایست خشک باشد و در صورتی که موتور قرار است در محیط نمناک و مرطوب کار کند باید تدابیر لازم برای جلوگیری از آسیب احتمالی اندیشیده شود.

۲- نفوذ گرد و غبار: این امر باعث بالا رفتن دمای موتور شده و به مرور موجب ضعیف شدن و یا از بین رفتن عایق آنها می‌شود. برای جلوگیری از این اتفاق باید طی دوره‌های زمانی موتورهای تمیز و گردوغبار آن توسط پمپ باد یا جاروبرقی برطرف شود. در انجام این کار باید نهایت دقت را به کار برد تا سیم‌های لاک‌پوش عایق‌ها آسیب نبینند.

۳- ضربات مکانیکی: ضربات مکانیکی به خصوص بر محور موتور یا ضربات به استاتور می‌تواند باعث آسیب‌هایی به موتور از قبیل درگیر شدن روتور و استاتور، خارج شدن محور از حالت تعادل و... شده و باعث بالا رفتن حرارت و در نتیجه خرابی موتور شود.

۴- اتصالات معیوب الکتریکی: موتور به دلایل مختلف ممکن است اتصال بدنه و یا اتصال کوتاه شود یا به دلیل اضافه بار بسوزد که این عیوب الکتریکی در ادامه بررسی می‌شود.

■ شناسایی عیوب الکتریکی و برطرف نمودن آن:

عیب‌های الکتریکی در سیم‌پیچ‌ها که وظیفه انتقال جریان و ایجاد شار دارند، اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی ممکن است سیم‌پیچ‌ها دچار ۱- قطعی ۲- اتصال کوتاه ۳- اتصال بدنه شوند.

عیوب الکتریکی موتورهای سه فاز بعضاً از موتورهای تک‌فاز متفاوت است. بنابراین در این مبحث عیوب الکتریکی موتورهای سه فاز بررسی می‌شود.

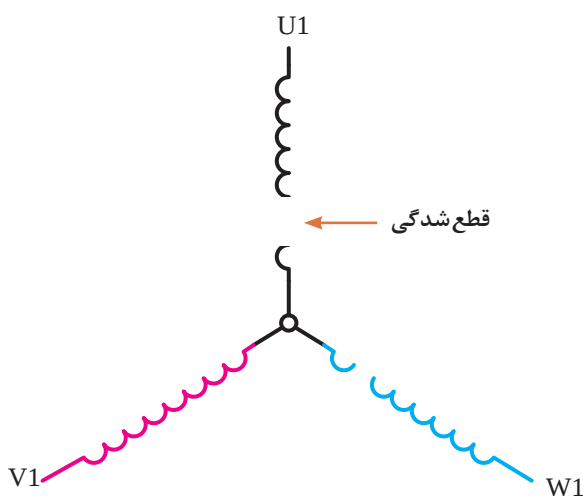
ابتدا موتور را با قرار دادن فیوز مناسب و آمپرتر در مسیر هر فاز برای مدت کوتاه به ولتاژ نامی وصل می‌کنیم. چند حالت ممکن است رخ دهد:

۱- آمپرترها هیچ جریانی را نشان ندهند:

در این وضعیت مسیر سیم‌پیچی فازها دچار قطع‌شدگی شده است. برای تشخیص این موضوع می‌بایست اتصالات سر و ته کلاف‌های موتور را از یکدیگر جدا نموده و مقاومت اتصالات گروه کلاف‌ها اندازه‌گیری شود. هر گروه که مقاومت بی‌نهایت را نشان دهد دچار قطع‌شدگی شده است.

۲- موتور لرزش دارد، صدا می‌دهد اما

راه نمی‌افتد: اگر با احتیاط روتور را با دست بچرخانیم و شروع به حرکت کند، در آن فاز که آمپرتر جریانی نشان نمی‌دهد قطع‌شدگی اتفاق افتاده است.



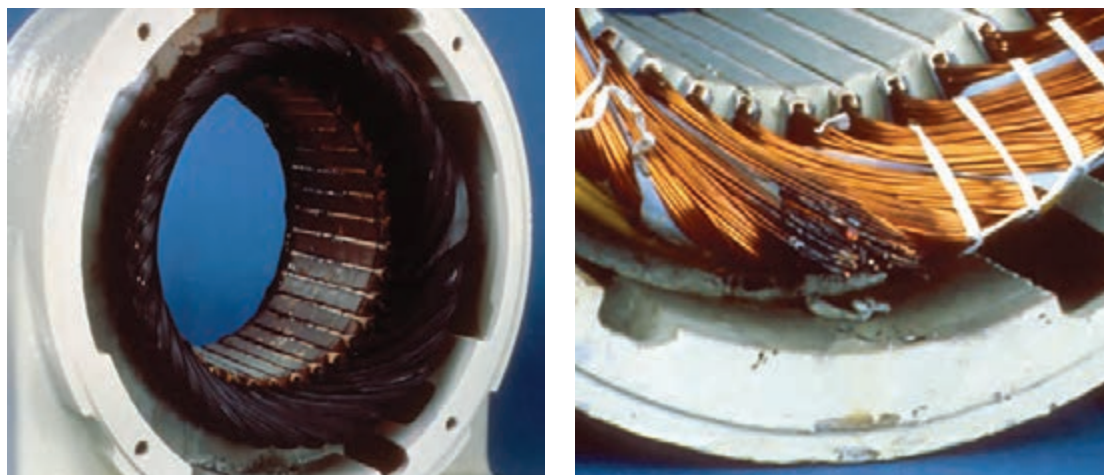
شکل ۷۲- قطع‌شدگی در سیم‌پیچ‌های موتور

۳- **موتور می چرخد اما به سرعت نامی نمی‌رسد:** در این وضعیت احتمالاً اتصال کوتاه کلاف‌ها یا اتصال بدنه رخ داده است. ابتدا اتصال بدنه توسط مِگر بررسی می‌شود. در صورت عدم وجود اتصال بدنه، باید کلاف‌های مختلط فازها را با یکدیگر مورد بررسی قرار داد. در شرایط عادی مقاومت هر سه کلاف تقریباً با یکدیگر برابر است. هر دسته از کلاف که مقاومتش از دو گروه دیگر کمتر باشد، اتصال کوتاه در آن گروه اتفاق افتاده است.

۴- **با اتصال موتور فیوز قطع می‌شود:** این حالت مانند حالت ۳ می‌باشد. اتصال بدنه و اتصال کوتاه کلاف‌ها بررسی شود.

۵- **موتور بدون بار راه می‌افتد اما زیر بار می‌ماند:** اتصال کوتاه و اتصال بدنه بررسی شود.

۶- **موتور پس از راه افتادن صدای غیرعادی می‌دهد:** در این حالت اگر موتور جریان بالاتر از حالت عادی را از خود عبور دهد مدتی بعد داغ کرده و احتمالاً دود می‌کند. این امر به این دلیل است که موتور احتمالاً دو فاز شده یا اتصال بدنه یا اتصال کوتاه دارد.



شکل ۷۳- سیم‌پیچ‌های سوخته به‌طور جزئی و کامل

در جدول ۷ عیب‌های الکتریکی به اختصار بیان شده است.

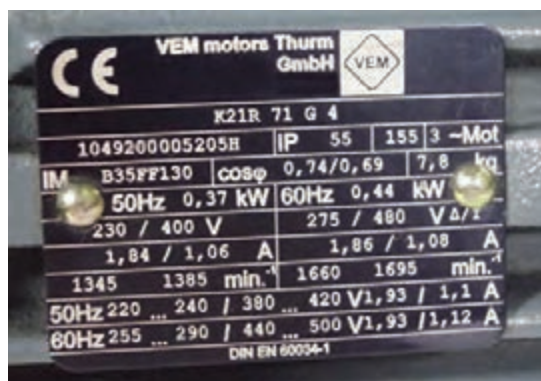
جدول ۷- عیوب الکتریکی موتورهای الکتریکی

ردیف	علائم ظاهری	شرح عیب	عیب الکتریکی	نحوه رفع
۱	روشن نشدن، لرزش و صدای غیرعادی	قطع یکی از فازهای تغذیه یا سیم‌پیچی	قطع یک فاز	بررسی فیوز، کابل و کنتاکتور
۲	داغ شدن و بوی سوختگی	تماس بین دورهای کلاف یا اتصال بین سیم‌پیچی دو فاز	اتصال کوتاه	سیم‌پیچی مجدد

ردیف	علائم ظاهری	شرح عیب	عیب الکتریکی	نحوه رفع
۳	عملکرد حفاظت و برق دار شدن بدنه	تماس سیم پیچی با بدنه	اتصال بدنه	تست عایق و رفع اتصال
۴	لرزش و کاهش گشتاور	اختلاف ولتاژ بین فازها	عدم تعادل ولتاژ	اصلاح تغذیه
۵	افزایش جریان و گرم شدن	کاهش ولتاژ ورودی	افت ولتاژ	بررسی منبع و کابل
۶	داغ شدن و قطع بی متال	بار بیش از ظرفیت موتور	اضافه بار	کاهش بار
۷	بوی شدید سوختگی	خرابی کامل عایق	سوختن سیم پیچی	سیم پیچی مجدد
۸	لرزش و کاهش توان	شکستگی میله ها	خرابی روتور	تعویض روتور
۹	جرقه و افت عملکرد	سایش یا قطع ارتباط	خرابی جاروبک	تعویض جاروبک
۱۰	شوک الکتریکی	ضعف عایقی	نشتی جریان	تست با مگا اهم متر
۱۱	جریان غیرعادی	اشتباه در ستاره/ مثلث	اتصال نادرست	اصلاح اتصال
۱۲	تغییر سرعت	اختلاف فرکانس	فرکانس نامناسب	تنظیم فرکانس

خود آزمایی

- ۱ اتصال ستاره موتورهای الکتریکی را با رسم شکل به طور کامل توضیح دهید.
- ۲ اتصال مثلث موتورهای الکتریکی را با رسم شکل به طور کامل توضیح دهید.
- ۳ اطلاعات پلاک مقابل را استخراج و یادداشت نمایید.



شکل ۷۴

- ۴ موتوری می چرخد اما به سرعت نامی نمی رسد، علت بروز عیب و چگونگی رفع آن را توضیح دهید.

ارزشیابی شایستگی راه‌اندازی و آزمایش موتورهای سه فاز یک طبقه

نام و نام خانوادگی	شماره ملی	تاریخ ارزشیابی
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۳۲	کار
کدپیمانانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۳	استاندارد عملکرد کار:
سطح صلاحیت	۳	آماده‌سازی و راه‌اندازی الکتروموتورهای سه فاز یک طبقه
سطح شایستگی	مهارت	گام کامل

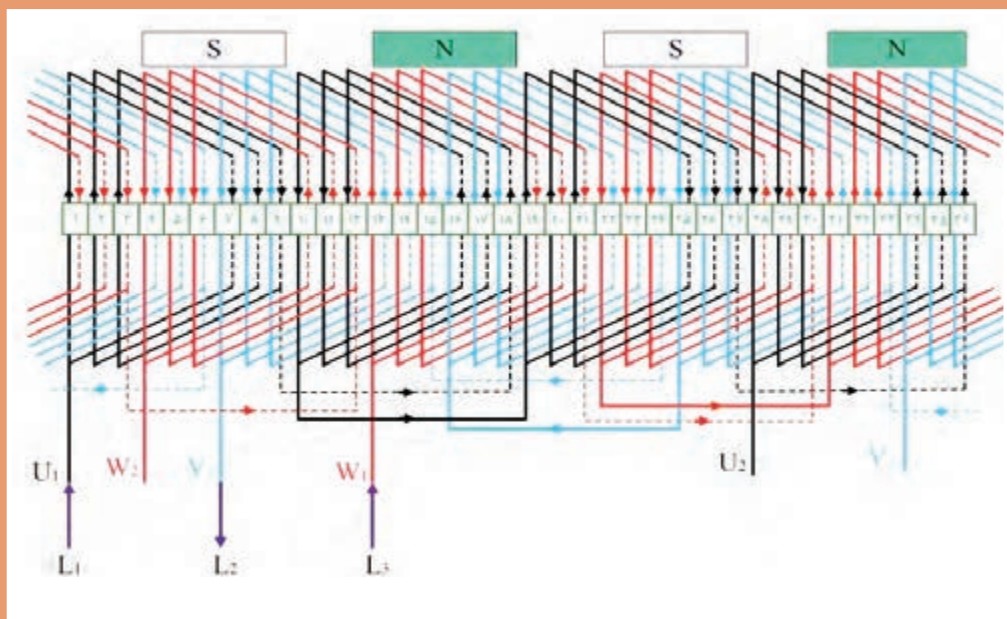
ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/دوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	اندازه‌گیری مقاومت اهمی و اتصال بدنه سیم پیچ‌ها	در کارگاه سیم‌پیچی، با استفاده از مولتی متر، استاتور سیم‌پیچی شده را در زمان حدود ۳۰ دقیقه مورد تست بدنه و پیوستگی الکتریکی قرار دهد	مشاهده مستقیم، چک‌لیست مراحل انجام آزمون، بررسی نتایج اندازه‌گیری	مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها به درستی اندازه‌گیری و ثبت شده، آزمون اتصال بدنه مطابق اصول فنی انجام شده و نتایج به درستی تفسیر و گزارش شده است. بیش از نیمی از مراحل اندازه‌گیری و ثبت نتایج به درستی انجام شده، اما در نحوه اندازه‌گیری، ثبت مقادیر یا تفسیر نتایج اشکالات جزئی وجود دارد.	۳ ۲ ۱	
۲	نوار بندی	در کارگاه سیم‌پیچی با استفاده از نخ نسوز، استاتور سیم‌پیچی شده و جمیع ابزار سیم‌کشی در مدت تقریبی ۳۰ الی ۴۵ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی استحکام و نظم نخ‌بندی، ارزیابی کیفیت نهایی کار	نخ‌بندی تمامی کلاف‌ها به صورت منظم، محکم و مطابق اصول فنی انجام شده، کلاف‌ها به خوبی مهار شده‌اند و هیچ گونه آسیب به عایق یا سیم‌ها وارد نشده است. بیش از نیمی از نخ‌بندی به درستی انجام شده، اما در میزان استحکام، نظم یا پوشش کامل کلاف‌ها اشکالات جزئی وجود دارد که قابل اصلاح است.	۳ ۲ ۱	
۳	سوار کردن روتور، بستن در پوش و ایجاد اتصال ستاره	در کارگاه سیم‌پیچی با جمیع ابزار سیم‌کشی در مدت تقریبی ۳۰ الی ۴۵ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل مونتاژ، بررسی صحت اتصال ستاره، آزمون چرخش آزاد روتور و کنترل نهایی موتور	روتور بدون آسیب و با دقت در استاتور نصب شده، درپوش‌ها به درستی بسته شده‌اند، روتور به راحتی و بدون گیرکردگی می‌چرخد و اتصال ستاره مطابق نقشه و اصول فنی به درستی اجرا شده است. بیش از نیمی از مراحل مونتاژ و اتصال ستاره به درستی انجام شده است، اما در بستن درپوش‌ها، تنظیم روتور یا اجرای اتصالات اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۳ ۲ ۱	
۴	راه‌اندازی موتور به صورت بی بار، قرائت جریان‌های راه‌اندازی و جریان بی باری	در کارگاه سیم‌پیچی الکتروموتور مونتاژ شده، منبع تغذیه سه فاز، تابلو و تجهیزات حفاظتی، آمپر متر، ولت متر، کابل‌های اتصال و در زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، بررسی نحوه استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری، ارزیابی مقادیر ثبت شده	جریان‌های راه‌اندازی و بی‌باری هر سه فاز به درستی اندازه‌گیری و عملکرد موتور عادی و بدون لرزش یا صدای غیرعادی است. بیش از نیمی از مراحل راه‌اندازی و اندازه‌گیری به درستی انجام شده است. موتور صدایی غیرعادی دارد.	۳ ۲ ۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت‌پذیری و رعایت اخلاق حرفه‌ای در طول انجام فعالیت‌ها	مشاهده مستقیم، چک‌لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار	رعایت نسبی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار. عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، یا بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.	۲ ۱	
ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)						
توضیحات:						
۱- معیار شایستگی انجام کار:						
- کسب حداقل نمره ۲ از مراحل سوار کردن رتور، بستن در پوش و ایجاد اتصال ستاره، راه‌اندازی موتور به صورت بی بار و قرائت جریان‌ها (مراحل بحرانی)						
- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش						
- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار						
۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.						
- مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت‌ها						
- تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.						





پودمان چهارم

سیم پیچی موتورهای سه فاز دوطبقه



واحد یادگیری ۱

سیم‌پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه گام کامل

آیامی دانید

- ۱ تفاوت موتورهای یک طبقه و دو طبقه در چیست؟
- ۲ گام کامل در سیم‌پیچی موتورها به چه معناست؟
- ۳ محاسبات لازم جهت سیم‌پیچی موتور دو طبقه به چه صورت است؟
- ۴ طراحی دیاگرام گسترده سیم‌پیچی دو طبقه چگونه است؟
- ۵ جدول سیم‌پیچی دو طبقه چگونه پر می‌شود؟
- ۶ فرایند کلاف گذاری و سربندی موتورهای دو طبقه چطور انجام می‌شود؟
- ۷ راه‌اندازی موتور دو طبقه چگونه است؟

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود تفاوت‌های موتور یک طبقه و دو طبقه را شناسایی و موتورهای دو طبقه گام کامل را به‌طور کامل سیم‌پیچی و راه‌اندازی نمایند. همچنین آنها قادر خواهند بود محاسبه و رسم دیاگرام سیم‌پیچی برای الکتروموتور سه فاز دو طبقه با گام کامل را انجام دهند.

مقدمه

در موتورهای الکتریکی جهت کارایی بهتر و افزایش راندمان از سیم پیچی دوطبقه استفاده می شود. در سیم پیچی دو طبقه در هر شیار استاتور ۲ بازوی کلاف قرار می گیرد. سیم پیچی دو طبقه ممکن است به صورت گام کامل یا گام کوتاه (کسری) انجام شود. اگر مقدار گام قطبی (y_p) و گام سیم پیچی (y_z) برابر باشد ($y_p = y_z$) گام کامل است. اگر گام قطبی و گام سیم پیچی برابر نباشد گام کوتاه خواهد بود. در سیم پیچی دوطبقه با گام کامل، دوبازوی کلاف درون یک شیار، حتماً مربوط به یک فاز هستند ولی در سیم پیچی دوطبقه با گام کسری، دوبازوی کلاف درون یک شیار احتمالاً مربوط به دو فاز مختلف است.



شکل ۱- وضعیت شیار در سیم پیچی یک طبقه و دو طبقه

سیم پیچی یک طبقه و دو طبقه تفاوت هایی دارند که عبارت اند از :

- ۱ در سیم پیچی دو طبقه تعداد دور هر کلاف نصف تعداد دور کلاف ها در سیم پیچی یک طبقه است. یک بازوی کلاف در کف شیار و بازوی دوم در بالای شیار دیگر قرار می گیرد. بنابراین سیم پیچی دو طبقه نسبت به یک طبقه تهویه بهتر و خنک کنندگی بیشتری دارد.
 - ۲ در سیم پیچی دو طبقه امکان موازی کردن کلاف ها وجود دارد بنابراین باعث کم شدن سطح مقطع هادی ها می شود.
 - ۳ تعمیر و عیب یابی سیم پیچی یک طبقه از دو طبقه راحت تر است.
- به طور خلاصه مزایا و معایب موتورهای دوطبقه نسبت به یک طبقه در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱- مزایا و معایب سیم پیچی دو طبقه

مزایا	معایب
راندمان بیشتر و خنک کنندگی بهتر	پیچیدگی بیشتر در ساخت
امکان استفاده از سیم نازک تر	احتمال خطای عایقی بیشتر
توزیع میدان مغناطیسی بهتر	عیب یابی پیچیده تر

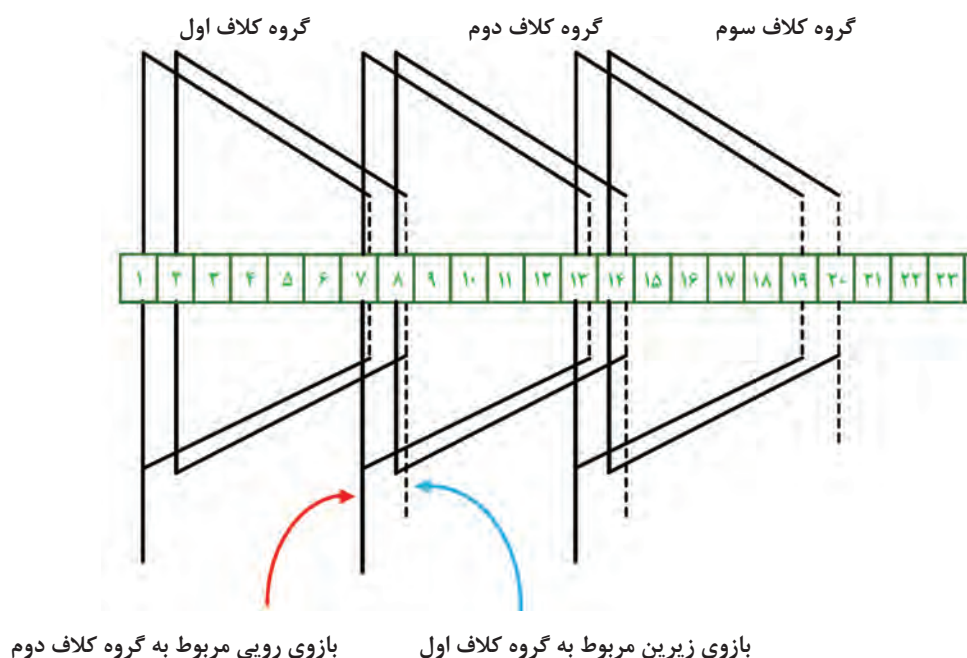
در این واحد یادگیری سیم پیچی دو طبقه با گام کامل و در واحد یادگیری دوم سیم پیچی دوطبقه با گام کسری مورد بررسی قرار می گیرد.



در مورد تفاوت‌های موتور یک طبقه و دو طبقه تحقیق کنید.

سیم‌پیچی دو طبقه با گام کامل

در این نوع سیم‌پیچی گام قطبی و گام سیم‌پیچی برابر است بنابراین هر دو بازوی کلاف که در یک شیار قرار می‌گیرند، مربوط به یک فاز هستند. از طرفی تعداد دور کلاف‌ها نصف تعداد دور سیم‌پیچی یک طبقه است؛ به عنوان مثال اگر در سیم‌پیچی یک طبقه ۱۰۰ دور حلقه برای کلاف در نظر گرفته می‌شد در سیم‌پیچی دو طبقه این تعداد نصف یعنی ۵۰ می‌باشد ولی در عوض تعداد گروه کلاف دو برابر می‌شود، یعنی در سیم‌پیچی گام کامل ۵۰ دور از یک گروه کلاف فاز اول در کف شیار و ۵۰ دور کلاف از گروه دیگر فاز اول در بالای شیار قرار می‌گیرد، چون هر دو بازو از یک فاز هستند بین دو بازو در یک شیار نیازی به عایق کاری نمی‌باشد.



شکل ۲- بخشی از دیاگرام فاز اول سیم‌پیچی دو طبقه

شکل ۲ بخشی از دیاگرام فاز اول سیم‌پیچی دو طبقه می‌باشد. با توجه به شکل بالا، در هر شیار مربوط به فاز اول دو بازوی کلاف قرار گرفته است؛ به عنوان مثال در شیار ۸، یک بازو با خط پررنگ مربوط به کلاف گروه دوم از فاز اول است و خط چین مربوط به کلاف گروه اول از فاز اول. بازوهایی که در کف شیار قرار می‌گیرند در دیاگرام‌های این کتاب با خط چین مشخص شده‌اند. در این قسمت با محاسبات و نحوه سیم‌پیچی یک الکتروموتور سه فاز دو طبقه با گام کامل در قالب یک مثال آشنا می‌شوید.



یک الکتروموتور سه فاز با استاتور ۲۴ شیار را در نظر بگیرید. اگر بخواهیم این موتور با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه بچرخد، محاسبات، دیاگرام سیم پیچی و جدول این موتور را به صورت دو طبقه، گام کامل نوشته و ترسیم نمایید.

معلومات: $z=24$ ، $2p=4$ ، $m=3$ و $t=2$ چون گام کامل است: $y_p=y_z$

$$y_p = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6 \rightarrow y_p = y_z = 6$$

$$q = \frac{z}{2p \cdot m} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{ez} = \frac{360p}{z} = \frac{360 \times 2}{24} = 30^\circ$$

۱ = شروع شیار فاز اول

$$\text{شروع شیار فاز دوم} = 1 + \frac{120}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{120}{30} = 5$$

$$\text{شروع شیار فاز سوم} = 1 + \frac{240}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{240}{30} = 9$$

$$G = \frac{t \times z}{2qm} = \frac{2 \times 24}{2 \times 2 \times 3} = 4$$

از آنجا که :

$$G = 2p = 4$$

بنابراین سیم بندی به ازای تعداد قطب بوده و از اتصال دور (ته به ته یا سر به سر) استفاده می شود.

تشکیل جدول سیم پیچی:

با توجه به اینکه در این موتور سه فاز، $q=2$ و $2p=4$ ، جدول شامل ۴ سطر (تعداد قطب) و ۳ ستون (سه فاز) خواهد بود. هر خانه جدول نشان دهنده وضعیت شیارهای مربوط به هر فاز است. اعداد باید به گونه ای نوشته شوند که نشان دهنده بازوهای رو و زیر واقع در هر شیار باشند.

برای تکمیل جدول علمی از شماره شیار شروع هر فاز که در هر قطب قرار می گیرد آغاز می کنیم (فاز اول) و به تعداد q اعداد را در هر ستون می نویسیم سپس به اندازه مقدار y_z به اعداد اضافه کرده و با کشیدن فلش در جلوی آن می نویسیم. سپس به سطر بعد رفته و به اندازه y_p به اعداد سطر بالایی اضافه کرده و مجدداً به اندازه مقدار y_z به اعداد اضافه کرده و با کشیدن فلش به صورت مورب با اعداد پریم دار می نویسیم. مشابه این کار را در ستون های مربوط دو فاز دیگر انجام می دهیم تا همه خانه های جدول تکمیل شود (جدول ۲).

جدول ۲- جدول علمی سیم پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل

فاز قطب	U1 , U2				V1 , V2				W1 , W2			
N	y_p ۱	۲ y_z	۱'	۲'	۲۳	۲۴	۲۳'	۲۴'	۹	۱۰	۹'	۱۰'
S	۷	۸	۷'	۸'	۵	۶	۵'	۶'	۱۵	۱۶	۱۵'	۱۶'
N	۱۳	۱۴	۱۳'	۱۴'	۱۱	۱۲	۱۱'	۱۲'	۲۱	۲۲	۲۱'	۲۲'
S	۱۹	۲۰	۱۹'	۲۰'	۱۷	۱۸	۱۷'	۱۸'	۳	۴	۳'	۴'

همان گونه که قبلاً نیز اشاره شده است در برخی موارد به جهت اینکه کار تشکیل جدول راحت تر انجام شود جای دو ستون فاز دوم و سوم را عوض می کنند که در این صورت اعداد مربوط به شیارهای موتور به شکل مرتب دنبال هم قرار می گیرند، اصطلاحاً به این جدول علمی می گویند.

برای تشکیل جدول علمی به صورت زیر عمل می کنیم: مانند جدول یک طبقه، ابتدا اعداد را از شماره ۱ تا ۲۴ (کل شیارها) به ترتیب می نویسیم. این اعداد مشخص کننده بازوهای رویی یک کلاف است. بازوی دیگر هر کلاف، باید به اندازه y_z شیار با بازوی رفت آن فاصله داشته باشد (در این مثال $y_z = 6$). شیار ۱ که بازوی دوم کلاف در آن واقع شده را با توجه به گام سیم بندی در سطر بعدی همان عدد قبلی مربوط به بازوی اول کلاف و به صورت پریم دار می نویسیم تا جدول سیم پیچی تکمیل شود (جدول ۳).

در این جدول اعداد پریم دار که بازوهای زیر را نشان می دهند نیز به ترتیب پشت سرهم می باشند.

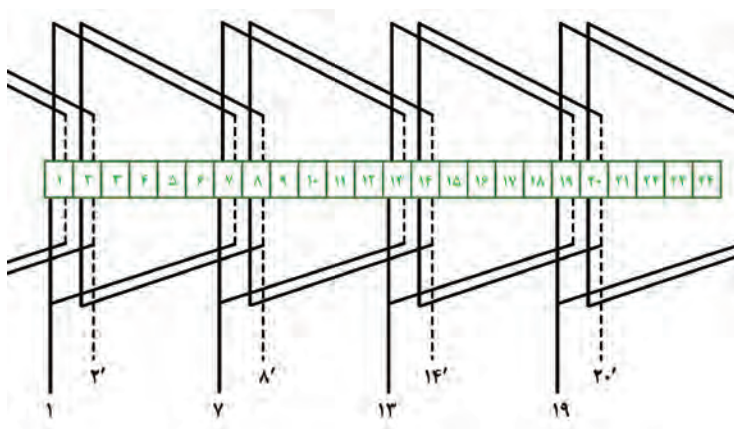
جدول ۳- جدول علمی سیم پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل

فاز قطب	U1 , U2				W1 , W2				V1 , V2			
N	y_p ۱	۲ y_z	۱'	۲'	۳	۴	۳'	۴'	۵	۶	۵'	۶'
S	۷	۸	۷'	۸'	۹	۱۰	۹'	۱۰'	۱۱	۱۲	۱۱'	۱۲'
N	۱۳	۱۴	۱۳'	۱۴'	۱۵	۱۶	۱۵'	۱۶'	۱۷	۱۸	۱۷'	۱۸'
S	۱۹	۲۰	۱۹'	۲۰'	۲۱	۲۲	۲۱'	۲۲'	۲۳	۲۴	۲۳'	۲۴'

مراحل سیم پیچی موتورهای دوطبقه: برای درک و راحتی کار، سیم پیچی موتور دو طبقه را به صورت فاز به فاز انجام می دهیم. با توجه به جدول شماره ۲ چهار گروه ($G=4$) کلاف دوتایی ($q=2$) برای هر فاز نیاز است. ابتدا کار عایق گذاری را مطابق مطالب گفته شده در پودمان قبل انجام می دهیم. با اندازه گیری طول استاتور و با استفاده از روش تجربی، کلاف پیچ را تنظیم نموده و چهار گروه کلاف دوتایی را به منظور کلاف گذاری فاز اول آماده می کنیم. همانطور که قبلاً اشاره شد در سیم پیچی دوطبقه تعداد دور هر کلاف نصف تعداد دور هر کلاف سیم پیچی یک طبقه است؛ به عنوان مثال اگر در موتور یک طبقه تعداد دور هر کلاف ۶۰ بوده باشد، در این موتور دوطبقه تعداد را ۳۰ دور در نظر می گیریم.

جاذدن گروه کلاف های موتور :

مطابق دیاگرام سیم پیچی فاز اول که در شکل ۳ نشان داده شده است برای گروه کلاف اول، باید ابتدا بازوی اول کلاف را در شیار ۱ و بازوی دوم آن را در شیار ۷ قرار داده و در همان جهت پیچش، کلاف دوم را در شیار ۲ و بازوی دوم آن را در شیار ۸ باید جای گذاری کرد. دقت نمایید، بازوهای اول (بازوی رفت) باید در بالا و بازوی دوم (بازوی برگشت) در کف شیار قرار داده شوند. به عبارت دیگر می بایست اعداد پریم دار در کف شیار و اعداد بدون پریم در روی آنها و بالای شیار قرار گیرند.



شکل ۳- دیاگرام فاز اول موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

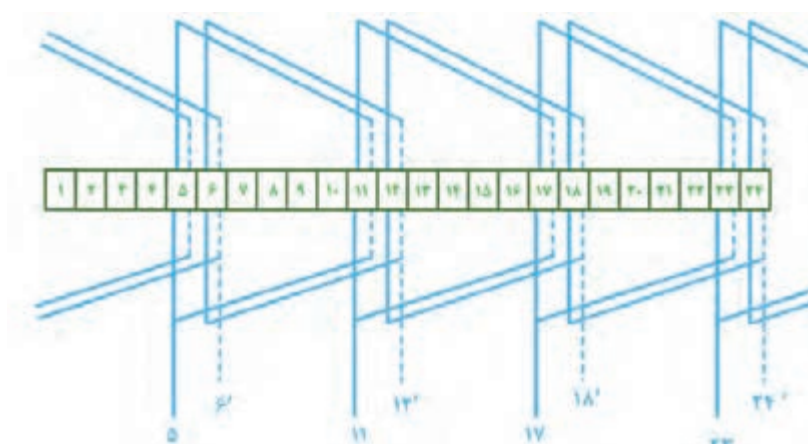
برای گروه کلاف دوم از فاز اول نیز طبق دیاگرام، بازوی رفت کلاف دوم را در شیارهای ۷ و ۸ (بالای کلاف های برگشت گروه کلاف قبل قرار می گیرد) و بازوی برگشت این گروه نیز با توجه به گام سیم پیچی در کف شیار ۱۳ و ۱۴ جای گذاری می کنیم.

برای راحتی کار پیدا کردن سرهای سیم ها با توجه به دو طبقه بودن پیشنهاد می شود با یک برچسب کاغذی سر و ته کلاف ها را نام گذاری کنید. به عنوان مثال ۷ رو، ۸ زیر.

به همین ترتیب بازوی رفت گروه سوم در شیار ۱۳ و ۱۴ (بالای شیار) و بازوی برگشت آنها را در کف شیار ۱۹ و ۲۰ جای گذاری می کنیم. با توجه به اینکه در هر شیار دو بازو از یک فاز قرار دارند نیازی به عایق گذاری بین دو بازو درون یک شیار نیست. همچنین هرگاه در یک شیار ۲ بازو قرار گرفت برای محکم کردن کلاف و عایق گذاری، عایقی در بالای شیار قرار می گیرد.

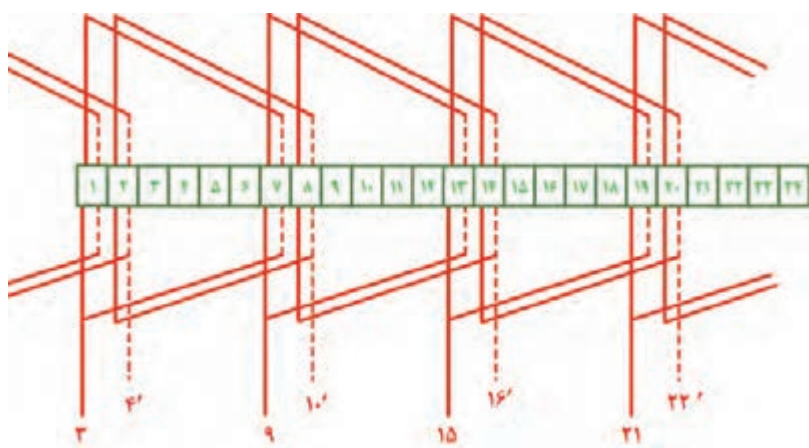
برای گروه کلاف چهارم فاز اول نیز بازوی رفت در شیارهای ۱۹ و ۲۰ و بازوی برگشت باید در کف شیار ۱ و ۲ قرار گیرد. به همین دلیل می‌بایست ابتدا بازوی رفت گروه اول را که در شیار ۱ و ۲ جا زده شده بود را به آرامی خارج نموده و بازوی برگشت گروه کلاف چهارم را در کف شیارهای ۱ و ۲ قرار داده و مجدداً گروه کلاف اول را در شیار جا زده و عایق را بر روی شیارها قرارداد. با رسیدن به این مرحله کار کلاف‌گذاری فاز اول به اتمام می‌رسد.

برای فاز دوم نیز با توجه به جدول سیم‌پیچی و دیاگرام رسم شده شکل ۴ کار کلاف‌گذاری را انجام می‌دهیم. شروع گروه کلاف اول فاز دوم موتور از شیارهای ۵ و ۶ است.



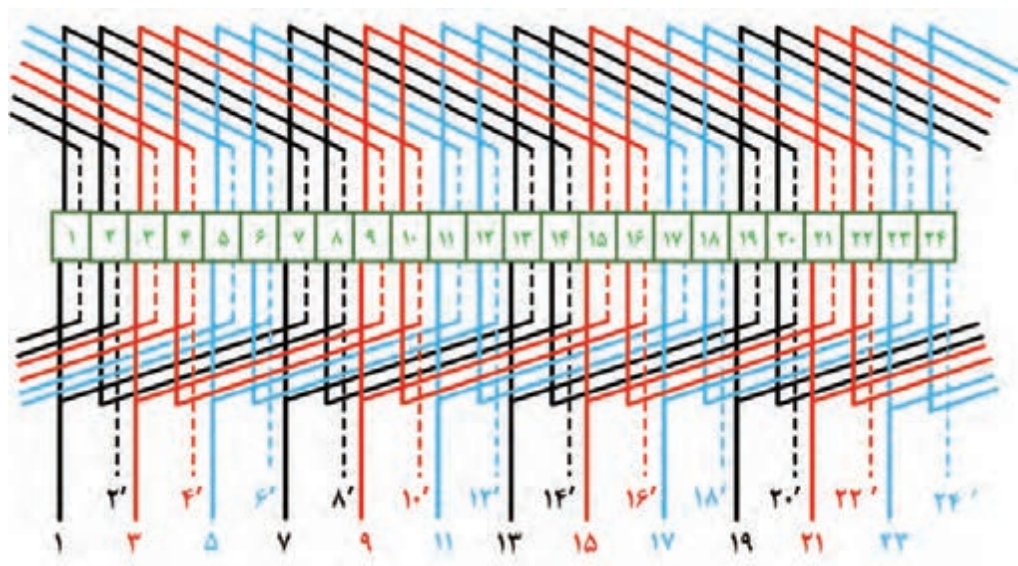
شکل ۴- دیاگرام فاز دوم موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

به همین ترتیب فاز سوم را نیز مطابق شکل ۵ از شیار ۹ و ۱۰ آغاز نموده و مانند بالا ۴ گروه کلاف را با رعایت بازوی رفت در بالای شیار و بازوی برگشت در کف شیار، باید در شیارها جای‌گذاری کرد (مطابق شکل ۵).



شکل ۵- دیاگرام فاز سوم موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

شکل ۶، تصویر استاتور موتور را در شرایطی که کلاف گذاری تمامی فازها انجام شده نشان می‌دهد.



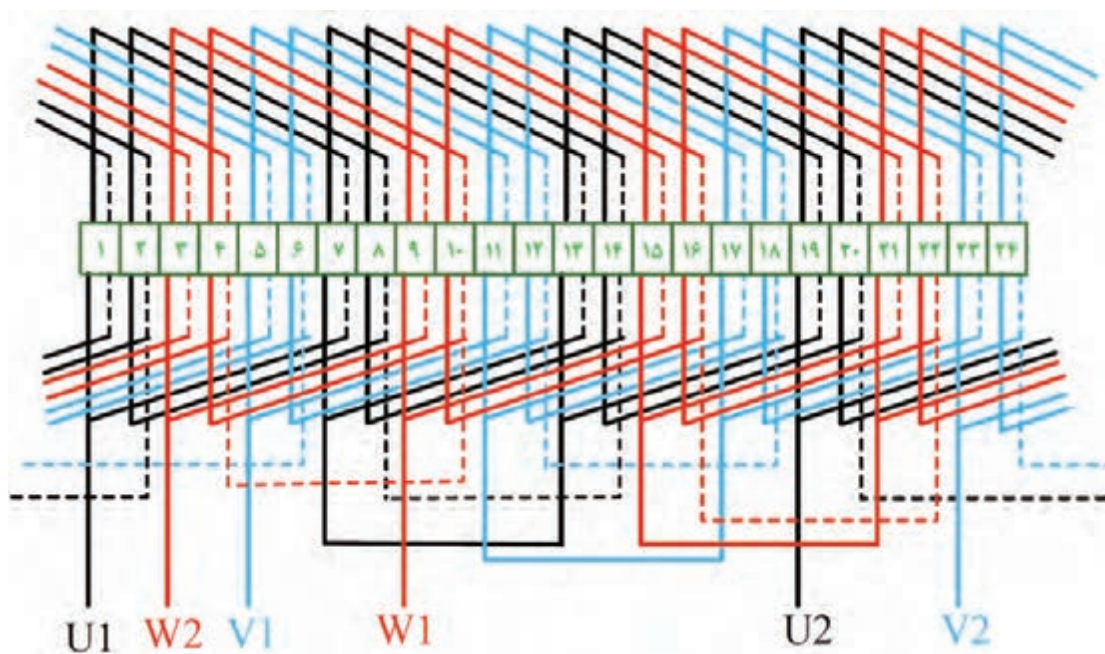
شکل ۶- کلاف گذاری تمام فازها

سربندی موتور دو طبقه: برای سربندی گروه کلاف‌های موتور می‌بایست به این نکته توجه داشت که چون $G=2P=4$ می‌باشد از اتصال دور باید استفاده شود، یعنی سر کلاف‌ها به یکدیگر و ته کلاف‌ها نیز به هم متصل شوند. مطابق اتصالات (جدول شماره ۴) اتصالات داخلی انجام شده و سپس باید لحیم کاری اتصالات و وارنیش گذاری مانند موتور یک طبقه انجام شود.

جدول ۴- اتصالات داخلی (سربندی کلاف‌ها) موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل

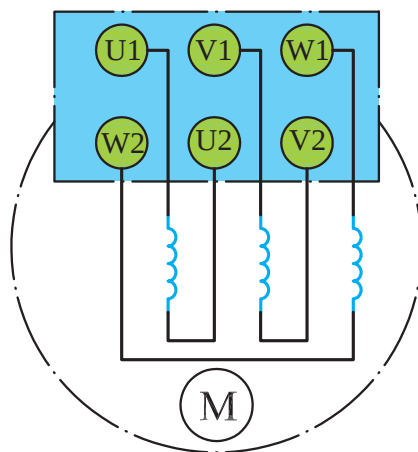
فاز سوم	فاز دوم	فاز اول
۲۲' به ۱۶'	۱۸' به ۱۲'	۱۴' به ۸'
۲۱ به ۱۵	۱۷ به ۱۱	۱۳ به ۷
۱۰' به ۴'	۶' به ۲۴'	۲' به ۲۰'

شکل ۷ دیگرام موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل را پس از انجام اتصالات داخلی (سربندی موتور) به همراه نشش سر خروجی موتور نشان می‌دهد.



شکل ۷- دیاگرام سربندی موتور ۲۴ شیار سه فاز ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

در نهایت سرسیم‌های خارج شده از شیارهای ۱، ۵ و ۹ را به ترتیب $U1$ ، $V1$ و $W1$ (به‌عنوان سر کلاف‌های موتور) و سرسیم‌های خارج شده از شیارهای ۱۹، ۲۳ و ۳ به ترتیب $U2$ ، $V2$ و $W2$ (به‌عنوان انتهای کلاف‌های موتور) نام‌گذاری کرده و مشابه موتورهای یک طبقه پس از اتصال به سیم‌های افشان و لحیم‌کاری مناسب و قراردادن وارنیش عایق روی اتصالات از تخته کلم موتور خارج شود.



ب) اتصال مداری تخته کلم



الف) تخته کلم

شکل ۸



شکل ۹- نخ بندی موتور

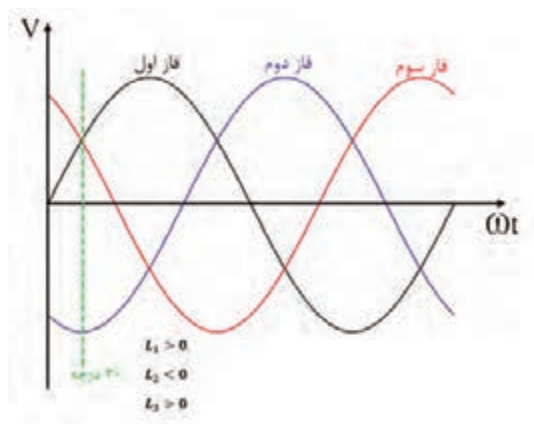
نواربندی (نخ پیچی): برپایه اصولی که در سیم پیچی موتورهای یک طبقه فرا گرفته‌اید پس از عایق گذاری بین کلاف‌های هر فاز با فاز دیگر، هر دو طرف پیشانی کلاف‌ها را نخ پیچی نمایید (شکل ۹).



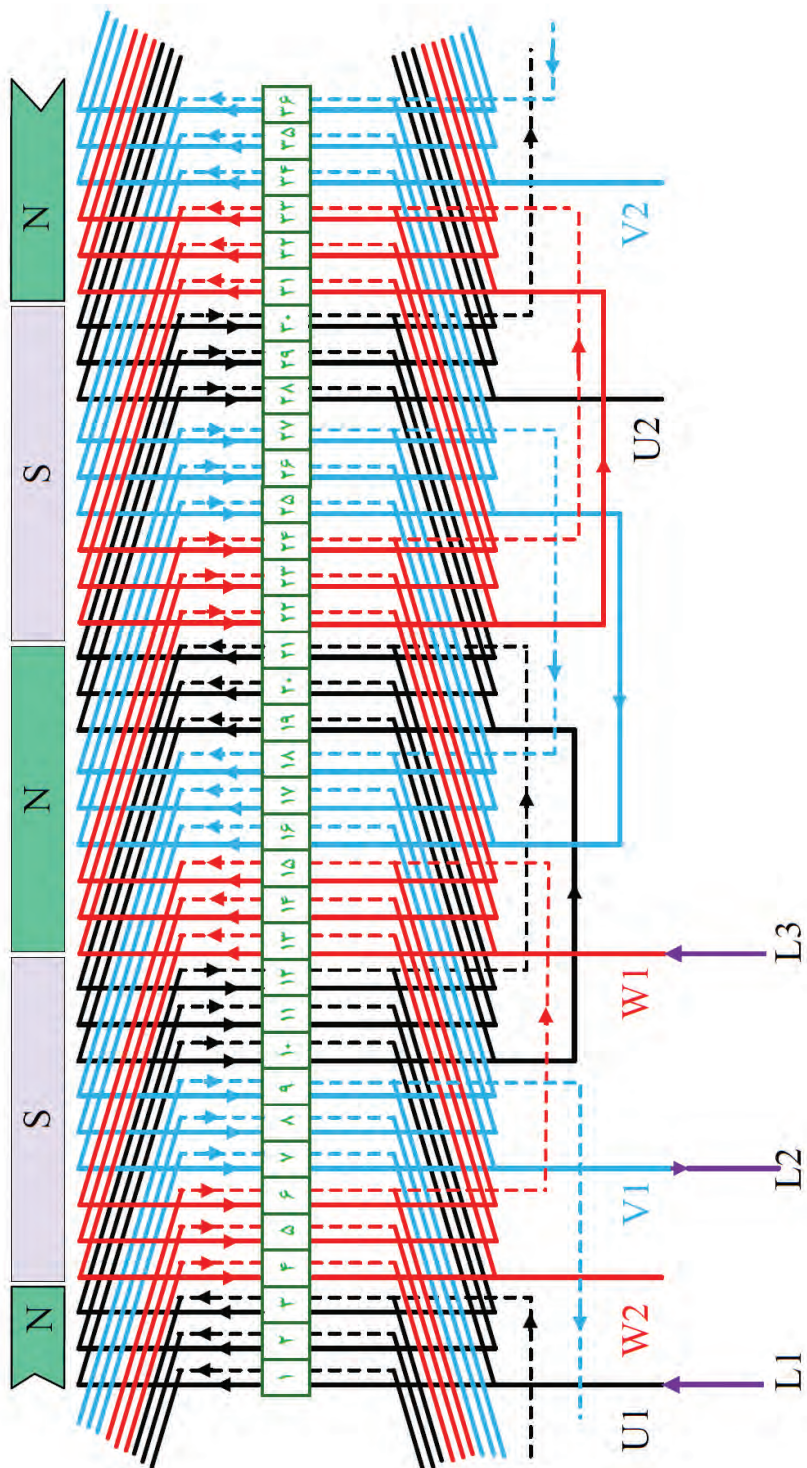
سه سرسیم U1، V1 و W1 و سه ته کلاف U2، V2 و W2 موتور را مطابق شکل ۱۰ به تخته کلم موتور هدایت کرده و زیر پیچ‌های مربوطه ببندید.
برای آزمایش موتور لازم است تا با استفاده از تسمه‌های مسی اتصال ستاره را در روی تخته کلم موتور ایجاد کنید.

شکل ۱۰- اتصال ستاره بر روی تخته کلم

در این قسمت پس از جازدن روتور و بستن درپوش‌های موتور می‌توان در حضور مربی کارگاه با رعایت نکات ایمنی موتور را روی میز آزمایش قرار داده و با اتصال به شبکه سه فاز راه اندازی کنید.
قطب سازی: همان گونه که در موتورهای یک طبقه اشاره شد برای نشان دادن وضعیت قطب سازی در موتور سیم پیچی شده بر روی شکل موج سه فاز موقعیت 30° درجه شکل ۱۱ را در نظر می‌گیریم. در این موقعیت فاز اول و سوم در نیم سیکل مثبت (جهت جریان در شرایط ورود به کلاف‌ها) و فاز دوم که در نیم سیکل منفی است (جهت جریان در شرایط خروج از کلاف) را در نظر گرفته و براساس آن قطب سازی مطابق شکل ۱۲ انجام می‌شود.



شکل ۱۱- موقعیت 30° درجه



شکل ۱۲- قطب‌سازی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه گام کامل

کار کلاسی



هنرجویان به دو بخش تقسیم شده و هر نفر در هر گروه به طور جداگانه یکی از دو تمرین زیر را انجام داده و نتایج را مقایسه کنند.

گروه اول: محاسبات، جدول، دیاگرام موتور سه فاز ۱۲ شیار ۲ قطب دو طبقه گام کامل
گروه دوم: محاسبات، جدول، دیاگرام موتور سه فاز ۱۲ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل

تمرین



محاسبات، جدول و دیاگرام یک موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب را محاسبه و رسم نمایید.

کار عملی ۱



هدف: عایق گذاری و کلاف گذاری یک الکتروموتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار به صورت دو طبقه گام کامل

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۲۴ یا ۳۶ شیار ۲- کلاف پیچ ۳- سیم لاکی سایز ۵/۵۰
۴- عایق برشمان ۵- کاتر ۶- خط کش ۷- قیچی ۸- چسب کاغذی
مراحل انجام کار:

۱- انجام محاسبات: ابتدا محاسبات مربوط به موتور ۳۶ شیار، ۴ قطب دوطبقه با گام کامل را انجام دهید. جدول سیم پیچی مربوطه را نوشته و دیاگرام سیم پیچی این موتور را بر روی یک کاغذ شطرنجی رسم نمایید.

۲- شماره گذاری شیارها: شیارها را شماره گذاری کنید. عایق های معیوب را تعویض و یا شیارهای بدون عایق را مطابق آموزش های داده شده در پودمان قبل تکمیل نمایید.

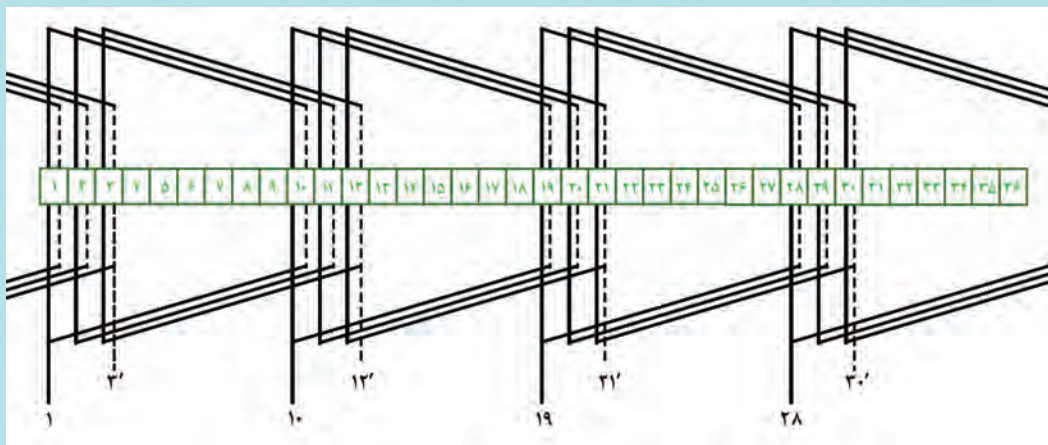
۳- تنظیم کلاف پیچ: با توجه به گام سیم بندی که در این موتور برابر با ۹ می باشد، کلاف پیچ را مطابق روش تجربی تنظیم نمایید.

۴- پیچیدن کلاف ها: مقدار q در این موتور برابر با ۳ بوده بنابراین هر گروه کلاف از ۳ پیچک تشکیل می شود. تعداد دور هر کلاف نصف تعداد دور سیم پیچی یک طبقه است. به عنوان مثال اگر در سیم پیچی یک طبقه تعداد دور را ۶۰ در نظر گرفتید، در موتور دوطبقه آن را نصف نموده و ۳۰ دور برای هر کلاف بپیچید.

۱۲ گروه کلاف سه تایی مورد نیاز است.

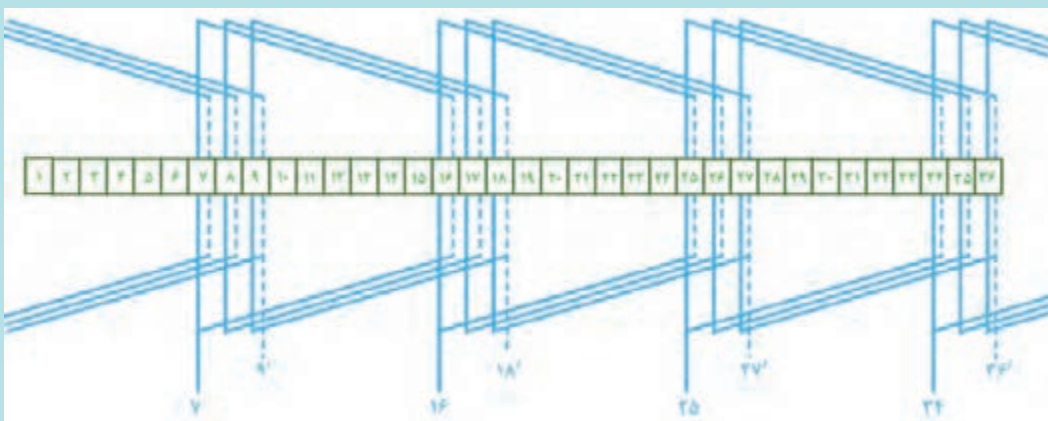
۵- جای گذاری کلاف ها: در این موتور طبق آموزش داده شده در مثال، موتور را به صورت فاز به فاز سیم پیچی نمایید. البته می توان مانند موتور یک طبقه طبق جدول نیز پیش رفت. حتماً با چسب کاغذی سر سیم ها را شماره گذاری نمایید.

فاز اول: طبق محاسباتی که انجام داده اید و با توجه به اینکه گام سیم پیچی $(y_z=9)$ است. گروه کلاف های فاز اول را طبق دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱۳ در داخل شیارها قرار دهید. دقت کنید بازوی دوم کلاف ها (خطوط خط چین رسم شده) در زیرشیار قرار می گیرند.



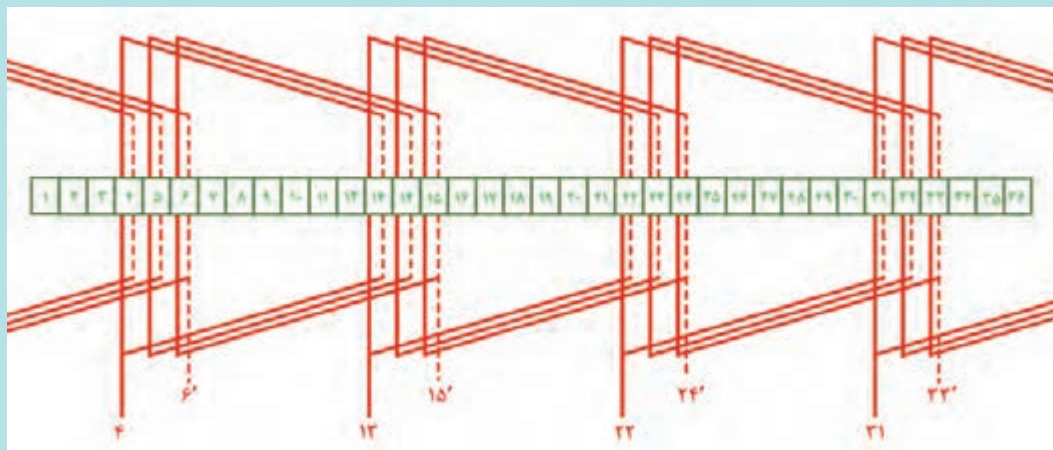
شکل ۱۳- دیاگرام فاز اول موتور سه فاز ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

فاز دوم: براساس توضیحات داده شده در متن درس گروه کلاف‌های فاز دوم را نیز مشابه فاز اول و طبق دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱۴ در شیارهای مربوطه قرار دهید.

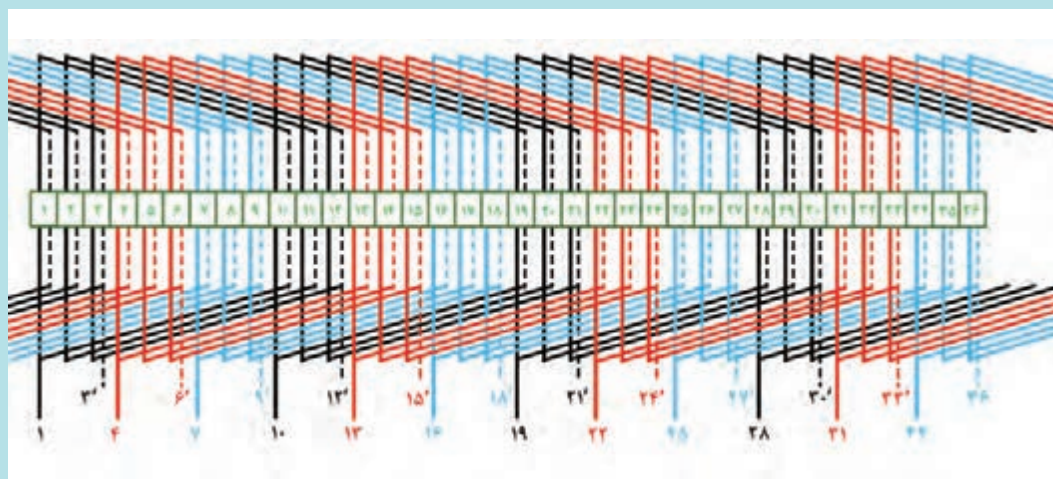


شکل ۱۴- دیاگرام فاز دوم موتور سه فاز ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

فاز سوم: برای فاز سوم نیز مطابق دو فاز دیگر و از روی دیاگرام نشان داده در شکل ۱۵ گروه کلاف‌های موتور در داخل شیارهای استاتور قرار داده می‌شوند. در هنگام جا زدن آخرین کلاف فاز سوم می‌بایست بازوهای جازده شده در شیارهای ۱ و ۲ و ۳ را از داخل شیار خارج کنید و پس از جازدن بازوهای دوم گروه کلاف چهارم آنها را مجدداً در شیار قرار دهید تا بازوهای کلاف در روی شیارها قرار گیرند.



شکل ۱۵- دیاگرام فاز سوم موتور سه فاز ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل
دیاگرام گسترده سیم پیچی کامل شده در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۶- دیاگرام کلاف‌های موتور سه فاز ۳۶ شیار ۴ قطب با گام کامل

با جازدن همه کلاف‌ها کار کلاف‌گذاری به پایان می‌رسد. ادامه کارهای لازم برای اتمام کار سیم‌پیچی در قالب کار عملی شماره ۲ در این پودمان آورده شده است.

هدف: سربندی و اتصالات، نواربندی و راه‌اندازی موتورهای سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با گام کامل

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۲۴ یا ۳۶ شیار کلاف‌گذاری شده در کار عملی قبل ۲- وارنیش ۳- سنبلاده نرم ۴- روتور ۵- درپوش موتور ۶- نخ ۷- هویه، سیم لحیم و روغن لحیم کاری ۸- سیم‌افشان سائز ۱ میلی‌متر مربع ۹- سیم‌چین و دم باریک

کار عملی



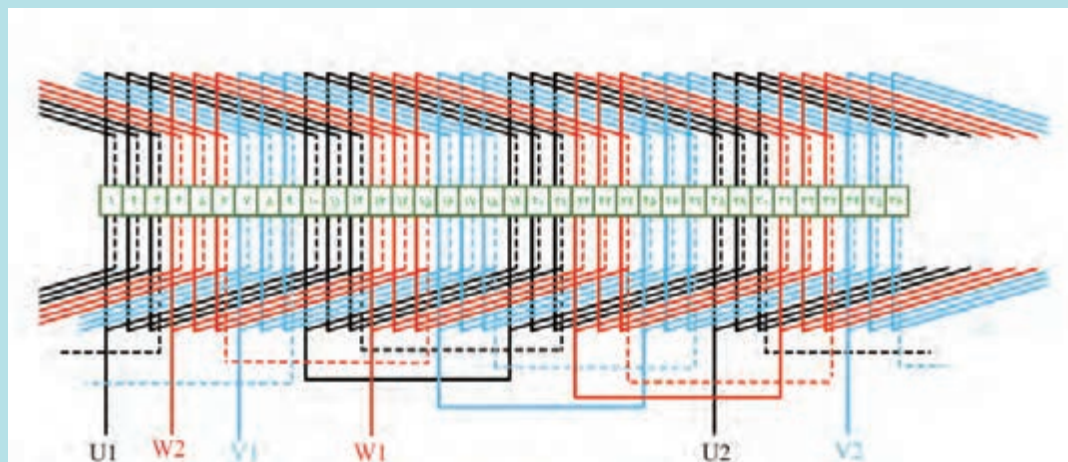
مراحل انجام کار:

۱- لحیم کاری اتصالات داخلی (سربندی موتور): پس از اتمام کار کلاف گذاری موتور که در کار عملی قبل انجام دادید می‌بایست کار سربندی و اتصالات لازم را انجام دهید. با توجه به اینکه مقدار G به دست آمده برابر با تعداد قطب‌ها ($G=2P=4$) است لذا از اتصال دور (سر به سر و ته به ته) باید استفاده کنید. برای این منظور جدول ۵ که اتصالات داخلی (سربندی موتور) را نشان می‌دهد در نظر گرفته و سربندی کلاف‌های موتور را انجام دهید.

جدول ۵- جدول اتصالات داخلی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل

فاز سوم	فاز دوم	فاز اول
۲۴' به ۳۳'	۱۸' به ۲۷'	۱۲' به ۲۱'
۲۲ به ۳۱	۱۶ به ۲۵	۱۰ به ۱۹
۶' به ۱۵'	۳۶' به ۷'	۳' به ۳۰'

این اتصالات را با رعایت نکات فنی گفته شده در پودمان‌های قبل لحیم کاری نموده و محل اتصالات را به وسیله وارنیش عایق کاری نمایید. در شکل ۱۷ اتصالات کلاف‌های (سربندی موتور) را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۷- دیاگرام موتور ۳۶ شیار سه فاز ۴ قطب دو طبقه با گام کامل

پس از انجام اتصالات داخلی (سربندی) و لحیم کاری آن با قراردادن وارنیش در محل‌های اتصالات (سر سیم‌های لحیم کاری شده) آن را عایق کاری کنید.

۲- هدایت سر سیم‌های موتور به تخته کِلِم: سرکلاف‌های $U1$ ، $V1$ و $W1$ سه فاز موتور که از شیارهای ۱، ۷ و ۱۳ و ته کلاف‌های $U2$ ، $V2$ و $W2$ که از شیارهای ۲۸، ۳۴ و ۴ خارج شده‌اند را مطابق توضیحات داده شده در متن درس به تخته کِلِم موتور هدایت کرده و زیر پیچ‌های مربوطه ببندید.

۳- عایق گذاری بین گروه کلاف‌های فازها: مشابه آنچه که در سیم‌پیچی موتورهای یک طبقه یاد

گرفتید با استفاده از کاغذ برشمان در روی پیشانی سیم پیچی موتور، بین گروه کلاف های فازهای مختلف را عایق گذاری کنید.

۴- **نخ پیچی موتور:** سیم پیچی موتور را برپایه اصولی که فرا گرفته اید نخ پیچی کنید.

۵- **جاذدن روتور و مونتاژ درپوش های موتور:** روتور را به آرامی روی استاتور سوار کرده، درپوش های موتور را قرارداده و پیچ های درپوش را ببندید.

دقت کنید پیچ های درپوش را به اندازه ای محکم کنید که روتور بعد از سوار شدن به راحتی و با دست بچرخد و گیر مکانیکی نداشته باشد.

تذکر



۶- **اندازه گیری مقاومتی و اتصال بدنه سیم پیچ ها:** به کمک یک اهم متر و راهنمایی مربی خود سیم پیچی را از نظر سالم بودن سربندی گروه کلاف های سه فاز و همچنین نداشتن اتصال بدنه، سرسیم های موتور را مورد بررسی قرار دهید.

۷- **ایجاد اتصالات ستاره روی تخته کلم:** با استفاده از تسمه های مسی روی تخته کلم انتهای کلاف های موتور (U2، V2 و W2) را بصورت ستاره اتصال دهید.

۸- **اتصال سیم پیچی به تابلو برق و راه اندازی موتور:** موتور را روی میز آزمایش قرار داده و سه آمپر متر را در مسیر سیم ورودی هر یک از سرکلاف های موتور (U1، V1 و W1) متصل کنید.

نکته مهم: هرگز بدون حضور مربی تابلوی آزمایش را روشن نکرده و موتور را راه اندازی نکنید.

- در حضور مربی کارگاه و با رعایت نکات ایمنی، کلید تابلو را وصل کرده و موتور را راه اندازی کنید.

- جریان لحظه راه اندازی هریک از فازها را اندازه گیری کرده و یادداشت کنید.

$I_{start (L1)} = \dots\dots\dots I_{start (L2)} = \dots\dots\dots I_{start (L3)} = \dots\dots\dots$

تحقیق کنید

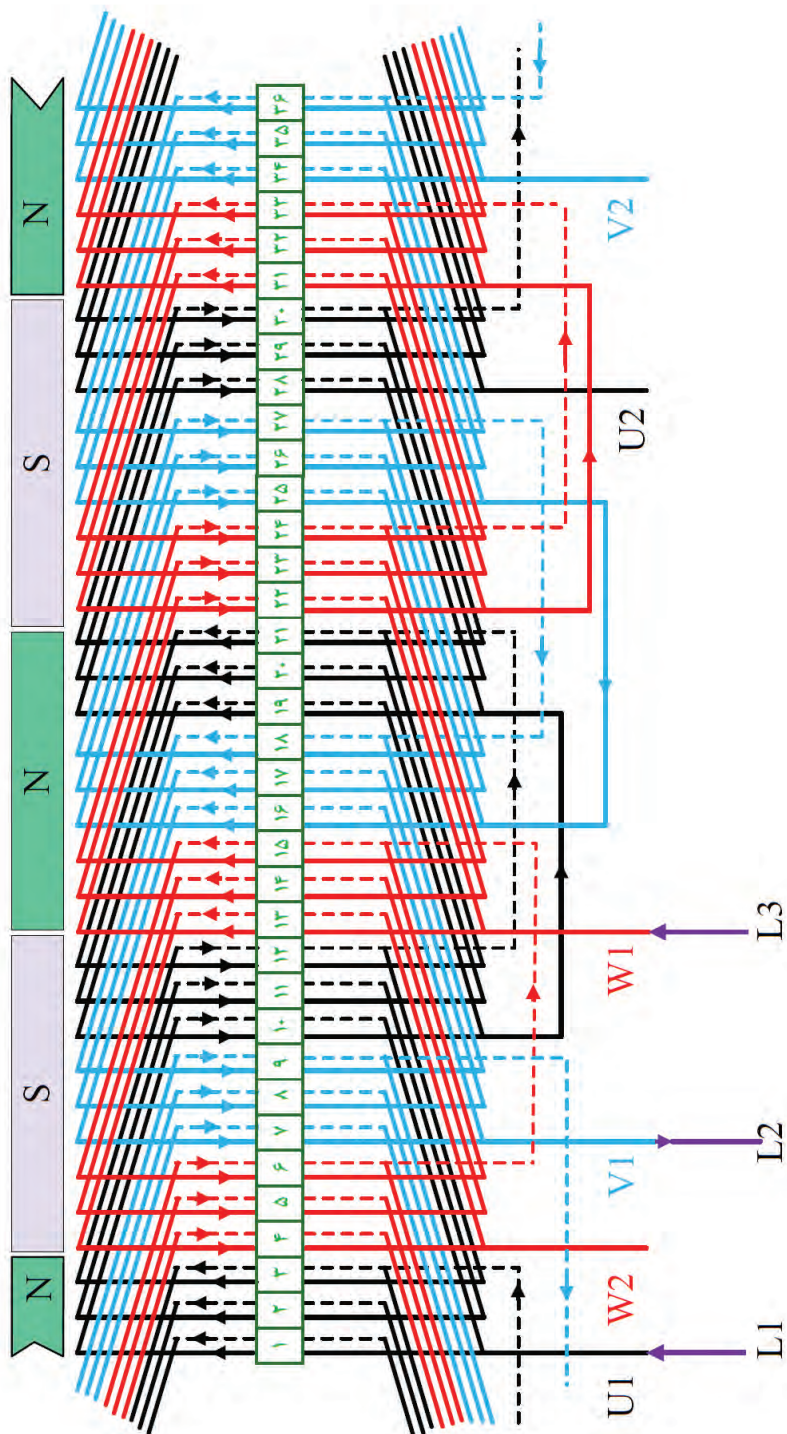


۱ در صورت وجود اختلاف بین جریان های سه فاز با یکدیگر علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید .

- پس از ۲۰ ثانیه کارکردن موتور جریان دائم کار هریک از فازها را از روی آمپر مترها قرائت نموده و یادداشت کنید $I_{L (L1)} = \dots\dots\dots I_{L (L2)} = \dots\dots\dots I_{L (L3)} = \dots\dots\dots$

۲ در صورت وجود اختلاف بین جریان های راه اندازی (Istare) و دائم کار (I_L) سه فاز علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

شکل ۱۸ دیاگرام گسترده سیم پیچی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب را به همراه قطب سازی نشان می دهد.



شکل ۱۸- دیاگرام گسترده موتور ۳۶ شیار سه فاز ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

خودآزمایی

- ۱ تفاوت‌های سیم‌پیچی یک طبقه و دو طبقه را بنویسید.
- ۲ مزایا و معایب سیم‌پیچی دو طبقه را بنویسید.
- ۳ در یک الکتروموتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب گام کامل، دو طبقه شروع فاز دوم از کدام شیار است؟
الف) ۵ ب) ۷ ج) ۹ د) ۱۱
- ۴ موتور سه فاز ۳۶ شیار با سرعت حدود ۱۰۰۰ دور بر دقیقه می‌چرخد. اگر به صورت دو طبقه، گام کامل سیم‌پیچی شده باشد، تعداد گروه کلاف هر فاز آن کدام است؟
الف) ۲ ب) ۴ ج) ۶ د) ۸
- ۵ محاسبات و جدول سیم‌بندی یک الکتروموتور سه فاز ۲۴ شیار ۲ قطب، دو طبقه گام کامل را نوشته و همچنین دیاگرام گسترده آن را رسم نمایید.

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی موتورهای سه فاز دوطبقه گام کامل

نام و نام خانوادگی		حرفه :	تعمیر کاران برق صنعتی	کد پیمان/بودمان	شماره ملی	استاندارد عملکرد کار:	تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه :	تعمیر کاران برق صنعتی	کد پیمان/بودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۴	استاندارد عملکرد کار:		
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۱.۳	محاسبه و رسم دیاگرام سیم‌پیچی و اجرای سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز دوطبقه با گام کامل		
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۴۱	کار	سیم‌پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه گام کامل	سطح شایستگی	تسلط			

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/داوری /نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	آماده‌سازی و عایق‌گذاری داخل شیارهای استاتور، کلاف پیچی بوبین‌ها	در کارگاه سیم‌پیچی با استاتور، کاغذ عایق، قیچی، خط‌کش، دستگاه کلاف‌پیچی، قالب کلاف سیم لاک، دم‌باریک، ابزار جازدن کلاف، چکش پلاستیکی، تجهیزات ایمنی در زمان تقریبی ۷۵ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی کیفیت عایق‌گذاری، کنترل تعداد دور و ابعاد کلاف‌ها	شیارها به‌طور کامل آماده و عایق‌گذاری شده‌اند، کلاف‌ها مطابق مشخصات فنی با تعداد دور صحیح ساخته شده‌اند.	۳	
					۲	بیش از نیمی از مراحل کار به‌درستی انجام شده است، اما در عایق‌گذاری، ساخت کلاف‌ها اشکالات جزئی وجود دارد.
					۱	کمتر از نیمی از مراحل انجام شده یا عایق‌گذاری، کلاف‌پیچی دارای خطاهای اساسی است و کیفیت کار برای ادامه مراحل سیم‌پیچی قابل قبول نیست.
۲	جا زدن کلاف‌ها به‌صورت دوطبقه گام کامل	در کارگاه سیم‌پیچی، استاتور عایق‌گذاری شده، کلاف‌های آماده، ابزار جازدن کلاف، دم‌باریک، چکش پلاستیکی، گوه شیار، نوار عایق، نقشه سیم‌پیچی، تجهیزات ایمنی در حدود ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی نحوه قرارگیری کلاف‌های دو طبقه در شیارها، ارزیابی کیفیت اجرا	تمامی کلاف‌ها مطابق نقشه سیم‌پیچی، بدون آسیب به عایق و سیم لاک، با نظم و آرایش صحیح در شیارهای مربوطه به صورت گام کامل جای‌گذاری شده‌اند.	۳	
					۲	بیش از نیمی از کلاف‌ها به‌درستی در شیارها قرار گرفته‌اند، اما در نحوه قرارگیری، نظم کلاف‌ها یا رعایت نکات فنی اشکالات جزئی وجود دارد که قابل اصلاح است.
					۱	کلاف‌ها به‌صورت نادرست یا ناقص در شیارها جای‌گذاری شده‌اند، به عایق یا سیم‌ها آسیب وارد شده یا کمتر از نیمی از کار انجام شده است.
۳	سربندی و نواربندی	در کارگاه سیم‌پیچی با استاتور کلاف‌گذاری شده، نقشه سیم‌پیچی موتور دوطبقه، دم‌باریک، سیم لخت‌کن، هویه و لوازم لحیم‌کاری (در صورت نیاز)، وارنیش یا روکش عایق، نوار عایق، نخ نسوز، اهم‌متر، تجهیزات ایمنی در حدود ۷۵ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی صحت سربندی طبق نقشه، کنترل کیفیت نواربندی و عایق‌کاری	اتصالات کلاف‌ها مطابق نقشه موتور دوطبقه و بدون خطا انجام شده، محل اتصالات به‌خوبی عایق شده و نواربندی با استحکام و نظم مناسب اجرا شده است.	۳	
					۲	بیش از نیمی از سربندی و نواربندی به‌درستی انجام شده است، اما در برخی اتصالات، عایق‌کاری یا نحوه نواربندی اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.
					۱	سربندی دارای خطاهای اساسی است یا نواربندی و عایق‌کاری به‌درستی انجام نشده، به‌گونه‌ای که ادامه کار یا بهره‌برداری ایمن از موتور امکان‌پذیر نیست.
۴	تست بدنه، بستن در پوش و راه‌اندازی و قرائت جریان‌ها	در کارگاه سیم‌پیچی الکتروموتور مونتاژ شده، منبع تغذیه سه‌فاز، تابلو و تجهیزات حفاظتی، آمپر متر ، ولت‌متر، کابل‌های اتصال و در زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل راه‌اندازی، بررسی نحوه استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری، ارزیابی مقادیر ثبت شده، پرسش شفاهی درباره جریان راه‌اندازی و بی‌باری	جریان‌های راه‌اندازی و بی‌باری هر سه فاز به‌درستی اندازه‌گیری و عملکرد موتور عادی و بدون لرزش یا صدای غیرعادی است.	۳	
					۲	بیش از نیمی از مراحل راه‌اندازی و اندازه‌گیری به‌درستی انجام شده است. موتور صدایی غیر عادی دارد.
					۱	جریان‌ها متعادل نیست ، موتور آمپر می‌کشد.
شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:		استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت‌پذیری و رعایت اخلاق حرفه‌ای در طول انجام فعالیت‌ها	مشاهده مستقیم، چک‌لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار	رعایت نسبی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار.		
					عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، یا بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.	

☐ بلی

☐ خیر

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ از جا زدن کلاف‌ها به‌صورت دوطبقه گام کامل، تست بدنه، بستن در پوش و راه‌اندازی و قرائت جریان‌ها (مراحل بحرانی)

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف‌نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت‌ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲

سیم پیچی موتورهای سه فاز دوطبقه گام کسری

آیامی دانید

- ۱ تفاوت موتورهای گام کسری و گام کامل در چیست؟
- ۲ سیم پیچی با گام کسری چه مزایا و معایبی دارد؟
- ۳ محاسبات و جدول سیم پیچی دو طبقه چگونه انجام می شود؟
- ۴ طراحی دیاگرام گسترده سیم پیچی دوطبقه گام کسری چگونه است؟
- ۵ فرایند کلاف گذاری و سربندی موتورهای دو طبقه چطور انجام می شود؟
- ۶ عیب های مکانیکی موتورهای سه فاز چیست؟

استاندارد عملکرد

- پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود تفاوت های موتور گام کامل و گام کسری را شناسایی و موتورهای دو طبقه گام کسری را به طور کامل سیم پیچی و راه اندازی نمایند.
- همچنین آنها قادر خواهند بود محاسبه و رسم دیاگرام سیم پیچی برای الکتروموتور سه فاز دو طبقه با گام کسری را انجام دهند.

موتورهای با سیم پیچی دو طبقه گام کسری، کاربرد صنعتی فراوان به ویژه زمانی که نیاز به لرزش کم و بازدهی بالا باشد، دارند. استفاده از گام کسری در سیم پیچی های دوطبقه به ویژه در موتورهای سه فاز باعث کاهش اثرات نویز و لرزش، توزیع بهتر میدان مغناطیسی و افزایش بازده موتور می شود. البته طراحی و اجرای سیم پیچی گام کسری نسبت به گام کامل پیچیده تر بوده و نیاز به دقت بیشتر در محاسبات و پیاده سازی سیم پیچی دارد. انتخاب نوع گام به کاربرد موتور، شرایط کاری و نیازهای عملکردی بستگی دارد. در جدول ۶ به اختصار چند ویژگی سیم پیچی نوع گام کامل و گام کسری مقایسه شده است.

جدول ۶- مقایسه سیم پیچی گام کسری با گام کامل

خصوصیات سیم پیچی	گام کامل	گام کسری
طول کلاف	حداکثر مقدار	کمتر
ولتاژ القایی	حداکثر مقدار	کمی کمتر
نویز و لرزش	حداکثر مقدار	کمتر
مصرف مس	حداکثر مقدار	کمتر
پیچیدگی طراحی و اجرا	ساده	پیچیده
بازده	کم	زیاد

موتورهای دوطبقه با گام کسری مزایا و معایبی دارد که در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- مزایا و معایب سیم پیچی دو طبقه با گام کسری

مزایا	معایب
کاهش نویز و لرزش	پیچیدگی بیشتر در طراحی و محاسبات
صرفه جویی در مصرف مس	نیاز به دقت بالا در سیم پیچی
افزایش بازده	کاهش جزئی ولتاژ القایی
کاهش دمای کاری	احتمال خطا در اجرا توسط افراد کم تجربه

یکی از مهم ترین دلایل استفاده از موتورهای دوطبقه با گام کسری حذف پدیده ای به نام هارمونیک^۱ است. هارمونیک ها اثری مخرب بر شکل موج ولتاژ و جریان داشته و در حقیقت شکل موج سینوسی ولتاژ و جریان را از حالت صاف و ایده آل خارج نموده و باعث افزایش دمای کار موتور و لرزش آن می شوند.

۱- هارمونیک: به یک سری ریز موج هایی که با مضارب مختلفی از موج سینوسی سه فاز بر روی آن سوار می شوند، هارمونیک گفته می شود. اغلب، هارمونیک های مضرب فرد (شماره فرد) در کار موتور اخلال ایجاد می کنند، به همین خاطر در سیم پیچی موتورهای دو طبقه برای کاهش اثرات این ریز موج ها و با استفاده از ضریب سیم پیچی، اقدام به حذف آنها می کنند.

اصطلاحاً سیم پیچی موتورهای دو طبقه با گام کسری جهت حذف هارمونیک شماره ۳، ۵ و یا ۷ انجام می شود. برای حذف هارمونیک موردنظر، از ضریبی تحت عنوان «ضریب کوتاهی گام - (ε)» استفاده می شود. در موتورهای سه فاز دو طبقه گام سیم پیچی از ضرب مقدار ضریب کوتاهی گام در گام قطبی سیم پیچی به دست می آید. بنابراین برای محاسبه گام سیم پیچی (y_z) در گام کسری داریم:

$$y_z = \varepsilon \times y_p$$

در رابطه بالا ε ضریب کوتاهی گام است که مقدار آن برای حذف هر هارمونیک با هارمونیک دیگر متفاوت است. در حالت کلی نمی توان هم زمان چند هارمونیک را حذف نمود. در جدول ۸ مقدار ضریب کوتاهی گام برای سه هارمونیک مزاحم و پرکاربرد آورده شده است.

با کوتاه شدن گام سیم پیچی (y_z) در سیم پیچی گام کسری پیشانی کلاف ها کوتاه شده و نیروی محرکه القایی (ولتاژ القایی) در موتور کمتر از حالت گام کامل می باشد. برای جبران این کاهش ولتاژ القایی لازم است تا تعداد دور هر کلاف افزایش داده شود. در جدول ۸ میزان افزایش تعداد دور به ازای کسری گام ها آمده است.

جدول ۸- ضریب کوتاهی گام و درصد افزایش تعداد دور به ازای حذف هارمونیک موردنظر

شماره هارمونیک موردنظر برای حذف	ضریب کوتاهی گام	درصد افزایش تعداد دور سیم پیچی گام کسری نسبت به گام کامل
هارمونیک سوم	$\frac{2}{3}$	۱۵ درصد
هارمونیک پنجم	$\frac{4}{5}$	۶ درصد
هارمونیک هفتم	$\frac{6}{7}$	۳ درصد

چند نکته در مورد سیم پیچی دو طبقه و گام کسری:

۱ در موتورهای دو طبقه گام کسری، دو بازوی قرار گرفته در شیارها مربوط به دو فاز مختلف می باشند که لازم است بین این دو بازوی زیرین و بالایی به خوبی عایق شود.

۲ واضح است تعداد کلاف ها در سیم پیچی دو طبقه (گام کامل یا گام کسری) دو برابر سیم تعداد کلاف ها در سیم پیچی یک طبقه است. البته همان طور که گفته شد، تعداد دور کلاف های دو طبقه نصف تعداد دور کلاف های یک طبقه می باشد. البته در گام کسری درصد افزایش تعداد دور به ازای حذف هارمونیک را باید در نظر گرفت.

۳ نحوه جا زدن کلاف کمی با حالت یک طبقه متفاوت است، در دوطبقه می بایست طوری کلاف ها را جا زد که یک طرف کلاف در بالای شیار (ترجیحاً بازوی اول یا رفت) و طرف دیگر (بازوی دو یا برگشت) در کف شیار قرار گیرد.

۴ روابط مورد استفاده در سیم‌پیچی یک طبقه برای سیم‌پیچی دو طبقه نیز صادق است با این تفاوت که برای محاسبه گام سیم‌پیچی از رابطه استفاده می‌شود.

در مورد هارمونیک‌های مزاحم در موتورهای الکتریکی تحقیق کنید و برای دوستان خود در کلاس ارائه دهید.

پژوهش کنید



مثال



یک الکتروموتور سه فاز با استاتور ۲۴ شیار را در نظر بگیرید. می‌خواهیم این الکتروموتور را به صورت ۴ قطب، دو طبقه گام کسری طوری سیم‌پیچی کنیم که هارمونیک سوم حذف شود. محاسبات، جدول سیم‌پیچی و دیاگرام آن را به دست آورید.

(حل)

معلومات: $t=2, m=3, 2p=4, z=24$

$$y_p = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

برای حذف هارمونیک سوم از جدول ۸ مقدار ضریب کوتاهی گام برابر با $\frac{2}{3}$ انتخاب می‌شود و گام سیم‌پیچی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$y_z = \varepsilon \cdot y_p = \frac{2}{3} \times 6 = 4$$

$$q = \frac{z}{2p \times m} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{ez} = \frac{360^\circ p}{z} = \frac{360^\circ \times 2}{24} = 30^\circ$$

۱ = شروع شیار فاز اول

$$\text{شروع شیار فاز دوم} = 1 + \frac{120^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{120^\circ}{30^\circ} = 5$$

$$\text{شروع شیار فاز سوم} = 1 + \frac{240^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{240^\circ}{30^\circ} = 9$$

$$G = \frac{t \times z}{2qm} = \frac{2 \times 24}{2 \times 2 \times 3} = 4$$

از آنجا که $G = 2p = 4$ است. بنابراین سیم‌بندی به ازای تعداد قطب بوده و از اتصال دور (ته به ته یا سر به سر) استفاده می‌شود.

با توجه به اینکه در این موتور سه فاز، $q=2$ و $2p=4$ است پس جدول سیم پیچی آن شامل ۴ سطر (تعداد قطب) و ۳ ستون (سه فاز) خواهد بود که در هر ستون آن به تعداد (q) گروه اعداد نوشته خواهد شد. هر خانه از جدول که برای تشخیص شیاریهای مربوط به هر فاز است باید به گونه ای نوشته شود که نشان دهنده بازوهای رو و زیر واقع در هر شیار نیز باشد. در تشکیل جدول سیم پیچی علمی و عملی موتور مشابه موتور دو طبقه گام کامل عمل می کنیم با این تفاوت که گام سیم پیچی در این موتور ۴ است و جدول را باید براساس آن کامل کرد. جدول ۹ جدول علمی سیم پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب، گام کسری را نشان می دهد.

جدول ۹- جدول علمی سیم پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کسری (حذف هارمونیک سوم)

فاز قطب	U1 , U2				V1 , V2				W1 , W2			
N	۱ y_p	۲ y_z	۲۳'	۲۴'	۲۳	۲۴	۲۱'	۲۲'	۹	۱۰	۷'	۸'
S	۷	۸	۵'	۶'	۵	۶	۳'	۴'	۱۵	۱۶	۱۳'	۱۴'
N	۱۳	۱۴	۱۱'	۱۲'	۱۱	۱۲	۹'	۱۰'	۲۱	۲۲	۱۹'	۲۰'
S	۱۹	۲۰	۱۷'	۱۸'	۱۷	۱۸	۱۵'	۱۶'	۳	۴	۱'	۲'

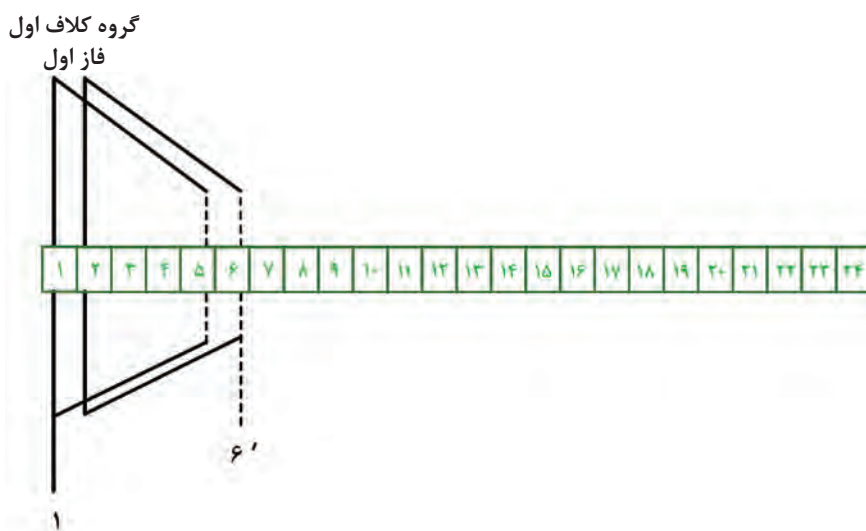
قبلاً اشاره شده است که نحوه پر کردن جدول سیم پیچی گام کسری مشابه جدول گام کامل است با این تفاوت که گام سیم پیچی در گام کسری با گام قطبی متفاوت بوده و باعث می شود در یک شیار بازوی بالایی با بازوی زیرین از دو فاز متفاوت باشند. جدول ۱۰ جدول علمی سیم پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب، گام کسری را نشان می دهد.

جدول ۱۰- جدول علمی سیم پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کسری (حذف هارمونیک سوم)

فاز قطب	U1 , U2				W1 , W2				V1 , V2			
N	۱ y_p	۲ y_z	۲۳'	۲۴'	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'

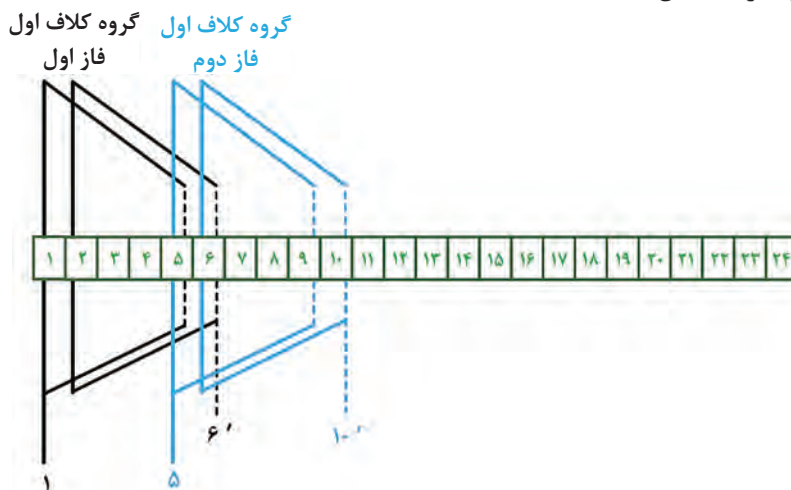
با توجه به جدول سیم‌پیچی و برای تشریح بهتر سیم‌پیچی، نحوه کلاف‌گذاری فازها را به صورت مرحله به مرحله مانند موتور یک طبقه دنبال نموده و دیاگرام به تدریج تکمیل شده است.

■ **گروه کلاف اول از فاز اول (رنگ مشکی):** از شیار ۱ و ۲ که شیار شروع فاز اول است با توجه به گام سیم‌پیچی که (۴) است به شیار ۵ و ۶ می‌رویم. دقت کنید که بازوهای رفت (۱ و ۲) می‌بایست در بالای شیار و بازوی برگشت (۵' و ۶') در کف شیار قرار گیرند. شکل ۱۹ دیاگرام این گروه کلاف را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹- دیاگرام کلاف اول از فاز اول موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف اول از فاز دوم (رنگ آبی):** با توجه به شیار شروع فاز دوم که (۵) است، بازوی رفت این گروه کلاف را در بالای شیارهای ۵ و ۶ و طرف دیگر این گروه کلاف را با توجه به گام سیم‌پیچی در کف شیارهای ۹' و ۱۰' قرار می‌گیرد (شکل ۲۰).



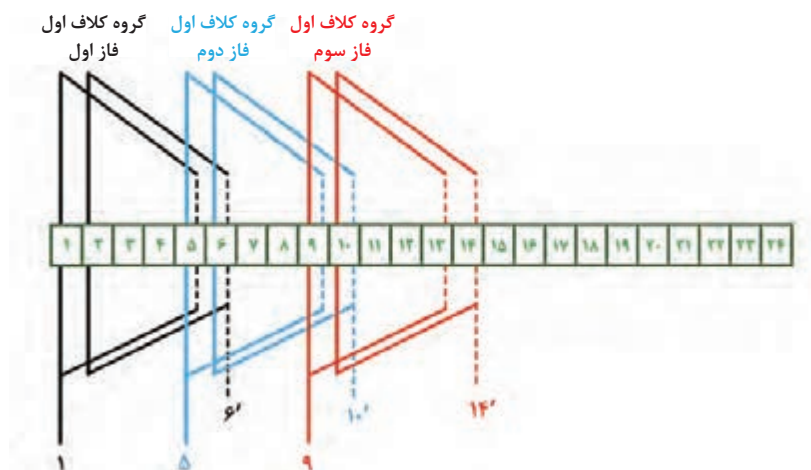
شکل ۲۰- دیاگرام کلاف اول از فاز دوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

تذکر



همان طور که از شکل ۲۰ مشخص است در شیار ۵ و ۶ دو بازو از دو فاز متفاوت قرار دارد بنابراین عایق گذاری بین دو بازو می بایست رعایت شود.

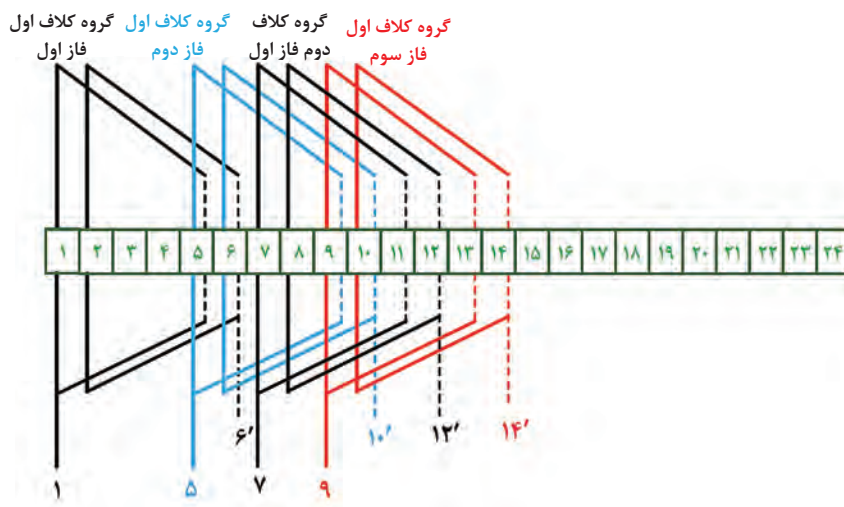
■ **گروه کلاف اول از فاز سوم (رنگ قرمز):** شیار شروع فاز سوم طبق محاسبات شیار ۹ بوده و می بایست این گروه کلاف را در بالای شیارهای ۹ و ۱۰ قرار داده و بازوی دیگر این گروه کلاف در کف شیارهای ۱۳ و ۱۴ قرار می گیرند. شکل ۲۱ کلاف گذاری بخشی از فاز سوم را نشان می دهد.



شکل ۲۱- دیاگرام کلاف اول از فاز سوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

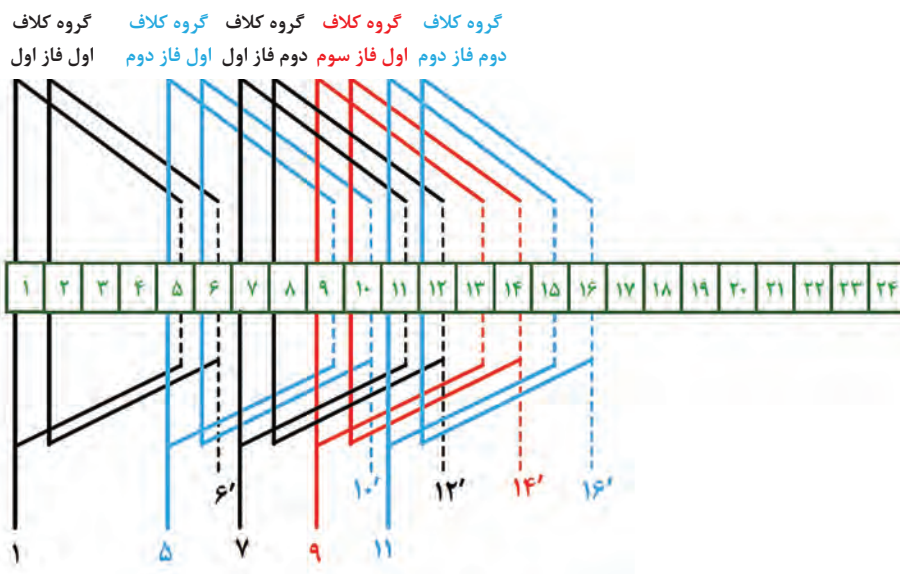
مابقی کلاف های باقیمانده موتور را به ترتیب مطابق جدول ۹ و به صورت زیر باید در شیارهای استاتور جای گذاری کرد.

■ **گروه کلاف دوم از فاز اول (رنگ مشکی):** برای جای گذاری گروه کلاف دوم از فاز اول باید بازوهای اول گروه دوم را در شیار ۷ و ۸ (رو) و بازوهای دوم گروه کلاف دوم را در شیارهای ۱۱ و ۱۲ (زیر) قرار داد.



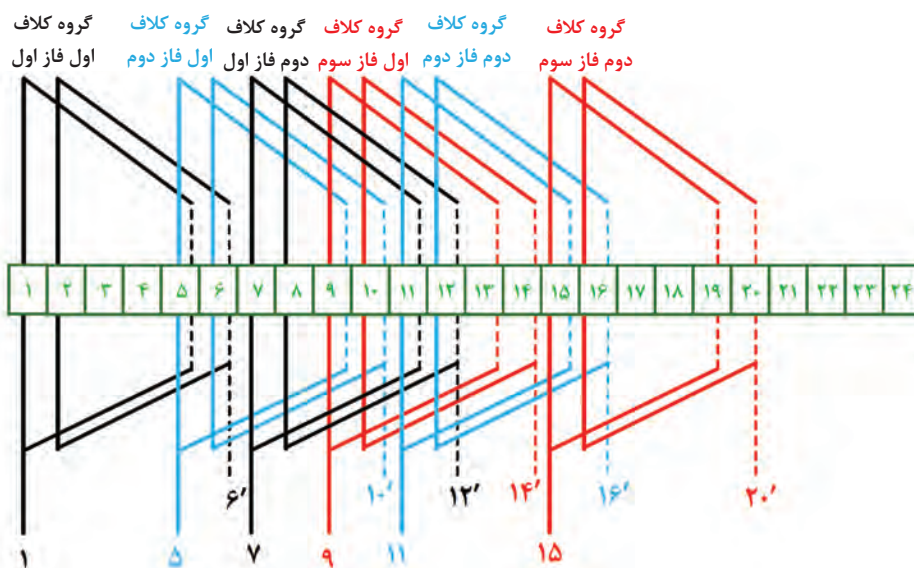
شکل ۲۲- دیاگرام کلاف دوم از فاز اول موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف دوم از فاز دوم (رنگ آبی):** برای جای گذاری گروه کلاف دوم از فاز دوم باید بازوهای اول گروه دوم را در شیارهای ۱۱ و ۱۲ (رو) و بازوهای دوم گروه کلاف دوم را در شیارهای ۱۵ و ۱۶ (زیر) قرار داد.



شکل ۲۳- دیاگرام کلاف دوم از فاز دوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

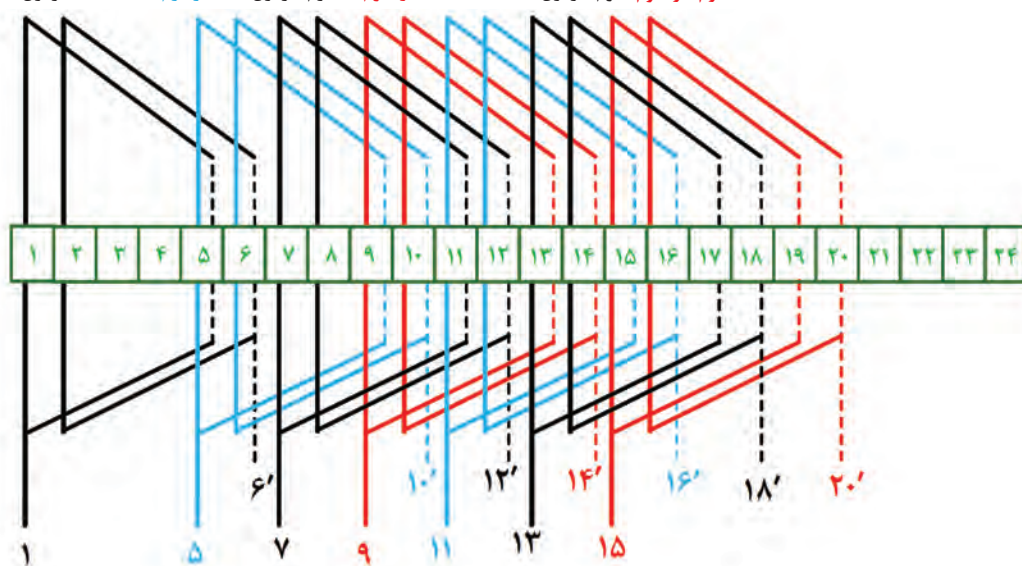
■ **گروه کلاف دوم از فاز سوم (رنگ قرمز):** برای جای گذاری گروه کلاف دوم از فاز سوم باید بازوهای اول گروه دوم را در شیارهای ۱۵ و ۱۶ (رو) و بازوهای دوم گروه کلاف دوم را در شیارهای ۱۹ و ۲۰ (زیر) قرار داد.



شکل ۲۴- دیاگرام کلاف دوم از فاز سوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف سوم از فاز اول (رنگ مشکی):** برای جای گذاری گروه کلاف سوم از فاز اول باید بازوهای اول گروه دوم را در شیارهای ۱۳ و ۱۴ (رو) و بازوهای دوم گروه کلاف دوم را در شیارهای ۱۷ و ۱۸ (زیر) قرار داد.

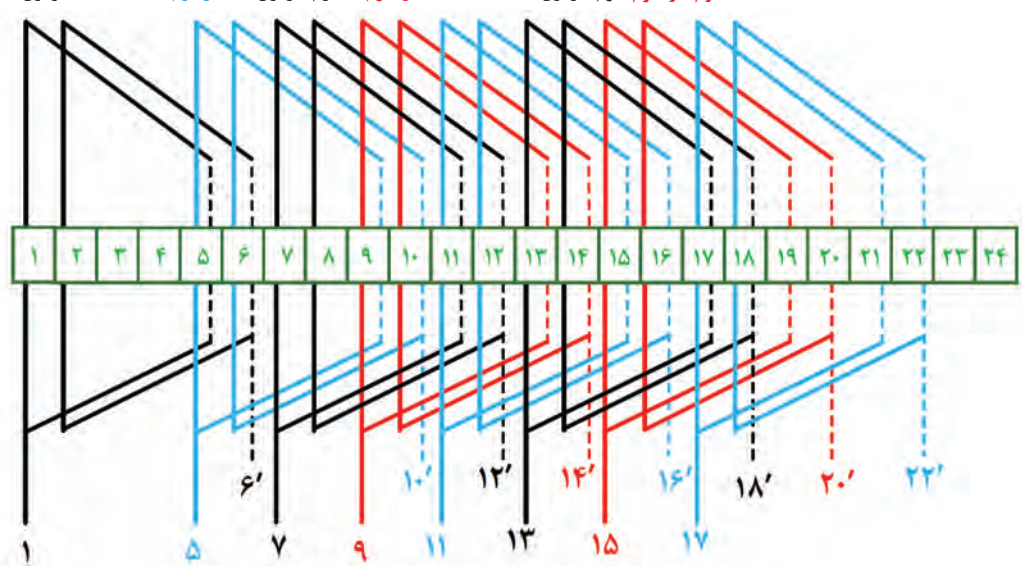
گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ مشکی) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ قرمز) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ آبی) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ مشکی) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ قرمز) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ آبی)



شکل ۲۵- دیاگرام کلاف سوم از فاز اول موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

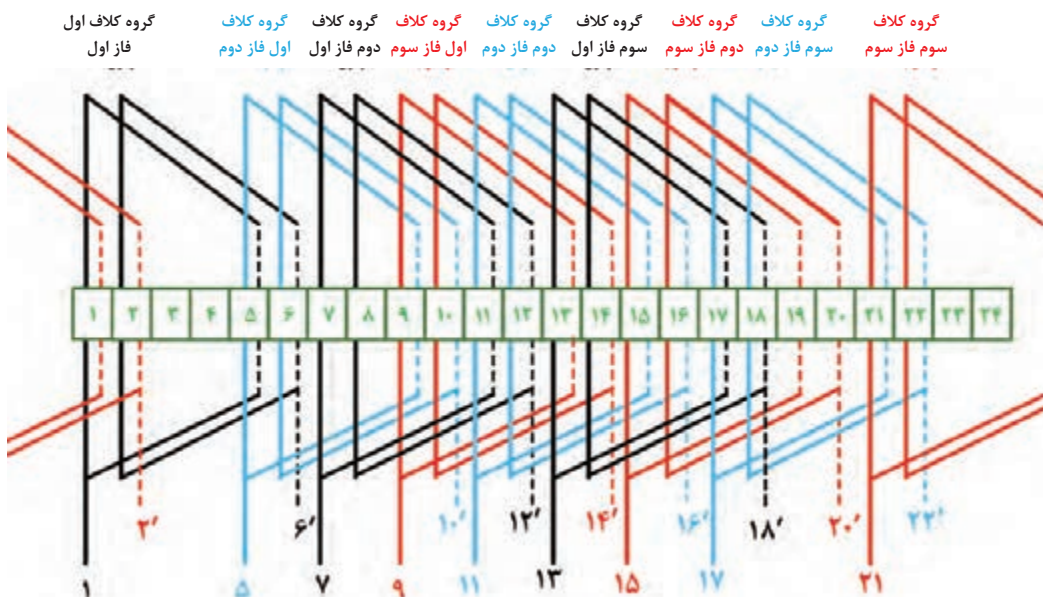
■ **گروه کلاف سوم از فاز دوم (رنگ آبی):** برای جای گذاری گروه کلاف سوم از فاز دوم باید بازوهای اول گروه دوم را در شیارهای ۱۷ و ۱۸ (رو) و بازوهای دوم گروه کلاف دوم را در شیارهای ۲۱ و ۲۲ (زیر) قرار داد.

گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ مشکی) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ قرمز) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ آبی) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ مشکی) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ قرمز) گروه کلاف سوم فاز اول (رنگ آبی)



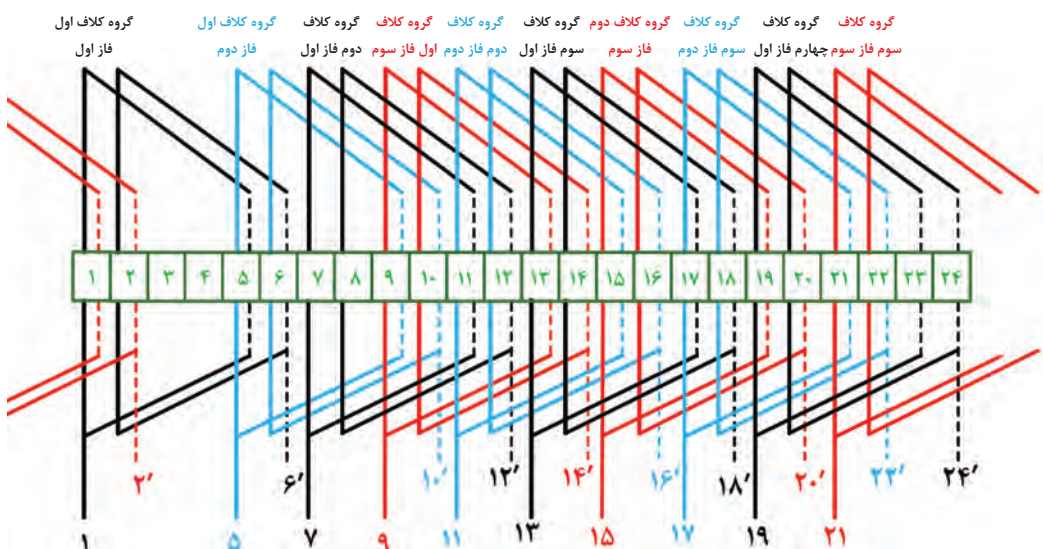
شکل ۲۶- دیاگرام کلاف سوم از فاز دوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف سوم از فاز سوم (رنگ قرمز):** برای جای گذاری گروه کلاف سوم از فاز سوم باید بازوهای اول گروه سوم را در شیار ۲۱ و ۲۲ (رو) و بازوهای دوم گروه کلاف دوم را در شیارهای ۱ و ۲ (زیر) قرار داد. حتماً توجه شود ابتدا اولین کلاف از فاز اول که در شیارهای ۱ و ۲ جای گذاری شده بود را از جای خود به دقت خارج نموده و این کلاف قرمز رنگ را از شیارهای ۲۱ و ۲۲ به کف شیارهای ۱ و ۲ قرار داده و سپس مجدداً کلاف اول را این بار در بالای شیارهای ۱ و ۲ قرار می دهیم.



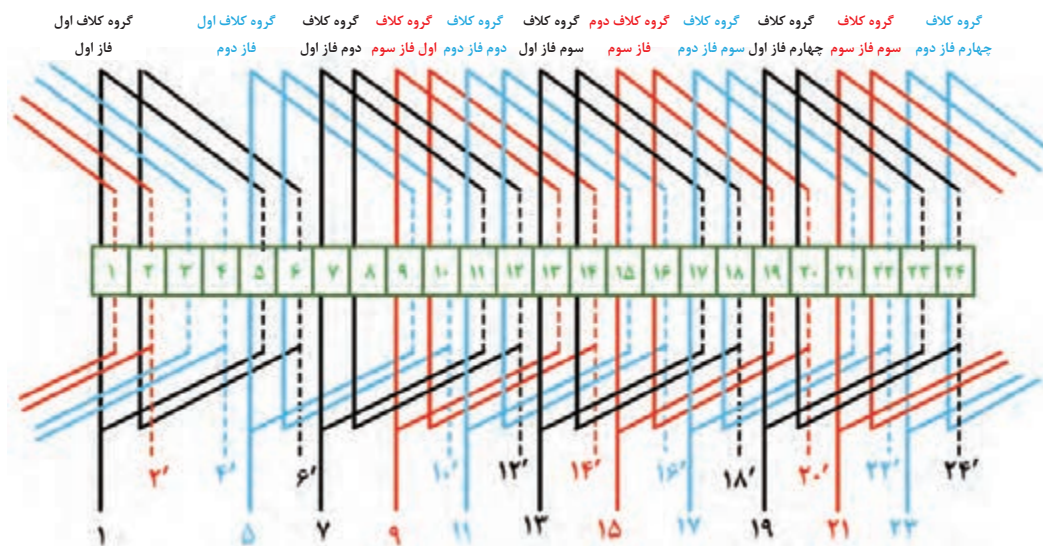
شکل ۲۷- دیاگرام کلاف سوم از فاز سوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف چهارم از فاز اول (رنگ مشکی):** بازوهای اول و دوم گروه کلاف چهارم فاز اول بترتیب در شیارهای ۱۹ و ۲۰ (رو) به ۲۳ و ۲۴ (زیر) قرار می گیرند.



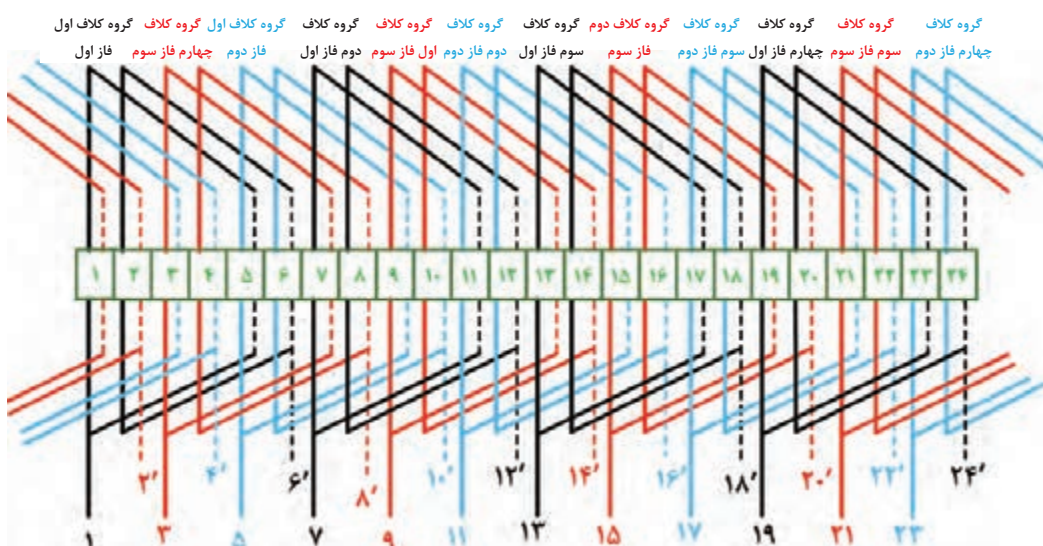
شکل ۲۸- دیاگرام کلاف چهارم از فاز اول موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف چهارم از فاز دوم (رنگ آبی):** بازوهای اول و دوم گروه کلاف چهارم فاز دوم به ترتیب در شیارهای ۲۳ و ۲۴ (رو) به ۳ و ۴ (زیر) قرار می گیرند .



شکل ۲۹- دیاگرام کلاف چهارم از فاز دوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف چهارم از فاز سوم (رنگ قرمز):** بازوهای اول و دوم گروه کلاف چهارم فاز سوم به ترتیب در شیارهای ۳ و ۴ (رو) به ۷ و ۸ (زیر) قرار می گیرند



شکل ۳۰- دیاگرام کلاف چهارم از فاز سوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

پس از اتمام کلاف گذاری موتور در ادامه می‌بایست کار اتصالات داخلی (سربندی موتور) را به دقت انجام داد.

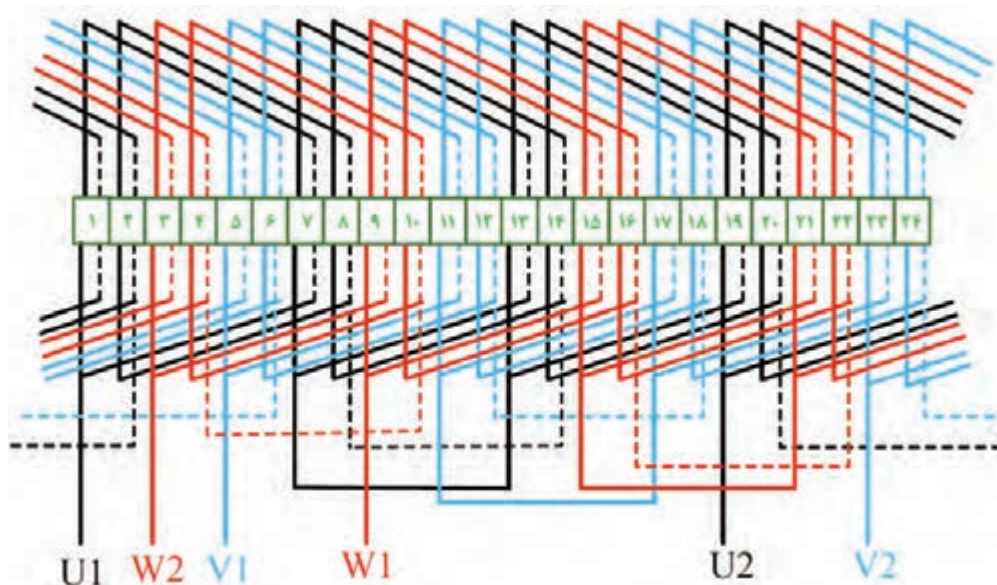
اتصال داخلی کلاف‌ها (سربندی موتور)

برای سربندی مانند موتورهای قبلی، ابتدا شش سر خروجی موتور را با توجه به جهت جریان و از کلاف‌های رویی پیدا نموده و با سیم افشان مناسب اتصال داده و لحیم کاری و عایق نمودن محل اتصال توسط وارنیش را انجام می‌دهیم. در این موتور سرهای ۱، ۵ و ۹ به ترتیب U_1 ، V_1 و W_1 و شیارهای ۱۹، ۲۳ و ۳ به ترتیب انتهای کلاف‌های U_2 ، V_2 و W_2 است. با توجه به اینکه $G=4$ و برابر با تعداد قطب است از اتصال دور برای اتصالات داخلی استفاده می‌نماییم. در جدول ۱۱ اتصالات داخلی موتور چهار قطب دوطبقه با گام کسری آمده است.

جدول ۱۱- اتصالات داخلی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با گام کسری

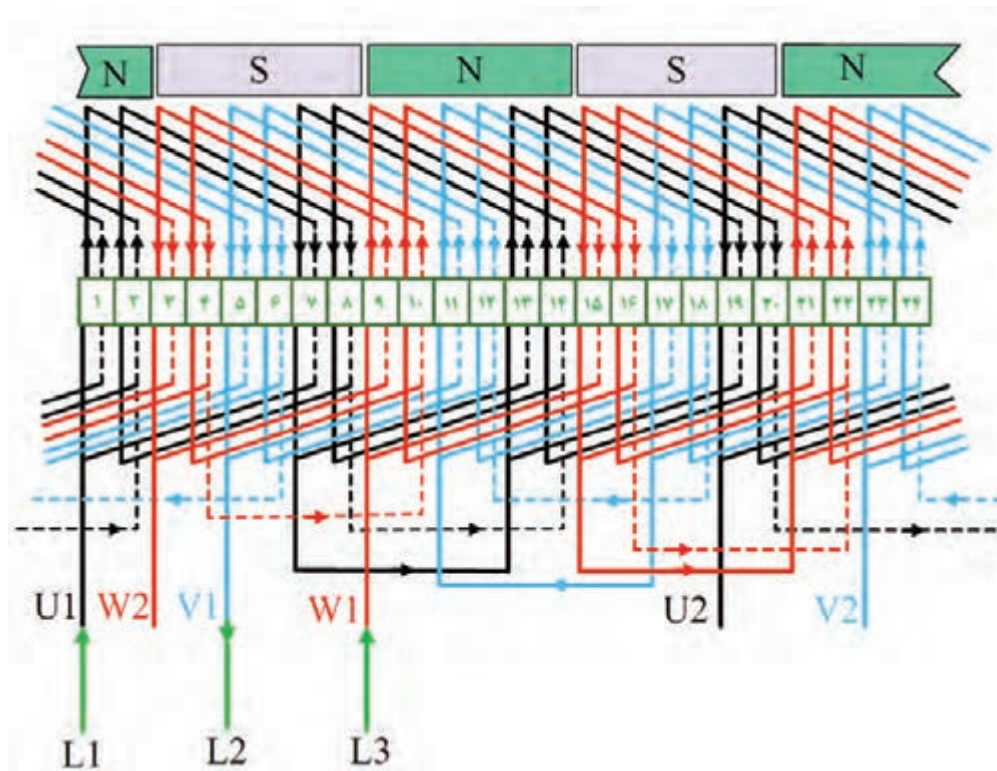
فاز سوم	فاز دوم	فاز اول
۱۴' به ۲۰'	۱۰' به ۱۶'	۶' به ۱۲'
۱۵ به ۲۱	۱۱ به ۱۷	۷ به ۱۳
۲' به ۸'	۲۲' به ۴'	۱۸' به ۲۴'

با مقایسه سربندی موتور دوطبقه گام کامل در واحد یادگیری قبل با موتور دو طبقه گام کسری بالا، می‌توان مشاهده نمود شش سر خروجی موتور مانند هم بوده ولی اتصالات داخلی آنها کاملاً متفاوت است. در شکل ۳۱ دیگرام سربندی شده و اتصالات داخلی موتور ۲۴ شیار چهار قطب دو طبقه با گام کسری نشان داده شده است.



شکل ۳۱- دیگرام سربندی و اتصالات موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

پس از نواربندی، روتور را سوار نموده و پیچ‌های درب موتور را می‌بندیم. مانند قبل انتهای کلاف‌های موتور را به صورت ستاره اتصال داده و به سر کلاف‌ها سه فاز ورودی را متصل می‌کنیم (مطابق شکل ۳۲). با رعایت نکات ایمنی، موتور را راه‌اندازی نموده و سه آمپر متر که سر راه سه فاز اصلی قرار دارد را قرائت و جریان راه‌اندازی و جریان کار موتور را یادداشت می‌کنیم. این جریان را با موتور دو طبقه گام کامل مقایسه نمایید.



شکل ۳۲- دیاگرام موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب با گام کسری به همراه قطب‌سازی

هنرجوی عزیز با توجه به خطرات برق سه فاز، هرگز بدون حضور مربی کارگاه موتور را آزمایش نکنید.

تذکر





هدف: عایق کاری و کلاف گذاری موتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با گام کسری برای حذف هارمونیک سوم

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۲۴ یا ۳۶ شیار ۲- عایق پرشمان ۳- کاتر ۴- خط کش ۵- کولیس ۶- سیم لاکی (برای کار آموزشی با راه اندازی ولتاژ خطی ۲۲۰ سیم شماره حداقل ۵۰/۰) ۷- کلاف پیچ ۸- چسب کاغذی برای شماره گذاری

مراحل انجام کار:

۱- انجام محاسبات و رسم دیاگرام سیم پیچی: ابتدا محاسبات مربوط به موتور ۳۶ شیار، ۴ قطب دو طبقه با گام کسری (حذف هارمونیک سوم) را انجام دهید. ضریب کوتاهی گام را از جدول ۸ استخراج نمایید. جدول سیم پیچی مربوطه را نوشته و دیاگرام سیم پیچی این موتور را بر روی یک کاغذ شطرنجی رسم نمایید.

۲- شماره گذاری شیارها: شیارها را شماره گذاری کنید. عایق های معیوب را تعویض و یا شیارهای بدون عایق را مطابق آموزش های داده شده در پودمان قبل تکمیل نمایید.

۳- تنظیم کلاف پیچ: با توجه به گام سیم بندی که در این موتور برابر با ۶ می باشد، کلاف پیچ را مطابق روش تجربی تنظیم نمایید.

۴- پیچیدن کلاف ها: مقدار q در این موتور برابر با ۳ بوده بنابراین هر گروه کلاف از ۳ پیچک تشکیل می شود. تعداد دور هر کلاف نصف تعداد دور سیم پیچی یک طبقه است. به عنوان مثال اگر در سیم پیچی یک طبقه تعداد دور را ۶۰ در نظر گرفتید، در موتور دو طبقه آن را نصف نموده و ۳۰ دور برای هر کلاف بپیچید.

۱۲ گروه کلاف سه تایی مورد نیاز است.

۵- جای گذاری کلاف ها: طبق محاسباتی که انجام داده اید، اولین گروه کلاف از فاز اول از شیار ۱، ۲ و ۳ به ترتیب به شیارهای ۷، ۸ و ۹ می رود. بازوهای دوم باید کف شیار قرار بگیرند. شیار ۱، ۲ و ۳ استثنائاً در شروع کار در کف شیار هستند و هنگامی که در اواخر کار مجدداً قرار باشد شیارهای فوق الذکر پر شوند، ابتدا این سه کلاف خارج، شیار پر شده و مجدداً جای گذاری می شوند.



شکل ۳۳- قرار دادن کلاف گروه اول

به ترتیب کلاف بعدی جای گذاری می شود. کلاف دوم مربوط به فاز دوم است که از شیارهای ۷، ۸ و ۹ شروع شده و کف شیارهای ۱۳، ۱۴ و ۱۵ قرار می گیرد (شکل ۳۴).



شکل ۳۴- قرار دادن کلاف گروه دوم

گروه بعدی مربوط به شروع فاز سوم است، که از شیارهای ۱۳، ۱۴ و ۱۵ شروع شده و به ترتیب به شیارهای ۱۹، ۲۰ و ۲۱ می رود. شکل ۳۵ این گروه را نشان می دهد.



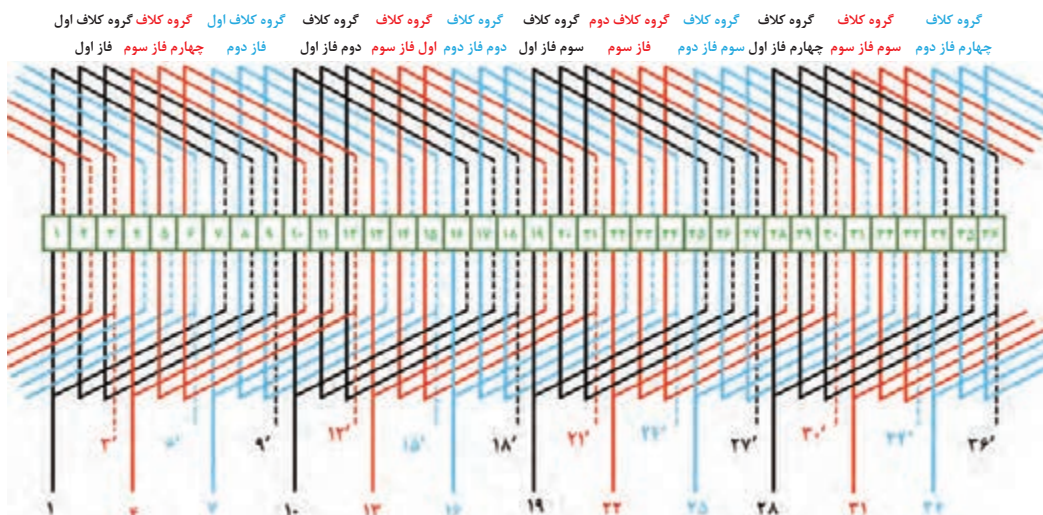
شکل ۳۵- قرار دادن کلاف گروه سوم

باقی کلاف ها را نیز به کمک جدول و دیاگرام به ترتیب جا زده و در عایق گذاری بین دو بازوی واقع در یک شیار و عایق رویی شیار دقت نمایید.

به منظور کاهش خطا، بهتر شدن کیفیت کار و همچنین داشتن مرجعی برای مقایسه نقشه ترسیم شده توسط هنرجویان، دیاگرام سیم پیچی موتور موردنظر کار عملی ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با ضریب

کوتاهی $\frac{2}{3}$ در شکل ۳۶ نشان داده شده است.





شکل ۳۶- دیاگرام کامل موتور ۳۶ شیار دوطبقه با گام کسری

کار عملی



هدف: سربندی، اتصالات، نوار بندی و راه اندازی موتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با گام کسری

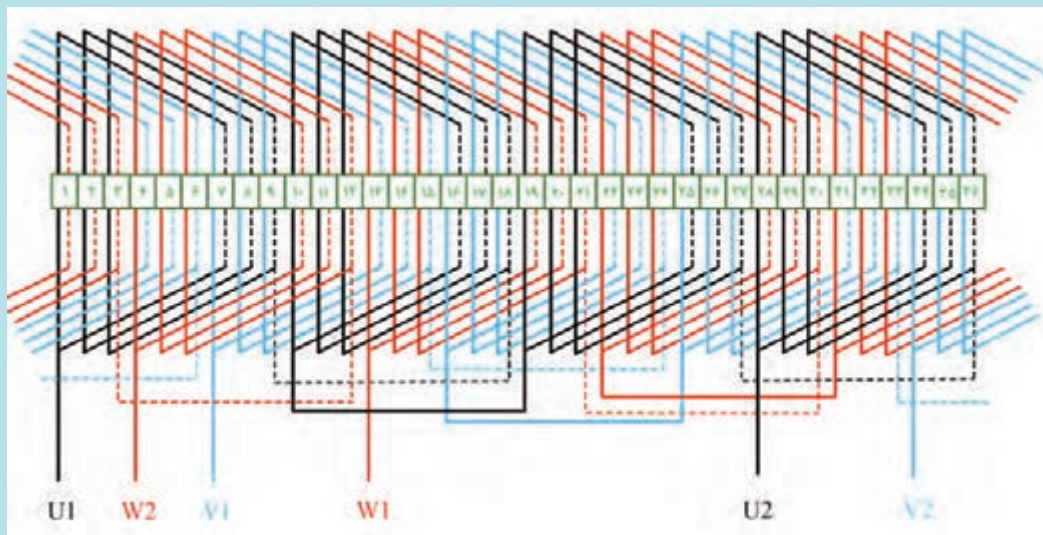
مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۳۶ شیار سیم پیچی شده در کار عملی قبل ۲- سیم لحیم، هویه و روغن ۳- سنباده نرم ۴- سیم افشان سطح مقطع ۱ یا بالاتر ۵- نخ ابریشمی یا کنفی ۶- وارنیش ۷- روتور و درپوش ۸- مراحل انجام کار:

۱- سربندی و اتصالات: پس از اتمام کار کلاف گذاری موتور که در کار عملی قبل انجام دادید می بایست کار سربندی و اتصالات لازم را انجام دهید. با توجه به اینکه مقدار G به دست آمده برابر با تعداد قطبها ($G=2P=4$) است لذا از اتصال دور (سر به سر و ته به ته) باید استفاده کنید. برای این منظور جدول ۱۲ که اتصالات داخلی (سربندی موتور) را نشان می دهد در نظر گرفته و سربندی کلاف های موتور را انجام دهید.

جدول ۱۲- جدول اتصالات داخلی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کسری

فاز سوم	فاز دوم	فاز اول
۲۱' به ۳۰'	۱۵' به ۲۴'	۹' به ۱۸'
۲۲ به ۳۱	۱۶ به ۲۵	۱۰ به ۱۹
۳' به ۱۲'	۳۳' به ۶'	۲۷' به ۳۶'

این اتصالات را با رعایت نکات فنی گفته شده در پودمان های قبل لحیم کاری نموده و محل اتصالات را به وسیله وارنیش عایق کاری نمایید. در شکل ۳۷ اتصالات کلاف ها (سربندی موتور) را مشاهده می کنید.



شکل ۳۷- دیاگرام سربندی و اتصالات موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کسری

۲- هدایت سر سیم‌های موتور به تخته کِلِم: سرکلاف‌های $U1$ ، $V1$ و $W1$ سه فاز موتور که از شیارهای ۱، ۷ و ۱۳ و ته کلاف‌های $U2$ ، $V2$ و $W2$ که از شیارهای ۲۸، ۳۴ و ۴ خارج شده‌اند را مطابق توضیحات داده شده در متن درس به تخته کِلِم موتور هدایت کرده و زیر پیچ‌های مربوطه ببندید.

۳- عایق‌گذاری بین گروه کلاف‌های فازها: مشابه آنچه که در سیم‌پیچی موتورهای یک طبقه یاد گرفتید با استفاده از کاغذ برشمان در روی پیشانی سیم‌پیچی موتور، بین گروه کلاف‌های فازهای مختلف را عایق‌گذاری کنید.

۴- نخ‌پیچی موتور: سیم‌پیچی موتور را برپایه اصولی که فرا گرفته‌اید نخ‌پیچی کنید.

۵- جازدن روتور و مونتاژ درپوش‌های موتور: روتور را به آرامی روی استاتور سوار کرده، درپوش‌های موتور را قرارداده و پیچ‌های درپوش را ببندید.

دقت کنید پیچ‌های درپوش را به اندازه‌ای محکم کنید که روتور بعد از سوار شدن به راحتی و با دست بچرخد و گیر مکانیکی نداشته باشد.

تذکر



۶- اندازه‌گیری مقاومتی و اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها: به کمک یک اهم‌تر و راهنمایی مربی خود سیم‌پیچی را از نظر سالم بودن سربندی گروه کلاف‌های سه فاز و همچنین نداشتن اتصال بدنه، سرسیم‌های موتور را مورد بررسی قرار دهید.

۷- ایجاد اتصالات ستاره روی تخته کِلِم: با استفاده از تسمه‌های مسی روی تخته کِلِم انتهای کلاف‌های موتور ($U2$ ، $V2$ و $W2$) را به صورت ستاره اتصال دهید.

۸- اتصال سیم‌پیچی به تابلو برق و راه‌اندازی موتور: موتور را روی میز آزمایش قرار داده و سه آمپرتر را در مسیر سیم ورودی هریک از سرکلاف‌های موتور ($U1$ ، $V1$ و $W1$) متصل کنید.

تذکر مهم



هرگز بدون حضور مربی تابلو آزمایش را روشن نکرده و موتور را راه اندازی نکنید.

■ در حضور مربی کارگاه و با رعایت نکات ایمنی، کلید تابلو را وصل کرده و موتور را راه اندازی کنید.

■ جریان لحظه راه اندازی هریک از فازها را اندازه گیری کرده و یادداشت کنید.

$$I_{\text{start}}(L_1) = \dots\dots\dots I_{\text{start}}(L_2) = \dots\dots\dots I_{\text{start}}(L_3) = \dots\dots\dots$$

تحقیق کنید



۱ در صورت وجود اختلاف بین جریان های سه فاز با یکدیگر علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

■ پس از ۲۰ ثانیه کارکردن موتور جریان دائم کار هریک از فازها را از روی آمپر مترها قرائت نموده و یادداشت کنید.

$$I_L(L_1) = \dots\dots\dots I_L(L_2) = \dots\dots\dots I_L(L_3) = \dots\dots\dots$$

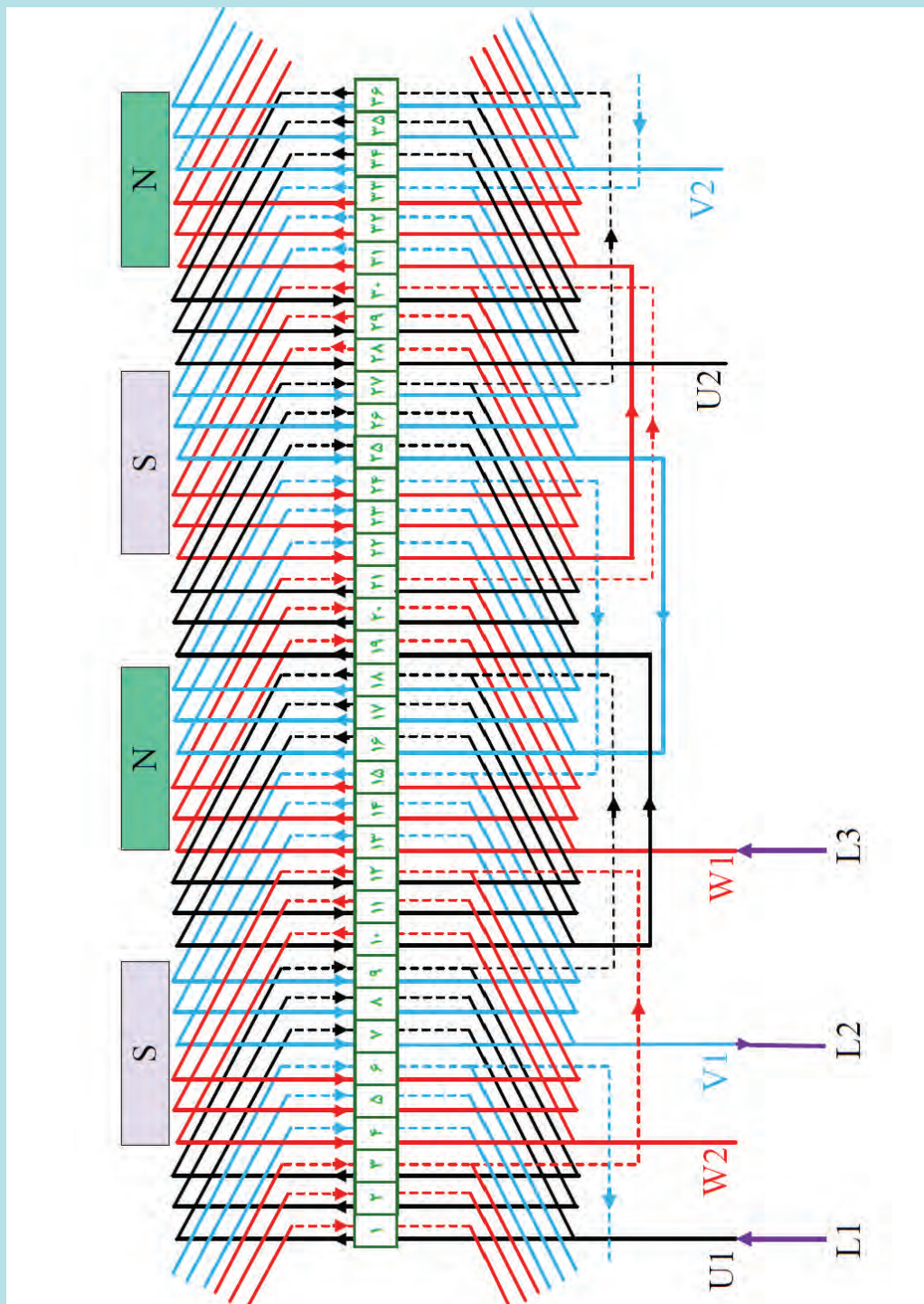
۲ در صورت وجود اختلاف بین جریان های راه اندازی (I_{start}) و دایم کار (I_L) سه فاز علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

سؤال



آیا جریان های اندازه گیری شده فازهای موتور سه فاز دو طبقه با گام کسری نسبت به موتور با گام کامل (واحد کار ۱) تفاوت دارد؟ در صورت وجود اختلاف علت را توضیح دهید؟

در شکل ۳۸ دیاگرام گسترده موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با گام کسری نشان داده شده است.



شکل ۳۸- دیاگرام گسترده موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کسری



محاسبات لازم برای سیم‌پیچی یک موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب که می‌خواهیم به صورت دو طبقه با ضربی کوتاهی گام انجام شود را نوشته، جدول و دیاگرام سیم‌پیچی آن را رسم نمایید.

تبدیل سیم آلومینیومی با مسی

برخی مواقع ممکن است در سیم‌پیچی موتور از سیم لاکی آلومینیومی استفاده شده باشد. هنگام تعویض و بازپیچی موتور می‌توان سیم مسی را جایگزین سیم آلومینیومی کرد. البته این کار به شرط اینکه مقاومت اهمی سیم پیچ قبلی و بعد از تعویض تغییر نکند، امکان پذیر است. با توجه به اینکه مقاومت مخصوص سیم مسی و آلومینیومی با یکدیگر تفاوت دارند لذا بر پایه یک اثبات ساده که از تساوی قرار دادن سطح مقطع دو سیم با یکدیگر به دست می‌آید می‌توان رابطه نهایی را به دست آورد. برای تعویض سیم آلومینیومی با مسی از رابطه نهایی زیر می‌توان استفاده کرد.

$$d_{cu} = 0.793 \times d_{Al}$$

یعنی اگر بخواهیم سیم مسی را جایگزین سیم آلومینیومی نماییم، کافیه قطر سیم آلومینیومی به کار رفته در موتور را در عدد ۰/۷۹۳ ضرب نموده تا سیم مسی معادل به دست آید. در رابطه بالا، قطر سیم مسی و قطر سیم آلومینیومی است.



در یک موتور الکتریکی از سیم لاکی آلومینیومی با قطر ۱/۲۰ استفاده شده است. جایگزین مسی آن چه سیمی خواهد بود؟
حل:

$$d_{cu} = 0.793 \times d_{Al}$$

$$d_{cu} = 0.793 \times 1.20 = 0.95 \text{ mm}$$

یعنی می‌توان به جای سیم آلومینیومی ۱/۲۰ mm از سیم مسی با قطر ۰/۹۵ mm استفاده نمود.

در صورت نیاز موتوری که سیم‌پیچی آن از جنس مس است را نیز می‌توان با سیم آلومینیومی جایگزین نمود. البته این کار مرسوم نیست اما هنگام انجام آن می‌بایست در نظر داشت که چون سیم آلومینیومی با قطر بیشتر به دست می‌آید و فضای داخل شیارهای موتور برای سیم مسی طراحی شده است به همین دلیل برای سیم‌پیچی موتور از نظر فضای شیار استاتور با مشکل روبه‌رو نشویم.
برای تبدیل سیم مسی به سیم آلومینیومی از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$d_{AL} = 1.26 \times d_{cu}$$



رابطه تبدیل سیم مسی به آلومینیومی را اثبات نمایید.

محاسبه قطر سیم برای جایگزینی سیم اصلی به صورت چند رشته

گاهی در باز پیچی سیم پیچی موتورهای ممکن است سیم مورد نظر در کارگاه موجود نباشد. برای حل این موضوع می توان به جای استفاده از یک رشته سیم (تک لا) مورد نیاز موتور، از چند رشته سیم موجود به صورت (چندلا) استفاده کرد. برای محاسبه قطر سیم جدید رابطه مقابل را می توان به کار برد.

$$d_r = \frac{d_1}{\sqrt{n}}$$

در این رابطه n تعداد رشته سیم جایگزین، قطر سیم جدید و قطر سیم اصلی می باشد.



موتوری برای سیم پیچی نیاز به سیم 0.70 دارد که در کارگاه 0.70 موجود نیست. چه سیمی را به صورت دولا می توان جایگزین سیم 0.70 نمود؟
حل:

$$d_r = \frac{d_1}{\sqrt{n}}$$

$$d_r = \frac{0.70}{\sqrt{2}} = 0.50 \text{ mm}$$

یعنی می توان به جای سیم یک رشته سیم 0.70 mm از دو رشته سیم با قطر 0.50 mm استفاده نمود.

شناسایی عیوب مکانیکی و برطرف نمودن آن

عیوب مکانیکی در موتورهای سه فاز معمولاً به اجزای فیزیکی و متحرک مربوط می شوند و می توانند باعث لرزش، صدا، افزایش دما و کاهش بازده شوند. مهم ترین عیوب مکانیکی و نحوه رفع آن در جدول ۱۳ آمده است.

جدول ۱۳- عیوب مکانیکی، علائم و نحوه رفع آن

ردیف	عیب مکانیکی	شرح عیب	علائم ظاهری	نحوه رفع آن
۱	خرابی بلبرینگ	سایش، قفل شدن	صدای غیرعادی، لرزش، افزایش دمای موتور	تعویض بلبرینگ، گریس کاری صحیح و نصب اصولی
۲	نامیزانی روتور	روتور به طور نامتقارن توزیع شده باشد	لرزش شدید	بالانس روتور در کارگاه تخصصی
۴	شل بودن قطعات	شل شدن پیچ ها یا اجزای داخلی	صدای تق تق و لرزش	سفت کردن پیچ ها، استفاده از واشر فنری
۴	خرابی فن خنک کننده	شکستگی یا گیرکردن فن	افزایش دمای موتور	تمیزکاری، تعمیر یا تعویض فن
۵	گیرکردن روتور	تماس روتور با استاتور	صدای سایش و جریان کشیدن زیاد موتور	تنظیم لقی، تعویض یاتاقان و بررسی هم راستایی

فعالیت



هوش مصنوعی (AI)

- ۱ با جستجو در پایگاه های هوش مصنوعی، دیگر عیوب مکانیکی را پیدا کنید.
- ۲ چند نمونه از انواع یاتاقان های مورد استفاده در موتور را جستجو کنید.

خودآزمایی

- ۱ مزایا و معایب سیم پیچی دوطبقه با گام کسری را بنویسید.
- ۲ محاسبات سیم پیچی یک موتور سه فاز ۱۸ شیار ۶ قطب دوطبقه برای حذف هارمونیک سوم را نوشته و جدول و دیاگرام سیم پیچی آن را نیز رسم نمایید.
- ۳ موتوری با سیم پیچ مس به قطر ۰/۷۰ میلی متر در دسترس است. در صورتی که قرار باشد با سیم آلومینیوم سیم پیچی شود، قطر آن را محاسبه نمایید.
- ۴ چند رشته سیم ۰/۵۰ میلی متری می تواند جایگزین سیم ۰/۹۰ میلی متری شود؟
- ۵ چند نمونه از عیوب های مکانیکی را نوشته و رفع آنها را توضیح دهید.

ارزشیابی شایستگی سیم پیچی موتورهای سه فاز دوطبقه گام کسری

نام و نام خانوادگی		حرفه :	تعمیر کاران برق صنعتی	کد پیمانه/پودمان	شماره ملی	استاندارد عملکرد کار:	تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه :	تعمیر کاران برق صنعتی	کد پیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۴	استاندارد عملکرد کار:		
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم پیچی ماشین های الکتریکی	سطح صلاحیت	۱.۳	محاسبه و رسم دیاگرام سیم پیچی و اجرای سیم پیچی الکتروموتور سه فاز دوطبقه با گام کسری		
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۴۲	کار	سیم پیچی موتورهای سه فاز دو طبقه گام کسری	سطح شایستگی	تسلط			

ردیف	مرا حل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص/ها/دوری /نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	آماده سازی و عایق گذاری داخل شیارهای استاتور، کلاف پیچی بوبین ها	در کارگاه سیم پیچی یا استاتور، کاغذ عایق، قیچی، خط کش، دستگاه کلاف پیچی، قالب کلاف، سیم لاک، دمباریک، ابزار جازدن کلاف، چکش پلاستیکی، تجهیزات ایمنی در زمان تقریبی ۷۵ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل کار، بررسی کیفیت عایق گذاری، کنترل تعداد دور و ابعاد کلاف ها	شیارها به طور کامل آماده و عایق گذاری شده اند، کلاف ها مطابق مشخصات فنی با تعداد دور صحیح ساخته شده اند.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل کار به درستی انجام شده است، اما در عایق گذاری، ساخت کلاف ها اشکالات جزئی وجود دارد.	۲	
				کمتر از نیمی از مراحل انجام شده یا عایق گذاری، کلاف پیچی دارای خطاهای اساسی است و کیفیت کار برای ادامه مراحل سیم پیچی قابل قبول نیست.	۱	
۲	جا زدن کلاف ها به صورت دوطبقه گام کسری	در کارگاه سیم پیچی، استاتور عایق گذاری شده، کلاف های آماده، ابزار جازدن کلاف، دمباریک، چکش پلاستیکی، گوه شیار، نوار عایق، نقشه سیم پیچی، تجهیزات ایمنی در حدود ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل کار، بررسی نحوه قرارگیری کلاف های دو طبقه در شیارها، ارزیابی کیفیت اجرا	تمامی کلاف ها مطابق نقشه سیم پیچی، بدون آسیب به عایق و سیم لاک، با نظم و آرایش صحیح در شیارهای مربوطه به صورت گام کامل جای گذاری شده اند.	۳	
				بیش از نیمی از کلاف ها به درستی در شیارها قرار گرفته اند، اما در نحوه قرارگیری، نظم کلاف ها یا رعایت نکات فنی اشکالات جزئی وجود دارد که قابل اصلاح است.	۲	
				کلاف ها به صورت نادرست یا ناقص در شیارها جای گذاری شده اند، به عایق یا سیم ها آسیب وارد شده یا کمتر از نیمی از کار انجام شده است.	۱	
۳	سر بندی و نوار بندی	در کارگاه سیم پیچی با استاتور کلاف گذاری شده، نقشه سیم پیچی موتور دوطبقه، دمباریک، سیم لخت کن، هویه و لوازم لحیم کاری (در صورت نیاز)، وارنیش یا روکش عایق، نوار عایق، نخ نسوز، اهم متر، تجهیزات ایمنی در حدود ۷۵ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل کار، بررسی صحت سر بندی طبق نقشه، کنترل کیفیت نوار بندی و عایق کاری	اتصالات کلاف ها مطابق نقشه موتور دوطبقه و بدون خطا انجام شده، محل اتصالات به خوبی عایق شده و نوار بندی با استحکام و نظم مناسب اجرا شده است.	۳	
				بیش از نیمی از سر بندی و نوار بندی به درستی انجام شده است، اما در برخی اتصالات، عایق کاری یا نحوه نوار بندی اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				سر بندی دارای خطاهای اساسی است یا نوار بندی و عایق کاری به درستی انجام نشده، به گونه ای که ادامه کار یا بهره برداری ایمن از موتور امکان پذیر نیست.	۱	
۴	تست بدنه، بستن در پوش و راه اندازی و قرائت جریان ها	در کارگاه سیم پیچی الکتروموتور مونتاژ شده، منبع تغذیه سه فاز، تابلو و تجهیزات حفاظتی، آمپر متر ، ولت متر، کلید های اتصال و در زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل راه اندازی، بررسی نحوه استفاده از تجهیزات، ارزیابی مقادیر ثبت شده، پرسش شفاهی	جریان های راه اندازی و بی باری هر سه فاز به درستی اندازه گیری و عملکرد موتور عادی و بدون لرزش یا صدای غیرعادی است.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل راه اندازی و اندازه گیری به درستی انجام شده است. موتور صدایی غیر عادی دارد.	۲	
				جریان ها متعادل نیست، موتور آمپر می کشد.	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت پذیری و رعایت اخلاقی حرفه ای در طول انجام فعالیت ها	مشاهده مستقیم، چک لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار	رعایت نسبی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار.	۲	
				عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست محیطی، یا بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.	۱	

☐ بلی☐ خبر

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ از جا زدن کلاف ها به صورت دوطبقه گام کسری و سر بندی و نوار بندی (مراحل بحرانی)

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار. معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد، نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.





پودمان پنجم

سیم پیچی موتورهای تک فاز



واحد یادگیری ۱

سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز یک سرعته

آیامی‌دانید

- ۱ اصول کارکرد موتورهای تک‌فاز با موتورهای سه فاز تفاوت دارد؟
- ۲ اجزای موتورهای تک‌فاز چیست؟
- ۳ کاربرد موتورهای تک‌فاز چیست؟
- ۴ محاسبات و نحوه سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز با موتورهای سه فاز تفاوت دارد؟
- ۵ در راه‌اندازی موتورهای تک‌فاز به چه نکاتی باید توجه کرد؟

استاندارد عملکرد

- پس از اتمام این واحد یادگیری، هنرجویان قادر خواهند بود محاسبات سیم‌پیچی انواع الکتروموتورهای تک‌فاز یک سرعته را انجام داده و دیاگرام گسترده سیم‌پیچی آنها را ترسیم کرده و سیم‌پیچی کنند.

مقدمه

موتورهای القایی تک‌فاز بیشتر در وسایل خانگی و تجهیزات سبک، مانند کولر آبی، سامانه‌های سرمایشی، یخچال و پمپ آب به کار می‌روند. این موتورها در محدوده‌های توانی مختلف تولید می‌شوند؛ با این حال، استفاده از آنها در توان‌های بالا به دلیل محدودیت ظرفیت انشعاب تک‌فاز و افزایش جریان، معمولاً مقرون به صرفه نیست.

برخی از محدودیت‌های موتورهای تک‌فاز در مقایسه با موتورهای سه‌فاز عبارت‌اند از:

■ جریان راه‌اندازی نسبتاً زیاد؛

■ گشتاور راه‌اندازی کمتر در بسیاری از انواع؛

■ راندمان پایین‌تر؛

■ ضریب توان کمتر؛

■ نیاز به تجهیزات کمکی راه‌اندازی، مانند خازن، در بسیاری از انواع موتورهای تک‌فاز.

به همین دلیل، در توان‌های بالا معمولاً استفاده از موتورهای سه‌فاز از نظر فنی و اقتصادی مناسب‌تر است.

اصول کار موتورهای الکتریکی القایی

موتورهای الکتریکی القایی، انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. این تبدیل انرژی به کمک میدان مغناطیسی انجام می‌شود. میدان مغناطیسی توسط سیم‌پیچ‌های استاتور ایجاد می‌شود و اساس کار موتورهای القایی بر القای الکترومغناطیسی در هادی‌های روتور استوار است؛ از این رو، این موتورها را موتورهای الکتریکی القایی می‌نامند.

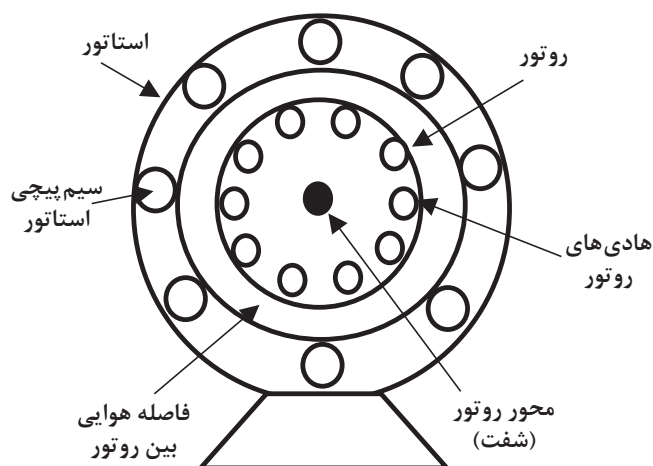
برای درک بهتر نحوه تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی، به شکل ۱ توجه کنید. اگر یک استوانه فلزی، مانند قوطی کنسرو، روی یک صفحه چوبی به گونه‌ای مهار شود که بتواند حول محور خود بچرخد و یک آهنربای دوقطبی در مجاورت آن قرار گیرد، با چرخاندن آهنربا مشاهده می‌شود که استوانه فلزی نیز به دنبال آن شروع به چرخش می‌کند.



در این حالت، چرخش آهنربا موجب ایجاد میدان مغناطیسی دوار می‌شود. این میدان در استوانه فلزی جریان‌های القایی ایجاد می‌کند و برهم‌کنش میدان مغناطیسی آهنربا با میدان ناشی از جریان‌های القایی، گشتاور لازم برای چرخش استوانه را فراهم می‌سازد.

در موتورهای الکتریکی سه‌فاز، سه سیم‌پیچ فازی در شیارهای استاتور قرار می‌گیرند. محور مغناطیسی این سیم‌پیچ‌ها نسبت به یکدیگر ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف مکانی دارد. با اتصال سیم‌پیچ‌ها به شبکه سه‌فاز، در فضای داخلی استاتور میدان مغناطیسی دوار ایجاد می‌شود.

شکل ۱- چرخش آهنربا



شکل ۲- نمای ساده از رتور و استاتور

میدان مغناطیسی دوار استاتور در هادی‌های روتور نیروی محرکه الکتریکی القا می‌کند. از آنجا که هادی‌های روتور اتصال کوتاه هستند، جریان الکتریکی در آنها برقرار می‌شود. این جریان، میدان مغناطیسی دیگری در اطراف روتور ایجاد می‌کند. برهم‌کنش میدان مغناطیسی روتور با میدان دوار استاتور موجب ایجاد نیرو و گشتاور و در نتیجه چرخش روتور می‌شود (شکل ۲). در موتورهای الکتریکی تک‌فاز، برای ایجاد گشتاور راه‌اندازی از دو سیم‌پیچ در استاتور استفاده می‌شود. این دو سیم‌پیچ

از نظر مکانی معمولاً ۹۰ درجه الکتریکی با یکدیگر اختلاف دارند. علاوه بر این اختلاف مکانی، برای ایجاد میدان دوار لازم است بین جریان عبوری از دو سیم‌پیچ نیز اختلاف فاز به‌وجود آید.

سیم‌پیچی که در زمان کار عادی موتور به شبکه تک‌فاز متصل است، سیم‌پیچ اصلی یا Main Winding نام دارد. سیم‌پیچ دوم که نسبت به سیم‌پیچ اصلی اختلاف مکانی دارد و در راه‌اندازی یا ادامه کار موتور نقش دارد، سیم‌پیچ کمکی یا Auxiliary Winding نامیده می‌شود.

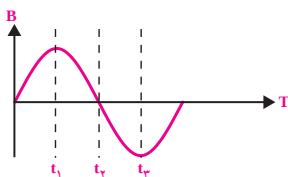
در بعضی موتورهای تک‌فاز، سیم‌پیچ کمکی پس از راه‌اندازی از مدار خارج می‌شود و در برخی دیگر، در تمام مدت کار موتور در مدار باقی می‌ماند. در شکل ۳، نمای انفجاری یک موتور الکتریکی القایی تک‌فاز و اجزای اصلی آن نشان داده شده است.



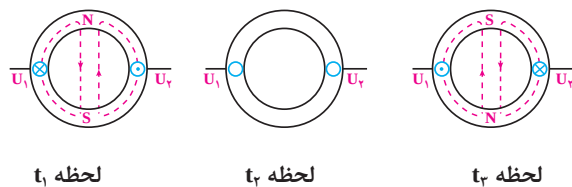
شکل ۳- تصویر انفجاری (باز شده) یک موتور الکتریکی تک‌فاز

راه اندازی موتورهای القایی تک فاز

اگر در استاتور یک موتور القایی یک دسته سیم پیچی تعبیه کنیم و آن را به جریان متناوب سینوسی وصل کنیم با عبور جریان از این سیم پیچ در نیم سیکل مثبت یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود. هر چند دامنه آن در نیم سیکل مثبت زیاد و کم می شود ولی ساکن است و در نیم سیکل منفی نیز به همین ترتیب با عبور جریان از داخل سیم پیچ یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود که دامنه آن کم و زیاد می شود اما نسبت به نیم سیکل مثبت این تفاوت را دارد که جای قطب های مغناطیسی عوض شده است. منظور از میدان مغناطیسی ساکن آن است که محل قرار گرفتن قطب های N و S در هر دو نیم سیکل روی استاتور در یک راستا حرکت می کند. در شکل ۴ تغییر وضعیت قطب در دو نیم سیکل نشان داده شده است. در حالت فوق اگر در داخل استاتور یک روتور قفسی قرار داشته باشد در هادی های آن جریان القایی به وجود می آید ولی گشتاور چرخشی نخواهیم داشت.



الف) جریان متناوب سینوس یک فاز



ب) وضعیت میدان مغناطیسی در یک استاتور با سیم پیچ تک فاز

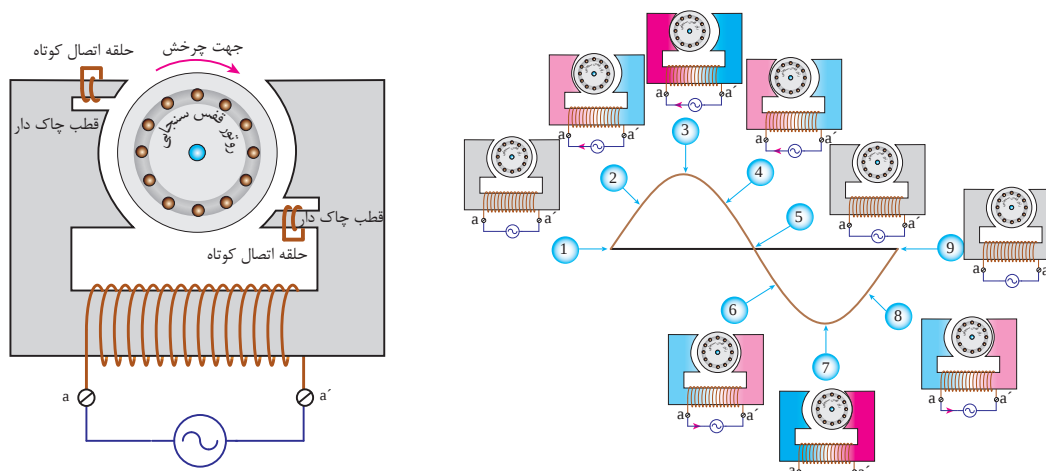
شکل ۴- وضعیت میدان مغناطیسی

در لحظه اولیه راه اندازی، تعیین جهت چرخش برای روتور موتور تک فاز با یک سیم پیچ مقدور نیست. برای آنکه یک موتور القایی تک سیم پیچ بتواند راه اندازی شود لازم است محور آن توسط یک محرک در یک جهت حرکت داده شود تا موتور بتواند این تحریک اولیه را ادامه داده و در یک جهت بچرخد. به همین دلیل اگر روتور را به وسیله دست یا هر عامل دیگری در یک جهت به چرخش درآوریم ملاحظه می شود که روتور به حرکت درخواهد آمد و با حذف عامل گرداننده (مثلاً نیروی دست) روتور همچنان به چرخش خود ادامه خواهد داد. در بحث موتورهای تک فاز اساس کار چرخش بر پایه پدیده ای تحت عنوان تئوری دو میدان گردان مطرح می باشد. از تئوری دو میدان گردان می توان نتیجه گرفت پس در موتورهای تک فاز با یک سیم پیچ میدان دواری به وجود نمی آید تا روی روتور گشتاور چرخشی لازم را ایجاد کند، اما اگر در جهتی گردانده شود در جهت گردش به حرکت خود ادامه خواهد داد.



در خصوص تئوری دو میدان گردان در کتب مختلف و همچنین هوش مصنوعی تحقیق کرده و نتایج را در دفتر گزارش کار خود ثبت کنید.

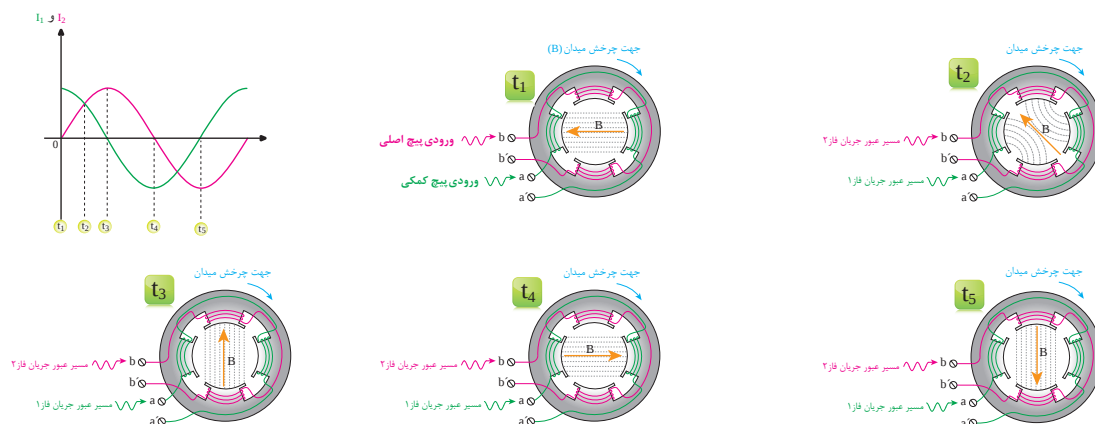
در شکل ۵ تصویر دیگری از چگونگی به وجود آمدن میدان مغناطیسی ضربانی (ساکن) و تغییر وضعیت قطب‌های N و S در فضای داخلی استاتور یک موتور القایی تک‌فاز نشان داده شده است.



شکل ۵- موتور القایی تک‌فاز مقدماتی

نتیجه‌گیری: با توجه به موارد اشاره شده می‌توان نتیجه گرفت برای اینکه موتور القایی تک‌فاز بتواند راه‌اندازی شده و به حرکت اولیه خود در یک جهت ادامه دهد لازم است درون استاتور علاوه بر سیم‌پیچ اول «سیم‌پیچ اصلی - Main» از یک سیم‌پیچ دوم به نام «سیم‌پیچ کمکی - Auxiliary» نیز استفاده شود. اگر مطابق شکل ۶ دو دسته سیم‌پیچی اصلی و کمکی که با اختلاف فاز مکانی ۹۰ درجه الکتریکی نسبت به هم در استاتور جاسازی شوند به‌طوری که جریان عبوری از آنها نیز دارای اختلاف فاز ۹۰ درجه الکتریکی باشد می‌توان میدان دوار ایجاد کرد.

شکل ۶ وضعیت میدان مغناطیسی به وجود آمده توسط سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی در فضای داخلی استاتور موتور تک‌فاز را در لحظات مختلف نشان داده شده است.



شکل ۶- وضعیت میدان مغناطیسی در لحظات مختلف

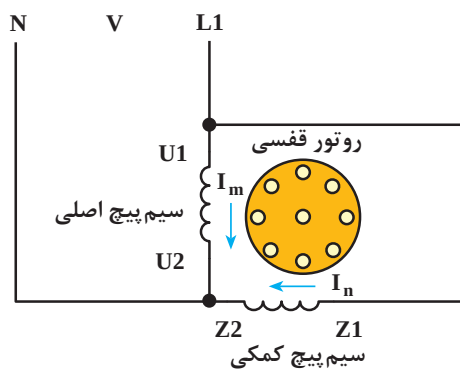
خصوصیات سیم‌پیچ کمکی

سیم‌پیچ کمکی باعث می‌شود که موتور تک‌فاز شبیه موتور دو فاز عمل کند تا موتور راه‌اندازی شود. برای آنکه سیم‌پیچ راه‌انداز بتواند وظیفه‌اش را به بهترین شکل ممکن انجام دهد باید دارای دو مشخصه باشد:

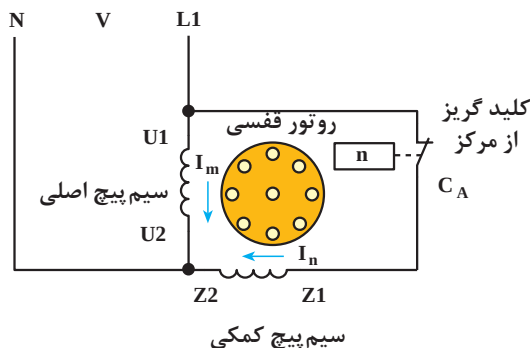
۱ سیم‌پیچ راه‌انداز باید از نظر مکانی ۹۰ درجه الکتریکی نسبت به سیم‌پیچ اصلی در درون استاتور اختلاف مکانی داشته باشد.

۲ برای دستیابی به گشتاور راه‌اندازی مناسب می‌بایست جریان الکتریکی عبوری از سیم‌پیچ کمکی نسبت به جریان عبوری از سیم‌پیچ اصلی ۹۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز داشته باشد. برای دستیابی به این هدف و با توجه به نوع موتور، برای سیم‌پیچ کمکی از سیم‌پیچ‌هایی که از نظر تعداد دور و قطرهای سیم با سیم‌پیچ اصلی تفاوت دارند استفاده شده است. از این پس به آن دسته از موتورهای تک‌فاز که سیم‌پیچی دوم آنها در مدار باقی بمانند با عنوان «سیم‌پیچ کمکی» یاد می‌کنیم و به آن گروه از موتورهای تک‌فاز که سیم‌پیچی دوم آنها توسط کلیدتابع دور (کلید گریز از مرکز) از مدار خارج می‌شود تحت عنوان «سیم‌پیچ راه‌انداز» نام برده می‌بریم.

شکل ۷ مدار الکتریکی دو نوع مدل تک‌فاز نشان داده شده است.

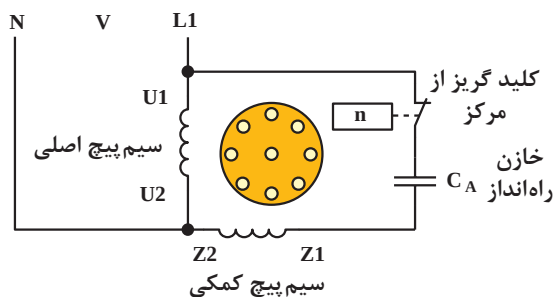


الف) موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی (دائم در مدار)



ب) موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی که توسط کلیدگریز از مرکز از مدار خارج می‌شود.

شکل ۷- مدار الکتریکی دو نوع موتور تک‌فاز



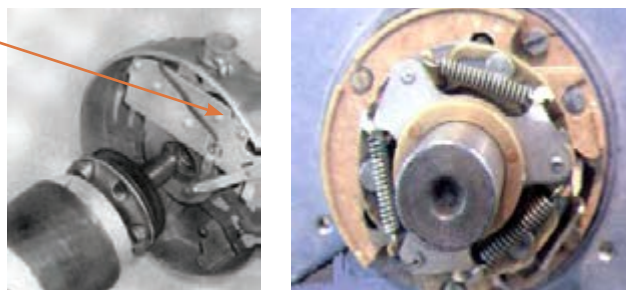
توضیح: در برخی موتورهای تک فاز از خازن در مسیر سیم پیچ راه انداز استفاده می شود تا گشتاور راه اندازی بهتر در موتور به وجود آید.

شکل ۸- مدار الکتریکی موتور تک فاز با کلید گریز از مرکز و خازن راه انداز

کلید تابع دور یا کلید گریز از مرکز

در بعضی از موتورهای تک فاز پس از راه اندازی دیگر نیازی به سیم پیچ راه انداز نیست و باید از مدار خارج شود. خارج کردن سیم پیچ راه انداز از مدار، معمولاً پس از رسیدن سرعت محور موتور به حدود ۷۵ درصد سرعت نامی آن، توسط کلیدهای گریز از مرکز انجام می شود. کلیدهای گریز از مرکز روی محور موتور نصب می شوند و با چرخش محور و استفاده از نیروی گریز از مرکز بازوهای آن باز شده و در نتیجه کنتاکت های متصل به آن تغییر وضعیت می دهند و باعث می شوند سیم پیچ کمکی پس از راه اندازی از مدار خارج شود.

کلید گریز از مرکز

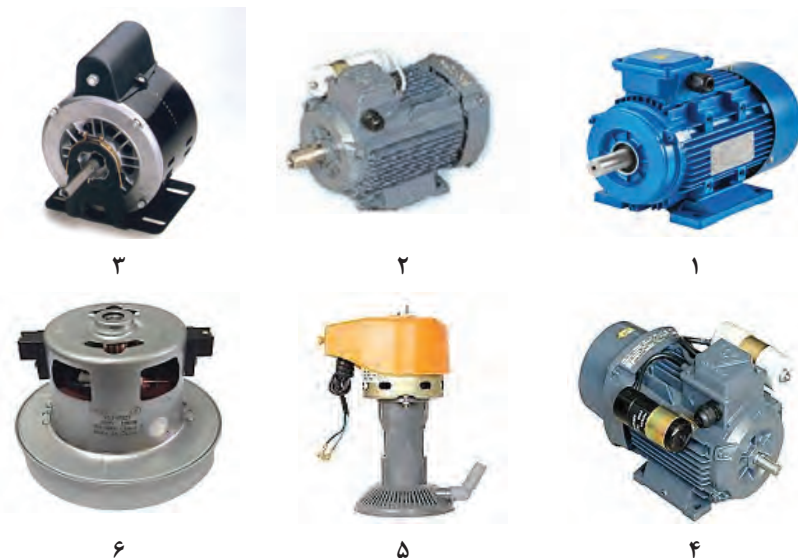


شکل ۹- کلید گریز از مرکز

انواع موتورهای الکتریکی تک فاز

موتورهای الکتریکی تک فاز در چند نوع مختلف دسته بندی می شوند که در وسایل مختلف با توجه به کاربرد و توان و همچنین مسائل اقتصادی استفاده می شوند. هر کدام از انواع موتورهای تک فاز مشخصات و خصوصیات مختص به خودشان را دارند و به همین دلیل محل کاربرد آنها با هم تفاوت دارد.

- ۱ موتور تک فاز با سیم پیچ کمکی دائم در مدار
- ۲ موتور تک فاز با خازن دائم کار
- ۳ موتور تک فاز با خازن راه انداز
- ۴ موتور تک فاز دو خازنی
- ۵ موتور تک فاز قطب چاک دار
- ۶ موتور تک فاز یونیورسال



شکل ۱۰- انواع موتورهای تک‌فاز

۱- موتورهای تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی (سیم‌پیچ دائم کار)

از آنجا که موتورهای تک‌فاز از بیرون به برق تک‌فاز متصل می‌شوند، اما درون استاتور آنها دو دسته سیم‌پیچی قرار دارد که با یکدیگر اختلاف مکانی ۹۰ درجه دارند و از داخل استاتور شبیه یک موتور دو فاز می‌باشند، به همین دلیل به آنها طرح دو فاز نیز گفته می‌شود. در این موتورها نصف شیارهای استاتور به سیم‌پیچ اصلی و نصف دیگر شیارها برای سیم‌پیچ راه‌اندازی استفاده می‌شود. طراحی سیم‌پیچی این موتورها می‌تواند گام کامل یا گام کسری انجام شود. توان این نوع موتورها حداکثر تا ۲ اسب بخار می‌باشد.

خصوصیات سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی (سیم‌پیچ دائم کار):

■ در این موتورها $\frac{1}{4}$ از شیارها به سیم‌پیچ اصلی و $\frac{1}{4}$ از شیارها به سیم‌پیچ کمکی تعلق می‌گیرد.

■ گشتاور راه‌اندازی این گروه از موتورهای تک‌فاز خیلی بالا نیست. برای بهبود گشتاور راه‌اندازی موتور، کارهای زیر انجام می‌شود.

الف) سیم‌پیچ کمکی نازک‌تر از سیم‌پیچ اصلی است تا خاصیت مقاومتی آن بیشتر باشد.

ب) سیم‌پیچ اصلی در زیر و در عمق شیارها قرار می‌گیرد و سیم‌پیچ راه‌انداز در رو و قسمت بیرونی شیارها قرار می‌گیرد.

ج) سیم‌پیچ راه‌انداز باید ۹۰ درجه الکتریکی نسبت به سیم‌پیچ اصلی فاصله مکانی داشته باشد.

محاسبات سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی (سیم‌پیچ دائم کار):

در ضمن بررسی یک مثال با روابط و مراحل انجام محاسبات موتورهای تک‌فاز یک طبقه گام کامل آشنا خواهید شد.



محاسبات کامل مربوط به یک الکتروموتور تک فاز با سیم پیچ دائم کار ۲۴ شیار ۴ قطب را به صورت یک طبقه، گام کامل انجام داده و ضمن تشکیل جدول سیم پیچی، دیاگرام گسترده آن را نیز ترسیم نمایید.

حل:

۱- خلاصه نویسی اطلاعات موتور و انجام محاسبات:

$$Z = 24, 2P=4, m=1, Y_z = Y_p, t=1$$

۲- تعداد شیارهای مربوط به سیم پیچ اصلی و سیم پیچ راه انداز:

$$Z_m = \frac{1}{P} \times Z = \frac{1}{4} \times 24 = 12$$

تعداد شیارهای سیم پیچ اصلی

$$Z_a = \frac{1}{P} \times Z = \frac{1}{4} \times 24 = 12$$

تعداد شیارهای سیم پیچ کمکی

۳- تعداد کلاف ها و گروه کلاف سیم پیچ اصلی

$$q_m = \frac{Z_m}{2P \times m} = \frac{12}{4 \times 1} = 3$$

تعداد کلاف های هر گروه کلاف سیم پیچ اصلی

$$G_m = \frac{t \cdot Z_m}{2q_m \times m} = \frac{1 \times 12}{2 \times 3 \times 1} = 2$$

تعداد گروه کلاف های سیم پیچ اصلی

۴- تعداد کلاف ها و گروه کلاف سیم پیچ کمکی

$$q_a = \frac{Z_a}{2P \times m} = \frac{12}{4 \times 1} = 3$$

تعداد کلاف های هر گروه کلاف سیم پیچ کمکی

$$G_a = \frac{t \cdot Z_a}{2q_a \times m} = \frac{1 \times 12}{2 \times 3 \times 1} = 2$$

تعداد گروه کلاف های سیم پیچ کمکی

۵- زاویه الکتریکی هر شیار استاتور

$$\alpha_{ez} = \frac{360 \times P}{Z} = \frac{360 \times 2}{24} = 30^\circ$$

۶- شیار شروع سیم پیچ اصلی و کمکی

$$1 = \text{شیار شروع سیم پیچ اصلی}$$

$$4 = \text{شیار شروع سیم پیچ راه انداز} = 1 + \frac{90}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{90}{30} = 4$$

۷- گام قطبی موتور

$$y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{4} = 6$$

۸- گام سیم بندی سیم پیچ اصلی

$$y_z = y_p = 6 \text{ پس } y_{zm} = y_p = 6$$

گام کامل

گام سیم‌بندی سیم‌پیچ اصلی $1 \rightarrow 1 + y_{zm} \rightarrow 7$

۹- گام سیم‌بندی سیم‌پیچ کمکی

پس $y_{za} = y_p = 6$ $y_z = y_p = 6$ گام کامل

گام سیم‌بندی سیم‌پیچ کمکی $1 \rightarrow 1 + y_{za} \rightarrow 7$

۱۰- تشکیل جدول سیم‌پیچی

در تشکیل جدول تعداد سطرها با تعداد قطب‌ها و تعداد ستون‌ها با تعداد فازهای موتور برابر است.

$2P = 4$ = تعداد قطب‌ها = تعداد سطرها

2 = مجموع تعداد سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی = تعداد ستون‌ها

پس ابتدا باید یک جدول 4×2 ترسیم شده و در کنار هر سطر و ستون نام‌گذاری مربوطه را انجام داد.

جدول ۱- سیم‌پیچی موتور با سیم‌پیچ کمکی

$\begin{matrix} m \\ 2P \end{matrix}$	سیم‌پیچ اصلی $U1, U2$	سیم‌پیچ راه‌انداز $W1, W2$
N		
S		
N		
S		

چون $q=3$ پس هریک از ستون‌های سیم‌پیچ اصلی و کمکی را باید به ۳ قسمت تقسیم کرد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود جدول ۱ که دارای ۸ خانه است به ۲۴ خانه تبدیل می‌شود. براساس شماره شیار شروع و گام سیم‌بندی هریک از سیم‌پیچی‌های جدول را می‌توان به صورت جدول ۲ تکمیل کرد.

جدول ۲- سیم‌پیچی موتور با سیم‌پیچ کمکی

$\begin{matrix} m \\ 2P \end{matrix}$	سیم‌پیچ اصلی			سیم‌پیچ راه‌انداز		
N	۱	۲	۳	۴	۵	۶
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴

جدول ۳- سیم پیچی موتور با سیم پیچ کمکی با مشخص نمودن گام سیم پیچی

$\begin{matrix} m \\ 2P \end{matrix}$	سیم پیچ اصلی			سیم پیچ راه انداز		
N	۱	۲	۳	۴	۵	۶
S	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
N	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
S	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴

سیم پیچ اصلی	سیم پیچ راه انداز
گروه کلاف اول ۱ → ۹ ۲ → ۸ ۳ → ۷	گروه کلاف اول ۴ → ۱۲ ۵ → ۱۱ ۶ → ۱۰
گروه کلاف دوم ۱۳ → ۲۱ ۱۴ → ۲۰ ۱۵ → ۱۹	گروه کلاف دوم ۱۶ → ۲۴ ۱۷ → ۲۳ ۱۸ → ۲۲

در جدول بالا کاملاً مشخص است که سیم پیچ های اصلی و کمکی هر کدام از دو گروه کلاف که هر کدام دارای ۳ کلاف هستند تشکیل شده است. قطر سیم لاکی به کار رفته در سیم پیچ کمکی نازک تر از سیم پیچ اصلی می باشد تا مقدار مقاومت آن بیشتر شده و اختلاف فاز بیشتری بین ولتاژ و جریان دو سیم پیچ به وجود آید.

۱۱- تعیین نوع اتصالات گروه کلاف ها (سربندی موتور)

برای محاسبه تعداد گروه کلاف های هر سیم پیچی از روابط زیر می توان استفاده کرد و در نهایت مشابه موتورهای سه فاز نوع اتصال را تشخیص داد.

اتصال دور (ته به ته و سر به سر) $G = 2P$

اتصال نزدیک (ته به سر و سر به ته) $G = P$

با توجه به رابطه تعداد گروه کلاف های موتور و محاسبه آن برای مشخصات موتور، اتصال گروه کلاف های موتور را به صورت زیر می توان تشخیص داد:

$$\text{اتصال نزدیک } G_m = \frac{t \times Z_m}{2q_m \times m} = \frac{1 \times 12}{2 \times 3 \times 1} = 2$$

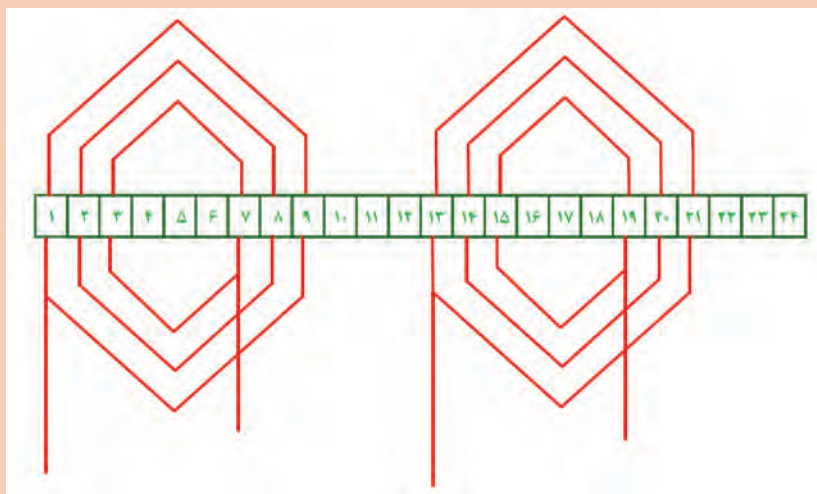
سیم پیچ اصلی

$$\text{اتصال نزدیک } G_a = \frac{t \times Z_a}{2q_a \times m} = \frac{1 \times 12}{2 \times 3 \times 1} = 2$$

سیم پیچ کمکی

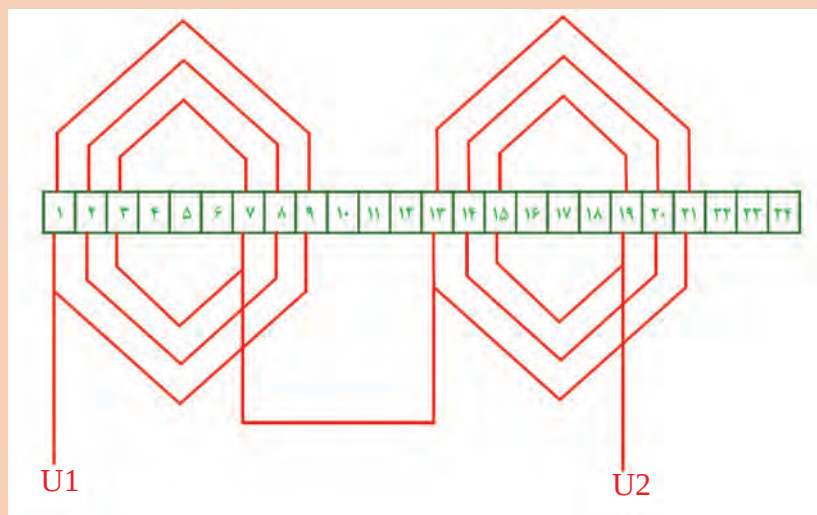
۱۲- ترسیم دیاگرام سیم‌پیچی موتور

■ سیم‌پیچ اصلی: بر پایه محاسبات انجام شده شکل دیاگرام گسترده سیم‌پیچی اصلی موتور در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



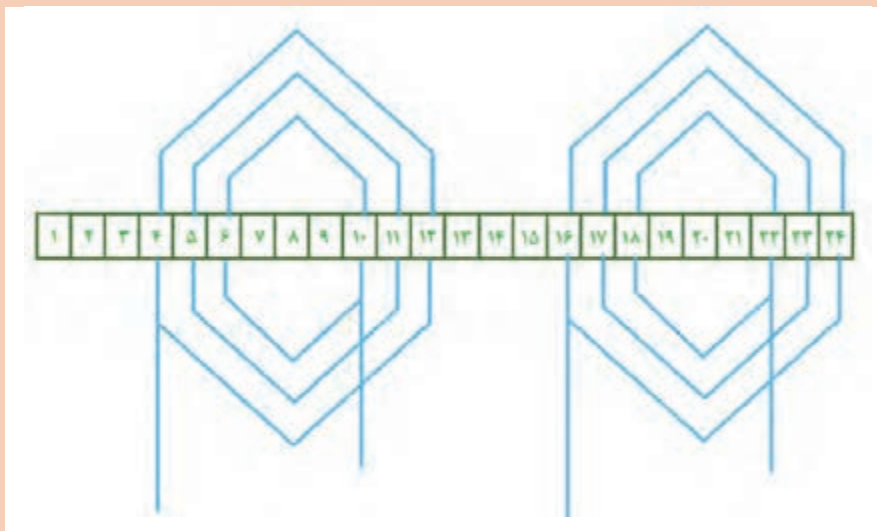
شکل ۱۱- دیاگرام کلاف گذاری سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

همان‌طوری که اشاره شد چون مقدار $G = P$ به دست آمده است لذا نحوه اتصال گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی موتور به صورت «اتصال نزدیک» و مشابه شکل ۱۲ خواهد بود.



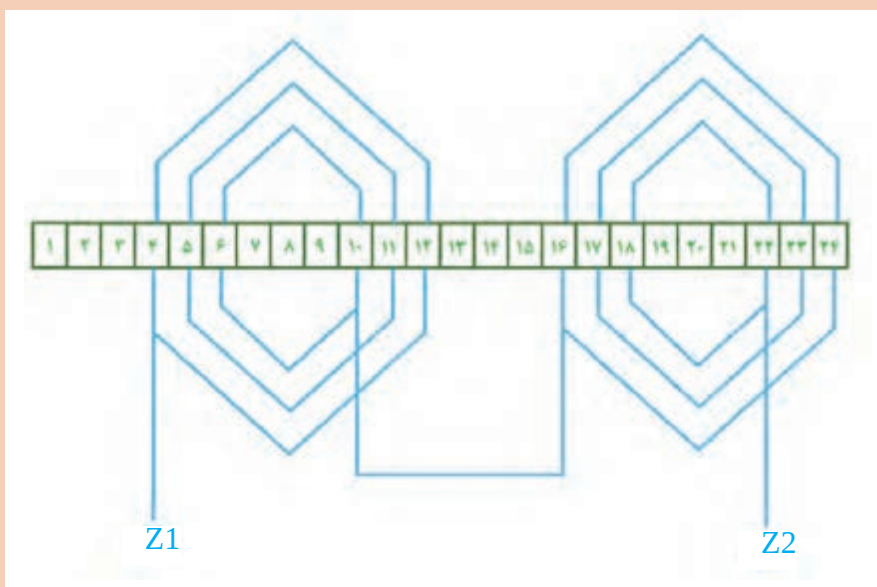
شکل ۱۲- دیاگرام سربندی سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

■ سیم پیچ کمکی: نقشه دیاگرام گسترده سیم پیچ کمکی موتور در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



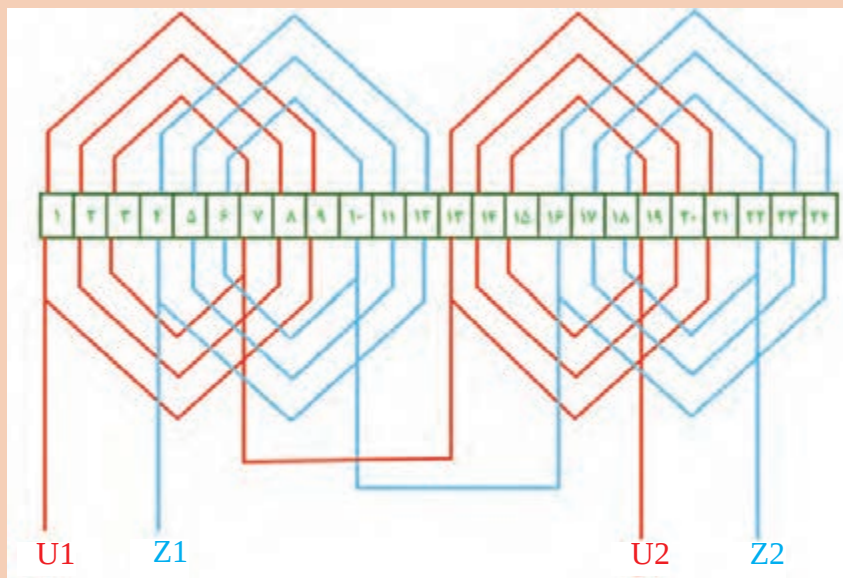
شکل ۱۳- دیاگرام کلاف گذاری سیم پیچ کمکی موتور تک فاز با سیم پیچ کمکی دائم در مدار

در شکل ۱۴ نحوه اتصال گروه کلاف های سیم پیچ کمکی (سربندی موتور) که اتصال نزدیک است را مشاهده می کنید.



شکل ۱۴- دیاگرام سربندی سیم پیچ اصلی موتور تک فاز با سیم پیچ کمکی دائم در مدار

در شکل ۱۵ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی کامل موتور تک‌فاز ۲۴ شیار چهار قطب نشان داده شده است.



شکل ۱۵- دیاگرام گسترده موتور تک‌فاز ۲۴ شیار چهار قطب با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

کار عملی



هدف: کلاف‌گذاری، سربندی و نواربندی یک الکتروموتور ۲۴ یا ۳۶ شیار تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۳۶ شیار ۲- کلاف پیچ ۳- سیم لاکه سایز ۰/۵-۴ عایق برشمان ۵- کاتر ۶- خط‌کش ۷- کولیس ۸- نخ ۹- هویه، سیم لحیم و روغن لحیم کاری ۱۰- سیم افشان سایز ۱ میلی‌متر مربع ۱۱- سیم‌چین و دم‌باریک

مراحل انجام کار:

۱ با توجه به امکانات موجود در هنرستان و با نظر هنرآموز خود یکی از دو الکتروموتور تک‌فاز ۲۴ شیار یا ۳۶ شیار را از انبار تحویل بگیرید.

۲ محاسبات لازم برای سیم‌پیچی موتور تک‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب یا ۳۶ شیار ۶ قطب را به صورت گام کامل به همراه تشکیل جدول سیم‌پیچی موتور موردنظر در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

۳ نقشه گسترده سیم‌پیچی‌های موتور را با رنگ‌های مختلف در دفتر گزارش کار ترسیم کنید.

۴ براساس مقدار به‌دست آمده برای q و تعداد دور هر کلاف که توسط مربی محترم برای شما مشخص می‌شود گروه کلاف‌های موردنیاز سیم‌پیچی موتور را توسط کلاف‌پیچ پیچیده و آماده نمایید.

۵ مطابق نقشه گسترده (یا جدول سیم‌پیچی) اقدام به جا زدن کلاف‌های پیچیده شده و آماده نمایید.

۶ پس از جا زدن همه گروه کلاف‌ها، سر کلاف‌های خارج شده از شیارها را لحیم کاری کرده و اتصالات لازم برای سربندی موتور را انجام دهید.

۷ سر و ته سیم پیچ اصلی (U1 و U2) و سیم پیچ کمکی (Z1 و Z2) را از تخته کلم موتور خارج کنید.
۸ در پایان کار لحیم کاری با راهنمایی مربی خود و استفاده از قسمت اهم متری یک دستگاه مولتی متر سر و ته کلاف های هر فاز را مورد بررسی قرار دهید تا از عدم قطعی در اتصالات ایجاد شده اطمینان حاصل کنید.

۹ پس از اتمام کار جا زدن بازوهای کلاف در شیارهای استاتور سیم پیچی موتور را نخ بندی کنید.
۱۰ به ترتیب به سرهای (U1 و U2) و (Z1 و Z2) که به صورت موازی اتصال داده و با حضور مربی کارگاه سیم های فاز و نول شبکه تک فاز (L1 و N) را به دو سر U1 و U2 متصل کنید.
۱۱ با وصل کلید تابلو برق، موتور را مورد آزمایش قرار دهید.
۱۲ با استفاده از دورسنج، سرعت موتور را اندازه گیری کنید.
۱۳ در صورتی که روی تابلو آمپر متر در مسیر سیم فاز وجود دارد مقدار جریان در لحظه وصل کنید و ۵ ثانیه پس از راه اندازی را یادداشت نمایید.

Im (start) = Im = n =

تمرین

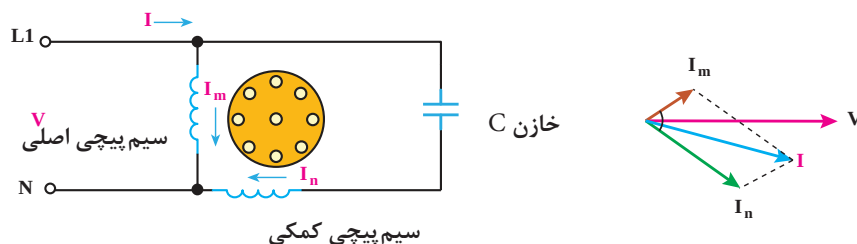


محاسبات کامل یک الکترو موتور تک فاز ۲۴ شیار ۲ قطب، یک طبقه و گام کامل را به صورت طرح دو فاز با سیم پیچ راه انداز دائم کار انجام داده و نقشه گسترده آن را در کاغذ شطرنجی ترسیم نمایید.

۲- موتورهای تک فاز خازن دار

الف) موتور تک فاز خازن دار با سیم پیچ کمکی دائم کار:

نوعی از موتورهای تک فاز با سیم پیچ کمکی دائم کار وجود دارد که در مسیر سیم پیچ کمکی آنها یک خازن نیز قرار می گیرد. جنس این خازن روغنی بوده و به دلیل اینکه در مدار باقی می ماند ظرفیت بالایی ندارد. به این موتورها، موتورهای با خازن دائم کار گفته می شود. از این موتورها در بسیاری از لوازم خانگی مثل پنکه و ماشین لباسشویی استفاده می شود. این نوع موتورها سر و صدای بسیار کمی دارند و نسبت به موتور فاز شکسته گشتاور راه اندازی بالاتری دارند و همچنین تغییر جهت چرخش در آنها به راحتی توسط یک کلید ساده امکان پذیر است (شکل ۱۶).

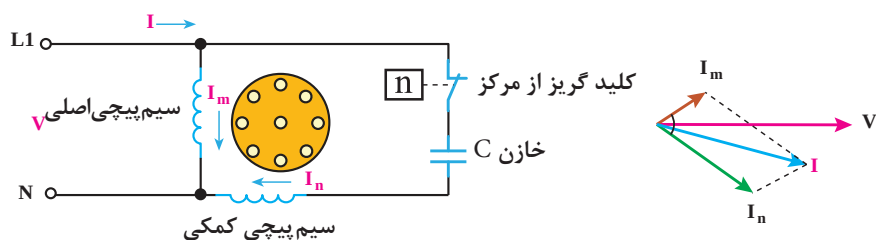


شکل ۱۶- اتصال سیم پیچ های اصلی و کمکی موتور تک فاز با خازن دائم کار به همراه دیاگرام برداری ولتاژ و جریان ها

ب) موتور تک‌فاز خازن‌دار با سیم‌پیچ کمکی موقت (سیم‌پیچ راه‌انداز)

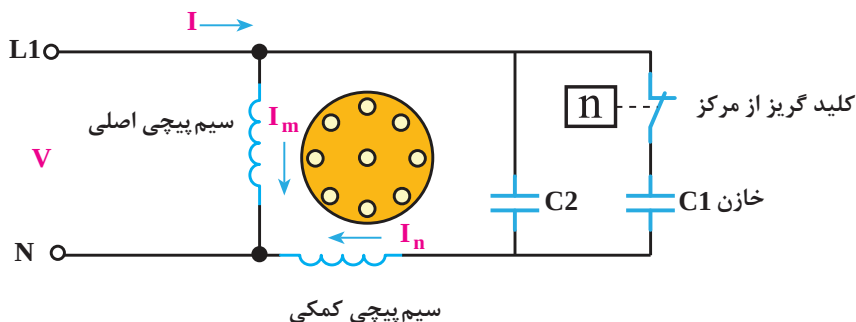
در این نوع موتورها زمان راه‌اندازی هر دو سیم‌پیچ اصلی و کمکی به صورت موازی با هم در مدار قرار می‌گیرند، اما پس از راه‌اندازی و رسیدن سرعت موتور به حدود ۷۵٪ سرعت نامی، کلید تابع دور عمل می‌کند. این گونه موتورها در دو دسته تولید و به کار گرفته می‌شوند.

■ **موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز:** در این موتورها خازن با سیم‌پیچ راه‌انداز سری قرار گرفته و پس از راه‌اندازی هم خازن و هم سیم‌پیچ راه‌انداز از مدار خارج می‌شوند. جنس خازن الکترولیتی بوده که با وجود اندازه کوچک ظرفیت بالایی دارد.



شکل ۱۷- اتصال سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز به همراه دیگرام برداری ولتاژ و جریان‌ها

■ **موتور تک‌فاز دو خازنی:** در این موتورها از دو خازن استفاده می‌شود. یکی از خازن‌ها پس از راه‌اندازی توسط کلید تابع دور از مدار خارج می‌شود و خازن دیگری در مدار سیم‌پیچ کمکی باقی می‌ماند. ظرفیت خازن موقت معمولاً حدود ۳ برابر خازن دائم در مدار است. در این موتورها در واقع با حضور خازن دائم در مدار گشتاور کار موتور تقویت شده است. در زمان راه‌اندازی هر دو خازن با هم به صورت موازی در مدار قرار دارند لذا ظرفیت آنها با هم جمع شده و گشتاور راه‌اندازی موتور افزایش می‌یابد. از این موتورها برای مواردی که نیاز به موتورهای با توان‌های بالا نیاز است استفاده می‌شود.



شکل ۱۸- اتصال سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی موتور تک‌فاز دو خازنی

در موتورهای تک فازی که سیم پیچ راه انداز پس از راه اندازی توسط کلید گریز از مرکز مدار خارج می شود $\frac{2}{3}$ از شیارها به سیم پیچ اصلی و $\frac{1}{3}$ از شیارها به سیم پیچ راه انداز اختصاص می یابد که البته این خاصیت باعث کاهش بازده موتور در حالت کار می شود. در ادامه ضمن بررسی یک مثال با روابط و مراحل انجام محاسبات موتورهای تک فاز یک طبقه گام کامل آشنا خواهید شد.

محاسبات سیم پیچی موتورهای تک فاز دوسرعت با سیم پیچ راه انداز

مثال



مطلوبست محاسبات سیم پیچی یک الکترو موتور تک فاز ۲۴ شیار ۴ قطب با راه انداز موقت را انجام داده و به همراه تشکیل جدول سیم پیچی، دیاگرام گسترده آن را نیز رسم نمایید.
حل: برای آشنایی با نحوه دستیابی به خواسته های سؤال محاسبات را طبق مراحل زیر باید انجام داد:
۱- خلاصه نویسی اطلاعات موتور و انجام محاسبات

سیم پیچ کمکی از مدار خارج می شود $t=1$, $m=1$, $2P=4$, $Z=24$

۲- تعداد شیارهای مربوط به سیم پیچ اصلی و سیم پیچ کمکی

$$Z_m = \frac{2}{3} \times Z = \frac{2}{3} \times 24 = 16 \quad \text{تعداد شیارهای سیم پیچ اصلی}$$

$$Z_a = \frac{1}{3} \times Z = \frac{1}{3} \times 24 = 8 \quad \text{تعداد شیارهای سیم پیچ کمکی}$$

۳- تعداد کلاف ها و گروه کلاف سیم پیچ اصلی

سیم پیچی اصلی موتور از چهار گروه کلاف که هر کدام دارای

$$q_m = \frac{Z_m}{4P \times m} = \frac{16}{4 \times 2 \times 1} = 2$$

دو کلاف هستند تشکیل می شود.

$$G_m = \frac{t \times Z_m}{2q_m \times m} = \frac{1 \times 16}{2 \times 2 \times 1} = 4$$

۴- تعداد کلاف ها و گروه کلاف سیم پیچ کمکی (راه انداز)

سیم پیچی کمکی موتور از چهار گروه کلاف که هر کدام دارای

$$q_a = \frac{Z_a}{4P \times m} = \frac{8}{4 \times 2 \times 1} = 1$$

یک کلاف هستند تشکیل می شود.

$$G_a = \frac{t \times Z_a}{2q_a \times m} = \frac{1 \times 8}{2 \times 1 \times 1} = 4$$

۵- زاویه الکتریکی هر شیار

$$\alpha_{ez} = \frac{360 \times P}{Z} = \frac{360 \times 2}{24} = 30^\circ$$

۶- شیار شروع سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ کمکی (راه‌انداز)

۱ = شیار شروع سیم‌پیچ اصلی

$$\text{شیار شروع سیم‌پیچ راه‌انداز} = 1 + \frac{90}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{90}{30} = 4$$

۷- گام قطبی موتور

$$y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{4} = 6$$

۸- گام سیم‌بندی سیم‌پیچ اصلی

$$y_{za} = y_p - q_m = 6 - 2 = 4$$

$$1 \rightarrow 1 + y_{zm} \rightarrow 7 \quad \text{گام سیم‌پیچ اصلی}$$

۹- گام سیم‌بندی سیم‌پیچ کمکی (راه‌انداز)

$$y_{za} = y_p - q_a = 6 - 1 = 5$$

$$1 \rightarrow 1 + y_{za} \rightarrow 7 \quad \text{گام سیم‌پیچی کمکی (راه‌انداز)}$$

۱۰- تشکیل جدول سیم‌پیچی

تشکیل جدول و قرار دادن شماره شیارها و ارتباط آنها با یکدیگر در این موتورها قدری نیاز به دقت و تمرکز دارد. ابتدا یک جدول ترسیم می‌کنیم که به تعداد قطب‌ها سطر و دو ستون اصلی دارد که البته چون شیارها مربوط به سیم‌پیچ اصلی می‌باشد باید ستون مربوط به سیم‌پیچ اصلی بزرگ‌تر از ستون مربوط به راه‌انداز باشد.

جدول ۴- سیم‌پیچی موتور تک‌فاز مثال ۲

سیم‌پیچ اصلی		سیم‌پیچ راه‌انداز	
N			
S			
N			
S			

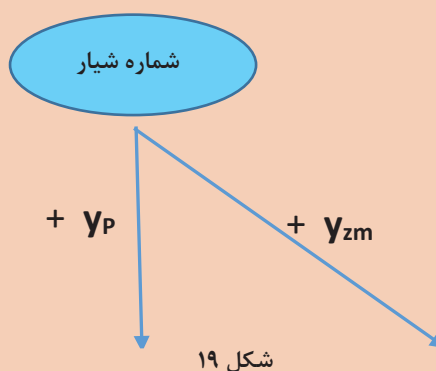
هر ستون را به دو زیرستون مساوی تقسیم می‌کنیم. در ستون سیم‌پیچ اصلی در مجموع ۸ سلول وجود دارد در حالی که کل شیارهای سیم‌پیچ اصلی ۱۶ شیار می‌باشد. پس در هر سلول باید ۲ شیار قرار گیرد. از طرفی چون $q'_m = 2$ می‌باشد، در هر سلول ۲ شیار قرار می‌گیرد. در ستون سیم‌پیچ راه‌انداز نیز ۸ سلول وجود دارد، در حالی که کل شیارهای سیم‌پیچ راه‌انداز ۸ شیار می‌باشد. یعنی در هر سلول یک شیار قرار می‌گیرد. از طرفی چون $q'_a = 1$ می‌باشد، در هر سلول یک شیار قرار می‌گیرد.

ابتدا سلول‌های سیم‌پیچ اصلی را با شروع از شیار شماره یک به صورت زیر تکمیل می‌کنیم:

جدول ۵- جدول سیم‌پیچی

سیم‌پیچ اصلی			
N	۱	۲	۲۳ ۲۴
S	۷	۸	۵ ۶
N	۱۳	۱۴	۱۱ ۱۲
S	۱۹	۲۰	۱۷ ۱۸

ستون دوم سطر اول



پس در نهایت جدول سیم‌پیچ اصلی به صورت شکل ۲۰ تشکیل خواهد شد.

سیم‌پیچ اصلی			
N	۱	۲	۲۳ ۲۴
S	۷	۸	۵ ۶
N	۱۳	۱۴	۱۱ ۱۲
S	۱۹	۲۰	۱۷ ۱۸

- گروه کلاف اول — $\begin{cases} 1 \rightarrow 6 \\ 2 \rightarrow 5 \end{cases}$
- گروه کلاف دوم — $\begin{cases} 7 \rightarrow 12 \\ 8 \rightarrow 11 \end{cases}$
- گروه کلاف سوم — $\begin{cases} 13 \rightarrow 18 \\ 14 \rightarrow 17 \end{cases}$
- گروه کلاف چهارم — $\begin{cases} 19 \rightarrow 24 \\ 20 \rightarrow 23 \end{cases}$

شکل ۲۰- جدول سیم‌پیچی اصلی

ملاحظه می‌شود که سیم‌پیچ اصلی از ۴ گروه کلاف که هر یک دارای ۲ کلاف هستند تشکیل می‌شود. یعنی در مجموع ۸ کلاف و هر کلاف ۲ شیار را اشغال خواهند کرد که دربرگیرنده ۱۶ شیار خواهد بود.

۱۱- تعیین نوع اتصالات گروه کلاف‌ها (سربندی موتور)

با توجه به تعداد گروه کلاف‌های محاسبه شده برای هریک از سیم‌پیچی‌های اصلی و کمکی می‌توان نوع اتصال را تشخیص داد.

$G = 2P$ اتصال دور (ته به ته و سر به سر)

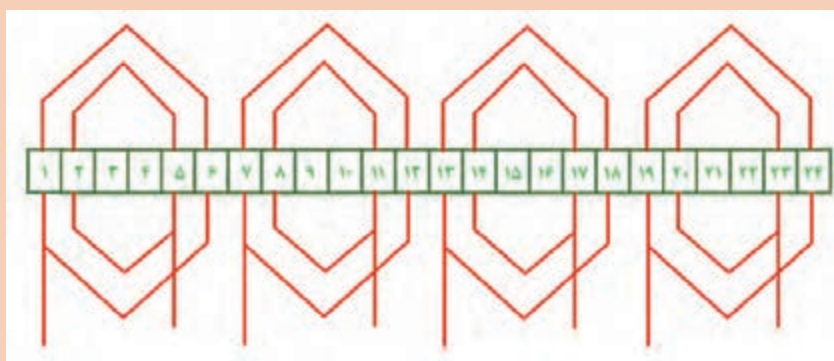
$G = P$ اتصال نزدیک (ته به سر و سر به ته)

چون مقدار $G_m = 4 = 2P$ به‌دست آمده پس نحوه اتصال (سربندی) سیم‌پیچ اصلی دور است.

همچنین چون مقدار $G_a = 4 = 2P$ به‌دست آمده پس نحوه سربندی سیم‌پیچ کمکی نیز دور است.

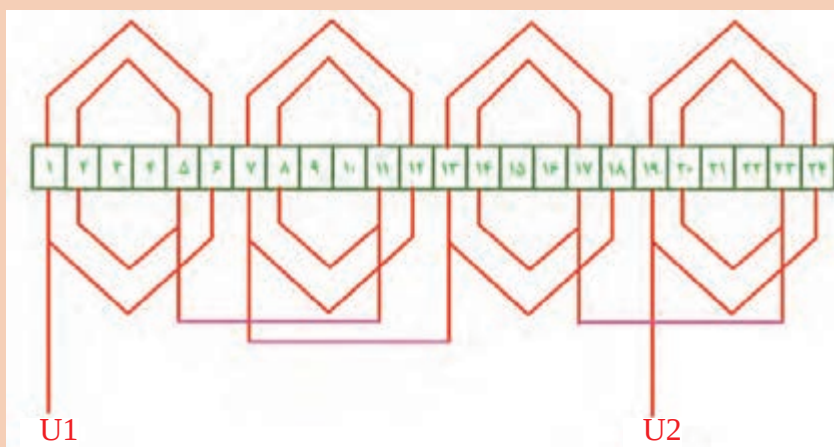
۱۲- ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور

سیم‌پیچ اصلی: در شکل ۲۱ نحوه قرارگرفتن گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی در داخل شیارهای استاتور نشان داده شده است.



شکل ۲۱- دیاگرام کلاف‌گذاری سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ راه‌انداز

براساس مقدار به‌دست آمده برای G_m نوع سربندی سیم‌پیچی اصلی به‌صورت اتصال دور است.



شکل ۲۲- دیاگرام سربندی سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ راه‌انداز

اکنون با توجه به اینکه شیار شروع سیم پیچ راه انداز که از شیار شماره ۴ می باشد و همچنین مقادیر Y_p و Y_z و قاعده نشان داده شده در شکل ۲۳ جدول سیم پیچ راه انداز را باید تکمیل کرد.

جدول ۶- سیم پیچی راه انداز

سیم پیچی راه انداز			سیم پیچی راه انداز		
N	۴	۳	N	۴	۳
S	۱۰	۹	S	۱۰	۹
N	۱۶	۱۵	N	۱۶	۱۵
S	۲۲	۲۱	S	۲۲	۲۱

شماره شیار

$+ Y_p$ $+ Y_{za}$

ستون دوم سطر اول

همان طور که مشاهده می شود سیم پیچ راه انداز از ۴ گروه کلاف که دارای تک کلاف هستند تشکیل می شود که در مجموع ۸ شیار را پر می کند یعنی:

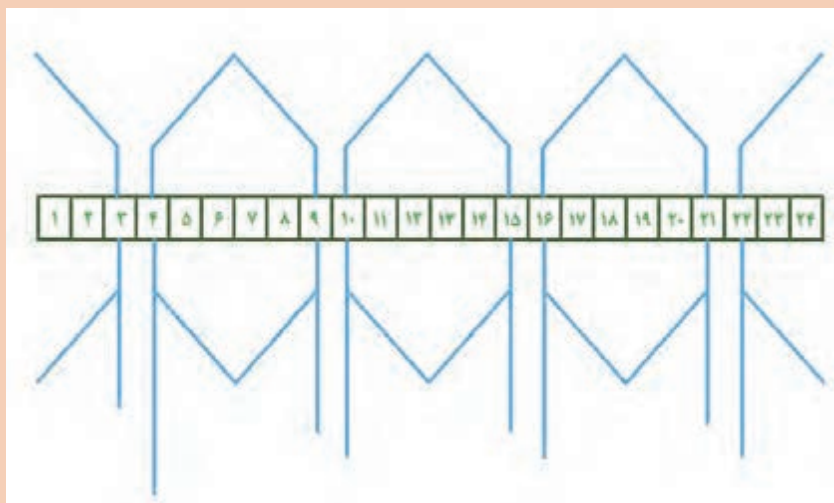
۴ → ۹ گروه کلاف اول

۱۶ → ۲۱ گروه کلاف سوم

۱۰ → ۱۵ گروه کلاف دوم

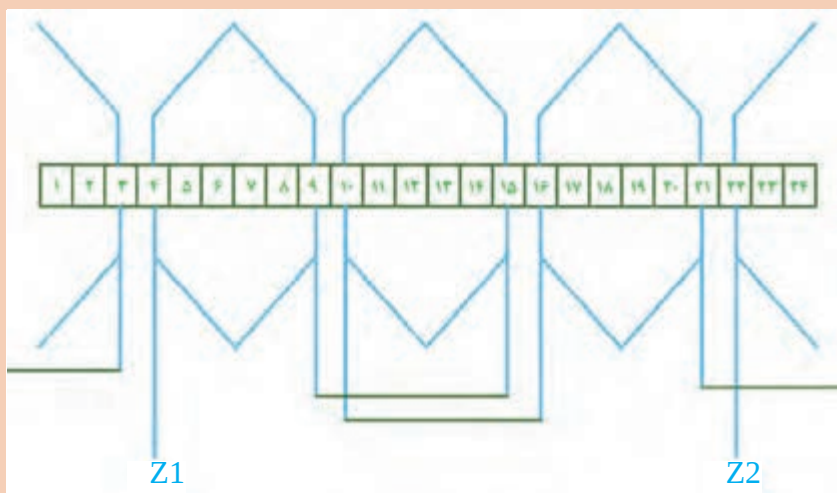
۲۲ → ۳ گروه کلاف چهارم

سیم پیچ راه انداز:



شکل ۲۳- دیاگرام کلاف گذاری سیم پیچ کمکی (سیم پیچ راه انداز) موتور تک فاز

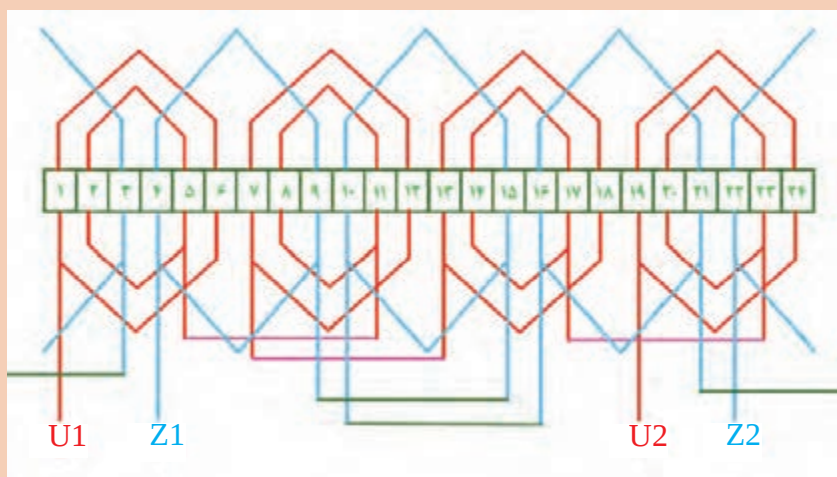
براساس مقدار به‌دست آمده برای G_a نوع سربندی سیم‌پیچ راه‌انداز نیز به‌صورت اتصال دور است.



شکل ۲۴- دیاگرام سربندی سیم‌پیچ کمکی (سیم‌پیچ راه‌انداز) موتور تک‌فاز

نقشه گسترده کامل موتور:

در شکل ۲۵ دیاگرام گسترده کامل موتور تک‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ راه‌انداز نشان داده شده است.



شکل ۲۵- دیاگرام موتور تک‌فاز ۲۴ شیار چهار قطب با سیم‌پیچ راه‌انداز



محاسبات کامل یک الکترو موتور تک فاز ۳۶ شیار ۲ قطب را به صورت یک طبقه گام کامل با راه انداز موقت را انجام داده و ضمن تشکیل جدول سیم پیچی، نقشه دیاگرام گسترده آن را در دفتر گزارش کار خود رسم کنید.



هدف: کلاف گذاری، سربندی و نواربندی یک الکتروموتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار به صورت یک طبقه با سیم پیچ کمکی موقت (سیم پیچ راه انداز)
مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ - پوسته ۳۶ شیار ۲ - کلاف پیچ ۳ - سیم لاکه سایز ۵/۴ - عایق برشمان ۵ - کاتر ۶ - خط کش ۷ - کولیس ۸ - نخ ۹ - هویه، سیم لحیم و روغن لحیم کاری ۱۰ - سیم افشان سایز ۱ میلی متر مربع ۱۱ - سیم چین و دمباریک
مراحل انجام کار:

۱ با توجه به امکانات موجود در هنرستان و با نظر هنرآموز خود یکی از دو موتور تک فاز ۲۴ شیار یا ۳۶ شیار را از انبار تحویل بگیرید.

۲ محاسبات لازم برای سیم پیچی موتور تک فاز ۲۴ شیار ۴ قطب یا ۳۶ شیار ۶ قطب را به صورت یک طبقه گام کامل با راه انداز موقت، به همراه تشکیل جدول سیم پیچی موتور مورد نظر در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

۳ نقشه گسترده سیم پیچی های موتور را با رنگ های مختلف در دفتر گزارش کار ترسیم کنید.

۴ براساس مقدار به دست آمده برای Q و تعداد دور هر کلاف که توسط مربی محترم برای شما مشخص می شود گروه کلاف های مورد نیاز سیم پیچی موتور را توسط کلاف پیچ پیچیده و آماده نمایید.

۵ مطابق نقشه گسترده (یا جدول سیم پیچی) اقدام به جا زدن بازو کلاف های پیچیده شده و آماده نمایید.

۶ پس از جا زدن همه گروه کلاف ها، سر کلاف های خارج شده از شیارها را لحیم کاری کرده و اتصالات لازم برای سربندی موتور را انجام دهید.

۷ سر و ته سیم پیچ اصلی (U1 و U2) و سیم پیچ کمکی (W1 و W2) را از تخته کلم موتور خارج کنید.

۸ در پایان کار لحیم کاری با راهنمایی مربی خود و استفاده از قسمت اهم متری یک دستگاه مولتی متر سر و ته کلاف های هر فاز را مورد بررسی قرار دهید تا از عدم قطعی در اتصالات ایجاد شده اطمینان حاصل کنید.

۹ پس از اتمام کار جا زدن بازوهای کلاف در شیارهای استاتور سیم پیچی موتور را نخ بندی کنید.

۱۰ به ترتیب به سرهای (U2 - U1) و (Z2 - Z1) که به صورت موازی اتصال داده و با حضور مربی کارگاه سیم های فاز و نول شبکه تک فاز (L1 و N) را به دو سر U1 و U2 متصل کنید.

۱۱ با وصل کلید تابلوی برق، موتور را مورد آزمایش قرار دهید.

۱۲ با استفاده از دور سنج سرعت موتور را اندازه گیری کنید.

۱۳ در صورتی که روی تابلو آمپر متر در مسیر سیم فاز وجود دارد مقدار جریان در لحظه وصل کلید و ۵ ثانیه پس از راه اندازی را یادداشت نمایید.

Im (start) = Im = n =

چون سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ راه‌انداز (موقت) کاربرد زیادی دارد و از طرفی سیم‌پیچی استاتور آن دارای شرایط خاصی است لذا در این قسمت محاسبات، جدول سیم‌پیچی و نقشه گسترده این موتور بیان شده است.



مشخصات موتور:

$$Z = 36 \quad 2P = 4 \quad m = 1 \quad \text{گام کامل}$$

$$Z_m = \frac{2}{3} \times Z = \frac{2}{3} \times 36 = 24$$

$$Z_a = \frac{1}{3} \times Z = \frac{1}{3} \times 36 = 12$$

$$q_m = \frac{Z_m}{2P \times m} = \frac{24}{4 \times 2 \times 1} = 3$$

$$q_a = \frac{Z_a}{2P \times m} = \frac{12}{4 \times 2 \times 1} = 1.5$$

$$y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9$$

$$\begin{cases} y_{zm} = y_p - q_m = 9 - 3 = 6 \\ y_{za} = y_p - q_a = 9 - 1.5 = 7.5 \end{cases} \quad \begin{cases} 7 \\ 8 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{گام سیم‌پیچی راه‌انداز برای نصف کلاف باید ۷ و برای نصف} \\ \text{دیگر ۸ باشد.} \end{array}$$

$$G_m = \frac{t \times Z_m}{2q_m \times m} = \frac{1 \times 24}{2 \times 3 \times 1} = 4$$

$$G_a = \frac{t \times Z_a}{2q_a \times m} = \frac{1 \times 12}{2 \times 1.5 \times 1} = 4$$

طبق محاسبات انجام شده، سیم‌پیچ اصلی موتور از چهار گروه کلاف که هریک دارای سه کلاف هستند تشکیل خواهد شد. سیم‌پیچی راه‌انداز نیز از چهار گروه کلاف که دو گروه کلاف آن دارای دو کلاف و دو گروه کلاف دیگر دارای یک کلاف هستند تشکیل می‌شود.

$$\alpha_{ez} = \frac{360P}{Z} = \frac{360 \times 2}{36} = 20^\circ$$

$$1 + \frac{90}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{90}{20} = 5.5 \quad \begin{cases} 5 \\ 6 \end{cases}$$

اگر شروع راه‌انداز را از شیار شماره ۵ در نظر بگیریم، گروه کلاف اول دارای دو کلاف می‌شود اما اگر شیار شروع راه‌انداز را از شیار شماره ۶ در نظر بگیریم، گروه کلاف اول به صورت تک کلاف خواهد بود.

تشکیل جدول:

جدول ۷- سیم پیچی موتور ۳۶ شیار با سیم پیچ راه انداز

سیم پیچ اصلی	
N	۱ ۲ ۳ ۳۴ ۳۵ ۳۶
S	۱۰ ۱۱ ۱۲ ۷ ۸ ۹
N	۹ ۲۰ ۲۱ ۱۶ ۱۷ ۱۸
S	۲۸ ۲۹ ۳۰ ۲۵ ۲۶ ۲۷

جدول ۸- سیم پیچی موتور ۳۶ شیار با سیم پیچ راه انداز

گروه کلاف اول

$$\begin{cases} 5 \rightarrow 14 \\ 6 \rightarrow 13 \end{cases}$$

گروه کلاف سوم

$$\begin{cases} 23 \rightarrow 32 \\ 24 \rightarrow 31 \end{cases}$$

گروه کلاف دوم

$$\{ 15 \rightarrow 22 \}$$

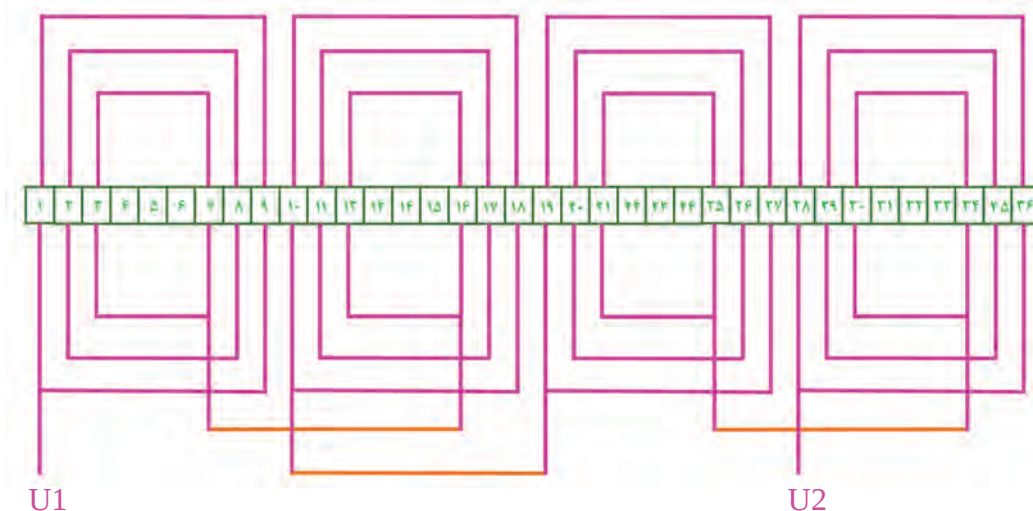
گروه کلاف چهارم

$$\{ 33 \rightarrow 4 \}$$

سیم پیچ راه انداز

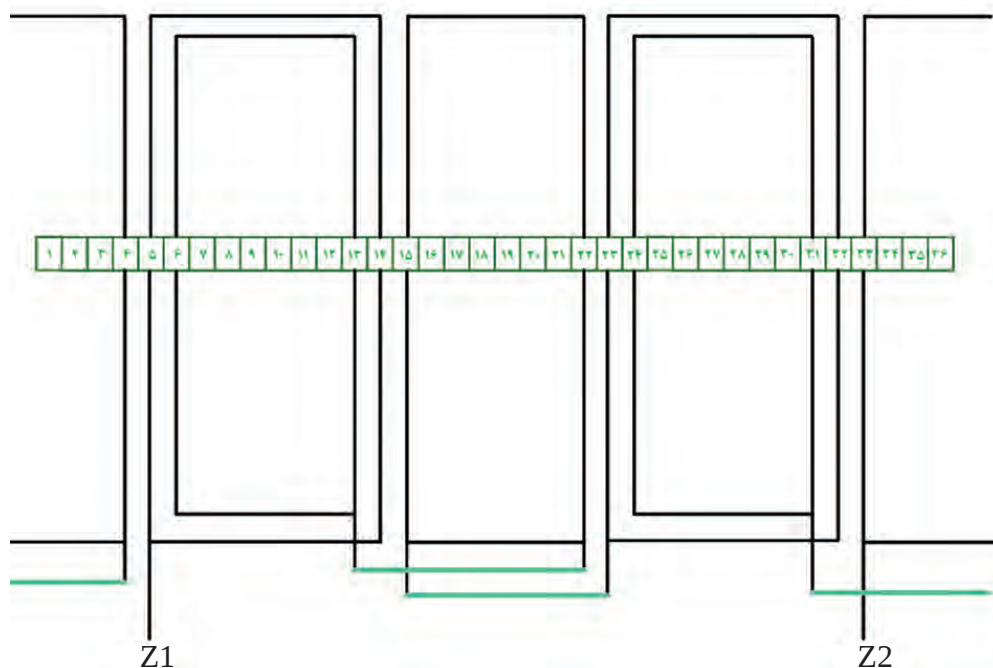
N	5 6	4
S	15	13 14
N	23 24	22
S	33	31 32

نقشه گسترده سیم پیچی اصلی:

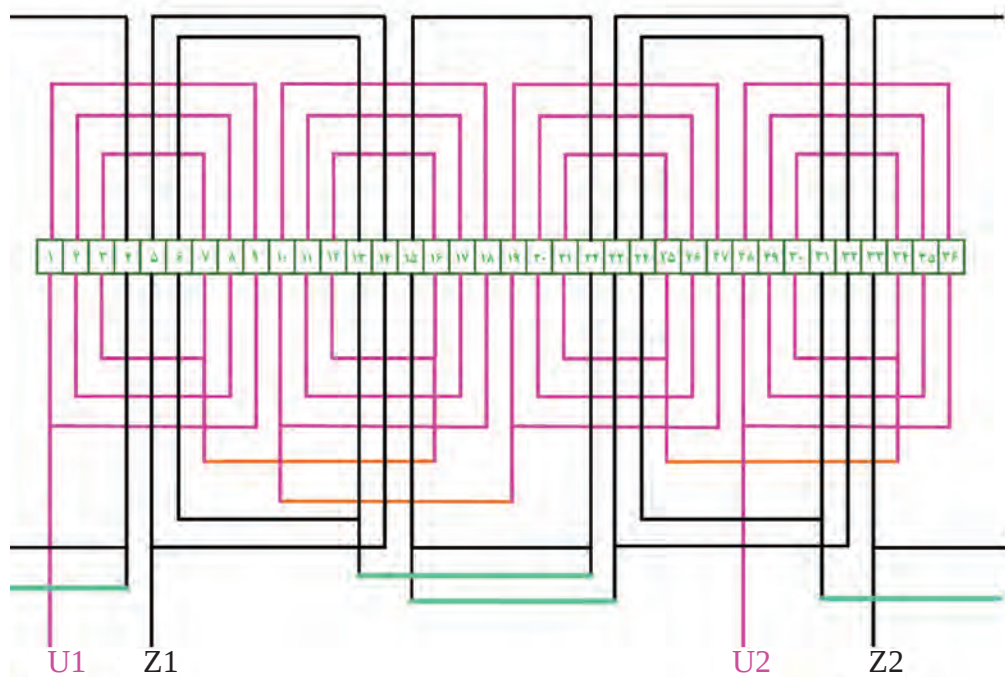


شکل ۲۶- دیاگرام سربندی سیم پیچ اصلی موتور تک فاز ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم پیچ راه انداز

نقشه گسترده سیم‌پیچی راه‌انداز:



شکل ۲۷- دیاگرام سربندی سیم‌پیچ راه‌انداز موتور تک‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب



شکل ۲۸- دیاگرام گسترده کامل موتور تک‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ راه‌انداز

- ۱ چرا موتور القایی تکفاز با یک سیم‌پیچ به‌تنهایی گشتاور راه‌اندازی ایجاد نمی‌کند؟ نقش سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ کمکی را در ایجاد میدان دوار توضیح دهید.
- ۲ سیم‌پیچ کمکی در موتور تکفاز باید از نظر مکانی و الکتریکی چه اختلافی با سیم‌پیچ اصلی داشته باشد؟ همچنین توضیح دهید چرا قطر سیم سیم‌پیچ کمکی معمولاً از قطر سیم سیم‌پیچ اصلی کمتر است.
- ۳ کلید گریز از مرکز چه وظیفه‌ای در موتور تکفاز دارد و معمولاً در چه محدوده‌ای از سرعت نامی، سیم‌پیچ راه‌انداز را از مدار خارج می‌کند؟
- ۴ تفاوت موتور تکفاز با خازن دائم‌کار، خازن راه‌انداز و دو خازنی را از نظر وضعیت خازن‌ها پس از راه‌اندازی، نوع خازن و کاربرد کلی توضیح دهید.

ارزشیابی شایستگی سیم پیچی موتورهای تک فاز یک سرعته

نام و نام خانوادگی	شماره ملی	تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه:	تعمیرکاران برق صنعتی
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم پیچی ماشین های الکتریکی
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۵۱	کار:	سیم پیچی موتورهای تک فاز یک سرعته
		کد پیما نه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۵
		سطح صلاحیت	۳
		سطح شایستگی	مهارت

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/داوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	نصب عایق استاتور و آماده سازی کلاف های موتور تک فاز	در کارگاه سیم پیچی با استاتور، کاغذ عایق، قیچی، خط کش، قالب کلاف، دستگاه کلاف پیچی، سیم لاکه با قطر مناسب، دمپاریک، تجهیزات ایمنی در زمان تقریبی ۹۰ تا ۱۲۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل کار، بررسی کیفیت عایق گذاری، کنترل تعداد دور و ابعاد کلاف های اصلی و کمکی، پرسش شفاهی و ارزیابی محصول کار	عایق گذاری تمامی شیارها به طور کامل و اصولی انجام شده، کلاف های اصلی و کمکی مطابق نقشه، با تعداد دور، ابعاد و قطر سیم صحیح آماده شده اند.	۳	
۲	جاذدن کلاف ها	در کارگاه سیم پیچی استاتور عایق گذاری شده، کلاف های اصلی و کمکی آماده، ابزار جاذدن کلاف، دمپاریک، چکش پلاستیکی، نقشه سیم پیچی، تجهیزات ایمنی زمان تقریبی ۱۵۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل کار، بررسی نحوه قرارگیری کلاف ها در شیارها، کنترل سلامت عایق و سیم لاکه، ارزیابی کیفیت اجرای کار و پرسش شفاهی	تمامی کلاف های اصلی و کمکی مطابق نقشه سیم پیچی، بدون آسیب به عایق یا سیم لاکه و با آرایش صحیح در شیارهای مربوطه جای گذاری شده اند و برای مراحل بعدی آماده هستند.	۳	
۳	سربندی و نواربندی	در کارگاه سیم پیچ استاتور کلاف گذاری شده، نقشه سیم پیچی، دمپاریک، سیم لخت کن، هویه و لوازم لحیم کاری (در صورت نیاز)، وارنیش یا روکش عایق، نوار عایق، نخ نسوز، اهم متر، تجهیزات ایمنی در زمان تقریبی ۴۵ تا ۶۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل کار، بررسی صحت سربندی طبق نقشه، کنترل کیفیت نواربندی و عایق کاری	اتصالات کلاف ها مطابق نقشه موتور تک فاز و بدون خطا انجام شده، محل اتصالات به خوبی عایق شده و نواربندی و سربندی از سربندی و نواربندی به درستی انجام شده است، نتایج آزمون الکتریکی نیز صحیح است.	۳	
۴	جاذدن روتور، بستن در پوش، راه اندازی و قرائت جریان	در کارگاه سیم پیچی استاتور سیم پیچی شده، روتور، درپوش ها و یاتاقان ها، آچار و پیچ گوشتی، چکش پلاستیکی، منبع تغذیه، آمپر متر یا کلمپ متر، مولتی متر، تجهیزات حفاظتی و ایمنی برق در زمان تقریبی ۴۵ تا ۶۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک لیست مراحل مونتاژ و راه اندازی، بررسی نحوه استفاده از ابزار اندازه گیری، ارزیابی مقادیر ثبت شده،	پیش از نیمی از مراحل مونتاژ، راه اندازی و اندازه گیری جریان به درستی انجام شده است، اما در مونتاژ، قرائت یا ثبت مقادیر اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				مونتاژ موتور یا راه اندازی آن به درستی انجام نشده، قرائت جریان نادرست است یا نکات ایمنی رعایت نشده و موتور برای بهره برداری ایمن آماده نیست.	۱	
	شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری بادیگران، مسئولیت پذیری و رعایت اخلاق حرفه ای در طول انجام فعالیت ها	مشاهده مستقیم، چک لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار	رعایت نسبی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار.	۲	

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)	☐ بلی ☐ خیر
توضیحات: ۱- معیار شایستگی انجام کار: - کسب حداقل نمره ۲ از جاذدن کلاف ها، جاذدن روتور، بستن در پوش، راه اندازی و قرائت جریان (مراحل بحرانی) - کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش - کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار ۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است. - مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گوئی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها - تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.	

واحد یادگیری ۲

سیم پیچی موتورهای تک فاز دو سرعت (موتور کولر)

آیا می دانید

- ۱ کلید کولر آبی چگونه عمل می کند؟
- ۲ چگونه می توان یک موتور تک فاز را دو سرعت نمود؟
- ۳ کلید گریز از مرکز (تابع دور) چگونه کار می کند؟
- ۴ جدول سیم پیچی موتورهای کولر آبی با موتورهای سه فاز چه تفاوتی دارد؟
- ۵ توان ها و قطر سیم استاندارد موتور کولر چیست؟

استاندارد عملکرد

- پس از اتمام این واحد یادگیری، هنرجویان قادر خواهند بود محاسبات سیم پیچی الکتروموتورهای تک فاز دو سرعت (کولر) را انجام داده و دیاگرام گسترده سیم پیچی آنها را ترسیم کرده و سیم پیچی کنند.

مقدمه

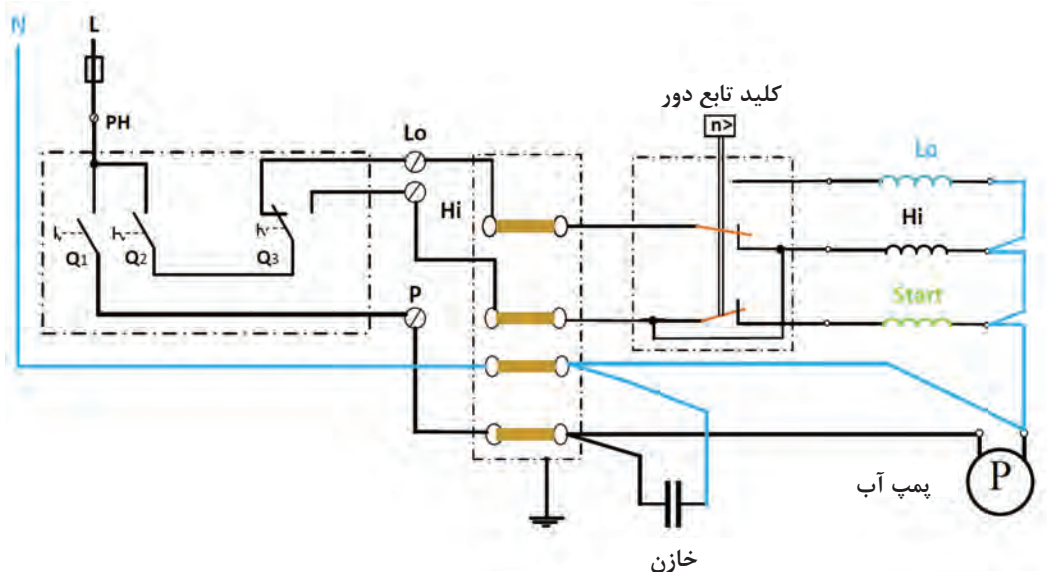
در انواع موتورهای تک فاز برای تغییر سرعت از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. در بعضی از موتورها مثل موتور پنکه برای تغییر سرعت از تغییر تعداد دور سیم‌پیچ‌ها و خروج سرهای مختلف از سیم‌پیچی استاتور استفاده می‌شود. در موتورهای تک فاز یونیورسال مثل جاروبرقی از کنترل سرعت‌های الکترونیکی استفاده می‌شود. نوع دیگری از تغییر سرعت در موتورهای تک‌فاز استفاده از دو سیم‌پیچ با تعداد قطب‌های متفاوت است. در این بخش به طراحی سیم‌پیچی این موتورها و به‌خصوص موتور کولر خواهیم پرداخت.

طراحی سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز دو سرعت (موتور کولر آبی)

در طراحی این موتورها با توجه به اینکه از دو سیم‌پیچ اصلی با تعداد قطب‌های مختلف استفاده می‌شود و هر سیم‌پیچ به‌صورت مجزا برای تأمین یک سرعت مشخص است، مهم‌ترین چالش بحث راه‌اندازی آنهاست. از آنجا که تعداد قطب‌های سیم‌پیچ راه‌انداز باید با سیم‌پیچ اصلی برابر باشد لذا باید به‌ازای هر یک از سیم‌پیچ‌های اصلی یک سیم‌پیچ راه‌انداز نیز با همان تعداد قطب وجود داشته باشد یا اینکه به منظور کوچک‌تر شدن ابعاد موتور و ارزان‌تر شدن قیمت موتور، تنها از یک سیم‌پیچ راه‌انداز برای هر دو سیم‌پیچ اصلی استفاده شود که در این صورت به یک کلید تابع دور که بر روی محور موتور نصب می‌شود نیاز خواهد شد که با توجه به ساختمان داخلی خاصی که دارد بتواند خواسته ما را در جهت راه‌اندازی و ادامه کار موتور در ورود و خروج سیم‌پیچ‌ها تأمین نماید.

در موتورهای دو سرعت و به‌خصوص موتور کولر، تعداد قطب‌های سیم‌پیچ راه‌انداز با تعداد قطب‌های سیم‌پیچ دور تند اصلی برابر است. پس کلید تابع دور باید به‌گونه‌ای عمل کند که در زمان راه‌اندازی حتی اگر انتخاب ما دور کند موتور باشد، سیم‌پیچ راه‌انداز به همراه دور تند وارد مدار شوند و موتور راه‌اندازی شود و پس از راه‌اندازی و خروج سیم‌پیچ راه‌انداز مدار، یکی از دو سیم‌پیچ دور کند و یا دور تند متناسب با انتخاب ما در مدار باقی بماند و کار کند.

در شکل ۲۹ مدار اتصال کلید کولر به موتور اصلی کولر، پمپ آب و کلید گریز از مرکز نشان داده شده است.



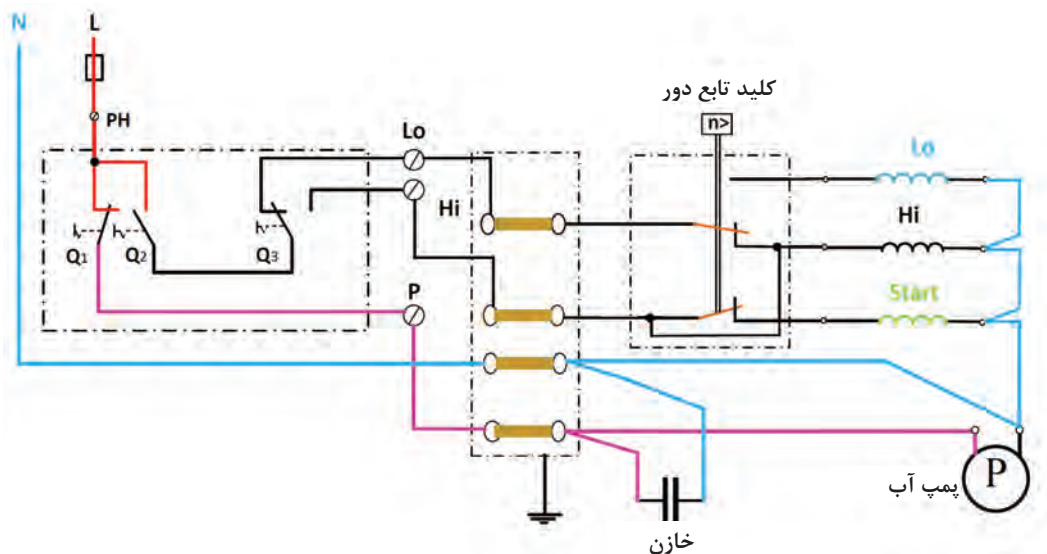
شکل ۲۹- کلید اصلی و کلید پمپ آب مدار کولر در وضعیت خاموش قرار دارد

توضیح

۱ وضعیت قرار گرفتن کنتاکت‌های کلید گریز از مرکز در شرایط خاموش بودن موتور کولر مطابق شکل ۲۹ است.

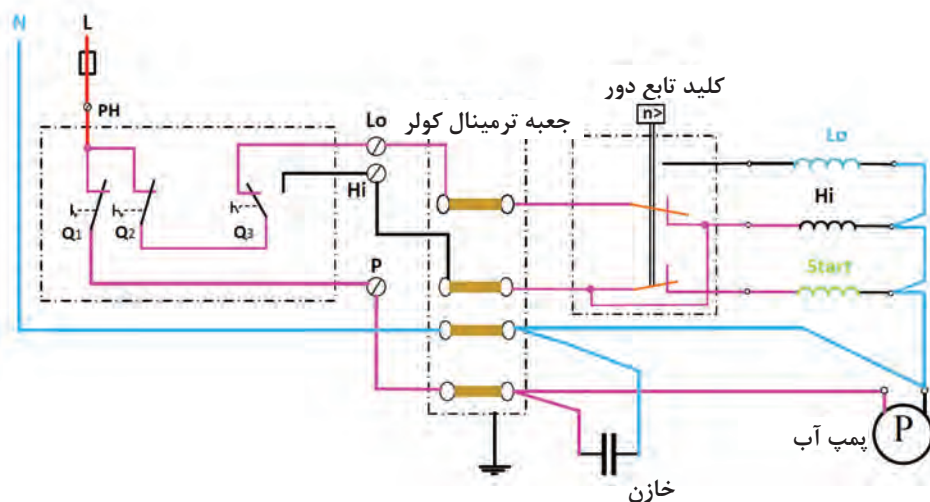
۲ در شکل‌های مربوط به کلید کولر مسیرهای حامل جریان با رنگ قرمز نشان داده شده است.

شکل ۳۰ وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن کلید Q_1 وصل و دو کلید دیگر قطع می‌باشد. در این حالت پمپ آب کولر روشن می‌شود اما موتور کولر خاموش است.



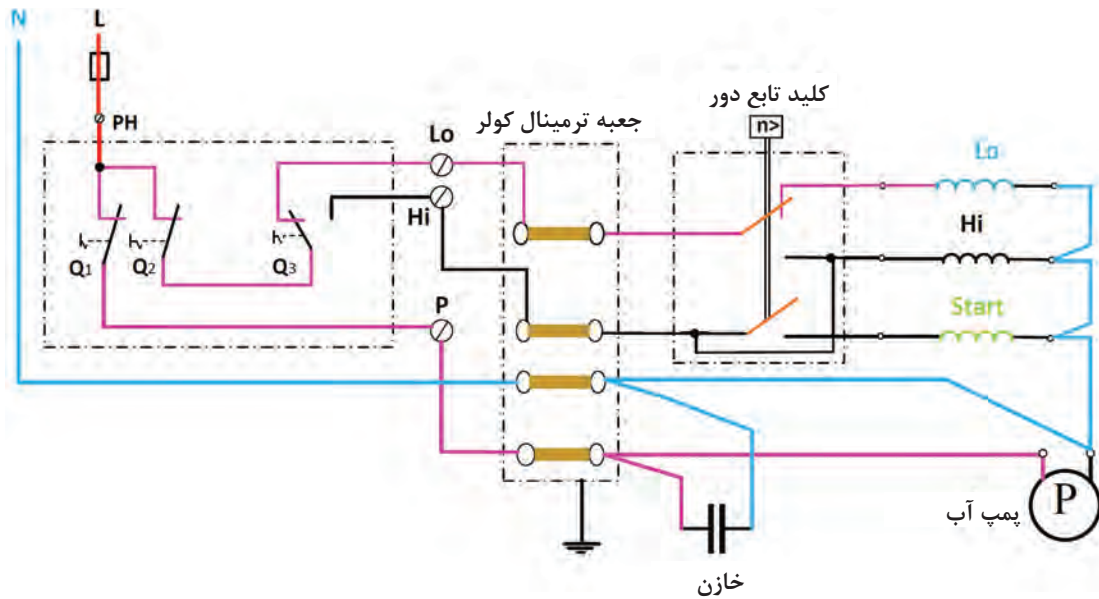
شکل ۳۰- کلید Q_1 وصل شده و پمپ آب در وضعیت روشن و موتور کولر خاموش است

با زدن کلید Q_2 ، موتور کولر باید در حالت دور کم کار کند (شکل ۳۰)، اما مدار ابتدا می‌بایست در دور زیاد به همراه سیم پیچ راه‌انداز شروع به کار نموده (شکل ۳۱) و در ادامه با عمل کلید تابع دور به حالت دور کم برسد.



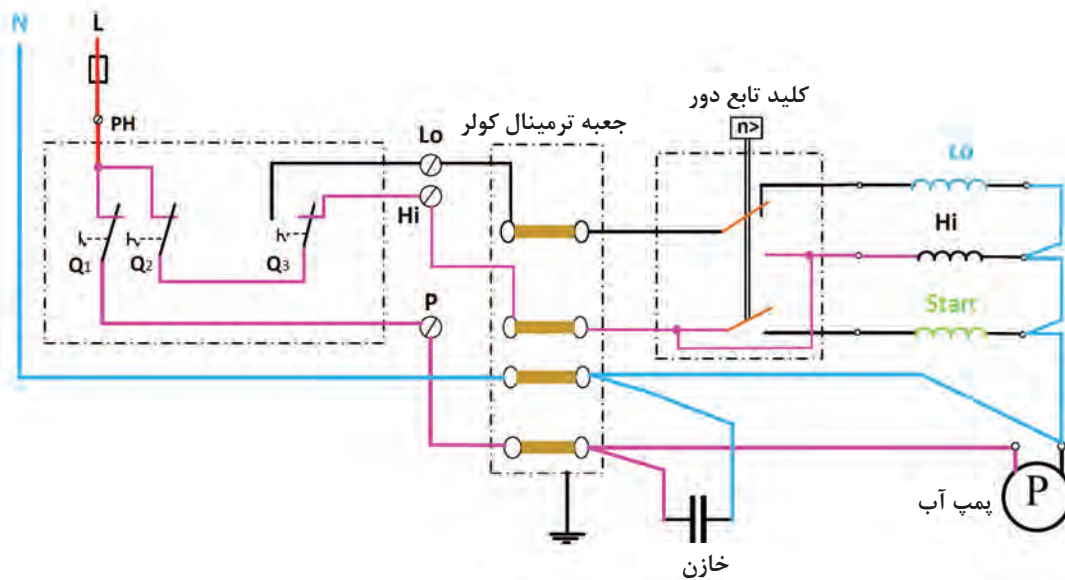
شکل ۳۱- در لحظه وصل کلید Q_2 (سیم پیچ راه‌انداز و سیم پیچ دور زیاد به همراه پمپ آب در وضعیت روشن)

چند لحظه پس از راه‌اندازی موتور کولر کلید تابع دور تغییر وضعیت داده و مطابق شکل ۳۲ اولاً سیم‌پیچ راه‌انداز از مدار خارج شده و ثانیاً سیم‌پیچ دور کم (کند) در مدار قرار می‌گیرد.



شکل ۳۲- کلید Q_۲ در حالت وصل باقی مانده (موتور کولر در حالت دور کم به همراه پمپ آب در وضعیت روشن)

با فشردن کلید Q_3 مدار از حالت دور کم به حالت دور زیاد رفته، سیم پیچ دور کم از مدار خارج شده و مطابق شکل ۳۳ سیم پیچ دور زیاد (تند) در مدار قرار می گیرد.



شکل ۳۳- وضعیت دور زیاد

کلید تابع دور موتور کولر

شکل ۳۴ تصویر قسمت مکانیکی یک کلید تابع دور که روی محور روتور قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد.



شکل ۳۴- روتور موتور تک فاز به همراه کلید تابع دور

شکل‌های ۳۴ و ۳۵ اتصال سیم پیچ‌های موتور کولر را در راه اندازی و در حالت کار عادی به یکدیگر و به شبکه نشان می‌دهند.



شکل ۳۵- اتصال سرسیم‌های سیم پیچ کولر به پین‌های کلید

شکل ۳۶ تصویر قسمت پشت کلید به سمت پوسته موتور را نشان می‌دهد. در واقع سرسیم‌های سیم پیچ‌های موتور به پین‌های روی کلید طبق یک رنگ بندی متداول متصل می‌شوند.



شکل ۳۶- محل اتصال سرسیم‌های کلید کولر به کلید تابع دور روی تخته کلم موتور



شکل ۳۷- قسمت بیرونی کلید تابع دور

شکل ۳۷ تصویر قسمت جلویی کلید به سمت بیرون موتور را نشان می‌دهد. اتصالات مصرف‌کننده به این پین‌ها صورت می‌گیرد.

کار عملی



هدف: بررسی ساختمان داخلی و نحوه عملکرد کلید تابع دور موتور کولر مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۳۶ شیار موتور کولر ۲- کلید تابع دور موتور مراحل انجام کار:

- ۱ یک کلید تابع دور موتور کولر از انبار تحویل گرفته و ضمن ترسیم نقشه اتصالات و کنتاکت آن، عملکرد کلید را با دقت تجزیه و تحلیل نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.
- ۲ یک کلید تابع دور مغناطیسی (موتور یخچال) را از انبار تحویل گرفته و عملکرد کلید را دقیقاً تجزیه و تحلیل کرده و نتیجه را به صورت یک گزارش کامل به کلاس ارائه دهید.

تمرین



با بهره‌گیری از کتب فنی و هوش مصنوعی، عملکرد یک نوع دیگر از کلیدهای تابع دور را به همراه تصاویر مناسب بررسی کرده و گزارش کاملی از ساختمان داخلی و طرز کار آن را در دفتر گزارش کار خود نوشته و برای دوستان خود در کلاس ارائه دهید.

موتور تک‌فاز دو سرعت (موتور کولر)

در موتور کولر چون سه دسته سیم‌پیچ در استاتور قرار می‌گیرد، در بعضی شیارها فقط یک کلاف و در بعضی از شیارها دو کلاف و در بعضی دیگر از شیارها سه کلاف قرار می‌گیرد. به همین دلیل عمق شیارهای استاتور در تمام محیط موتور کولر یکسان نیست و از نظر عمق شیارها سه نوع شیار در استاتور دیده می‌شود. در موتور کولر برای آنکه کلاف‌ها دقیقاً در شیار مربوط به خودشان قرار گیرند مشخص کردن شیار شماره یک در استاتور از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و مشخص کردن آن یک مسئله ضروری و مهم است.

محاسبات و سیم‌پیچی موتورهای کولر نسبت به سایر موتورهای تک‌فاز خاص‌تر بوده و تفاوت‌هایی دارد.

تذکر





شکل ۳۸- شماره گذاری روی استاتور کولر

محاسبات سیم پیچی موتور کولر

در این قسمت به بررسی محاسبات، جدول و نقشه گسترده سیم پیچی یک موتور کولر دو سرعته ۳۶ شیار ۴ و ۶ قطبی می پردازیم.

حل: برای رسیدن به این هدف ابتدا با محاسبات، تشکیل جداول سیم پیچی و سپس با چگونگی ترسیم نقشه گسترده سیم پیچی های دور تند، دور کند و راه انداز به طور جداگانه آشنا می شوید و در نهایت هر سه نقشه را باید با هم ترکیب کرد تا نقشه کامل موتور کولر به دست آید.

برای اینکه به جزئیات مربوط به محاسبات و تشکیل جدول و ترسیم نقشه گسترده هر سیم پیچی بیشتر و بهتر پرداخته شود مراحل انجام کار به ترتیب و در قالب یک مثال مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- معلومات

اطلاعات موتور به شرح زیر است:

$$Z = 36, \quad 2P_1 = 4 \text{ دور زیاد}, \quad 2P_2 = 6 \text{ دور کم}$$

۲- محاسبات سیم پیچ دور تند

محاسبات سیم پیچ دور تند را باید به صورت موتورهای تک فاز با راه انداز موقت مطابق آنچه به آن اشاره شده است انجام داد.

$$Z_{m_1} = \frac{2}{3} \times Z = \frac{2}{3} \times 36 = 24 \text{ تعداد شیارهای اصلی دور تند}$$

$$q_{m_1} = \frac{Z_{m_1}}{2P_1 \times m} = \frac{24}{4 \times 1} = 6 \Rightarrow q'_{m_1} = \frac{q_{m_1}}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

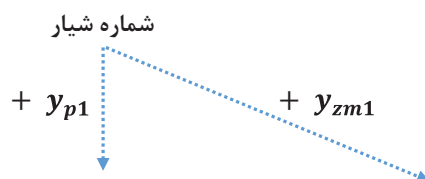
$$y_{P_1} = \frac{Z}{2P_1} = \frac{36}{4} = 9$$

$$y_{zm_1} = y_{P_1} - q'_{m_1} = 9 - 3 = 6$$

۳- تشکیل جدول سیم‌پیچی دور تند (نوع سیم‌پیچی به صورت متحدالمرکز می‌باشد).
براساس مقادیر به دست آمده برای Y_p و Y_z باید مطابق قاعده نشان داده شده در جدول ۹، جدول سیم‌پیچی را کامل کرد.

جدول ۹- سیم‌پیچی موتور کولر دور تند

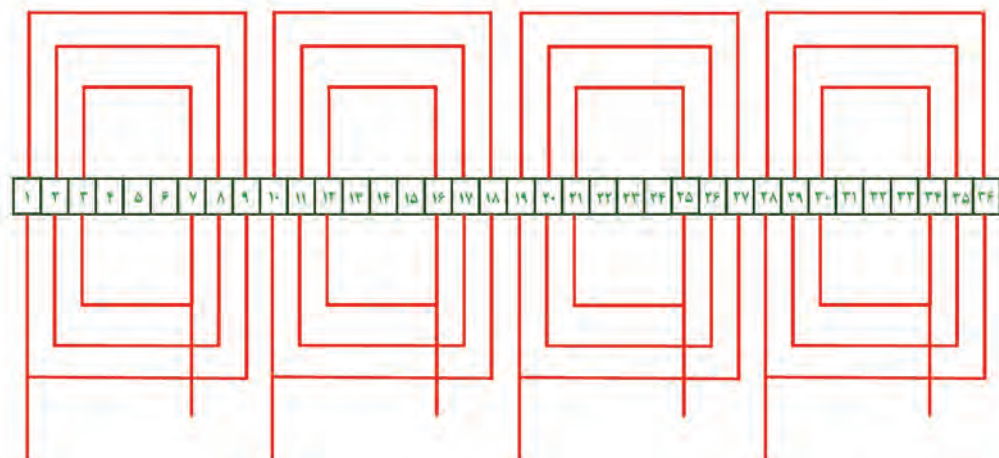
سیم‌پیچ اصلی دور تند	
N	۱ ۲ ۳ ۳۴ ۳۵ ۳۶
S	۱۰ ۱۱ ۱۲ ۷ ۸ ۹
N	۹ ۲۰ ۲۱ ۱۶ ۱۷ ۱۸
S	۲۸ ۲۹ ۳۰ ۲۵ ۲۶ ۲۷



شکل ۳۹

ملاحظه می‌شود که سیم‌پیچ اصلی دور تند از چهار گروه کلاف که هریک دارای سه کلاف هستند تشکیل می‌شود.

۴- نقشه گسترده سیم‌پیچ اصلی دور تند



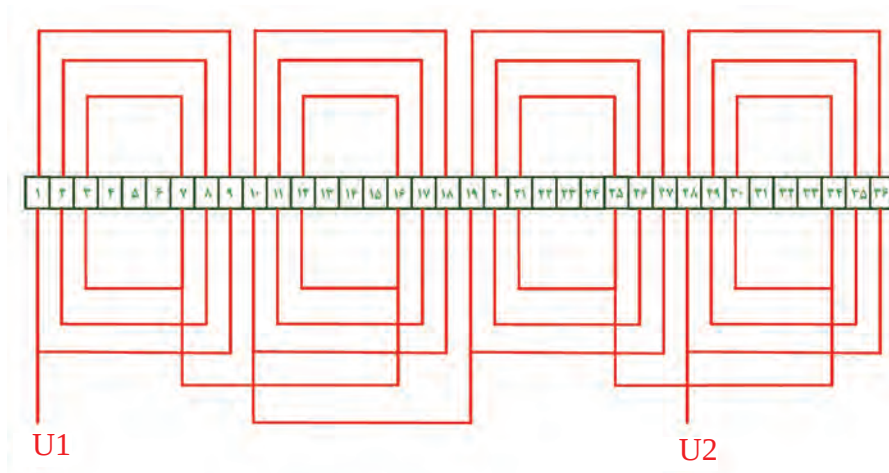
شکل ۴۰- دیاگرام کلاف‌گذاری سیم‌پیچ دور زیاد موتور کولر ۳۶ شیار

جدول ۱۰- اتصالات دور زیاد موتور کولر

سیم پیچ زیاد
U1-۱ سر کلاف
۷ به ۱۶
۱۰ به ۱۹
۲۵ به ۳۴
۸ - U2 ته کلاف

۵- سربندی سیم پیچی دور زیاد

به دلیل اینکه گروه کلاف های دور زیاد کاملاً کنار یکدیگر قرار دارند و بین آنها حتی یک شیار فاصله وجود ندارد، نوع سربندی آنها باید اتصال دور باشد.



شکل ۴۱- دیاگرام سربندی سیم پیچ دور زیاد موتور کولر ۳۶ شیار

۶- محاسبات سیم پیچ دور کم

$$2P_r = 6$$

$$Z_{m_r} = \frac{2}{3} \times Z = \frac{2}{3} \times 36 = 24$$

تعداد شیارهای سیم پیچ اصلی دور کند

$$q_{m_r} = \frac{Z_{m_r}}{2P_r \times m} = \frac{24}{6 \times 1} = 4 \Rightarrow q'_{m_r} = \frac{q_{m_r}}{2} = \frac{4}{2} = 2$$

$$y_{p_r} = \frac{Z}{2P_r} = \frac{36}{6} = 6$$

$$y_{zm_r} = y_{p_r} - q'_{m_r} = 6 - 2 = 4$$

۷- تشکیل جدول سیم‌پیچی دور کم (نوع سیم‌پیچی به صورت متحدالمرکز می‌باشد).

جدول ۱۱- سیم‌پیچی دور کم موتور کولر

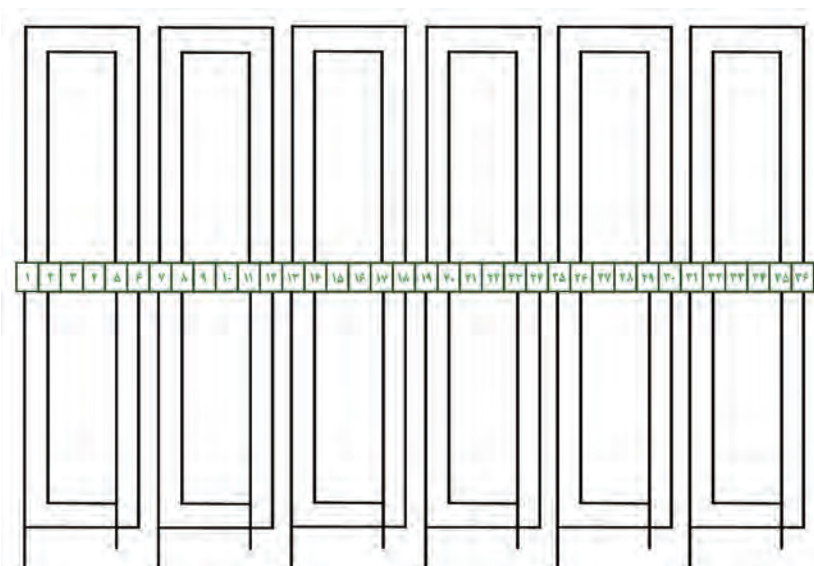
گروه کلاف اول	$\begin{bmatrix} 1 \rightarrow 6 \\ 2 \rightarrow 5 \end{bmatrix}$	
گروه کلاف دوم	$\begin{bmatrix} 7 \rightarrow 12 \\ 8 \rightarrow 11 \end{bmatrix}$	
گروه کلاف سوم	$\begin{bmatrix} 13 \rightarrow 18 \\ 14 \rightarrow 17 \end{bmatrix}$	
گروه کلاف چهارم	$\begin{bmatrix} 19 \rightarrow 24 \\ 20 \rightarrow 23 \end{bmatrix}$	
گروه کلاف پنجم	$\begin{bmatrix} 25 \rightarrow 30 \\ 26 \rightarrow 29 \end{bmatrix}$	
گروه کلاف ششم	$\begin{bmatrix} 31 \rightarrow 36 \\ 32 \rightarrow 35 \end{bmatrix}$	

شماره شیار

$+ y_{p1}$
 $+ y_{zm1}$

شکل ۴۲

ملاحظه می‌شود که سیم‌پیچ اصلی دور کند از شش گروه کلاف که دارای دو کلاف می‌باشد تشکیل شده است.
۸- نقشه گسترده سیم‌پیچ اصلی دور کم



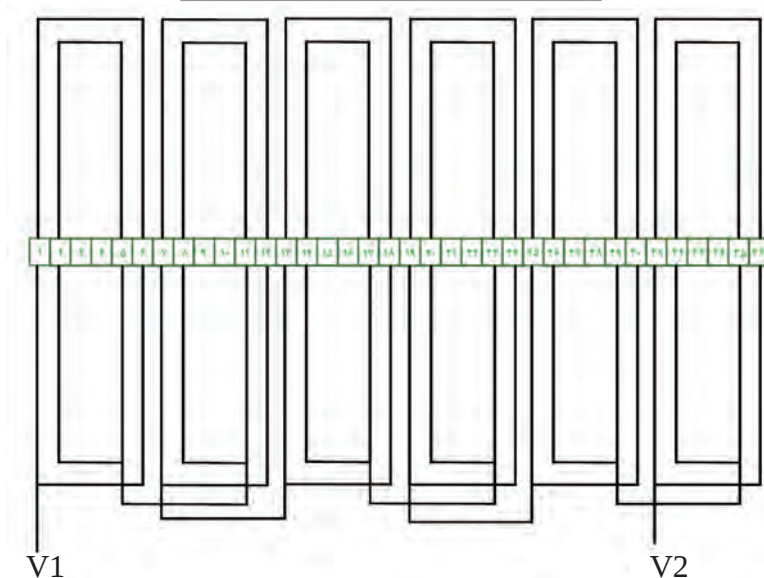
شکل ۴۳- دیاگرام کلاف گذاری سیم‌پیچ دور کم موتور کولر ۳۶ شیار

۹- سربندی سیم پیچ دور کند

به دلیل اینکه گروه کلاف های دور تند کاملاً کنار یکدیگر قرار دارند و بین آنها حتی یک شیار فاصله وجود ندارد، نوع سربندی آنها باید اتصال دور باشد.

جدول ۱۲- سربندی دور کم موتور کولر

سیم پیچ دور کم
۱ - V1 سر کلاف
۵ به ۱۱
۷ به ۱۳
۱۷ به ۲۳
۱۹ به ۲۵
۲۰ به ۳۵
۳۱ - V2 ته کلاف



شکل ۴۴- دیاگرام سربندی سیم پیچ دور کم موتور کولر ۳۶ شیار

۱۰- محاسبات سیم پیچ راه انداز

در برخی از موتورهای کولر تعداد ۲۴ شیار برای سیم پیچ راه انداز و در بسیاری از موتورهای کولر تعداد ۲۸ شیار برای سیم پیچ راه انداز استفاده می شود.

شما می توانید در زمان استخراج سیم پیچ های سوخته از درون استاتور با دقت در تعداد کلاف های سیم پیچ راه انداز که در قسمت رویی شیارها قرار دارد بررسی کنید که چند شیار به سیم پیچ راه انداز اختصاص یافته است.

تذکر



اگر تعداد شیارهای راه‌انداز موتور کولر ۲۴ شیار باشد سیم‌پیچ راه‌انداز آن از چهار گروه کلاف که دارای سه کلاف هستند تشکیل می‌شود و در صورتی که تعداد شیارهای سیم‌پیچ راه‌انداز ۲۸ شیار باشد، گروه کلاف‌های سیم‌پیچ راه‌انداز به صورت یک درمیان به صورت چهار کلاف و سه کلاف خواهد بود.

حالت اول: تعداد شیارهای راه‌انداز ۲۴ شیار باشد.

$$Z_a = 24, \quad 2P = 4$$

$$q_a = \frac{Z_a}{2P \times m} = \frac{24}{4 \times 1} = 6 \Rightarrow q'_a = \frac{q_a}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

$$y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9$$

$$y_{za} = y_p - q'_a = 9 - 3 = 6$$

$$a_{ez} = \frac{360p}{Z} = \frac{360 \times 2}{36} = 20^\circ$$

$$1 + \frac{90}{a_{ez}} = 1 + \frac{90}{20} = 5/5 \quad \begin{cases} 5 \\ 6 \end{cases}$$

تشکیل جدول: چون سیم‌پیچ راه‌انداز براساس ۴ قطب طراحی شده پس جدول دارای چهار سطر بوده و به دلیل اینکه $q_a = 3$ می‌باشد، در هر ستون سه شیار قرار می‌گیرد و شروع شیارهای راه‌انداز از شیار شماره ۵ خواهد بود.

جدول ۱۳- سیم‌پیچی راه‌انداز موتور کولر

$$\text{گروه کلاف اول} \quad \begin{cases} 5 \rightarrow 13 \\ 6 \rightarrow 12 \\ 7 \rightarrow 11 \end{cases}$$

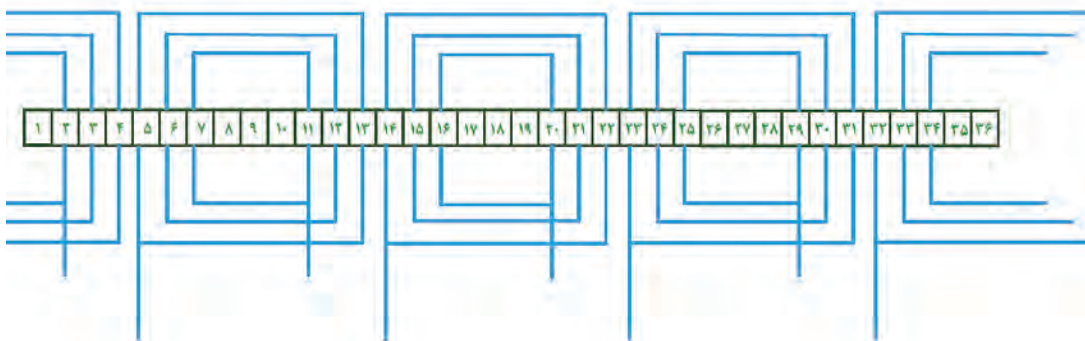
$$\text{گروه کلاف دوم} \quad \begin{cases} 14 \rightarrow 22 \\ 15 \rightarrow 21 \\ 16 \rightarrow 20 \end{cases}$$

$$\text{گروه کلاف سوم} \quad \begin{cases} 23 \rightarrow 31 \\ 24 \rightarrow 30 \\ 25 \rightarrow 29 \end{cases}$$

$$\text{گروه کلاف چهارم} \quad \begin{cases} 32 \rightarrow 4 \\ 33 \rightarrow 3 \\ 34 \rightarrow 2 \end{cases}$$

سیم‌پیچ راه‌انداز			
N	5	6	7
S	14	15	16
N	23	24	25
S	32	33	34

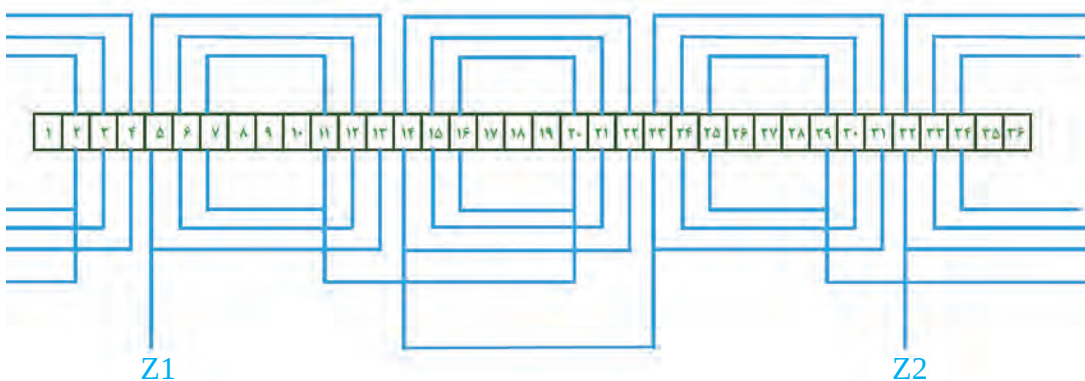
نقشه گسترده سیم پیچ راه انداز



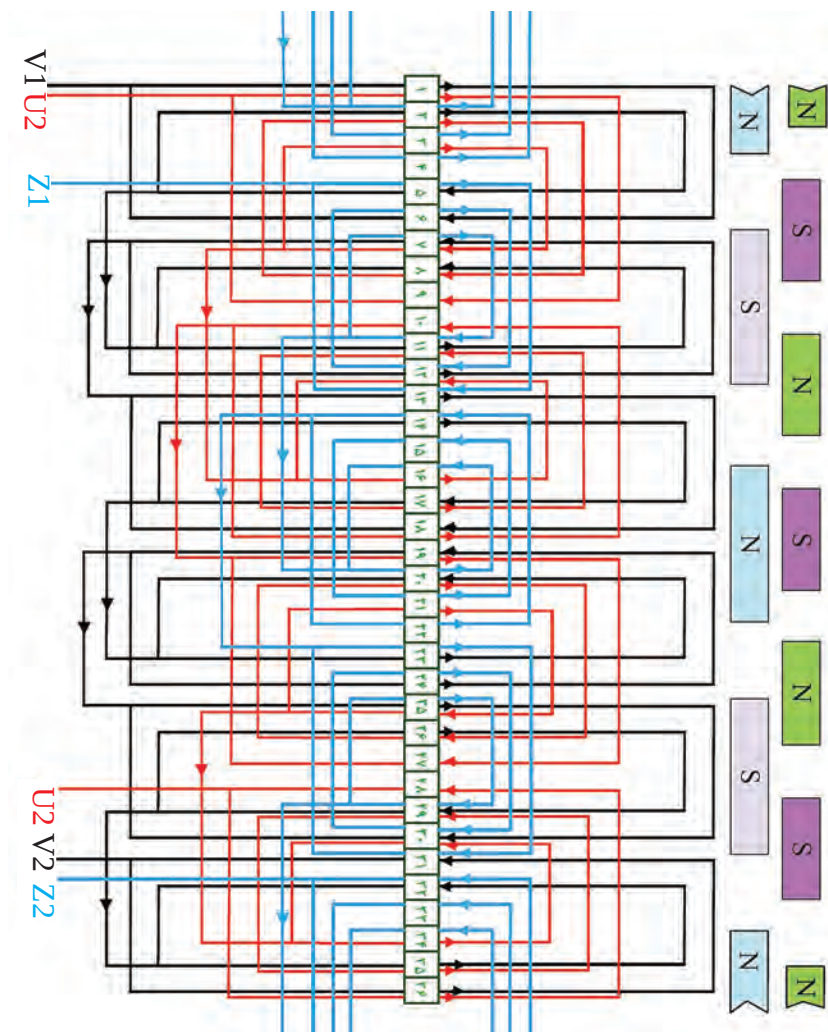
شکل ۴۵- دیاگرام کلاف گذاری سیم پیچ راه انداز موتور کولر ۳۶ شیار

جدول ۱۴- سربندی دور کم موتور کولر

سیم پیچ راه انداز
Z1 - ۵
۱۱ به ۲۰
۱۴ به ۲۳
۲۹ به ۲
Z2 - ۳۲



شکل ۴۶- دیاگرام سربندی سیم پیچ راه انداز موتور کولر ۳۶ شیار - حالت راه انداز با ۲۸ شیار



شکل ۴۷- نقشه گسترده کامل موتور (کولر ۳۶ شیار ۴ قطب و ۶ قطب)

حالت دوم: تعداد شیارهای راه‌انداز ۲۸ شیار باشد.

$$Z_a = 28, \quad 2P = 4$$

$$q_a = \frac{Z_a}{2P \times m} = \frac{28}{4 \times 1} = 7$$

$$q'_a = \frac{q_a}{2} = \frac{7}{2} = 3.5 \quad \begin{cases} 3 \\ 4 \end{cases}$$

$$y_p = \frac{z}{2P} = \frac{28}{4} = 7$$

$$y_{za} = y_p - q'_a = 7 - 3.5 = 3.5 \quad \begin{cases} 3 \\ 4 \end{cases}$$

$$\alpha_{ez} = \frac{360p}{z} = \frac{360 \times 2}{36} = 20^\circ$$

$$1 + \frac{90}{a_{ez}} = 1 + \frac{90}{20} = 5/5 \quad \left\{ \begin{array}{l} 5 \\ 6 \end{array} \right.$$

شیار شروع راه‌انداز در موتورهای کولر از شیار شماره ۵ می‌باشد. سیم‌پیچ راه‌انداز از چهار گروه کلاف تشکیل می‌شود که به صورت یک در میان دارای ۴ گروه کلاف و ۳ کلاف می‌باشند زیرا: $q'_a = 3/5$
گام سیم‌بندی برای گروه کلاف‌هایی که دارای ۴ کلاف هستند $y_{za} = 6$ و گام سیم‌بندی برای گروه کلاف‌هایی که دارای ۳ کلاف هستند $y_{za} = 5$ می‌باشد. چون در محاسبات داریم $y_{za} = 5/5$
تشکیل جدول سیم‌پیچی در این حالت مقدور نیست و با شروع از شیار شماره ۵ و رعایت گام سیم‌بندی کلاف‌ها، گروه کلاف‌ها را به صورت زیر دسته‌بندی می‌کنیم:

گروه کلاف اول (دارای چهار کلاف)

۵ → ۱۴
۶ → ۱۳
۷ → ۱۲
۸ → ۱۱

گروه کلاف دوم (دارای سه کلاف)

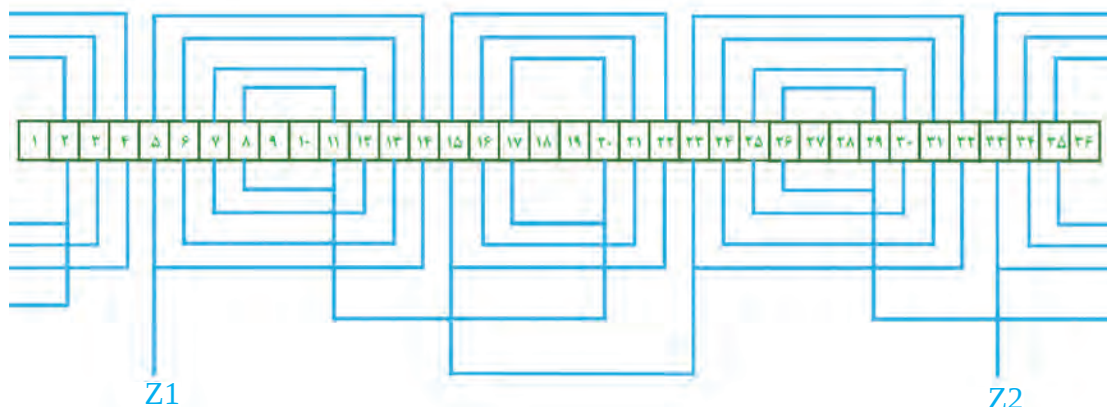
۱۵ → ۲۲
۱۶ → ۲۱
۱۷ → ۲۰

گروه کلاف سوم (دارای چهار کلاف)

۲۳ → ۳۲
۲۴ → ۳۱
۲۵ → ۳۰
۲۶ → ۲۹

گروه کلاف چهارم (دارای سه کلاف)

۳۳ → ۴
۳۴ → ۳
۳۵ → ۲



شکل ۴۸- دیاگرام سربندی سیم‌پیچ راه‌انداز کولر ۳۶ شیار - حالت راه‌انداز با ۲۸ شیار

نکته

در جدول‌های ۱۵ تا ۱۸ مشخصات سیم‌پیچی‌های مختلف موتور کولر آبی به ازای قدرت‌های متفاوت برحسب اسب بخار آمده است.



جدول ۱۵- مشخصات سیم‌پیچی دور زیاد 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
$\frac{1}{2}$	۰/۶۵	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۶۰	۵۵	۴۵	۲۸/۵	۲۳/۵	۱۹/۵	۳/۷۵	۸/۹
$\frac{1}{3}$	۰/۷۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۵۵	۵۰	۴۰	۳۰	۲۵	۲۱	۴/۳	۸/۹
$\frac{1}{2}$	۰/۸۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۴۴	۴۰	۳۳	۳۲	۲۷	۲۳	۵/۴	۸/۹
$\frac{3}{4}$	۰/۹۵	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۴۲	۴۰	۳۲	۳۲/۵	۲۷	۲۳	۵/۴	۸/۹

جدول ۱۶- مشخصات سیم‌پیچی دور کم موتور 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	۱-۶	۲-۵	۹۰	۹۰	۲۲	۱۸	۳/۷۵	۸/۹
$\frac{1}{3}$	۰/۵۰	۱-۶	۲-۵	۸۴	۸۴	۲۳/۵	۲۰	۴/۳	۸/۹
$\frac{1}{2}$	۰/۵۵	۱-۶	۲-۵	۷۰	۷۰	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹
$\frac{3}{4}$	۰/۶۰	۱-۹	۳-۷	۶۵	۶۵	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹

جدول ۱۷- مشخصات سیم پیچی راه انداز موقت سه بوبینه موتور کولر آبی

قدرت استاتور بر حسب اسب بخار	قطر سیم مسی به mm	گام بوبین بزرگ	گام بوبین متوسط	گام بوبین کوچک	تعداد دور بوبین بزرگ	تعداد دور بوبین متوسط	تعداد دور بوبین کوچک	طول بوبین بزرگ به cm	طول بوبین متوسط به cm	طول بوبین کوچک به cm	طول هسته به cm	قطر داخلی استاتور به cm
$\frac{1}{4}$	۰/۴۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۳۵	۳۵	۲۰	۲۶	۲۲/۵	۱۸/۵	۳/۷۵	۸/۹
$\frac{1}{3}$	۰/۵۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۳۴	۳۵	۱۸	۲۸	۲۴	۲۰	۴/۳	۸/۹
$\frac{1}{2}$	۰/۵۰	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۳۴	۳۵	۲۱	۲۹	۲۲/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹
$\frac{3}{4}$	۰/۵۵	۱-۹	۲-۸	۳-۷	۲۰	۲۰	۲۴	۲۹	۲۵/۵	۲۲/۵	۵/۴	۸/۹

جدول ۱۸- مشخصات سیم پیچی راه انداز موقت چهار بوبینه موتور کولر آبی

قدرت استاتور بر حسب اسب بخار	قطر سیم مسی به mm	گام بوبین ۱	گام بوبین ۲	گام بوبین ۳	گام بوبین ۴	تعداد دور بوبین ۱	تعداد دور بوبین ۲	تعداد دور بوبین ۳	تعداد دور بوبین ۴	طول بوبین ۱ به cm	طول بوبین ۲ به cm	طول بوبین ۳ به cm	طول بوبین ۴ به cm
$\frac{1}{4}$	۰/۴۰	۱-۱۰	۲-۹	۳-۸	۴-۷	۳۶	۳۵	۳۵	۲۰	۳۱	۲۶	۲۲/۵	۱۸/۵
$\frac{1}{3}$	۰/۴۵	۱-۱۰	۲-۹	۳-۸	۴-۷	۳۲	۳۴	۳۵	۲۲	۳۲	۲۸	۲۴	۲۰
$\frac{1}{2}$	۰/۵۰	۱-۱۰	۲-۹	۳-۸	۴-۷	۳۱	۳۲	۳۷	۲۰	۳۴	۲۹	۲۵/۵	۲۲/۵
$\frac{3}{4}$	۰/۵۵	۱-۱۰	۲-۹	۳-۸	۴-۷	۲۰	۲۰	۲۰	۱۲	۳۴	۲۹	۲۵/۵	۲۲/۵



هدف: کلاف‌گذاری، سربندی و نواربندی یک الکتروموتور ۳۶ تک‌فاز کولری

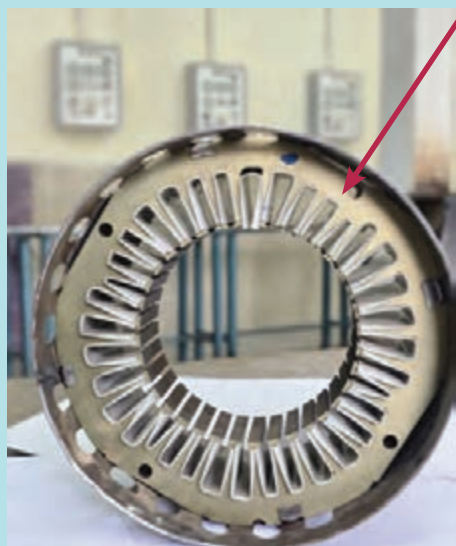
مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱- پوسته ۳۶ شیار کولر ۲- کلاف‌پیچ ۳- سیم لاکه با قطر مورد نیاز موتور ۴- عایق برشمان ۵- کاتر ۶- خط‌کش ۷- چسب کاغذی ۸- قالب کلاف متحدالمرکز ۹- هویه، قلع و روغن لحیم‌کاری ۱۰- سیم‌افشان ۱۱- وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها ۱۲- آچار تخت و رینگ، انبردست، پیچ‌گوشتی و دم‌باریک به همراه سیم‌چین

مراحل انجام کار:

ابتدا محاسبات مربوط به موتور کولر ۳۶ شیار را به همراه جداول سیم‌پیچی نوشته و سپس دیاگرام سیم‌پیچی این موتور را در دفتر گزارش کار رسم نمایید و در ادامه مراحل کار را به صورت زیر دنبال نمایید.

۱ شماره‌گذاری شیارها

مطابق مطلب گفته شده با توجه به اهمیت و تفاوت شیارها با یکدیگر، شیارها را شماره‌گذاری کنید. عایق‌های معیوب را تعویض و یا شیارهای بدون عایق را مطابق آموزش‌های داده شده در پودمان قبل تکمیل نمایید.



شکل ۴۹- شماره‌گذاری شیار استاتور

۲ تنظیم کلاف پیچ

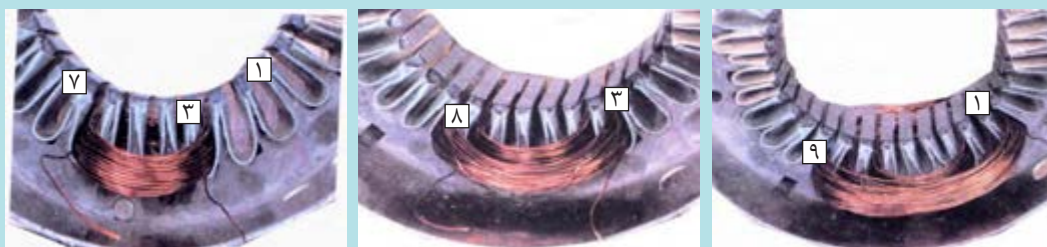
با توجه به گام‌های سیم‌بندی متفاوت که برای سیم‌پیچ راه‌انداز ۶، سیم‌پیچ دور کم ۴ و سیم‌پیچ دور زیاد ۶ است، کلاف پیچ را مطابق روش تجربی تنظیم نمایید.

۳ پیچیدن کلاف‌ها

با استفاده از کلاف پیچ متحدالمرکز چهار گروه کلاف ۳ بوبینه برای سیم‌پیچی دور زیاد (۴ قطب)، ۶ گروه کلاف ۲ بوبینه برای سیم‌پیچی دور کم (۶ قطب) و چهار گروه کلاف ۳ بوبینه برای سیم‌پیچ راه‌انداز (۴ قطب) بپیچید.

۴ جای‌گذاری کلاف‌ها

سیم‌پیچ دور زیاد: یک گروه کلاف ۳ بوبین مختص دور زیاد را انتخاب و بازوهای آن را به ترتیب در شیارهای ۳ به ۷، ۲ به ۸ و ۱ به ۹ قرار دهید (شکل ۵۰).

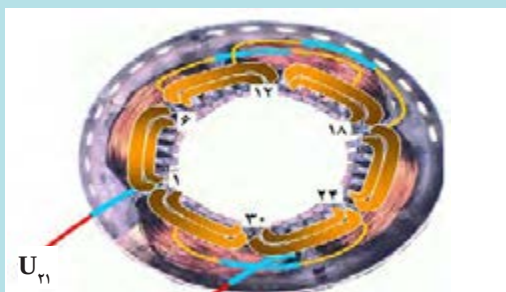


شکل ۵۰- کلاف گذاری دور زیاد

سه گروه بعدی را مطابق دیاگرام کلاف گذاری دور تند شکل ۴۰ در متن درس و نکات گفته شده در گروه کلاف اول، در شیارهای مربوطه جای گذاری کنید (شکل ۵۱).



شکل ۵۱- کلاف گذاری دور تند به طور کامل



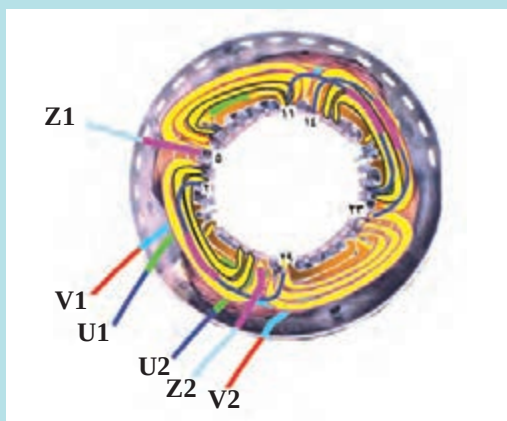
شکل ۵۲- کلاف گذاری دور کم

سیم پیچ دور کم: برای سیم پیچ دور کند گروه اول را در شیارهای ۲ به ۵ و ۱ به ۶، گروه دوم شیار ۸ به ۱۱ و ۷ به ۱۲ و به همین ترتیب و مطابق دیاگرام کلاف گذاری دور کم شکل ۴۲ در شیارهای مربوطه جای گذاری نمایید.



شکل ۵۳- کلاف گذاری راه انداز و تکمیل سیم پیچی

سیم پیچ راه انداز: سیم پیچ راه انداز را از شیار شماره ۵ شروع کنید و مطابق دیاگرام کلاف گذاری سیم پیچ راه انداز شکل ۴۵ در شیارهای مشخص شده قرار دهید.



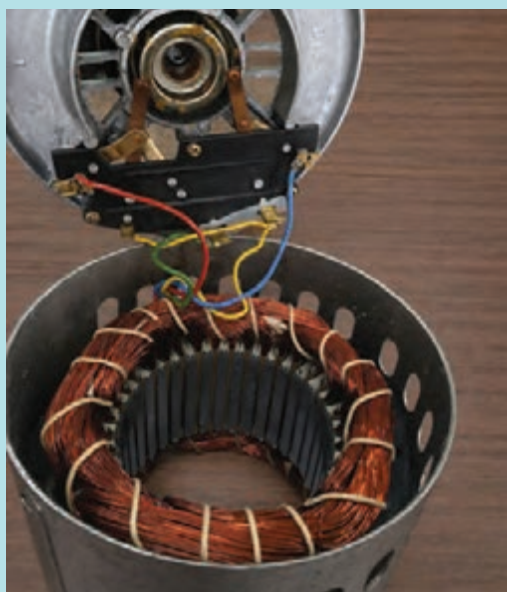
شکل ۵۴- سربندی سیم‌پیچ‌های موتور کولر

پس از اینکه تمامی کلاف‌های سه دسته سیم‌پیچ دور زیاد، کم و راه‌انداز جای‌گذاری شد. در مرحله بعد می‌بایست این سه دسته سیم‌پیچی سربندی شوند.

۵- سربندی و اتصال

مطابق جدول‌های ۱۰ و ۱۲ و ۱۴ سربندی این سه دسته سیم‌پیچ را با رعایت نکات گفته شده در پودمان‌های قبل انجام دهید.

شکل ۵۴ سربندی الکتروموتور کولر را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در این شکل شش سر و ته از سه دسته سیم‌پیچ با اتصال به سیم‌افشان مشخص می‌باشد.

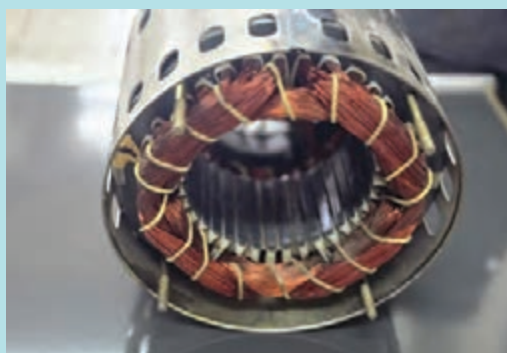


شکل ۵۵- اتصال کلید تابع دور به سربندی موتور

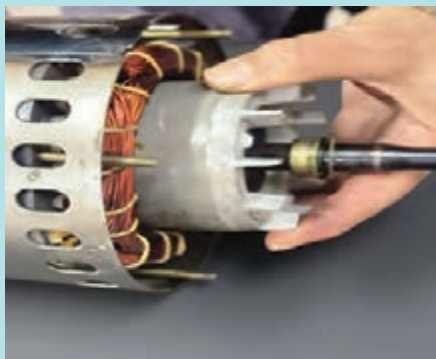
انتهای سه کلاف با نام‌های V_2 ، U_2 و Z_2 به هم متصل کرده و پس از زدن سر سیم مناسب آن را به فیش (سر سیم Com - مشترک) اتصال دهید. به همین ترتیب پس از سر سیم زدن به سیم‌های U_1 ، V_1 و Z_1 به ترتیب U_1 را به سر سیم 'Hi'، V_1 به سر سیم Lo و Z_1 را به سر سیم راه‌انداز متصل کنید (شکل ۵۵).

۶- نواربندی (نخ‌پیچی)

سیم‌پیچی را مطابق مطالب گفته شده در پودمان‌های قبل نواربندی نمایید.



شکل ۵۶- نواربندی موتور کولر



شکل ۵۷- جازدن روتور

۷- جا زدن روتور

با راهنمایی مربی کارگاه، روتور مخصوص موتور کولر را در داخل استاتور جا زده و درپوش‌های موتور را ببندید.

قبل از اتصال الکتروموتور از عدم اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها مطمئن شوید.

نکات ایمنی



۸- آزمایش موتور

با حضور مربی خود موتور را به شبکه برق اتصال داده و صحت عملکرد آن را بررسی نمایید.

آیا با اتصال سیم از کند به تند (یا تعویض سرعت توسط کلید کولر)، تغییر سرعت (دور) قابل توجه است؟

پرسش



تعویض دور از کند به تند (بدون کلید) زمانی انجام شود که جریان برق قطع است.

توجه



سرعت در حالت کند و تند را با روابط آموخته شده در درس‌های قبل به دست آورید.

فعالیت



خودآزمایی

۱ در موتور کولر آبی دو سرعت، برای ایجاد دو سرعت متفاوت از چه روشی استفاده می‌شود؟ نقش سیم‌پیچ‌های دور تند، دور کند و راه‌انداز را توضیح دهید.

۲ کلید تابع دور موتور کولر چگونه عمل می‌کند؟ توضیح دهید هنگام انتخاب دور کند، چرا موتور ابتدا با سیم‌پیچ دور تند و راه‌انداز شروع به کار می‌کند و سپس به دور کند منتقل می‌شود.

۳ رنگ‌بندی متداول سرسیم‌های موتور کولر را بنویسید و کاربرد هر رنگ را مشخص کنید:

■ آبی

■ زرد

■ سبز

■ قرمز

■ مشکی

۴ در یک موتور کولر ۳۶ شیار با سیم‌پیچ دور تند ۴ قطب و دور کند ۶ قطب، موارد زیر را برای هر سرعت محاسبه کنید:

الف) تعداد شیارهای سیم‌پیچ اصلی

ب) تعداد شیار در هر قطب و فاز

ج) گام قطبی

د) گام سیم‌بندی

۵ چرا عمق شیارهای استاتور موتور کولر در تمام محیط آن یکسان نیست؟ همچنین توضیح دهید چرا تعیین دقیق شیار شماره یک در زمان سیم‌پیچی این موتورها اهمیت دارد.

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز دو سرعته (موتور کولر)

نام و نام خانوادگی	شماره ملی	تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	کدبیمانه/پودمان	استاندارد عملکرد کار:	
کد وظیفه شغل	سطح صلاحیت	محاسبه و سیم‌پیچی الکتروموتورهای تک‌فاز دو سرعته (موتور کولر)	
کد کار	سطح شایستگی	مهارت	

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	نصب عایق استاتور و آماده‌سازی کلاف‌های موتور کولر	در کارگاه سیم‌پیچی با استاتور، کاغذ عایق، قیچی، خطکش، قالب کلاف، دستگاه کلاف‌پیچی، سیم لاک‌ی با قطر مناسب، دم‌باریک، تجهیزات ایمنی در زمان تقریبی ۹۰ تا ۱۲۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی کیفیت عایق‌گذاری، کنترل تعداد دور و ابعاد کلاف‌های اصلی و کمکی، پرسش شفاهی و ارزیابی محصول کار	عایق‌گذاری تمامی شیارها به‌طور کامل و اصولی انجام شده، کلاف‌های تند و کند و راه انداز مطابق نقشه، با تعداد دور، ابعاد و قطر سیم صحیح آماده شده‌اند.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل عایق‌گذاری و آماده‌سازی کلاف‌ها به‌درستی انجام شده است، اما در ابعاد کلاف، تعداد دور، عایق‌گذاری یا نظم کار اشکالات جزئی وجود دارد.	۲	
				عایق‌گذاری یا آماده‌سازی کلاف‌ها ناقص یا نادرست انجام شده، مشخصات فنی رعایت نشده و ادامه فرایند سیم‌پیچی با کیفیت مطلوب امکان‌پذیر نیست.	۱	
۲	جاذدن کلاف‌های دور تند، کند و راه انداز	در کارگاه سیم‌پیچی استاتور عایق‌گذاری شده، تند، کند و راه‌انداز آماده، ابزار جازدن کلاف، دم‌باریک، چکش پلاستیکی، نقشه سیم‌پیچی، تجهیزات ایمنی در زمان تقریبی ۱۵۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی نحوه قرارگیری کلاف‌ها در شیارها، کنترل سلامت عایق و سیم لاک‌ی، ارزیابی کیفیت اجرای کار و پرسش شفاهی	تمامی کلاف‌های تند و کند و راه انداز مطابق نقشه سیم‌پیچی، بدون آسیب به عایق یا سیم لاک‌ی و با آرایش صحیح در شیارهای مربوطه جای‌گذاری شده‌اند و برای مراحل بعدی آماده هستند.	۳	
				بیش از نیمی از کلاف‌ها به‌درستی در شیارها قرار گرفته‌اند، اما در نحوه چیدمان، رعایت ترتیب کلاف‌ها یا اجرای کار اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				کلاف‌ها به‌صورت نادرست یا ناقص در شیارها جای‌گذاری شده‌اند.	۱	
۳	سربندی و نوار بندی	در کارگاه سیم‌پیچ استاتور کلاف‌گذاری شده، نقشه سیم‌پیچی، دم‌باریک، سیم لخت‌کن، هویه و لوازم لحیم‌کاری (در صورت نیاز)، وارنیش یا روکش عایق، نوار عایق، نخ نسوز، اهم‌تر، تجهیزات ایمنی در زمان تقریبی ۴۵ تا ۶۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی صحت سربندی طبق نقشه، کنترل کیفیت نواربندی و عایق‌کاری	اتصالات کلاف‌ها مطابق نقشه موتور کولر و بدون خطا انجام شده، محل اتصالات به‌خوبی عایق شده و نواربندی با استحکام و نظم مناسب اجرا شده است. نتایج آزمون الکتریکی نیز صحیح است.	۳	
				بیش از نیمی از سربندی و نواربندی به‌درستی انجام شده است، اما در برخی اتصالات، عایق‌کاری یا نحوه نواربندی اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				سربندی دارای خطاهای اساسی است یا نواربندی و عایق‌کاری به‌درستی انجام نشده، به‌گونه‌ای که ادامه کار یا بهره‌برداری ایمن از موتور امکان‌پذیر نیست.	۱	
۴	جا زدن روتور، بستن در پوش، راه اندازی و قرائت جریان	در کارگاه سیم‌پیچی استاتور کولر سیم‌پیچی شده، روتور، درپوش‌ها و باتاقان‌ها، آچار و پیچ‌گوشتی، چکش پلاستیکی، منبع تغذیه، آمپر متر یا کلمپ‌متر، مولتی‌متر، تجهیزات حفاظتی و ایمنی برق در زمان تقریبی ۴۵ تا ۶۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل مونتاژ و راه‌اندازی، بررسی نحوه استفاده از ابزار اندازه‌گیری، ارزیابی مقادیر ثبت شده،	روتور به‌درستی در استاتور نصب شده، درپوش‌ها کاملاً و اصولی بسته شده‌اند، موتور بدون صدا و لرزش غیرعادی راه‌اندازی شده و جریان کارکرد به‌درستی اندازه‌گیری شده است.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل مونتاژ، راه‌اندازی و اندازه‌گیری جریان به‌درستی انجام شده است، اما در مونتاژ، قرائت یا ثبت مقادیر اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				مونتاژ موتور یا راه‌اندازی آن به‌درستی انجام نشده، قرائت جریان نادرست است.	۱	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:		استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، رعایت نظم و نظافت محیط کار، استفاده صحیح از ابزار و تجهیزات، مدیریت پسماندها و ضایعات، همکاری با دیگران، مسئولیت‌پذیری و رعایت اخلاق حرفه‌ای در طول انجام فعالیت‌ها	مشاهده مستقیم، چک‌لیست رفتاری، ثبت عملکرد، پرسش شفاهی، ارزیابی مستمر در حین کار	رعایت نسبی اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، با خطاهای جزئی در حین انجام کار.	۲	
				عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، یا بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.		

☐ بلی

☐ خیر

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ از جازدن کلاف‌های دور تند، کند و راه‌انداز، سربندی و نواربندی، جا زدن روتور، بستن در پوش، راه‌اندازی و قرائت جریان (مراحل بحرانی)

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف‌نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

- مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت‌ها

- تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

مراجع و منابع

- ۱ برنامه درسی «سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی»، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۲ کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی علی عراقی و دیگران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۴۰۴.
- ۳ تکنولوژی و کارگاه سیم‌پیچی، سیامک فرشاد و دیگران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.

