بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی

رشتهٔ الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ یازدهم دورهٔ دوم متوسطه

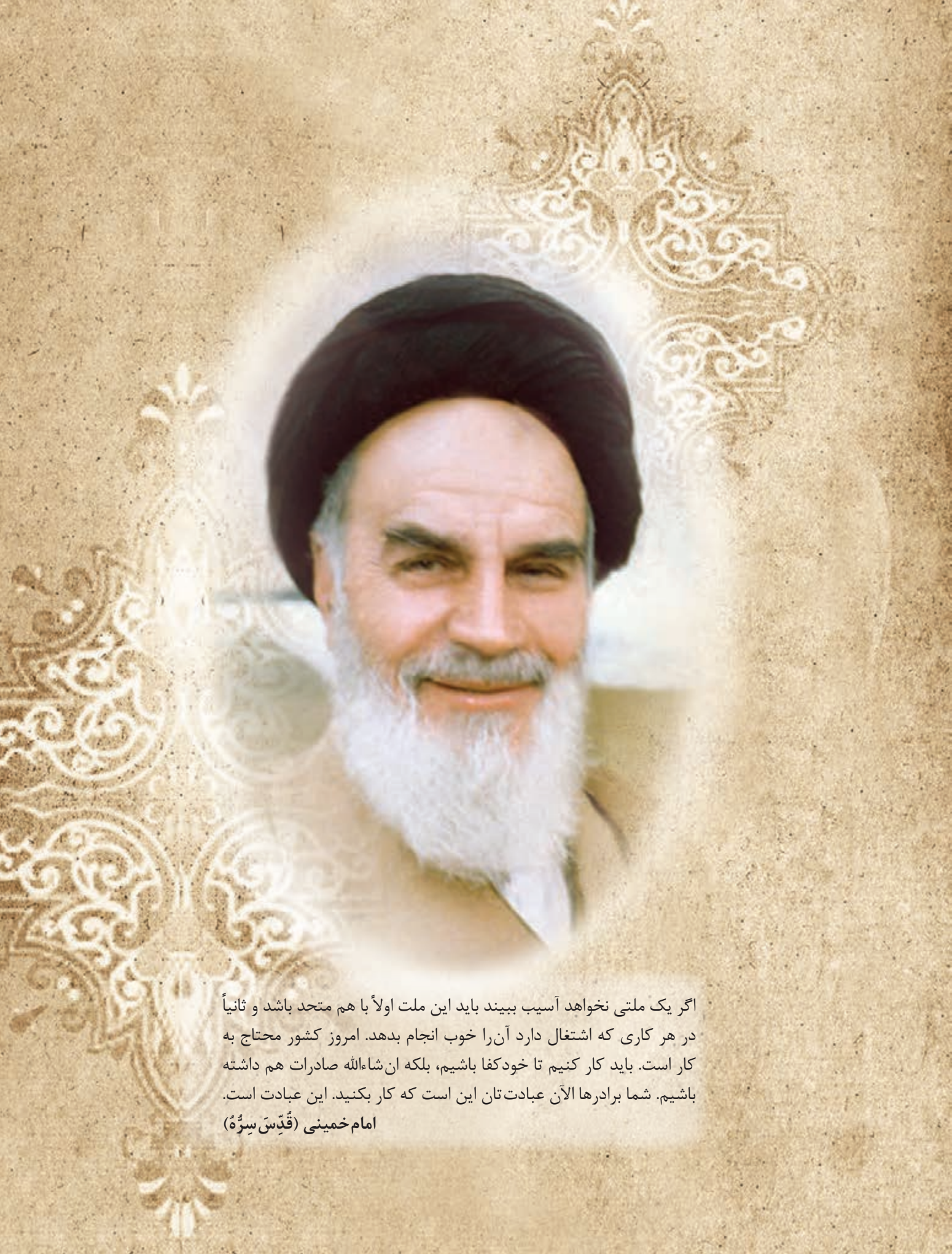
دانشچی
DANESHCHI
دانلود کتاب های این مقطع

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ـ ۲۱۱۲۶۴
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی 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) ـ علی عراقی، شهرام خدادادی (ویراستار فنی)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) ـ رضوان جهانی فریمانی (صفحه‌آرا) ـ مریم کیوان(طراح جلد)ـ سعید ابراهیمی ، فاطمه رئیسیان فیروزآباد (رسام) ـ فاطمه پزشکی، سید کیوان حسینی، منیژه متولی، حمید ثابت کلاچاهی و زهره برهانی زرندی (امور آماده‌سازی)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱ ، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)
تلفن :۵ ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ‌ونشر 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.

شابک ۶ -۳۸۲۹ - ۰۵ - ۹۶۴ -۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 3829-6**



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

امام‌خمینی (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اول: سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی ـ تک خروجی..... ۱

واحد یادگیری ۱: سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز بر اساس پارامترهای الکتریکی ۲
واحد یادگیری ۲: سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز بر اساس مشخصات قرقره ۳۷

پودمان دوم: سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، چند ورودی ـ چندخروجی ۴۹

واحد یادگیری ۱: سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای چندورودی ـ چندخروجی با سیم‌پیچ مجزا ۵۰
واحد یادگیری ۲: سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چندخروجی با سیم‌پیچ مشترک ۶۲

پودمان سوم: سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز یک‌طبقه ۷۳

واحد یادگیری ۱: عایق‌کاری و جا زدن کلاف‌های موتور سه‌فاز یک‌طبقه ۷۴
واحد یادگیری ۲: راه‌اندازی و آزمایش موتورهای سه‌فاز یک‌طبقه..... ۱۱۰

پودمان چهارم: سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز دوطبقه ۱۲۵

واحد یادگیری ۱: سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز دوطبقه گام کامل ۱۲۶
واحد یادگیری ۲: سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز دوطبقه گام کسری ۱۴۵

پودمان پنجم: سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز ۱۶۹

واحد یادگیری ۱: سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز یک سرعته ۱۷۰
واحد یادگیری ۲: سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز دوسرعته (موتور کولر) ۱۹۸

مراجع و منابع ۲۲۱

این کتاب در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ از منظر چهار گروه از دنیای کار (کارفرمایان بزرگ، خبرگان حرفه‌ای، فروشندگان خدمات و کالا و انجمن‌های حرفه‌ای)و چهار گروه از دنیای آموزش (هنرآموزان خبره، مربیان سازمان آموزش و فنی‌حرفه‌ای، هنرجویان پایه دوازدهم و فارغ‌التحصیلان 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 به‌صورت 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:

۱ـ شایستگی‌های فنی؛ برای ورود به بازار کار؛ مانند شناسایی اجزای ماشین‌های الکتریکی، انجام محاسبات سیم‌پیچی، کلاف‌پیچی، عایق‌کاری، جاگذاری کلاف‌ها، سربندی و آزمایش سیم‌پیچ‌ها؛

۲ـ 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؛

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

۴ـ 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 کاردانش، 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 آموزش‌داده‌شده در این کتاب را به‌صورت 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 به‌صورت پودمانی تنظیم شده است. هر پودمان شامل واحدهای یادگیری و فعالیت‌های عملی است که مراحل انجام آنها به‌صورت 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 طراحی‌شده 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 کاردانش 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 بیان‌شده 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 کاردانش

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 کابل‌کشی 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 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 بستهٔ آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته -یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های 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 قرقره شرح داده شده است.

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

پودمان سوم: دارای عنوان «سیم‌پیچی موتورهای سه فاز یک طبقه» است. در این پودمان ابتدا عایق‌کاری 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 سرعته آشنا می‌شوند و در واحد یادگیری دوم سیم پیچی موتورهای تک فاز دوسرعته (موتور کولر) آموزش داده می‌شود.

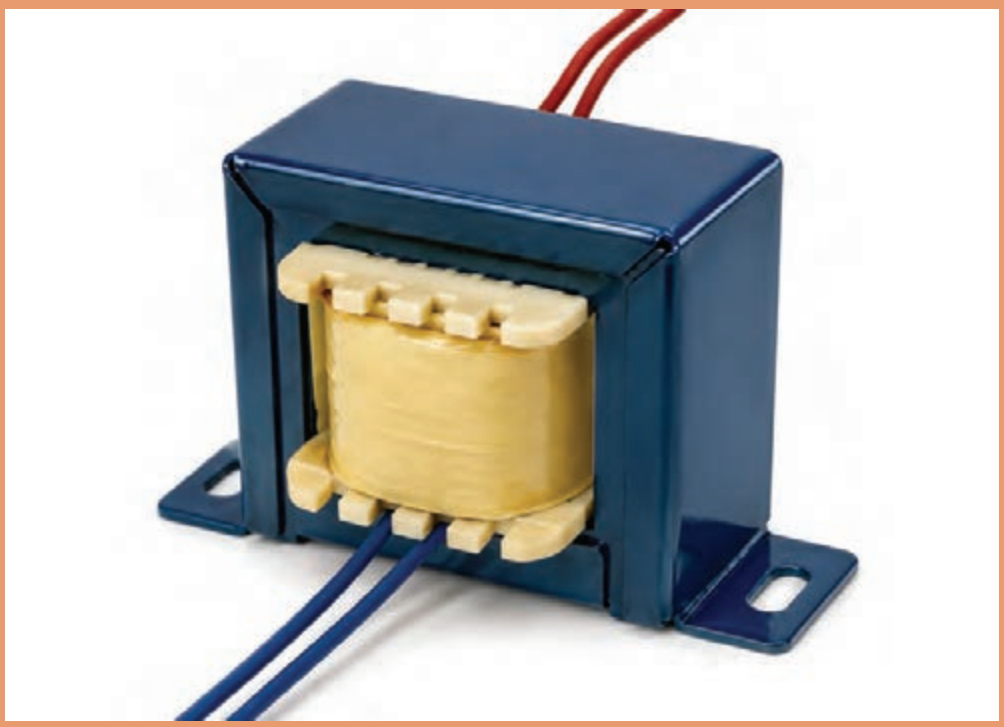
امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق گردد.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نظرسنجی کتاب درسی

پودمان اول

سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی ـ تک خروجی



واحد یادگیری ۱

سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز بر اساس پارامترهای الکتریکی

آیا می‌دانید

۱ اساس کار ترانسفورماتور چگونه است؟
۲ اجزای تشکیل‌دهنده ترانسفورماتور کدام است؟
۳ مفاهیم ترانسفورماتور ایده‌آل و ترانسفورماتور واقعی چه تفاوتی دارند؟
۴ محاسبات و سیم‌پیچی ترانسفورماتور تک‌فاز، تک ورودی ـ 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 سیم‌پیچی انواع ترانسفورماتورهای تک‌فاز، تک ورودی ـ 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 مهندسین برق این امکان را می‌دهد تا وسایل الکتریکی را در انواع مختلف با جریان‌ها و ولتاژهای گوناگون طراحی کنند. بدین طریق در مواقعی که احتمال خطر برق‌گرفتگی وجود داشته باشد وسایلی را با ولتاژ کم طراحی کنند که خطر برق گرفتگی نداشته باشد. درصورتی‌که 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 درنتیجه تلفات خطوط انتقال بسیار کاهش می‌یابد. در انتهای خطوط که محل توزیع برق است با کاهش ولتاژ به اندازه‌ای که برای مصرف مناسب باشد، در نتیجه میزان جریان افزایش یافته و این امکان را فراهم می‌آورد تا جریان‌دهی به تعداد زیادی مصرف‌کننده افزایش یابد. ضمناً ترانسفورماتورها در موارد دیگری همچون صنعت خودروسازی، کوره‌های القایی، وسایل روشنایی و روشنایی‌های تزیینی، اندازه‌گیری‌ها و حفاظت‌های الکتریکی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

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



شکل ۱ـ چند نمونه ترانس تک‌فاز

اجزای اصلی ترانسفورماتور

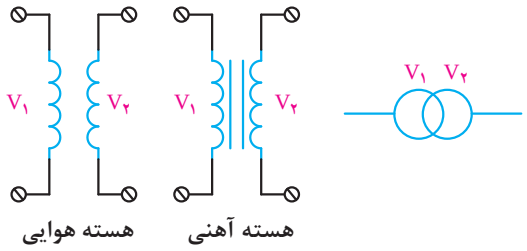
ترانسفورماتور از دو قسمت اصلی تشکیل شده است:

۱ هسته آهنی

۲ سیم‌پیچی ها

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) به‌دست 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.

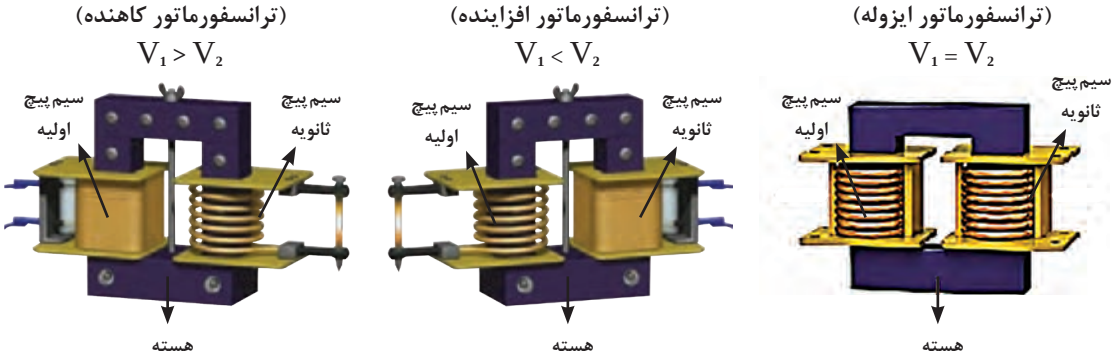
در مباحث الکتریکی از علایم اختصاری که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید برای نشان دادن ترانسفورماتورها استفاده می‌شود.



شکل ۲ــ علایم 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 درسه حالت کاهنده، افزاینده و ایزوله نشان داده شده است.



شکل ۳ــ انواع ترانسفورماتورها از نظر سطح ولتاژ

فعالیت

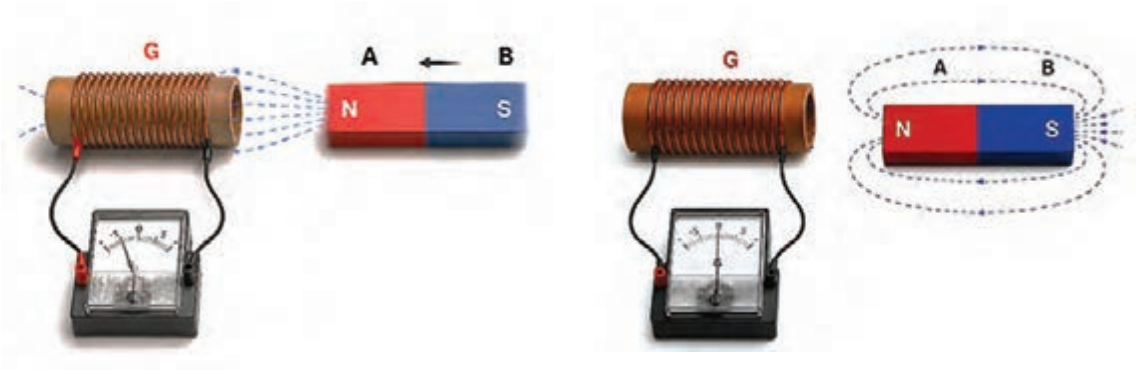
۱ چند نمونه کاربرد ترانسفورماتور افزاینده و کاهنده در صنعت برق و لوازم برقی اشاره کنید.

۲ یک ترانسفورماتور کاهنده مثلاً $\frac{۲۲۰}{۱۲}$ V تهیه کنید. با استفاده از اهم‌متر مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه آن را اندازه‌گیری کنید. چه تفاوتی می‌بینید؟ چرا؟

اساس کار ترانسفورماتورها

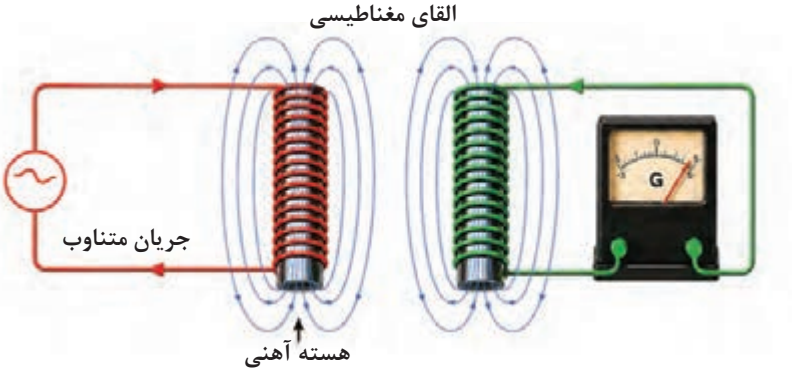
اساس ترانسفورماتورها برپایه پدیده «القای متقابل» مباحث مغناطیسی است.همان‌طوری‌که درمباحث مغناطیس سال‌های گذشته آشنا شده‌اید هرگاه یک آهنربا مشابه شکل ۴ را به‌سمت یک سیم‌پیچ نزدیک و یا دور کنیم، مشاهده می‌کنیم که عقربه آمپرمتری که به دو سر آن متصل است منحرف می‌شود. این مطلب

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



شکل ۴ـ 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 به‌طوری‌که 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 ۵ـ 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 درسیم‌پیچ اولیه نیز، نیروی محرکه القا می‌کند. این نیروی محرکه براساس قانون لنز با عامل به‌وجود آورنده آن، یعنی تغییرات شار مخالفت می‌کند.

$$E_1 = -N_1 \frac{\Delta\varphi_1}{\Delta t} \qquad E_2 = -N_2 \frac{\Delta\varphi_2}{\Delta t}$$

E_1 نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه، E_2 نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه، N_1 تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه و N_2 تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه است. $\frac{\Delta\varphi_1}{\Delta t}$ آهنگ تغییر شار در سیم‌پیچ اولیه و $\frac{\Delta\varphi_2}{\Delta t}$ آهنگ تغییر شار در سیم‌پیچ ثانویه می‌باشد.

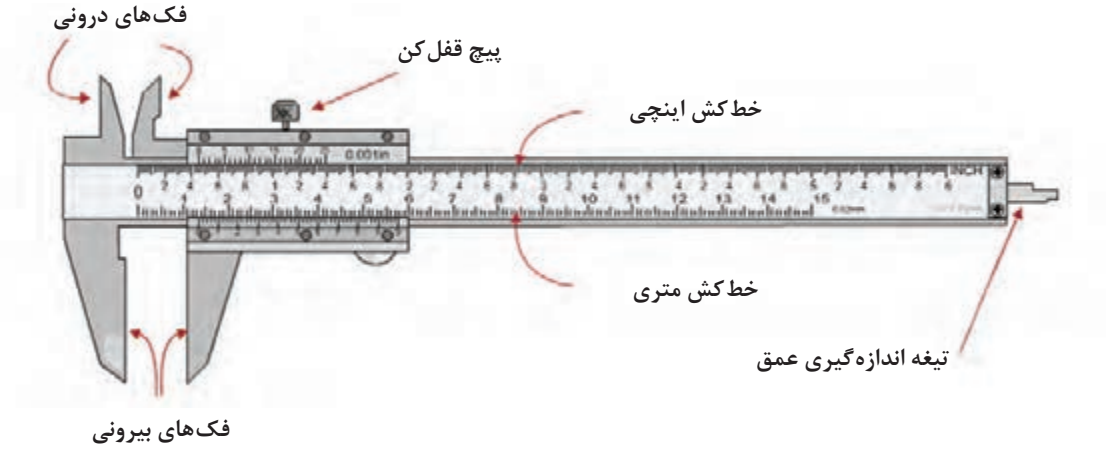
قسمتی از شار مغناطیسی تولیدشده فقط از سیم‌پیچ اولیه عبور می‌کند و از سیم ثانویه عبور نمی‌کند که در تولید نیروی محرکه E_1 مؤثر است، ولی در تولید E_2 بی‌تأثیر است. به این مقدار شار، «شار پراکندگی» می‌گویند.

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

توضیح

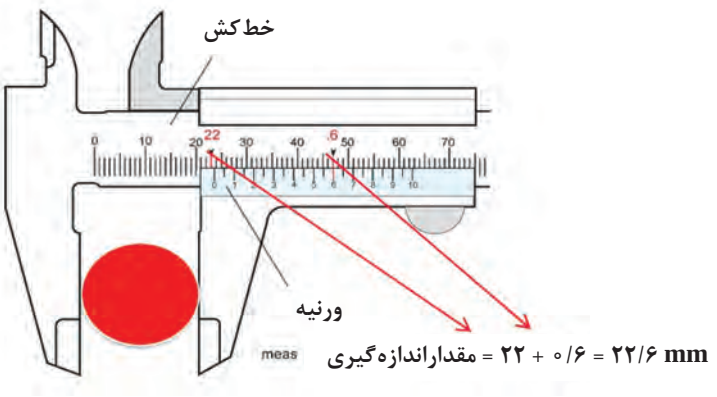
برای اینکه بتوان کارهای عملی ساده و متناسب با بحث ترانسفورماتورها را در کارگاه انجام داد لازم است تا با یکسری وسایل و ابزار آشنا شده که در ادامه به بررسی و معرفی آنها پرداخته می‌شود.

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



شکل ۶ــ اجزای تشکیل‌دهنده کولیس

■ **روش اندازه‌گیری با کولیس:** قطعه‌ای بین دو فک قرار داده شود (سنجش قطر خارجی). قسمت صحیح را قبل از صفر ورنیه، از خط‌کش برحسب میلی‌متر خوانده می‌شود. قسمت اعشاری را از ورنیه جدا ساخته، در این حالت یکی از اعداد ورنیه، با یکی از اعداد خط‌کش در امتداد هم قرار می‌گیرند این عدد قسمت اعشاری اندازه‌گیری را نشان خواهد داد. بنابراین، دقت اندازه‌گیری دهم میلی‌متر خواهد بود (شکل ۷).



شکل ۷ـ اندازه‌گیری قطر خارجی با کولیس

با کولیس می‌توان قطر داخلی قطر خارجی وعمق اجسام را اندازه‌گیری نمود (شکل ۸).



اندازه‌گیری قطر داخلی — اندازه‌گیری قطر خارجی — اندازه‌گیری عمق

شکل ۸ـ انواع اندازه‌گیری‌های کولیس

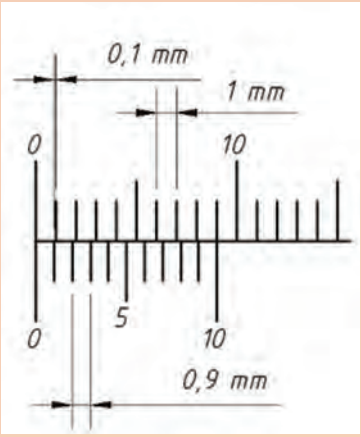


کولیس چاقویی (کاردی) — کولیس گیج‌دار — کولیس دیجیتالی

شکل ۹ـ انواع کولیس‌ها

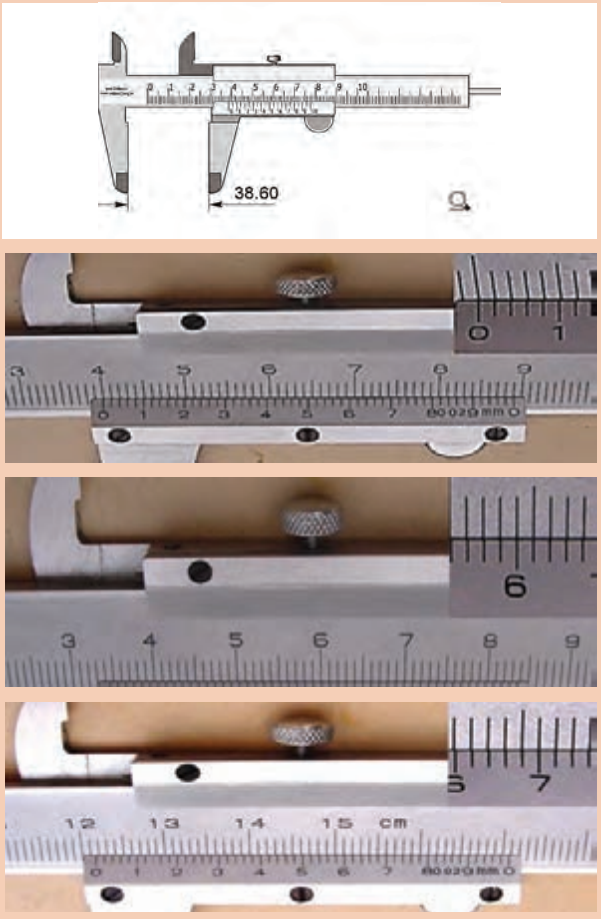
فعالیت

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



شکل ۱۰ــ بخشی از ورنیه

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



شکل ۱۱ــ قرائت کولیس

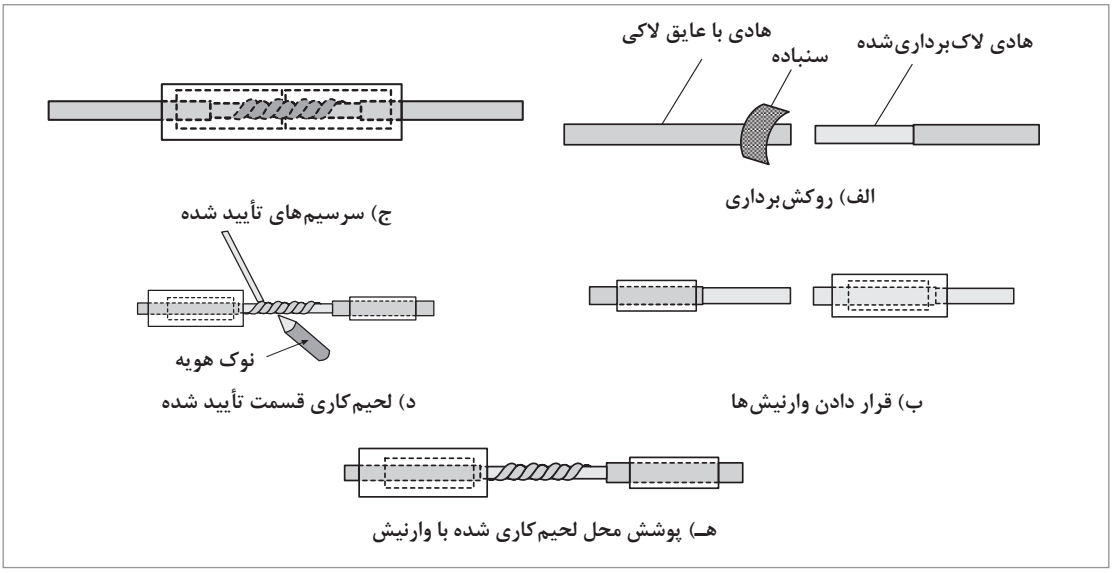


شکل ۱۲ـ انواع قرقره‌های پلاستیکی

■ **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.

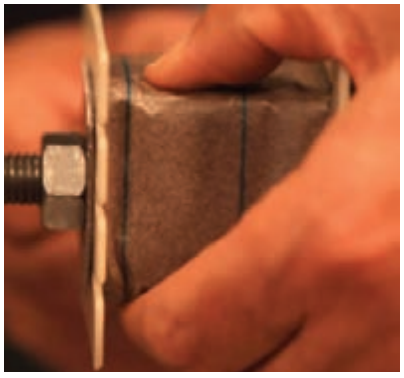


■ **وارنیش:** معمولاً برای محکم کردن اتصال سیم‌های لاکی با یکدیگر و یا اتصال سیم‌های لاکی با سیم‌های افشان که از داخل وسیله سیم‌پیچی شده مانند ترانسفورماتورها و الکتروموتورها خارج می‌شود از روش لحیم‌کاری استفاده می‌شود. برای عایق‌کاری این نقاط اتصال از عایق‌های حرارتی به‌نام وارنیش (ماکارونی) استفاده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



شکل ۱۳ـ 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 جداکردن این سیم‌پیچی‌ها از یکدیگر و همچنین حفاظت از سیم‌پیچی در مقابل ضربات خارجی استفاده می‌شود.




شکل ۱۴ــ ورقه‌های عایق کاغذی

■ **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.

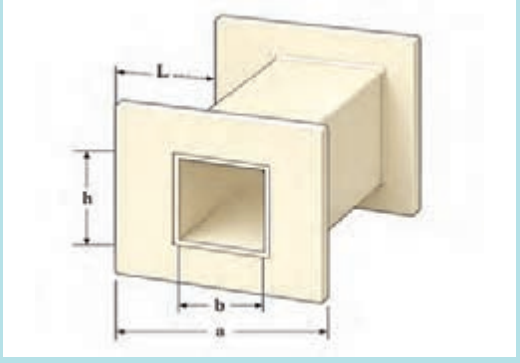


شکل ۱۵ــ انواع سرسیم

کارعملی

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

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



شکل ۱۶ــ یک قرقره پلاستیکی

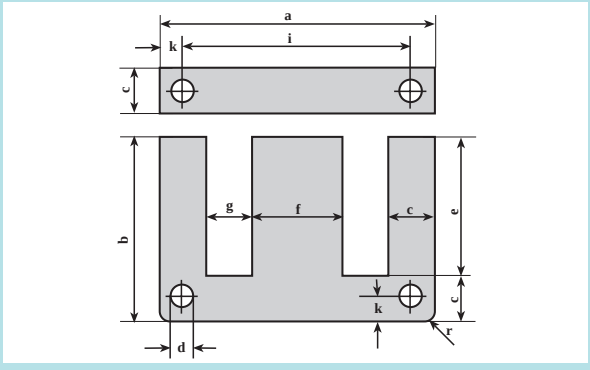




ج)　　ب)　　الف)

شکل ۱۷ـ اندازه‌گیری‌های مختلف در قرقره پلاستیکی

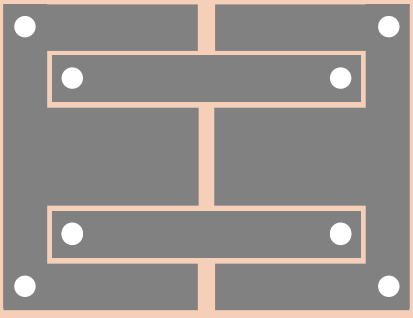
■ دو اندازه مختلف از ورق‌های EI ترانسفورماتورها را دراختیار گرفته و مقادیر نشان داده‌شده در شکل را با کولیس اندازه‌گیری کنید. چه ارتباطی بین مقدار وسط هسته (f) با دو ضلع کناری (C) وجود دارد؟ علت این ارتباط چیست؟

شکل ۱۸ـ ورقه‌های EI

فعالیت

چرا در ساخت هسته‌های EI ترانسفورماتورها به‌صورت شکل ۱۹ عمل می‌شود؟



شکل ۱۹ـ برش ورقه‌های EI

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



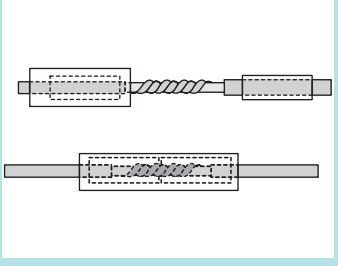


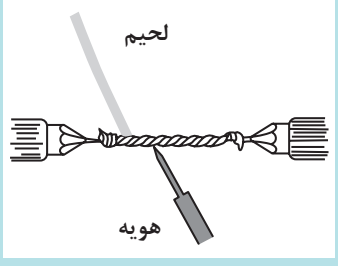
شکل ۲۰ـ قرقره‌های سیم لاکی و قرائت قطر با میکرومتر

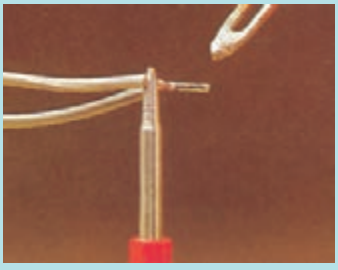
جدول ۱ـ محاسبه قطر لاکی

شماره سیم	قطر سیم اندازه‌گیری شده	ضخامت لاک سیم	$A = \pi \frac{d^2}{4}$ = اندازه‌گیری 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 لحیم‌کاری مناسب روی اتصال‌ها را با وارنیش پلاستیکی بپوشانید (اندازه روکش‌برداری و وارنیش‌ها توسط مربی دراختیار شما گذاشته می‌شود).







شکل ۲۱ـ لحیم‌کاری 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 درسیم‌پیچ اولیه به‌وجود 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 به‌دست آورد.

$$E_1 = ۴/۴۴ \times f \times \varphi \times N_1 = ۴/۴۴ \times f \times B \times A_{fe} \times N_1 \qquad (۱)$$

$$E_2 = ۴/۴۴ \times f \times \varphi \times N_2 = ۴/۴۴ \times f \times B \times A_{fe} \times N_2 \qquad (۲)$$

E_1ـ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه برحسب ولت
E_2ـ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه برحسب ولت
N_1ـ تعداد دور سیم‌پیچ اولیه
N_2ـ تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه
φـ برآیند شارهای مغناطیسی متغیر هسته برحسب وبر
Bـ چگالی میدان در هسته برحسب تسلا
fـ فرکانس ولتاژ تغذیه برحسب هرتز

تحقیق‌کنید

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

ترانسفورماتور ایده‌آل:

درترانسفورماتورهای ایده‌آل تمام شارمغناطیسی که در سیم‌پیچ اولیه تولید می‌شود ازسیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند. این نوع ترانسفورماتورها یک تعریف ذهنی است و در عمل امکان دستیابی به چنین ترانسفورماتورهایی امکان‌پذیر نیست.
درترانسفورماتورهای ایده‌آل به علت نادیده گرفتن مقاومت اهمی و تلفات پراکندگی سیم‌پیچ‌ها می‌توان نوشت:

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

باتوجه به روابط ۱ و ۲ می‌توان نوشت:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{۴/۴۴ \times f \times B \times A \times N_1}{۴/۴۴ \times f \times B \times A \times N۲} \Rightarrow \boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}} \qquad (۳)$$

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

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \Rightarrow \boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}} \qquad (۴)$$

دریک ترانسفوماتور ایده‌آل نسبت دورها با نسبت نیروهای محرکه و ولتاژها رابطه مستقیم و با نسبت جریان‌ها رابطه عکس دارد و به‌صورت 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 می گویند.

مثال

تعداد دورسیم‌پیچ اولیه یک ترانسفورماتور ایده‌آل ۱۰۰۰ دور و تعدادسیم‌پیچ ثانویه آن ۴۰۰ دور می‌باشد این ترانسفورماتور درثانویه بار ۲۰ اهمی را باولتاژ ۲۰۰ ولت تغذیه می‌کند. ولتاژ وجریان اولیه و توان ورودی آن را به‌دست آورید.

حل:

$N_1 = ۱۰۰۰$ دور ، $N_2=۴۰۰$ دور، $R=۲۰\Omega$ ، $V_2=۲۰۰V$

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}\Rightarrow\frac{V_1}{۲۰۰}=\frac{۱۰۰۰}{۴۰۰}\Rightarrow V_1=۵۰۰V$$

$$I_2=\frac{V_2}{R}=\frac{۲۰۰}{۲۰}=۱۰A$$

$$\frac{N_1}{N_2}=\frac{I_2}{I_1}\Rightarrow\frac{۱۰۰۰}{۴۰۰}=\frac{۱۰}{I_1}\Rightarrow I_1=۴A$$

$$S_1 = V_1 \times I_1 = ۱۰۰۰ \times ۴ = ۴۰۰۰\ VA$$

تلفات در ترانسفورماتورهای ایده‌آل: به مجموع تلفات هسته (آهنی ـ P_{fe}) و تلفات سیم‌پیچی (مسی ـ P_{cu}) « تلفات ترانسفورماتور» گفته می‌شود که به‌صورت حرارت در اطراف ترانسفورماتور از بین می‌روند.

تلفات ترانسفورماتور $\Delta P = P_{fe} + P_{Cu}$

در ترانسفورماتور ایده‌آل چون از تلفات هسته P_{fe} و تلفات سیم‌پیچی P_{Cu} صرف‌نظر می‌شود لذا هیچگونه تلفات وجود ندارد. در نتیجه برای این نوع ترانسفورماتورها می‌توان نوشت:

تلفات ترانسفورماتور ایده‌آل $\Delta P = ۰ \Rightarrow P_1 = P_2 \Rightarrow S_1 = S_2$

راندمان در ترانسفورماتورایده‌آل: 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 به‌دست آورد. درترانسفورماتور ایده‌آل چون تلفات وجود ندارد و توان‌های ورودی و خروجی برابرند به همین دلیل راندمان این ترانسفورماتورها ۱۰۰٪ در نظر گرفته می‌شود.

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}\times۱۰۰\Rightarrow\eta=\frac{S_2}{S_1}\times۱۰۰$$

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

جدول ۲ـ راندمان ترانسفورماتور به ازای قدرت‌های مختلف

فدرت ترانس VA	(۰ـ ۵۰)	(۵۱ـ ۲۰۰)	(۲۰۱ـ ۱۰۰۰)
راندمان n٪	(٪۷۰ ـ ٪۸۰)	(٪۸۰ ـ ٪۹۰)	(٪۸۵ ـ ٪۹۵)

سؤال

تفاوت ترانسفورماتور ایده‌آل و واقعی چیست؟

تحقیق‌کنید

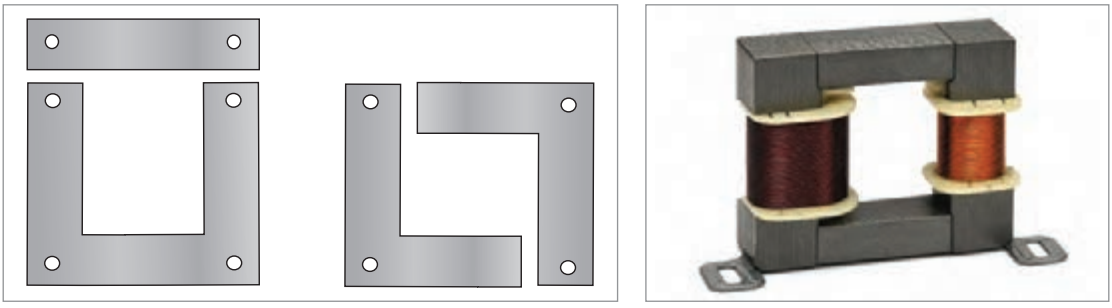
رابطه بین توان ورودی، خروجی و تلفات در ترانسفورماتورهای واقعی چگونه است ؟

انواع ترانسفورماتور از نظر ساختمانی (قرار گرفتن سیم‌پیچ‌ها)

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

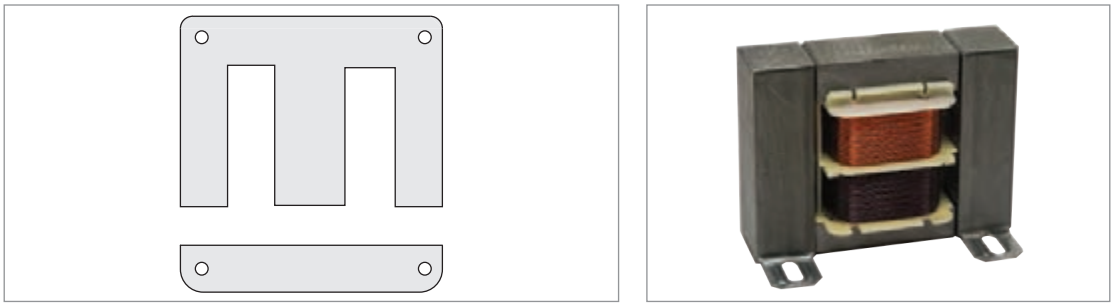
الف) اگر هریک از سیم‌پیچ‌ها روی یک پایه هسته پیچیده شوند به آن «**هسته ستونی**» گویند.

ورق‌های هسته این نوع ترانسفورماتور به‌صورت دو ورق L یا دو ورق UI است که به همراه تصویر کامل ترانسفورماتور شکل ۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۲ـ ترانسفورماتور با هسته ستونی

ب) اگر هر دو سیم‌پیچ مطابق شکل ۲۳ روی یک پایه هسته پیچیده شوند ترانسفورماتور را با «**هسته زرهی**» گویند. ورق این نوع ترانسفورماتورها به‌صورت EI ساخته می‌شود که به همراه تصویرکامل ترانسفورماتور در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۳ـ ترانسفورماتور با هسته زرهی

در عمل برای پیچیدن سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور (زرهی یا ستونی) ابتدا سیم‌پیچ‌ها را بر روی قرقره‌ای از جنس عایق می‌پیچند و سپس آن را درون هسته جای می‌دهند.

تحقیق‌کنید

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

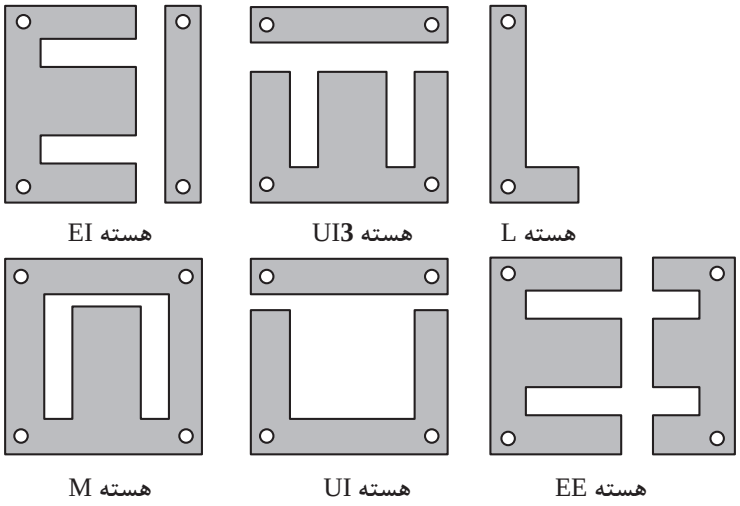
هسته ترانسفورماتور

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

۱ داشتن حداقل تلفات پس ماند مغناطیسی(هیسترزیس)

۲ داشتن حداقل تلفات جریان گردابی (فوکو)

با افزودن ناخالصی سیلیس به آهن می‌توان از هسته مرغوب با حداقل تلفات هیسترزیس بهره‌مند شد. همچنین با ورق، ورق کردن هسته می‌توان تلفات فوکو را به حداقل رساند. درعمل علاوه بر ورق، ورق کردن هسته، ورقه‌های هسته با افزودن روکش ورنی، آنها را نسبت به هم عایق می‌کنند. لعاب روکش ورق حدود ۰/۰۱ میلی‌متر است که طی دو مرحله روکش و در هر مرحله ۰/۰۰۵ روی ورق‌ها روکش ورنی می‌دهند. ورقه‌های ترانسفورماتور را درضخامت‌های ۰/۳۵ میلی‌متر و۰/۵۰میلی‌متر و در اندازه‌های استاندارد مختلف ساخته می‌شوند. ورقه‌های هسته به‌صورت ۳UI ، EE ، UI ، L و M برش داده می‌شوند. در شکل ۲۴ نمونه‌هایی از هسته‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۲۴ـ چند نمونه ورق‌های هسته‌های ترانسفورماتور

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

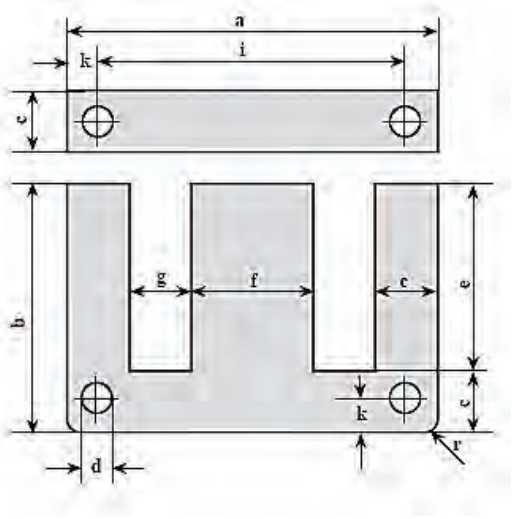
جدول ۳ـ برای ورق‌های ترانسفورماتور با مشخصات g=c و f=۲c (مقادیر بر حسب mm)

	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	۰/۱ تا ۰/۵		۰/۳۵ تا ۰/۵													

ادامه جدول ۳ـ 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		۰/۵ تا ۰/۳۵													

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



EI برحسب mm

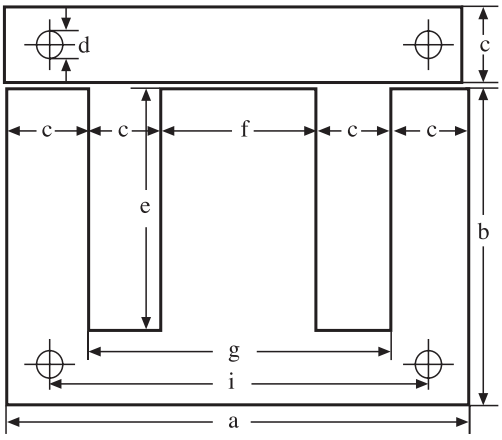
h ـ ضخامت استاندارد ورقه‌ها

I_E ـ طول متوسط خطوط قوا

S ـ ضخامت هر ورق

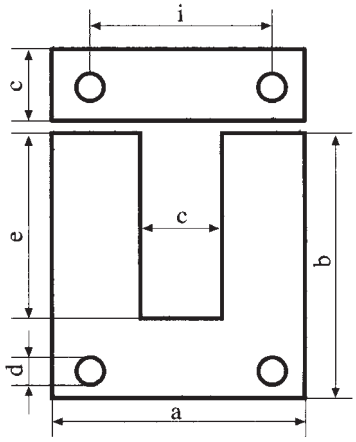
شکل ۲۵ـ حروف ورقه‌های EI

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



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

شکل ۲۶ـ ابعاد و روابط ورق EI



$$b=\frac{۴}{۳}a$$

$$c=\frac{۱}{۳}a$$

$$e=a$$

شکل ۲۷ـ 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 ترانسفورماتوررا 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.

۱ 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 سیم‌پیچی
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 ورق‌ها
۱۰ انتخاب قرقره

مرحله اول ـ مشخص کردن پارامترهای مورد نیاز برای محاسبات: برای ورود به محاسبات لازم است تا درابتدا پارامترهای الکتریکی V_1، V_2، I_2 و ضخامت ورق مشخص باشند.

$V_1 = ?$ $V_2 = ?$ $I_2 = ?$ ضخامت ورق هسته $= ?\ mm$

مرحله دوم ـ محاسبه قدرت اولیه: قدرت ظاهری سیم‌پیچ اولیه را با توجه به قدرت ظاهری و راندمان ترانسفورماتور از رابطه زیر می‌توان به‌دست آورد. لازم به ذکر است معمولاً راندمان ترانسفورماتورهای با قدرت‌های کمتر از ۱۰۰۰ وات ـ آمپر را ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ بسته به کیفیت ساخت می‌توان درنظر گرفت. در این‌جا برای انجام محاسبات میانگین این بازه که برابر ۰/۹ می‌باشد را در نظر می‌گیریم.

$$S_2 = V_2 \times I_2$$

$$\eta = \%90$$

$$\eta = \frac{S_2}{S_1} \Rightarrow S_1 = \frac{S_2}{\%9}\ VA$$

مرحله سوم ـ تعیین سطح مقطع هسته و تعداد ورق‌ها: مبنای تعیین سطح مقطع هسته‌های ترانسفورماتور، توان ظاهری خروجی آن می‌باشد.

برای کاهش تلفات فوکو، ضخامت ورقه‌های آهن سیلیس‌دار هسته ترانسفورماتور را ۰/۳۵ یا ۰/۵۰میلی‌متر ساخته می‌شوند. سطح مقطع ظاهری حجم بیشتری نسبت به سطح مقطع واقعی (مؤثر) دارد.

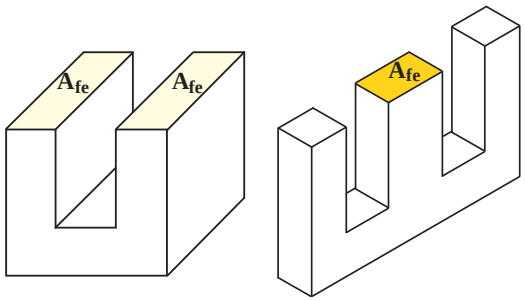
اگر سطح مقطع مؤثر را با A_{fe} و سطح مقطع ظاهری را با A'_{fe} نمایش دهیم می‌توان رابطه ۵ را برای محاسبه سطح مقطع مؤثر هسته‌های ترانسفورماتور نوشت.

$$A_{fe} = K\sqrt{S_1} \qquad (۵)$$

مقدار ضریب K بین ۰/۸ تا ۱/۲ متغیر است هرچقدر توان ترانسفورماتور بیشتر باشد، مقدار K کاهش یافته و به مقدار ۰/۸ نزدیک‌تر می‌شود. مقدار سطح مقطع ظاهری هسته از رابطه ۶ می‌توان تعیین کرد..

$$A'_{fe} = \frac{A_{fe}}{\text{ضریب تورق}} = \frac{A_{fe}}{۰/۹} = ۱/۱ \times A_{fe} \qquad (۶)$$

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



شکل ۲۸ـ سطح مقطع هسته EI و U

فعالیت

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

مرحله چهارم ـ محاسبه دور بر ولت: برای محاسبه تعداد دور سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه می‌بایست ابتدا مقدار پارامتر «دور بر ولت» و سپس تعداددورها را به‌دست آوریم.

مبنای محاسبات تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه رابطه نیروی محرکه (E) می‌باشد.

درصورتی‌که به‌جای E مقدار یک ولت در نظر گرفته شود در این‌صورت تعداد دور برای یک ولت به‌دست می‌آید که اصطلاحاً به این پارامتر «دور بر ولت» می‌گویند و با Nv نشان می‌دهند.

$E = ۴/۴۴ \times f \times B_m \times A_{fe} \times N$

$$E = ۱\ v \rightarrow \boxed{N_V = \frac{۱}{۴/۴۴ \times f \times B_m \times A_{fe}}}$$

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

اگر $f = ۵۰Hz$ و گوس $= ۱۲۰۰۰$ = تسلا $B_m = ۱/۲$ باشد دور بر ولت Nv به‌صورت زیر بیان می‌شود:

هسته مرغوب $\boxed{N_V = \frac{۳۷/۵}{A_{fe}[Cm^۲]}}$

اگر $f = ۵۰Hz$ و گوس $= ۱۰۰۰۰$ = تسلا $B_m = ۱$ باشد دور بر ولت Nv به‌صورت زیر بیان می‌شود:

هسته معمولی $\boxed{N_V = \frac{۴۵}{A_{fe}[Cm^۲]}}$

توجه

درساخت ترانسفورماتورها، اگر ورق‌ها با چگالی $Bm = ۱۲۰۰۰ [Gs]$ در دسترس نبوده و فرکانس شبکه نیز $f = ۵۰ [Hz]$ نباشند دراین حالت از رابطه کلی زیر باید استفاده شود.

$$N_V = \frac{۱}{۴/۴۴ \times f \times B_m \times A_{fe}}$$

سؤال

مقدار دور بر ولت به چه عواملی بستگی دارد؟

مرحله پنجم ـ تعیین درصد افت ولتاژ سیم‌پیچی: با توجه به اینکه با عبور جریان ازسیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور افت ولتاژ در آنها به‌وجود می‌آید که موجب کاهش ولتاژ خواهد شد لذا برای داشتن ولتاژ خروجی مورد نظر لازم است تا در محاسبه دقیق تعداد دور سیم‌پیچ‌های 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 ۴ـ 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 مقداردرصد افت ولتاژ اولیه را $\frac{۱}{۳}$ کل افت ولتاژ کل و درصد افت ولتاژ ثانویه را $\frac{۲}{۳}$ آن در نظرگرفته می‌شود.

$$\%\Delta V_۱ = \frac{۱}{۳} \times \%\Delta V$$

$$\%\Delta V_۲ = \frac{۲}{۳} \times \%\Delta V$$

۲ مقدار درصد افت ولتاژ اولیه را $\frac{۱}{۲}$ کل افت ولتاژ و درصد افت ولتاژ ثانویه نیز $\frac{۱}{۲}$ آن درنظرگرفته می‌شود

$$\%\Delta V_۱ = \frac{۱}{۲} \times \%\Delta V$$

$$\%\Delta V_۲ = \frac{۱}{۲} \times \%\Delta V$$

تذکر

در صورتی‌که 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.)

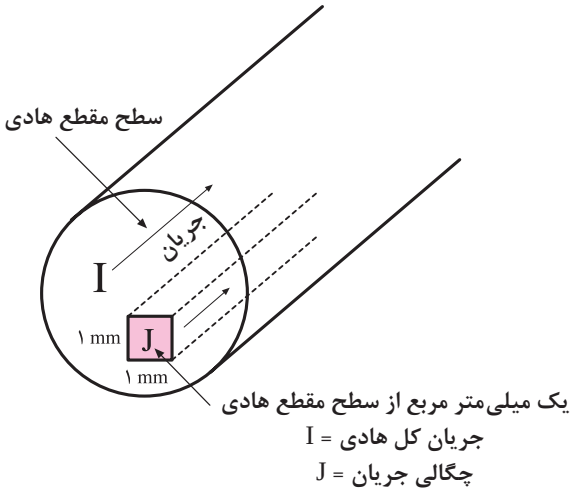
توضیح

درعمل به‌کارگیری 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 ـ محاسبه تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه: برای محاسبه تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه از روابط زیر می‌توان استفاده کرد.

$$N_۱ = N_V \times V۱ \times (۱ - ٪\,\Delta V۱)$$
$$N_۲ = N_V \times V۲ \times (۱ + ٪\,\Delta V۲)$$

مرحله هفتم ـ 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 ۲۹ـ چگالی جریان در سیم

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

جدول ۵ــ چگالی جریان در سیم‌پیچی ترانسفورماتور

قدرت VA	۰ـ۵۰	۵۰ـ۱۰۰	۱۰۰ـ۲۰۰	۲۰۰ـ۵۰۰	۵۰۰ـ۱۰۰۰	۱۰۰۰ـ۲۰۰۰	۲۰۰۰ـ۳۰۰۰	۳۰۰۰ـ۴۰۰۰
چگالی جریان $\frac{A}{mm^2}$	۴	۳/۵	۳	۲/۵	۲	۱/۷۵	۱/۵	۱

مرحله هشتم ــ محاسبه قطر سیم اولیه و ثانویه: قطرسیم درسیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور باید به‌گونه‌ای 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 ویژگی‌های فوق پس می‌توان نتیجه گرفت که قطر سیم متأثر از توان ترانسفورماتور و چگالی جریان می‌باشد.

برای محاسبه قطر سیم ثانویه نیز مشابه اولیه از رابطه زیر می‌توان 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 به‌صورت زیر خواهد بود.

$$d_1=1/13\sqrt{A_1}$$
$$d_2=1/13\sqrt{A_2}$$

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

در صورت استاندارد نبودن قطرهای به‌دست آمده برای سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه با مراجعه به جدول ۶ نزدیک‌ترین سیم استانداردی که قطر آن از قطر سیم به‌دست آمده بیشتر است را انتخاب کنید.

جدول ۶ــ قطر سیم‌های لاکی استاندارد

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

تعداد دو در هر Cm^2	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm^2	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^2	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm^2	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

تعداد دو در هر Cm^2	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm^2	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
ــ	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.

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

با توجه به ورق EI استاندارد تعیین شده، مقدار عرض ورق را طبق رابطه $f = \frac{۱}{۳}a$ می‌توان به‌دست آورد و سپس براساس آن ضخامت هسته و تعداد ورق‌های مورد نیاز ترانسفورماتور را مطابق روابط زیر به‌دست آورد.

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

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

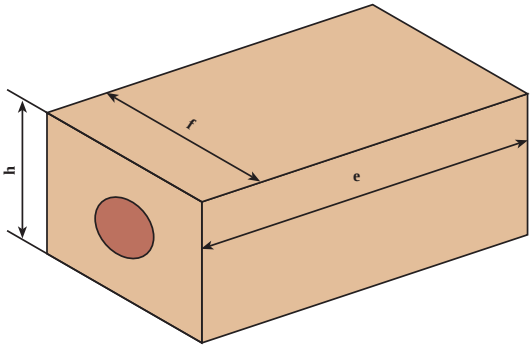
$$\text{تعداد ورق‌ها} = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}}$$

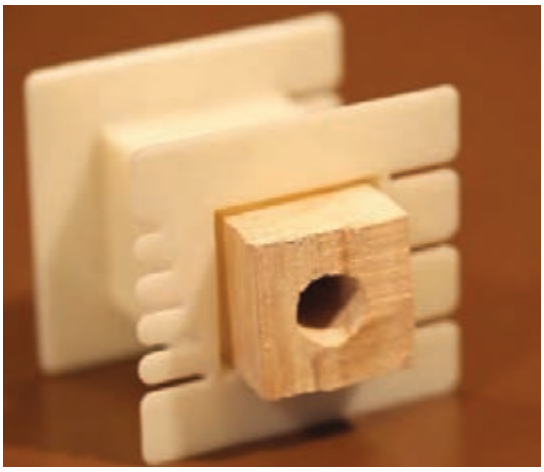
تذکر

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.

مرحله دهم ـ انتخاب قرقره و تهیه مغزی قرقره: دراین مرحله می‌توان با مراجعه به جدول ورق‌های EI هسته سایرمشخصات 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 قرارگرفته و سپس با قرار دادن محور بوبین پیچ و بستن آن دستگاه کار سیم‌پیچی انجام شود.





شکل ۳۰ـ قالب چوبی

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

مثال

یک ترانسفورماتور یک‌فاز با ولتاژ اولیه ۲۲۰ولت، ولتاژ ثانویه ۱۲ ولت وجریان ثانویه ۲/۵ آمپرمورد 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:

$V_۱ = ۲۲۰V \ , V_۲ = ۱۲V \ , I_۲ = ۲/۵ \ , B_m = ۱۲۰۰۰ \ Gs \ , f = ۵۰Hz$

$S_۲ = V_۲ \times I_۲ = ۱۲ \times ۲/۵ = ۳۰ \ VA$

$A_{fe} = ۱/۲\sqrt{S_۲} = ۱/۲\sqrt{۳۰} = ۱/۲ \times ۵/۴۸ = ۶/۵۸ \ Cm$ سطح مقطع حقیقی آهن

$N_V = \frac{۳۷/۵}{S} = \frac{۳۷/۵}{۶/۵۸} = ۴/۵۱$ دور بر ولت

با در نظر گرفتن اعداد افت ولتاژ در جدول ۴ مقدار دقیق آن را به‌صورت زیر به‌دست آورد.

$\Delta V_{(۳۰)} = ?$

$$\begin{array}{ccc} \frac{S_۲}{۲۵} & \rightarrow & \frac{\Delta V}{۱۵} \\ ۵۰ & \rightarrow & ۱۲ \\ \hline \Delta S' = ۲۵ & & \Delta V' = ۳ \end{array}$$

$۳۰ - ۲۵ = ۵$ $\qquad X = \frac{۵ \times ۳}{۲۵} = ۰/۶$

$$\%\Delta V_{(۳۰)} = \%\Delta V_{(۲۵)} - X \Rightarrow \%\Delta V_{(۳۰)} = \%۱۵ - ۰/۶ \Rightarrow \%\Delta V_{(۳۰)} = \%۱۴/۴$$

$$\%\Delta V۱ = \frac{۱}{۳} \times \%\Delta V \Rightarrow \%\Delta V۱ = \frac{۱}{۳} \times ۱۴/۴ = \%۴/۸ \Rightarrow \Delta V۱ = \frac{\%\Delta V۲}{۱۰۰} = \frac{\%۴/۸}{۱۰۰} = ۰/۰۴۸V$$

$$\%\Delta V۲ = \frac{۲}{۳} \times \%\Delta V \Rightarrow \%\Delta V۲ = \frac{۲}{۳} \times ۱۴/۴ = \%۹/۶ \Rightarrow \Delta V۲ = \frac{\%\Delta V۲}{۱۰۰} = \frac{\%۹/۶}{۱۰۰} = ۰/۰۹۶V$$

$$N_۱ = V_۱ \times N_V \times (۱ - \Delta V۱) \Rightarrow N_۱ = ۲۲۰ \times ۴/۵۱ \times (۱ - ۰/۰۴۸) = ۱۱۹۳/۸ = ۱۱۹۴ \text{ دور}$$

$$N_۲ = V_۲ \times N_V \times (۱ + \Delta V۲) \Rightarrow N_۲ = ۱۲ \times ۴/۵۱ \times (۱ + ۰/۰۹۶) = ۳۵/۵۱ = ۳۶ \text{ دور}$$

$$\eta = \frac{S_۲}{S_۱} \Rightarrow S_۱ = \frac{S_۲}{\eta} = \frac{۳۰}{۰/۹} \Rightarrow S_۱ = ۳۳/۳ \text{ VA}$$

$$S_۱ = V_۱ \times I_۱ \Rightarrow I_۱ = \frac{S_۱}{V_۱} = \frac{۳۳/۳}{۲۲۰} = ۰/۱۵ \text{ A}$$

از جدول ۵ چگالی جریان برابر $J = ۴ \text{ A/mm}^۲$ است.

$$A_۱ = \frac{I_۱}{J} = \frac{۰/۱۵}{۴} = ۰/۰۶ \text{mm}^۲ \Rightarrow d_۱ = ۱/۱۳\sqrt{A_۱} = ۱/۱۳\sqrt{۰/۰۳۷۵} = ۰/۲۱۸ \text{mm}$$

$$A_۲ = \frac{I_۲}{J} = \frac{۲/۵}{۴} = ۰/۶ \text{mm}^۲ \Rightarrow d_۲ = ۱/۱۳\sqrt{A_۲} = ۱/۱۳\sqrt{۰/۶} = ۰/۸۷ \text{mm}$$

$$\Rightarrow EI \rightarrow ۷۸ \text{ نوع } EI \leq ۳۰\sqrt{A_{fe}} \qquad \text{نوع } EI \leq ۳۰\sqrt{۶/۵۸} = ۷۷/۱$$

براساس عدد به‌دست آمده پس نوع EI استاندارد را ازجدول ۳، EI ۷۸ می‌توان انتخاب کرد که درآن $f = ۲۶\text{mm}$ است و ضخامت هسته برابراست با:

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{A_{fe}}{f} = \frac{۶/۵۸ \times ۱۰^۲ \text{mm}}{۲۶\text{mm}} = ۲۵/۳\text{mm}$$

$$\text{تعداد ورق } EI = \frac{۲۵/۳}{۰/۵} = ۵۰/۶ \cong ۵۱ \text{ عدد}$$

کار کلاسی

با تشکیل گروه‌های۳ یا ۴ نفری با هم‌کلاسی‌های خود هر یک ازترانسفورماتورهای 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)

$V_۱ = ۲۲۰\text{V}$ ، $V_۲ = ۲۴\text{V}$ ، $I_۲ = ۳$ ، $Bm = ۱۲۰۰۰\text{Gs}$ ، $f = ۵۰\text{Hz}$ ضخامت ورق $= ۰/۵\text{ mm}$

ب)

$V_1 = ۲۲۰V$ ، $V_2 = ۲۴V$ ، $I_2 = ۴$ ، $Bm = ۱۲۰۰۰Gs$ ، $f = ۵۰Hz$ ضخامت ورق $= ۰/۳۵ mm$

ج)

$V_1 = ۲۲۰V$ ، $V_2 = ۶V$ ، $I_2 = ۳$ ، $Bm = ۱۲۰۰۰Gs$ ، $f = ۵۰Hz$ ضخامت ورق $= ۰/۵ mm$

تمرین

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

۱ $V_1 = ۲۲۰V$ ، $V_2 = ۱۲V$ ، $I_2 = ۵$ ، $Bm = ۱۲۰۰۰Gs$ ، $f = ۵۰Hz$ ضخامت ورق $= ۰/۵ mm$

۲ $V_1 = ۲۲۰V$ ، $V_2 = ۱۱۰V$ ، $I_2 = ۶$ ، $Bm = ۱۲۰۰۰Gs$ ، $f = ۵۰Hz$ ضخامت ورق $= ۰/۳۵ mm$

۳ $V_1 = ۲۲۰V$ ، $V_2 = ۲۴V$ ، $I_2 = ۳$ ، $Bm = ۹۰۰۰Gs$ ، $f = ۵۰Hz$ ضخامت ورق $۰/۳۵ mm$

کارعملی

هدف: انجام محاسبات و اجرای سیم‌پیچی ترانسفورماتور ۲۲۰/۱۲ ولت

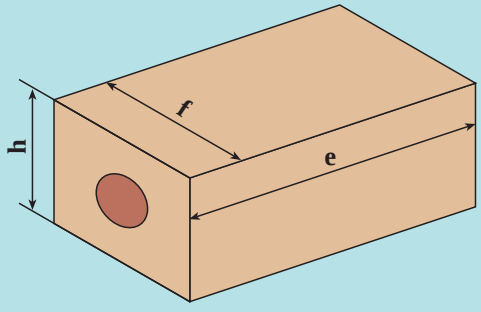
تجهیزات، ابزار و مواد لازم:

قرقره ـ ترانسفورماتور، سیم‌لاکی، قالب چوبی، بوبین پیچ، عایق کاغذی، سیم افشان، ورقه‌های EI و هویه و سیم لحیم

طبق مراحل زیر با نحوه اجرای کارعملی سیم‌پیچی ترانسفورماتورها آشنا می‌شوید.

مرحله ۱ـ انجام محاسبات و انتخاب قرقره مناسب: پس از انجام محاسبات مربوط به اندازه قرقره، تعداد دور اولیه و ثانویه و قطر سیم‌های اولیه و ثانویه در قدم اول قرقره مناسب را تهیه و یک لایه نازک عایق بر روی محل قرارگیری سیم‌های لاکی پیچیده می‌شود تا از آسیب‌های 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 اندازه‌های آن داده شده است.



شکل۳۱ـ 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 ۳۲ـ بستن قرقره روی بوبین پیچ

مرحله ۲ـ آماده‌سازی مقدماتی سیم پیچ اولیه: در صورتی که قطر سیم لاکی محاسبه شده نازک باشد، یک سیم عایق‌دار 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 لحیم‌کاری (در سال دهم لحیم‌کاری آموزش داده شده است) توسط وارنیش عایق می‌شود. در شکل ۳۳ این مراحل نشان داده شده است.



شکل ۳۳ـ اتصال سیم افشان به سیم لاکی

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



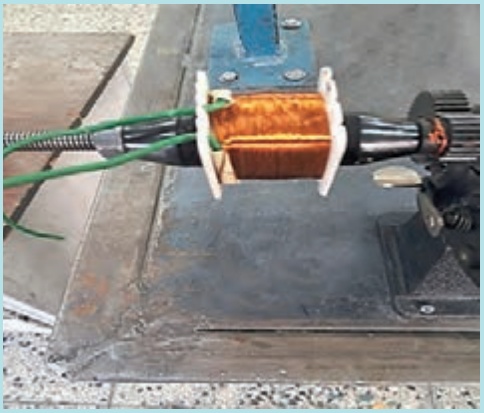
شکل ۳۴ـ قرار دادن وارنیش و خارج کردن سیم از قرقره

مرحله ۳ ـ پیچیدن سیم‌پیچ اولیه: با توجه به تعداد دور به‌دست آمده برای اولیه، سیم‌پیچ اولیه با دقت پیچیده می‌شود. باید توجه نمود اگر سیم‌پیچی مرتب در کنار هم و در یک ردیف قرار نگیرد ممکن است فضای قرقره سریع‌تر از حد انتظار پرشده و سیم‌پیچ‌ها درون آن جا نشوند.



شکل ۳۵ـ منظم پیچیدن ترانسفورماتور

در انتهای سیم‌پیچ اولیه، مجدداً سیم افشان به سیم لاکی اتصال داده و پس از لحیم‌کاری و عایق نمودن توسط وارنیش از یکی از سوراخ‌های قرقره در کنار سیم قبل خارج می‌شود.



شکل ۳۶ـ خارج کردن انتهای سیم‌پیچ اولیه از قرقره

مرحله ۴ـ عایق کاری بین دو سیم‌پیچ: قبل از شروع سیم‌پیچ ثانویه، می‌بایست بین اولیه و ثانویه عایق شود. برای این کار، از عایق برشمان یا عایق‌های مناسب دیگر استفاده می‌شود (شکل ۳۷).

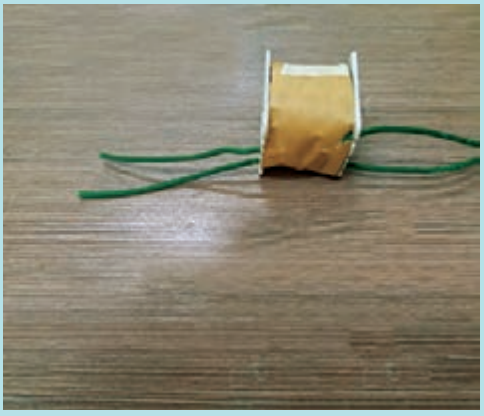


شکل ۳۷ـ عایق کردن بین اولیه و ثانویه

مرحله ۵ـ پیچیدن سیم ثانویه: سیم‌پیچ ثانویه با توجه به تعداد دور به‌دست 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).

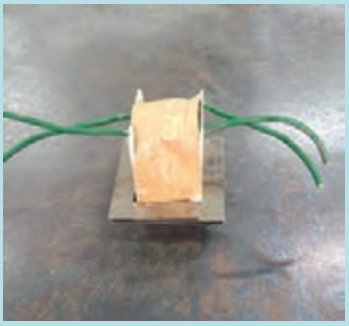


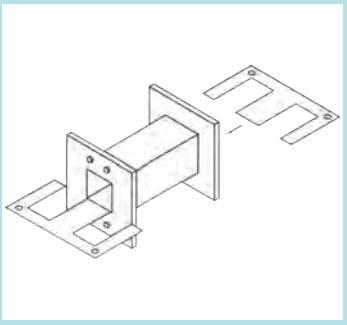
شکل ۳۸ـ پیچیدن سیم‌پیچ ثانویه



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

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

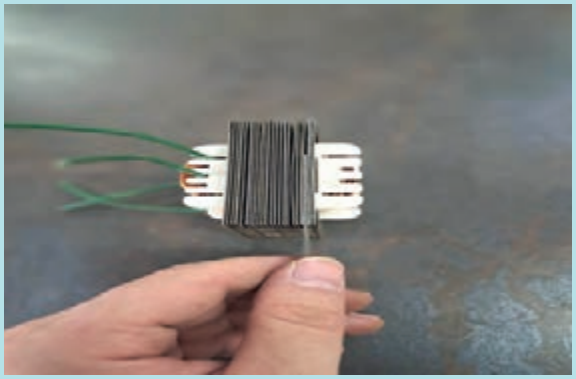






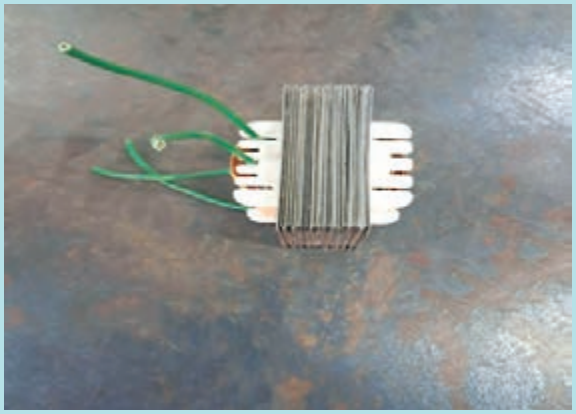
شکل ۴۰ـ نحوه قرار دادن E در قرقره

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



شکل ۴۱ـ قراردادن I

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



شکل ۴۲ـ 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.

خود آزمایی

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:

$$A = \frac{\pi d^{۲}}{۴}$$

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 به‌ترتیب 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:

$V_{۱}$=۲۲۰V

$V_{۲}$=۲۴V

$I_{۲}$=۳A

راندمان را ۹۰ درصد، ضریب سطح مقطع هسته را K=۱/۲ و چگالی جریان را J=۳ A/ mm^{۲} 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

هـ) 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	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۱	استاندارد عملکرد کار: محاسبه و سیم پیچی انواع ترانسفورماتورهای تک‌فاز تک ورودی ـ تک خروجی بر اساس پارمترهای الکتریکی	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل: سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳ L		
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
۱	کار با کولیس ، میکرومتر	در کارگاه سیم‌پیچی سیم لاکی، 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 لاکی، بوبین پیچ، وارنیش، لاک، سیم افشان،اهم متر،هویه وقلع،جعبه‌ابزار سیم کشی زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	سیم پیچی منظم لایه‌به‌لایه	۳	
				نصب عایق و سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور	۲	
				سیم‌پیچی اولیه	۱	
۳	نصب عایق و سیم‌پیچی ثانویه ترانسفورماتور	در کارگاه سیم‌پیچی سیم لاکی، بوبین 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، 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:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از نصب عایق و سیم پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور (مراحل بحرانی)

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

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲ـ 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 به‌وجود می‌آید؟

استاندارد عملکرد

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

مقدمه

همان‌گونه که در مباحث قبل اشاره شد محاسبات ترانسفورماتور را به شکل‌های مختلف می‌توان انجام داد. در واحد کار قبل با روش اول (برمبنای پارامترهای الکتریکی) و در این واحد کار با روش دوم آشنا می‌شوید.

روش دوم: محاسبات ترانسفورماتور براساس پارامترهای ظاهری قرقره موجود

در این روش برای محاسبه پارامترهای موردنیاز جهت سیم‌پیچی ترانسفورماتور می‌بایست مطابق مراحل زیر عمل کرد.

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

همان‌طوری که در مراحل ذکر شده این روش مشاهده می‌کنید اغلب مراحل مشابه روش قبل است و در چند مورد جابه‌جایی در اجرای مراحل به‌وجود آمده است. به همین خاطر از بیان توضیحات اضافی خودداری شده و با ذکر یک مثال به بررسی این روش می‌پردازیم.

مثال

مطلوب است محاسبات لازم برای سیم‌پیچی یک ترانسفورماتور با ولتاژ اولیه ۲۲۰ و ولتاژ ثانویه ۱۲ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز و هسته‌هایی با اندوکسیون ۱۲۰۰۰Gs و ضخامت ۰/۵۰ میلی‌متر را بر روی قرقره‌ای با مشخصات ظاهری داده شده انجام دهید.

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

مرحله ۱ـ برداشتن ابعاد ظاهری قرقره موجود

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



شکل ۴۳ـ قرقره پلاستیکی

جدول ۷ـ 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

$f = ?$ $h = ?$ $e = ?$

مرحله ۲ـ 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 به‌دست می‌آید.

$A'_{fe} = f \times h = ۲۶ \times ۲۸ = ۷۲۸mm^۲ = ۷/۲۸\ Cm^۲$

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.

$A_{fe} = A'_{fe} \times ۰/۹ = ۷/۲۸ \times ۰/۹ = ۶/۵۵\ Cm^۲$

مرحله ۳ـ محاسبه توان‌های اولیه و ثانویه

$$A_{fe} = ۱/۲\sqrt{S_۱} \Rightarrow S_۱ = \left(\frac{A_{fe}}{۱/۲}\right)^۲ \Rightarrow S_۱ = \left(\frac{۶/۵۵}{۱/۲}\right)^۲ = ۲۹/۷۹\ VA$$

$$\eta = \frac{S_۲}{S_۱} \Rightarrow S_۲ = S_۱ \times \eta = ۲۹/۷۹ \times ۰/۹ \Rightarrow S_۲ = ۲۶/۸۱\ VA$$

مرحله ۴ـ محاسبه دور بر ولت

$$N_V = \frac{۳۷/۵}{A_{fe}} = \frac{۳۷/۵}{۶/۵۵} = ۵/۷۲ \quad \text{دور بر ولت}$$

مرحله ۵ـ تعیین درصد افت ولتاژ سیم‌پیچی‌ها

با در نظر گرفتن اعداد افت ولتاژ در جدول ۴ مقدار دقیق آن را به‌صورت زیر می‌توان به‌دست آورد.

$$\Delta V_{(۲۶/۸۱)} = ?$$

$\frac{S_۲}{۲۵}$	$\rightarrow$	$\frac{\Delta V}{۱۵}$
۵۰	$\rightarrow$	۱۲
$\Delta S' = ۲۵$		$\Delta V' = ۳$

$$۲۶/۸۱ - ۲۵ = ۱/۸۱ \qquad X = \frac{۱/۸۱ \times ۳}{۲۵} = ۰/۲۲$$

$$\%\Delta V_{(۲۶/۸۱)} = \Delta V_{(۲۵)} - X \Rightarrow \%\Delta V_{(۲۶/۸۱)} = \%۱۵ - \%۰/۲۲ \Rightarrow \%\Delta V_{(۲۶/۸۱)} = \%۱۴/۷۸$$

$$\%\Delta V۱ = \frac{۱}{۳} \times \%\Delta V \Rightarrow \%\Delta V۱ = \frac{۱}{۳} \times \%۱۴/۷۸ = \%۴/۹۳ \Rightarrow \Delta V۱ = \frac{\%\Delta V۱}{۱۰۰} = \frac{\%۴/۹۳}{۱۰۰} = ۰/۰۴۹۳V$$

$$\%\Delta V۲ = \frac{۲}{۳} \times \%\Delta V \Rightarrow \%\Delta V۲ = \frac{۲}{۳} \times \%۱۴/۷۸ = \%۹/۸۵ \Rightarrow \Delta V۲ = \frac{\%\Delta V۲}{۱۰۰} = \frac{\%۹/۸۵}{۱۰۰} = ۰/۰۹۸۵V$$

مرحله۶ـ محاسبه تعداد دور اولیه و دور ثانویه

$$N_۱ = V_۱ \times N_V \times (۱ - \Delta V۱) \Rightarrow N_۱ = ۲۲۰ \times ۵/۷۲ \times (۱ - ۰/۰۴۹) = ۱۱۹۶/۷۳ \cong ۱۱۹۷ \quad \text{دور}$$

$$N_۲ = V_۲ \times N_V \times (۱ + \Delta V۲) \Rightarrow N_۲ = ۱۲ \times ۵/۷۲ \times (۱ + ۰/۰۹۸) = ۷۵/۳۶ \cong ۷۵ \quad \text{دور}$$

مرحله ۷ـ تعیین چگالی جریان

ازجدول ۵ و با توجه به توان ترانسفورماتور، مقدار چگالی جریان برابر $J = ۴\ A/mm^۲$ است.

مرحله ۸ـ محاسبه قطر سیم اولیه و ثانویه

$$A_۱ = \frac{I_۱}{J} = \frac{۰/۱۴}{۴} = ۰/۰۳۵\,mm^۲ \Rightarrow d_۱ = ۱/۱۳\sqrt{A_۱} = ۱/۱۳\sqrt{۰/۰۳۵} = ۰/۲۱mm$$

$$A_۲ = \frac{I_۲}{J} = \frac{۲/۲۳}{۴} = ۰/۵۵۷\,mm^۲ \Rightarrow d_۲ = ۱/۱۳\sqrt{A_۲} = ۱/۱۳\sqrt{۰/۵۵۷} = ۰/۸۴\,mm$$

مرحله ۹ـ تعیین نوع و تعداد ورق‌های هسته

$$\text{نوع } EI \le ۳۰\sqrt{A_{fe}} \qquad \text{نوع } EI \le ۳۰\sqrt{۶/۵۵} = ۷۶/۷۷ \cong ۷۷$$

با توجه به اینکه نوع EI استاندارد ازجدول ۳، EI ۷۸ می‌باشد که درآن f =۲۶ mm است و ضخامت هسته و تعداد ورق‌ها برابراست با:

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{A_{fe}}{f} = \frac{۶/۵۵ \times ۱۰^{۲}\,mm}{۲۶\,mm} = ۲۵/۱۹ \cong ۲۵/۲\,mm$$

$$\text{تعداد ورق } EI = \frac{۲۵/۲}{۰/۵} = ۵۰/۴ \cong ۵۰ \text{ عدد}$$

مرحله ۱۰ـ محاسبه ارتفاع قرقره جهت بررسی و مقایسه

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

$$A'_{fe} = \frac{A_{fe}}{۰/۹}$$

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

کارعملی

هدف: انجام محاسبات و اجرای سیم‌پیچی 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 لحیم‌کاری، سیم افشان نمره ۱، سنباده نرم، ورقه EI متناسب با قرقره، سیم‌چین، سیم‌لخت‌کن، چکش پلاستیکی

مرحله ۱ (انجام محاسبات و انتخاب قرقره مناسب): مطابق آموزش داده شده در متن درس، محاسبات مربوط به ترانسفورماتور ۲۲۰/۱۲V تک‌فاز 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 (آماده‌سازی مقدماتی سیم پیچ اولیه): سیم لاکی با قطر مناسب اولیه و ثانویه که در محاسبات به آن رسیده‌اید را از انبار کارگاه تحویل بگیرید.

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

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

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

مرحله ۵ (پیچیدن سیم ثانویه): همانند سیم‌پیچ اولیه، سیم‌پیچ 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 سیم‌پیچ اولیه دنبال شود.

مرحله ۶ (جازدن هسته‌های EI): ورقه EI مناسب را به‌صورت چپ و راست جا زده و قرقره را پر نمایید. در این قسمت می‌توان با استفاده از چکش پلاستیکی و زدن ضربه آرام ورقه‌ها را محکم نمایید.

تذکر

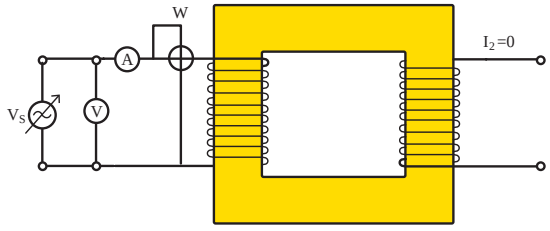
- با توجه به اینکه قرقره‌ها از جنس پلاستیک هستند، در وارد کردن ضربه دقت نمایید تا قرقره آسیب نبیند.
- هرگز بدون حضور مربی کارگاه به تابلوهای آزمایش برق دست نزنید.

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

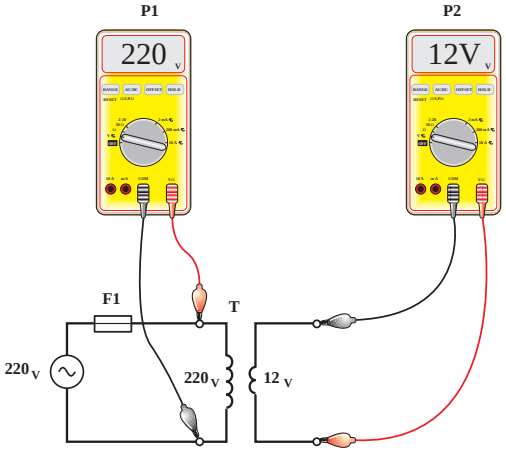
۱ـ آزمایش بی‌باری ترانسفورماتور

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 (آمپرمتر، ولت‌متر و وات‌متر) به یک منبع ولتاژ متغیر وصل می‌شود. منبع ولتاژ متغیر را آن قدر تغییر می‌دهیم تا ولت‌متر ولتاژ نامی ترانسفورماتور را نشان دهد. در این حالت وات‌متر تلفات بی‌باری یا همان تلفات هسته را نشان خواهد داد. مقداری که آمپرمتر نشان می‌دهد جریان بی‌باری ترانسفورماتور I_0 می‌باشد.

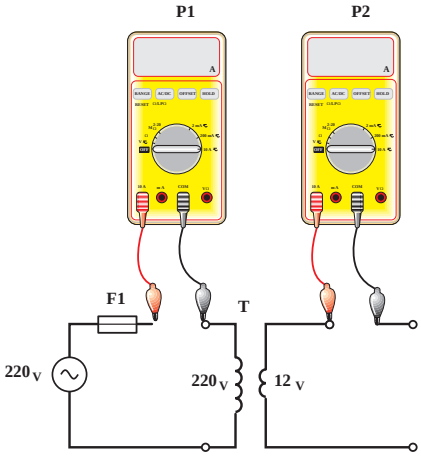


شکل ۴۴ـ مدار آزمایش بی‌باری

در محیط هنرستان برای بررسی عملکرد صحیح ترانسفورماتور لازم است تا مطابق شکل‌های ۴۵ و ۴۶ یک بار توسط دو ولت‌متر ولتاژ اولیه و ثانویه و بار دیگر توسط دو آمپرمتر جریان عبوری از سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را اندازه‌گیری شود.



شکل ۴۵ـ اندازه‌گیری ولتاژ حالت بی‌باری



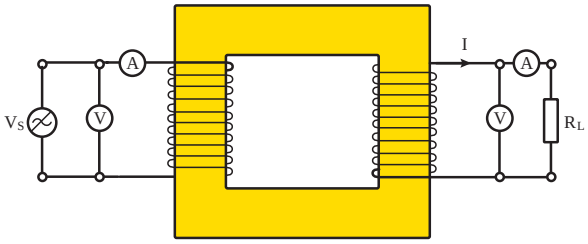
شکل ۴۶ـ اندازه‌گیری جریان حالت بی‌باری

فعالیت

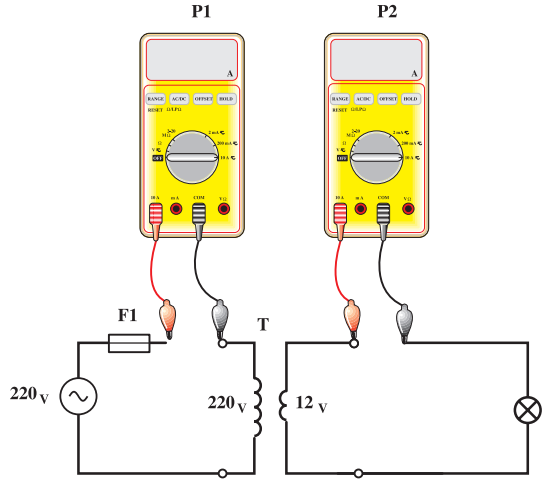
آیا ولتاژ بی‌باری ترانسفورماتور از مقدار محاسبه شده بیشتر است؟ چرا؟

۲ـ آزمایش بارداری ترانسفورماتور:

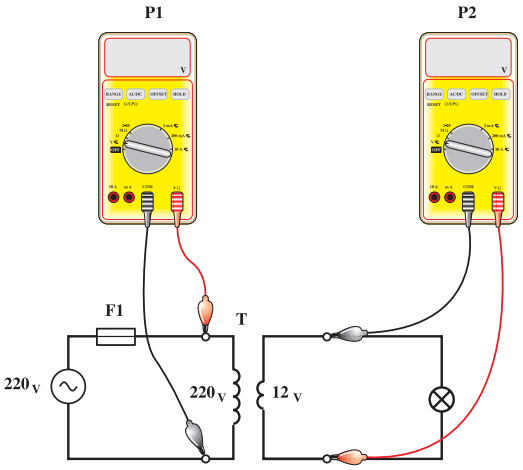
درآزمایش بارداری هدف اندازه‌گیری ولتاژ و جریان موردنیاز مصرف‌کننده در حال کار است. برای انجام آزمایش مطابق شکل ۴۷، ثانویه ترانسفورماتور در کنار اتصال به مصرف‌کننده چند وسیله اندازه‌گیری (آمپرمتر، ولت‌متر و وات‌متر) در فرکانس نامی به یک منبع ولتاژ وصل می‌شوند. مقداری که آمپرمترها نشان می‌دهند جریان‌های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



شکل ۴۷ـ مدار آزمایش بارداری



شکل ۴۸ـ اندازه‌گیری جریان حالت بارداری



شکل ۴۹ـ اندازه‌گیری ولتاژ حالت بارداری

کارعملی

هدف: انجام آزمایش‌های بی‌باری و بارداری ترانسفورماتور

طبق توضیحات داده شده و تصاویر نشان داده شده درمتن و همچنین شکل‌های ۵۰ و ۵۱ با قرار دادن ولت‌متر و آمپرمتر 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.



شکل ۵۰



شکل ۵۱

جدول ۸ ـ مقدار کمیت‌های مختلف در حالت‌های بی‌باری و بارداری

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

خود آزمایی

۱ روش محاسبه ترانسفورماتور در این واحد یادگیری، طراحی بر اساس چه اطلاعاتی انجام می‌شود؟ مراحل اصلی این روش را به‌ترتیب بنویسید.

۲ قرقره‌ای دارای عرض هسته $f = ۲۶\ mm$ و ضخامت هسته $h = ۲۸\ mm$ 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 بی‌باری ترانسفورماتور چیست؟ در این آزمایش وضعیت سیم‌پیچ ثانویه چگونه است و آمپرمتر، ولت‌متر و وات‌متر چه کمیت‌هایی را اندازه‌گیری می‌کنند؟

۴ ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور در حالت بی‌باری و بارداری چه تفاوتی دارد؟ علت کاهش ولتاژ ثانویه هنگام اتصال بار را توضیح دهید.

۵ مراحل اجرای سیم‌پیچی ترانسفورماتور بر اساس قرقره موجود را از آماده‌سازی سیم‌پیچ اولیه تا جازدن ورق‌های EI، به‌ترتیب شرح دهید. همچنین توضیح دهید چرا ورق‌های E باید به‌صورت یکی از چپ و یکی از راست در قرقره قرار گیرند.

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز بر اساس مشخصات قرقره

نام و نام خانوادگی				شماره ملی		تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه :	تعمیرکاران برق صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۱	استاندارد عملکرد کار: محاسبه و سیم پیچی انواع ترانسفورماتورهای تک‌فاز تک ورودی ـ تک خروجی براساس پارامترهای قرقره	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳		
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۱۲	کار	سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز براساس مشخصات قرقره	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
۱	محاسبات و اجرای سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور ۱۲ / ۲۲۰ ولت براساس مشخصات قرقره	در کارگاه سیم‌پیچی با قرقره ترانسفورماتور، سیم لاکی مناسب، کولیس یا خط‌کش، ماشین‌حساب، کاغذ محاسبات، دستگاه سیم‌پیچی، ابزار عایق‌کاری 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 قرقره	سیم لاکی، بوبین پیچ، وارنیش، لاک، سیم افشان، اهم متر، هویه وقلع، 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 سیم پیچی شده، مولتی‌متر، مصرف‌کننده ۱۲ ولت زمان تقریبی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه	مشاهده گزارش، چک لیست	اندازه‌گیری جریان بارداری، اندازه‌گیری ولتاژ اولیه، اندازگیری 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.	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:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از محاسبات و اجرای سیم پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور ۱۲ / ۲۲۰ ولت بر اساس مشخصات قرقره (مراحل بحرانی)

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

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

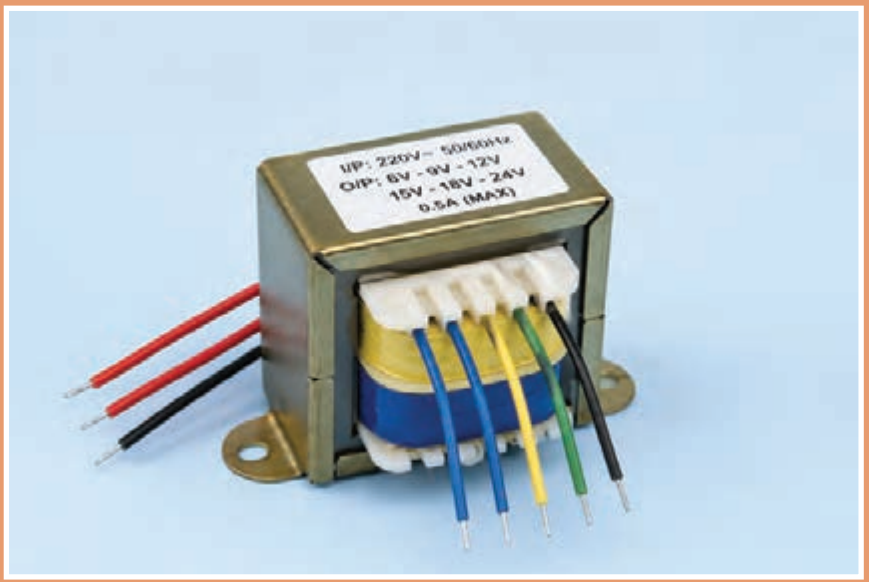
۲ـ تعریف سطوح شایستگی: صرف‌نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

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

سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک‌فاز، چند ورودی ـ چند خروجی



واحد یادگیری ۱

سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی با سیم‌پیچ مجزا

آیا می‌دانید

۱ با ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ 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 ـ چند خروجی سیم پیچ‌های مجزا چگونه انجام می‌شود؟
۴ نحوه محاسبه قطر سیم پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی سیم‌پیچ‌های مجزا به چه صورت است؟
۵ در سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی سیم‌پیچ‌های مجزا به چه نکاتی باید توجه نمود؟

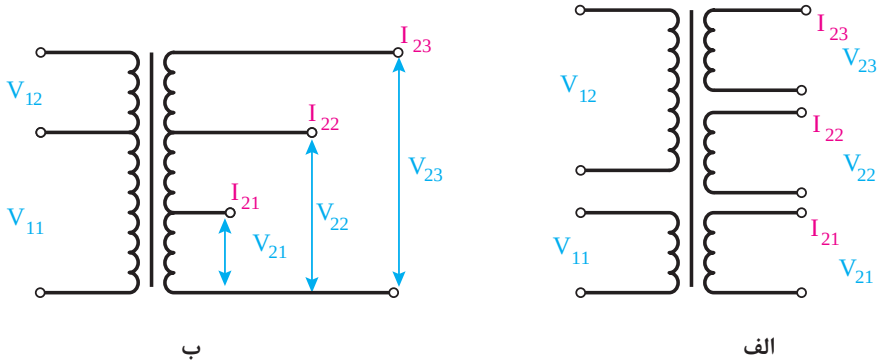
استاندارد عملکرد

■ پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود محاسبه ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی سیم‌پیچ‌های مجزا را انجام داده و سیم‌پیچی نماید.

مقدمه

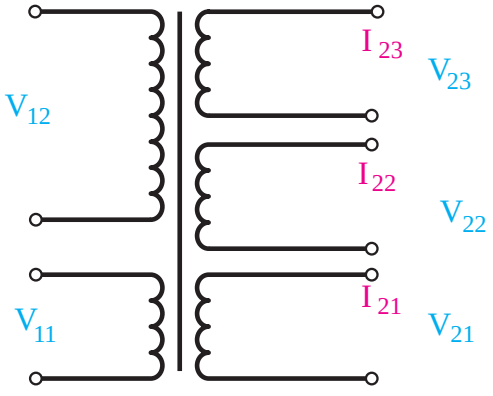
در پودمان اول با ترانسفورماتورهای ساده آشنا شدید؛ ترانسفورماتورهایی که یک سیم‌پیچ اولیه و یک سیم‌پیچ ثانویه داشتند. اما در دنیای واقعی، اغلب به ترانسفورماتورهایی نیاز است که بتوانند چند ولتاژ مختلف را همزمان تأمین کنند یا قابلیت اتصال به چند منبع ورودی متفاوت را به صورت غیر همزمان داشته باشند. به این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

- ترانسفورماتورهایی با چند سیم‌پیچ مجزا در اولیه و چند سیم پیچ مجزا در ثانویه (شکل ۱ـ الف)
- ترانسفورماتورهایی با یک سیم‌پیچ چند سر در اولیه و ثانویه (شکل ۱ـ ب)



شکل ۱ـ ترانسفورماتورهای چند ورودی چند خروجی

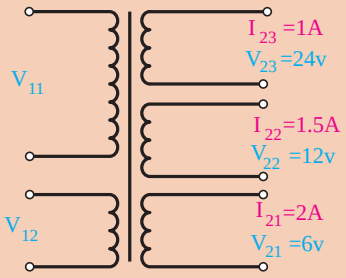
در این واحد یادگیری با ترانسفورماتورهایی آشنا خواهید شد که چند سیم‌پیچ مجزا در اولیه با قابلیت اتصال به ولتاژهای مختلف و چند سیم‌پیچ مجزا در ثانویه با قابلیت اتصال به چند مصرف‌کننده مختلف را دارند. یک نمونه از آن در شکل ۲ نمایش داده شده است.



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

مثال

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 ۲، ۱/۵ و ۱ 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 ۳ـ ترانسفورماتور مثال داده شده

مرحله اول ـ 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 هم زمان استفاده شود، توان کل خروجی از حاصل جمع توان‌های خروجی، به دست می‌آید. برای مثال بالا:

$$S_{۲} = S_{۲۱} + S_{۲۲} + S_{۲۳}$$

$$S_{۲} = (V_{۲۱} \times I_{۲۱}) + (V_{۲۲} \times I_{۲۲}) + (V_{۲۳} \times I_{۲۳}) = (۶\times۲) + (۱۲\times۱/۵) + (۲۴\times۱) = ۴۸\ V.A$$

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:

$$S_{۱} = \frac{S_{۲}}{\eta} = \frac{۴۸}{۰/۹} = ۵۳/۳[V.A]$$

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

سطح مقطع خالص هسته ترانسفورماتور $A_{fe} = ۱/۲\times\sqrt{S_{۱}} = ۱/۲\times\sqrt{۵۳/۳} = ۸/۷۳۶[cm^{۲}]$

سطح مقطع ظاهری هسته ترانسفورماتور $A'_{fe} = \frac{A_{fe}}{۰/۹} = ۹/۷\ [cm^{۲}]$

مرحله سوم ـ محاسبه دور بر ولت ترانسفورماتور: برای هسته مرغوب با چگالی شار مغناطیسی ۱۲۰۰۰ گوس، مقدار دور بر ولت ترانسفورماتور به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$n_{v} = \frac{۳۷/۵}{A_{fe}} = \frac{۳۷/۵}{۹/۷} = ۳/۸۶ \quad [\text{دور بر ولت}]$$

مرحله چهار ـ محاسبه درصد افت ولتاژ و تعداد دور سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور: برای به دست آوردن تعداد دور سیم‌پیچ 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 ولت‌آمپر به ترتیب برابر با ۱۴

و ۱۲ درصد می‌باشد؛ یعنی با افزایش ۲۵ ولت‌آمپر در توان ترانسفورماتور (۲۵ = ۲۵-۵۰)، به مقدار ۲ درصد از افت ولتاژ کاسته می‌شود (۲=۱۴-۱۲).
قدرت خروجی ترانسفورماتور موردنظر ما ۴۸ ولت‌آمپر است که ۲۳ ولت‌آمپر بیشتر از ۲۵ ولت‌آمپر می‌باشد مقدار $\Delta V\,\%$ آن را چنین می‌توان محاسبه کرد.

$$\Delta V(۴۸) = ?$$

$S_۲$	ΔV
۲۵	۱۴
۵۰	۱۲
$\Delta S' = ۲۵$	$\Delta V' = ۴$

$$۵۰ - ۴۸ = ۲ \qquad X = \frac{۲ \times ۴}{۲۵} = ۰/۱۶$$

$$\%\Delta V_{(۴۸)} = \%\Delta V_{۲۵^+} \times \%\Delta V_{(۴۸)} = ۱۲ + ۰/۱۶ = \%۱۲/۱۶$$

$$N_{۱۱} = n_v \times v_{۱۱} \times (۱ - \frac{\%\Delta v}{۲}) = ۳/۸۶ \times ۱۱۰ \times (۱ - \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۳۹۸/۷۸ \cong ۳۹۹ \text{ دور}$$

$$N_{۱۲} = n_v \times v_{۱۲} \times (۱ - \frac{\%\Delta v}{۲}) = ۳/۸۶ \times ۲۲۰ \times (۱ - \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۷۹۷/۵۶ \cong ۷۹۸ \text{ دور}$$

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

$$N_{۲۱} = n_v \times v_{۲۱} \times (۱ + \frac{\%\Delta v}{۲}) = ۳/۸۶ \times ۶ \times (۱ + \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۲۴/۵۶ \cong ۲۵ \text{ دور}$$

$$N_{۲۲} = n_v \times v_{۲۲} \times (۱ + \frac{\%\Delta v}{۲}) = ۳/۸۶ \times ۱۲ \times (۱ + \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۴۹/۱۳ \cong ۴۹ \text{ دور}$$

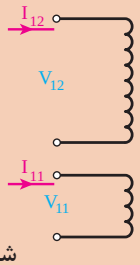
$$N_{۲۳} = n_v \times v_{۲۳} \times (۱ + \frac{\%\Delta v}{۲}) = ۳/۸۶ \times ۲۴ \times (۱ + \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۹۸/۲۷ \cong ۹۸ \text{ دور}$$

مرحله پنجم ـ محاسبه سطح مقطع سیم پیچ ثانویه: برای تعیین قطر سیم‌پیچ‌های ثانویه، ابتدا می‌بایست 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 سیم‌پیچ محاسبه می‌شود.

$$d_{۲۱} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۱}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۲}{۴}} = ۰/۸ \text{ [mm]}$$

$$d_{۲۲} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۲}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۱/۵}{۴}} \cong ۰/۷ \text{ [mm]}$$

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۳}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۱}{۴}} \cong ۰/۵۵ \text{ [mm]}$$



شکل ۴ـ جریان عبوری از هر سیم‌پیچ در سمت ثانویه

مرحله ششم ــ محاسبه سطح مقطع سیم پیچ اولیه:

برای به‌دست آوردن قطر سیم پیچ اولیه، نیاز به داشتن جریان اولیه می‌باشد، برای این کار، ابتدا باید توان اولیه را به‌دست آورد و براساس توان اولیه به‌دست آمده، مقدار جریان هر یک از سیم پیچ‌ها در اولیه به‌دست می‌آید:

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

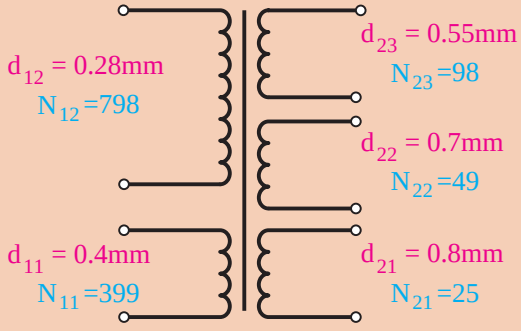
$$I_{12} = \frac{S_1}{V_{12}} = \frac{53/3}{220} = 0/24\ [A]$$

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

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

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

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



شکل ۵ــ تمامی اطلاعات مورد نیاز برای سیم‌پیچی ترانسفورماتور

مرحله هفتم ــ به‌دست آوردن اندازه هسته: اندازه مناسب برای هسته‌هایی به شکل EI از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

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

با توجه به مقدار به‌دست آمده و سپس مراجعه به جدول ۳، اندازه مناسب برای هستهٔ ترانس موردنظر، EI۸۴ می‌باشد.

مرحله هشتم ـ انتخاب قرقره: با توجه به اینکه نوع ورقه EI۸۴ به‌دست 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.

تذکر

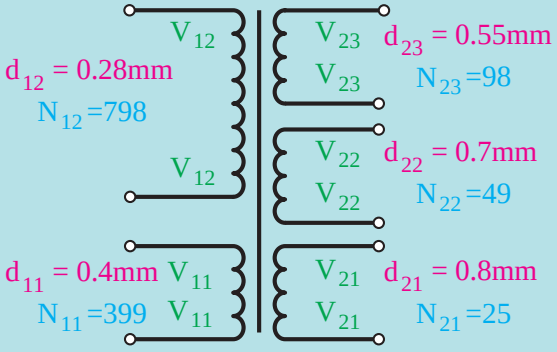
پس از انتخاب قرقره می‌بایست بررسی نمود که آیا ارتفاع مناسب برای قرار گرفتن سیم‌پیچی‌ها وجود دارد یا خیر؟

کارعملی

هدف: ساخت ترانسفورماتور تک‌فاز 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 لاکی بر اساس محاسبات، دستگاه بوبین پیچ، سیم، دم باریک، سیم افشان با سطح مقطع ۱ میلی‌متر 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 نام‌گذاری سر سیم‌ها به وضوح مشخص باشد.



شکل ۶ـ 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 لاکی دارای خراش و زبری زیادی است، با استفاده از کاغذ پرشمان و چسب کاغذی، یک لایه کاغذ عایق گذاری شود تا سیم لاکی 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 لاکی، پس از عایق‌برداری آن، سیم افشان مناسب به سیم لاکی لحیم شود و پس از آن با وارنیش مناسب، محل لحیم‌کاری، 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 سیم‌لاکی عمق داشته باشد.

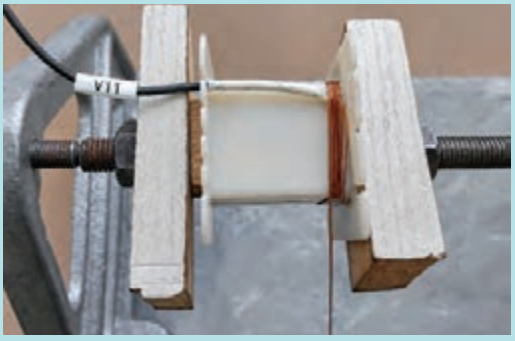


شکل ۷ــ قرارگیری وارنیش و سیم افشان در پایین‌ترین سطح سیم پیچی



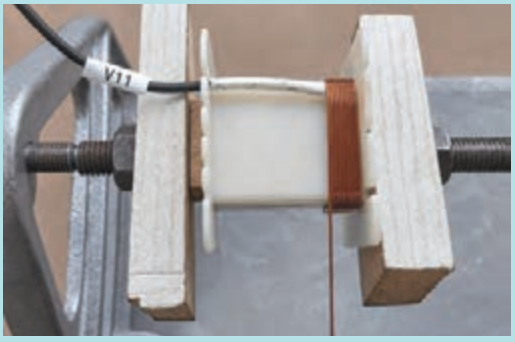
شکل ۸ــ عمق شیارهای جانبی، یکسان نیست

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



شکل ۹ــ نام‌گذاری سیم خروجی از قرقره

مرحله پنجم: پس از صفرکردن شمارنده بوبین‌پیچ، به تعداد محاسبه شده، سیم‌لاکی پیچیده شود. در حین انجام کار، سعی شود تا سیم‌های لاکی به‌صورت مرتب در کنار هم قرار بگیرند تا سطح سیم‌پیچی، یکنواخت گردد. این کار باعث می‌شود، فضای کمتری از سیم پیچ اشغال شود و سیم پیچ‌ها بهتر بتوانند گرمای خود را دفع کنند.



شکل ۱۰ــ مرتب پیچیدن سیم‌پیچ ترانسفورماتور

مرحله ششم: پس از اتمام تعداد دور سیم‌پیچ اول و بریدن سیم لاکی، 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.



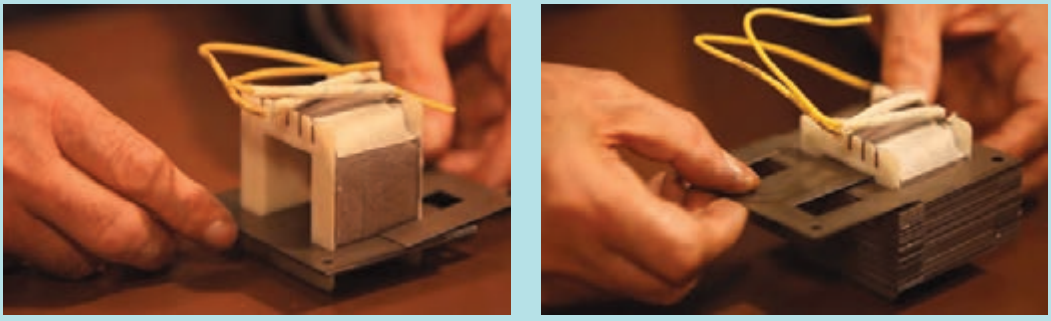
شکل ۱۱ــ عایق‌کردن بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

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

■ صحت اتصالات سیم‌پیچ اولیه توسط اهم‌متر، بررسی شود.

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

مرحله هفتم: پس از جدا کردن قرقره از دستگاه بوبین‌پیچ، با استفاده از ورقه‌های هسته، عملیات هسته‌گذاری ترانسفورماتور انجام شود.



شکل ۱۲ـ جاگذاری ورقه EI

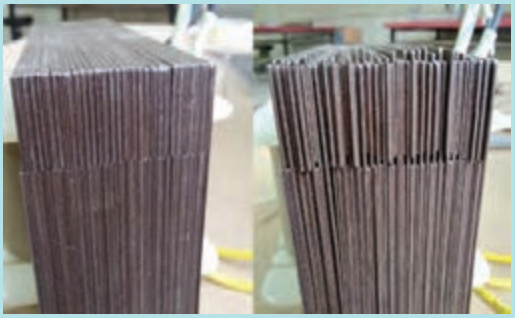
نکات ایمنی

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

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



شکل ۱۳ـ ضربه به هسته با استفاده از چکش پلاستیکی



شکل ۱۴ـ تأثیر ضربات چکش پلاستیکی بر نظم هسته‌ها

■ پیش از اتصال به شبکه برق، تمام اتصالات با اهم‌متر بررسی شود. همچنین نبود اتصال بدنه بین سیم‌پیچ‌ها و هسته باید بررسی شود.

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



شکل ۱۵ــ محاسبه اتصال بدنه

تذکر

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.



شکل ۱۶ــ منبع ولتاژ متغیر AC

نکته

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

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

جدول ۱ــ جدول اندازه‌گیری 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)
			$V_{۲۱}$-$V_{۲۱}$	۱۱۰
			$V_{۲۲}$-$V_{۲۲}$	۱۱۰
			$V_{۲۳}$-$V_{۲۳}$	۱۱۰

ولتاژ ورودی (ولت)	پایانه های مختلف ترانسفورماتور	مقدار ولتاژ در بی باری	مقدار ولتاژ در بار نامی	تفاوت دو حالت
۲۲۰	$V_{۲۱}$-$V_{۲۱}$			
۲۲۰	$V_{۲۲}$-$V_{۲۲}$			
۲۲۰	$V_{۲۳}$-$V_{۲۳}$			

پرسش

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

کارعملی

هدف: محاسبه مقاومت بین سیم پیچ های مجزا

ابزار، مواد و تجهیزات: قرقره ترانسفورماتور پیچیده شده در کارعملی قبل، مولتی‌متر

■ با استفاده از اهم‌متر، مقدار مقاومت سیم‌پیچ‌های مختلف ترانسفورماتور در زمانی که از شبکه برق جدا می‌باشد را به‌دست آورید.

جدول ۲ـ جدول اندازه‌گیری مقاومت‌های مختلف

پایانه‌های مختلف ترانسفورماتور	مقدار مقاومت
۱۱۰	
۲۲۰	
$V_{۱۱}$-$V_{۱۱}$	
$V_{۱۲}$-$V_{۱۲}$	
$V_{۲۱}$-$V_{۲۱}$	
$V_{۲۲}$-$V_{۲۲}$	
$V_{۲۳}$-$V_{۲۳}$	

پرسش

از مقادیر به دست آمده در مقاومت‌ها، چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

به یکی از دوستان خود در کلاس بگویید که برچسب سر سیم ترانسفورماتورخود 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 نام‌گذاری کنید.
سپس با نظارت دبیر مربوطه، ترانسفورماتور را به منبع تغذیه متصل و نتایج را بررسی کنید.

تمرین

۱ اتصالات ترانسفورماتور به‌صورتی تغییر کند تا در سمت ثانویه، ولتاژ ۷۴ ولت ایجاد شود.
۲ ترانسفورماتوری مناسب برای سه مصرف‌کننده که نزدیک هم می‌باشد را طراحی نمایید. این مصرف‌کننده به ولتاژهای مختلف ۱۲، ۲۴، ۶۰ ولت با جریان ۰/۵، ۱ و ۱ آمپر نیاز دارند. سیم‌پیچ ثانویه از یکدیگر مجزا باشند.

خودآزمایی

۱ ترانسفورماتورهای چندورودی ـ چندخروجی با سیم‌پیچ‌های مجزا را تعریف کنید و تفاوت آنها را با ترانسفورماتورهای ساده تک‌ورودی ـ تک خروجی توضیح دهید.
۲ ترانسفورماتوری دارای دو ورودی ۱۱۰ و ۲۲۰ ولت و سه خروجی زیر است:
۶V, ۲A ۱۲V, ۱/۵A ۲۴V, ۱A
اگر هر سه خروجی به‌طور هم‌زمان استفاده شوند، توان ظاهری کل خروجی ترانسفورماتور را محاسبه کنید.
۳ در ترانسفورماتورهای چندخروجی با سیم‌پیچ‌های مجزا، قطر سیم هر سیم‌پیچ ثانویه بر چه اساسی محاسبه می‌شود؟ 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 ـ چندخروجی، پیش از اتصال ترانسفورماتور به شبکه برق چه آزمایش‌ها و بررسی‌های ایمنی باید انجام شود؟ نقش اهم‌متر و بررسی اتصال بدنه را توضیح دهید.

ارزشیابی شایستگی سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی با سیم‌پیچ مجزا

نام و نام خانوادگی				شماره ملی		تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه:	تعمیرکاران‌برق‌صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۲	**استاندارد عملکرد کار:** محاسبه و سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی سیم‌پیچ‌های مجزا	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	L3		
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۱	کار	سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چندخروجی با سیم‌پیچ مجزا	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 و سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم‌پیچ مجزا	در کارگاه سیم‌پیچی با قرقره و هسته ترانسفورماتور، سیم لاکی مناسب، کاغذ عایق، دستگاه سیم‌پیچی، شمارنده دور، کولیس یا خط‌کش، ماشین‌حساب، دم‌باریک، نوار عایق، اهم‌متر، تجهیزات ایمنی در زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی محاسبات انجام‌شده، ارزیابی کار	عایق‌گذاری اولیه به‌طور کامل و استاندارد انجام شده، سیم‌پیچی اولیه با تعداد دور دقیق و مطابق مشخصات ترانس چند سر اجرا شده، لایه‌ها منظم و بدون آسیب به روکش سیم هستند و آماده ادامه سیم‌پیچی ثانویه می‌باشد.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل عایق‌گذاری و سیم‌پیچی اولیه به‌درستی انجام شده است، اما در تعداد دور، نظم سیم‌پیچی یا کیفیت عایق‌کاری اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				عایق‌گذاری یا سیم‌پیچی اولیه ناقص یا نادرست انجام شده، تعداد دورها یا مشخصات رعایت نشده و ادامه کار یا عملکرد صحیح ترانسفورماتور را دچار مشکل می‌کند.	۱	
۲	نصب عایق و سیم‌پیچی ثانویه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم‌پیچ مجزا	در کارگاه سیم‌پیچی با قرقره و هسته ترانسفورماتور، سیم لاکی مناسب، کاغذ عایق، دستگاه سیم‌پیچی، شمارنده دور، کولیس یا خط‌کش، ماشین‌حساب، دم‌باریک، نوار عایق، اهم‌متر، تجهیزات ایمنی در زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی محاسبات انجام‌شده، ارزیابی کار	عایق‌گذاری ثانویه به‌طور کامل و استاندارد انجام شده، سیم‌پیچی ثانویه با تعداد دور دقیق و مطابق مشخصات ترانس چند سر اجرا شده، لایه‌ها منظم و بدون آسیب به روکش سیم هستند.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل عایق‌گذاری و سیم‌پیچی ثانویه به‌درستی انجام شده است، اما در تعداد دور، نظم سیم‌پیچی یا کیفیت عایق‌کاری اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				عایق‌گذاری یا سیم‌پیچی ثانویه ناقص یا نادرست انجام شده، تعداد دورها یا مشخصات رعایت نشده و ادامه کار یا عملکرد صحیح ترانسفورماتور را دچار مشکل می‌کند.	۱	
۳	جا زدن هسته	در کارگاه سیم‌پیچی قرقره سیم‌پیچی شده، هسته ترانسفورماتور (ورقه‌های 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، چک‌لیست مراحل مونتاژ، بررسی صحت قرارگیری ورقه‌های هسته، ارزیابی استحکام مونتاژ	هسته به‌صورت کامل، منظم و بدون فاصله غیرمجاز در قرقره قرار گرفته، ورقه‌ها به‌درستی جفت شده‌اند و ترانسفورماتور از نظر مکانیکی محکم و بدون لرزش مونتاژ شده است.	۳	
				بیش از نیمی از هسته به‌درستی جا زده شده است، اما در چیدمان ورقه‌ها، میزان فشردگی یا نظم مونتاژ اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				هسته به‌درستی مونتاژ نشده، ورقه‌ها نامنظم یا شل هستند یا کمتر از نیمی از هسته جا زده شده و استحکام مکانیکی مناسب ندارد.	۱	
۴	آزمایش بی‌باری در سیم‌پیچ‌های مختلف	در کارگاه سیم‌پیچی ترانسفورماتور یا الکتروموتور آماده آزمایش، منبع تغذیه مناسب، آمپرمتر یا کلمپ‌متر، ولت‌متر، وات‌متر (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، چک‌لیست مراحل تست، بررسی نحوه اتصال مدار، ارزیابی مقادیر جریان و ولتاژ بی‌باری، کنترل ثبت نتایج، پرسش شفاهی	آزمایش بی‌باری به‌صورت صحیح و ایمن روی سیم‌پیچ‌های مختلف انجام شده، مقادیر جریان و ولتاژ به‌درستی اندازه‌گیری و ثبت شده و هنرجو توانایی تحلیل وضعیت عملکرد دستگاه در حالت بی‌باری را دارد.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل آزمایش به‌درستی انجام شده است، اما در نحوه اتصال مدار، قرائت یا ثبت مقادیر اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				آزمایش به‌درستی انجام نشده، اندازه‌گیری‌ها نادرست یا ناقص هستند و هنرجو توانایی تحلیل نتایج بی‌باری را ندارد.	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،همکاری‌بادیگران،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:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از نصب عایق و سیم‌پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم‌پیچ مجزا (مراحل بحرانی)

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

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲ـ 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.

ـ 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

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

واحد یادگیری ۲

سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک

آیا می‌دانید

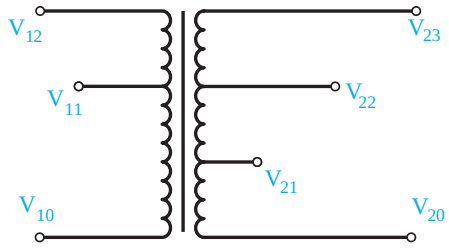
۱ با ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی با سیم‌پیچ‌های مشترک آشنایی دارید؟
۲ تعیین سطح مقطع هسته ترانسفورماتور چند ورودی چند خروجی با سیم‌پیچ‌های مشترک چگونه است؟
۳ نحوه محاسبه تعداد دور و افت ولتاژ در ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی با سیم‌پیچ‌های مشترک چگونه انجام می‌شود؟
۴ نحوه محاسبه قطر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

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود محاسبه ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی با سیم‌پیچ‌های مشترک را انجام داده و سیم‌پیچی نماید.

ترانسفورماتور با سیم‌پیچ چند سر در اولیه و ثانویه

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 مصرف‌کننده‌هایی 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.



شکل ۱۷ـ ترانسفورماتور چند ورودی ـ چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک

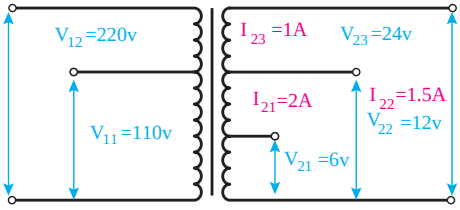
مثال

برای مثال در یک مصرف‌کننده الکترونیکی، نیاز است به صورت همزمان سه ولتاژ ۶، ۱۲ و ۲۴ ولت با جریان‌هایی به‌ترتیب ۲، ۱/۵ و ۱ آمپر استفاده شود.
در این مثال فرض شده که مصرف‌کننده از هر سه خروجی ترانسفورماتور به‌صورت همزمان استفاده می‌کند.

تحقیق‌کنید

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

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



شکل ۱۸ـ ترانسفورماتور چند ورودی چندخروجی با سیم‌پیچ مشترک

مرحله اول ـ محاسبه توان کل خروجی ترانسفورماتور: در مرحله نخست، توان خروجی ترانسفورماتور را به دست می‌آوریم. برای ترانسفورماتورهایی که چندین ولتاژ در ثانویه دارند، در صورتی که همه خروجی‌ها به‌طور هم زمان استفاده شود، توان کل خروجی از حاصل جمع توان خروجی‌ها، به‌دست آید. برای مثال بالا:

$$S_{۲} = S_{۲۱} + S_{۲۲} + S_{۲۳}$$

$$S_{۲} = (V_{۲۱} \times I_{۲۱}) + (V_{۲۲} \times I_{۲۲}) + (V_{۲۳} \times I_{۲۳}) = (۲۴ \times ۱) + (۱۲ \times ۱/۵) + (۶ \times ۲) = ۴۸ \ [V.A]$$

مرحله دوم ـ محاسبه سطح مقطع واقعی هسته: برای به دست آوردن سطح مقطع واقعی هسته، از رابطه صفحه بعد استفاده می‌گردد:

$$S_1 = \frac{S_2}{\eta} = \frac{۴۸}{۰/۹} = ۵۳/۳ \ [V.A]$$

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

سطح مقطع خالص هسته ترانسفورماتور $A_{fe} = ۱/۲ \times \sqrt{S_1} = ۱/۲ \times \sqrt{۵۳/۳} = ۸/۷۳۶ [cm^۲]$

$$A'_{fe} = \frac{A_{fe}}{۰/۹} = ۹/۷$$

تحقیق‌کنید

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

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

$$n_V = \frac{۳۷/۵}{A'_{fe}} = \frac{۳۷/۵}{۹/۷} = ۳/۸۶ \ [\text{دور بر ولت}]$$

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

نکته

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

$$\frac{۲۵}{۲} = \frac{۲}{x} \Rightarrow x = \frac{۲ \times ۲}{۲۵} = ۰/۱۶$$

$$N_{11} = n_V \times V_{11} \times (۱ - \frac{\%\Delta V}{۲}) = ۳/۸۶ \times ۱۱۰ \times (۱ - \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۳۹۸/۷۸ \cong ۳۹۹ \ \text{دور}$$

$$N_{12} = n_V \times (V_{12} - V_{11}) \times (۱ - \frac{\%\Delta V}{۲}) = ۴/۵۱ \times (۲۲۰ - ۱۱۰) \times (۱ - \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۳۹۸/۷۸ \cong ۳۹۹ \ \text{دور}$$

۲ برای به‌دست آوردن تعداد دور هر سیم‌پیچ، ولتاژ دو سر همان سیم‌پیچ را باید درنظر گرفت.

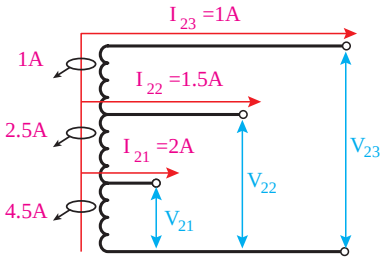
در سیم‌پیچ ثانویه، متناسب با ۵۰ درصد از کل افت ولتاژ محاسبه شده به تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه افزوده می‌شود:

$$N_{21} = n_V \times V_{21} \times (۱ + \frac{\%\Delta V}{۲}) = ۳/۸۶ \times ۶ \times (۱ + \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۲۴/۳۷ \cong ۲۴ \ \text{دور}$$

$$N_{22} = n_V \times (V_{22} - V_{21}) \times (۱ + \frac{\%\Delta V}{۲}) = ۳/۸۶ \times (۱۲ - ۶) \times (۱ + \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۲۴/۳۷ \cong ۲۴ \ \text{دور}$$

$$N_{23} = n_V \times (V_{23} - V_{22}) \times (۱ + \frac{\%\Delta V}{۲}) = ۳/۸۶ \times (۲۴ - ۱۲) \times (۱ + \frac{۰/۱۲۱۶}{۲}) = ۴۸/۷۵ \cong ۴۹ \ \text{دور}$$

مرحله پنجم ـ محاسبه سطح مقطع سیم پیچ ثانویه: برای تعیین قطر سیم‌پیچ‌های ثانویه، نخست مقدار چگالی جریان را با مراجعه به جدول مربوطه در پودمان قبل انتخاب کنید. با توجه به اینکه ترانسفورماتور به‌صورت هم‌زمان به تمامی خروجی‌های خود جریان می‌دهد، باید جریان عبور واقعی از هر سیم‌پیچ را مطابق شکل ۱۹ مشخص شود. در نهایت، با استفاده از روابطی که در پودمان اول آموخته‌اید، قطر هر سیم‌پیچ محاسبه می‌شود.



شکل ۱۹ـ جریان عبوری ازهر سیم پیچ در سمت ثانویه

$$d_{۲۱} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۱}+I_{۲۲}+I_{۲۳}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۲+۱/۵+۱}{۴}} = ۱/۲\ [mm]$$

$$d_{۲۲} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۲}+I_{۲۳}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۱/۵+۱}{۴}} = ۰/۹\ [mm]$$

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۳}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۱}{۴}} \cong ۰/۵۶\ [mm]$$

برای سیم سوم، سیم‌لاکی ۰/۵۵ انتخاب می‌شود

مرحله ششم ـ محاسبه سطح مقطع سیم‌پیچ اولیه: برای به‌دست آوردن جریان هر یک از سیم پیچ‌های اولیه، ابتدا باید توان اولیه را به‌دست آورد. راندمان در ترانسفورماتورهایی با توان کمتر از ۵۰۰ ولت آمپر، بین ۸۰ تا ۹۰ درصد می‌باشد. برای ترانسفورماتور موردنظر مقدار راندمان ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود، مقدار توان اولیه را می‌توان از رابطه راندمان و به‌صورت زیر به‌دست می‌آورد:

$$S_۱ = \frac{S_۲}{\eta} = \frac{۴۸}{۰/۹} = ۵۳/۳[V.A]$$

براساس توان اولیه به‌دست آمده، مقدار جریان هر یک از سیم پیچ‌ها در اولیه را به‌دست می‌آوریم:

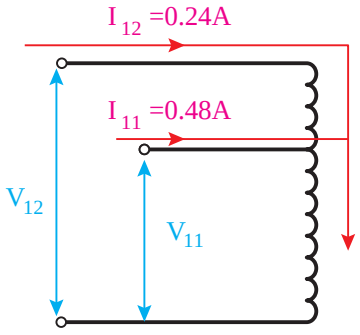
$$I_{۱۱} = \frac{S_۱}{V_{۱۱}} = \frac{۵۳/۳}{۱۱۰} = ۰/۴۸[A]$$

$$I_{۱۲} = \frac{S_۱}{V_{۱۲}} = \frac{۵۳/۳}{۲۲۰} = ۰/۲۴\ [A]$$

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

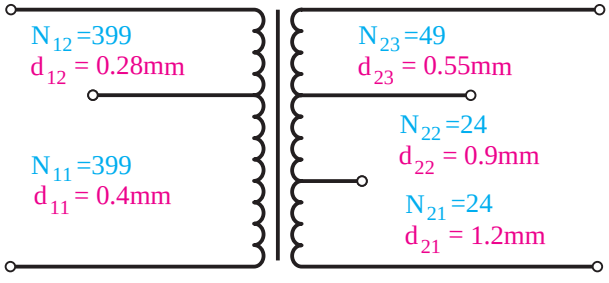
$$d_{11} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{11}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۴۸}{۴}} \cong ۰/۴۰\,mm$$

$$d_{12} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{12}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۲۴}{۴}} \cong ۰/۲۸\,mm$$



شکل ۲۰ــ جریان ورودی

بنابراین با توجه به تعداد دورهای به دست آمده برای سیم‌پیچ اولیه باید ۳۹۹ دور را با سیم لاکی 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 ۲۱ــ تمامی اطلاعات مورد نیاز برای سیم پیچی ترانسفورماتور

مرحله هفتم ــ به‌دست آوردن اندازه هسته: برای هسته‌هایی با شکل EI از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{اندازه هسته} \quad \leq ۳۰\sqrt{A_{fe}} = ۳۰\sqrt{۸/۷۳۶} = ۸۸/۵$$

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

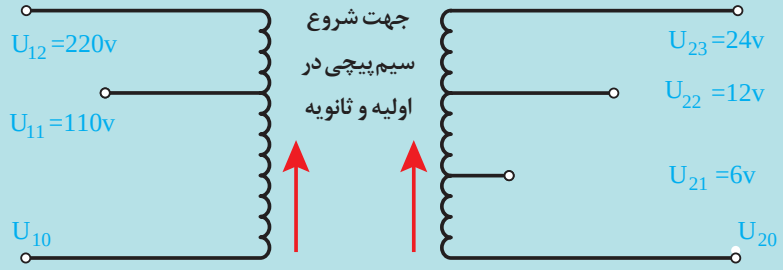
مرحله هشتم ـ انتخاب قرقره: با توجه به اینکه نوع ورقه EI۸۴ به‌دست آمده است با مراجعه به جدول قرقره‌های پلاستیکی که در پودمان قبل ارائه شده است می‌توان یکی از دو مدل EI۸۴a یا EI۸۴b را انتخاب نمود.

کار عملی

ساخت ترانسفورماتور تک‌فاز دارای چند ورودی و چند خروجی با سیم پیچ مشترک

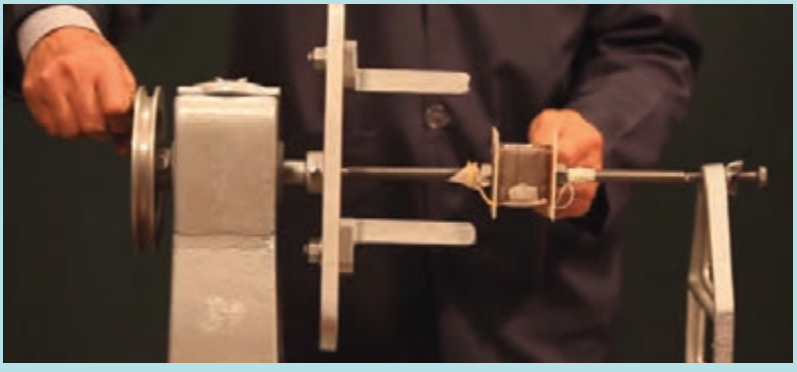
ابزار، مواد و تجهیزات: ابزار لحیم، قرقره ترانسفورماتور با اندازه محاسبه شده، ورق هسته با اندازه محاسبه شده، سیم لاکی براساس محاسبات، دستگاه بوبین پیچ، سیم، دم باریک، سیم افشان با سطح مقطع ۱ میلی‌متر مربع، وارنیش ، کاغذ پرشمان، چسب کاغذی، کاغذ سنباده نرم

مرحله اول: مانند واحد یادگیری قبل ابتدا با ترسیم شکل ترانسفورماتور، اطلاعات موردنیاز بر روی آن ثبت شود. در شکل ترسیمی باید مواردی همچون تعداد دور، قطر سیم هر قسمت و نام‌گذاری سر سیم‌ها به وضوح مشخص باشد.



شکل ۲۲ـ ترسیم شکل و نام‌گذاری سر سیم‌ها، قبل از شروع سیم‌پیچی

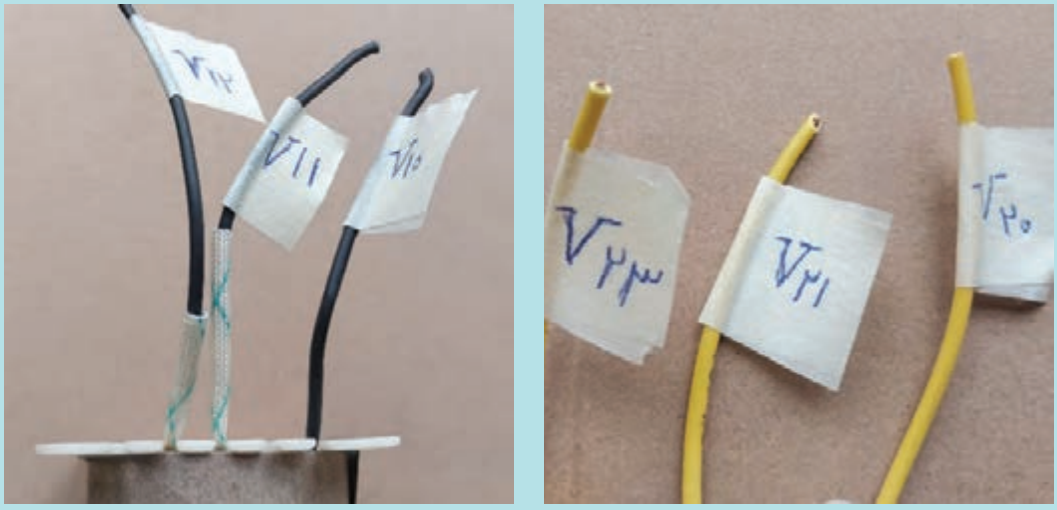
- در صورتی که سطح تماس قرقره با سیم لاکی دارای خراش و زبری زیادی است، با استفاده از کاغذ پرشمان و چسب کاغذی، یک لایه عایق‌گذاری شود تا سیم لاکی آسیب نبیند.
- قرقره ترانسفورماتور با استفاده از مغزی چوبی مناسب آن، بر روی دستگاه بوبین پیچ محکم بسته شود.



شکل ۲۳ـ قرار دادن قرقره در بوبین پیچ

مرحله دوم: جهت جلوگیری از قطع شدگی سیم لاکی، پس از عایق‌برداری سیم لاکی، به سیم افشان لحیم شود و پس از آن با وارنیش مناسب، محل لحیم‌کاری، 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 لاکی 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 ۲۴ـ برچسب گذاری سیم پیچ ها

■ پس از صفرکردن شمارنده بوبین پیچ، به تعداد محاسبه شده، سیم لاکی پیچیده شود. در حین انجام کار، سعی شود تا سیم‌های لاکی به‌صورت مرتب در کنار هم قرار بگیرند تا سطح سیم پیچی، یکنواخت گردد.

■ پس از رسیدن به محل انشعاب، سیم لاکی 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 لاکی تا انتها انجام شود. در صورتی که قطر سیم تغییر می‌کند، برای ادامه کار می‌بایست، از سیم لاکی با قطر جدید استفاده نمود.

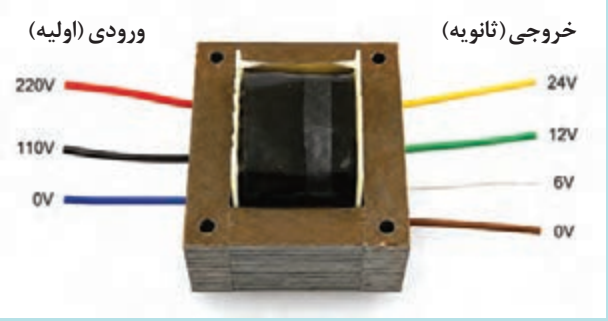
■ در پایان پیچیدن سیم‌پیچ اولیه، همانند ابتدای کار، برای سر سیم خروجی از سیم افشان استفاده شود.

■ در این مرحله، سطح سیم‌پیچی شده با استفاده از کاغذ پرشمان عایق‌بندی شود. این کار باعث افزایش مقاومت الکتریکی بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه می‌گردد.

■ صحت اتصالات سیم‌پیچ اولیه توسط اهم‌متر، بررسی شود.

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

مطابق مطالب گفته شده در کار عملی قبل، ورقه‌های EI را جا زده و محک کنید.



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

- پیش از اتصال به شبکه برق، تمام اتصالات با اهم‌متر بررسی شود. همچنین نبود ارتباط الکتریکی بین سیم‌پیچ‌ها و هسته باید بررسی شود.
- پس از اطمینان از صحت اتصالات الکتریکی، می‌توان 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 ۳ـ جدول اندازه‌گیری ولتاژهای خروجی به ازای ورودی‌های مختلف

مقدار خطا در عمل	مقدار ولتاژ در بار نامی	مقدار ولتاژ در بی باری	پایانه‌های مختلف ترانسفورماتور	ولتاژ ورودی (ولت)
			$V_{۲۰}-V_{۲۱}$	۱۱۰
			$V_{۲۰}-V_{۲۱}$	۲۲۰
			$V_{۲۰}-V_{۲۲}$	۱۱۰
			$V_{۲۰}-V_{۲۲}$	۲۲۰

تحقیق‌کنید

آیا می‌توان سیم پیچ‌های ثانویه را به‌صورت سری یا موازی به یکدیگر متصل نمود؟

تمرین

یک نمونه از ترانس های چند خروجی، ترانسفورماتور با سر وسط می‌باشد. ترانسفورماتوری تک‌فاز با قابلیت اتصال با ولتاژ ۲۲۰ ولت که دو خروجی ۱۲ ولت ۵ آمپر دارد که سیم پیچ‌های آنها به یکدیگر متصل می‌باشد. چگالی ورق هسته آن ۱۲۰۰۰ گوس و ضخامت ورق‌ها ۰/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

فعالیت

کاربرد ترانسفورماتور با سر وسط چیست؟

کارعملی

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 بی باری 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 ـ 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:

۶V, ۲A　　۱۲V, ۱/۵A　　۲۴V, ۱A

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 ـ چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک

نام و نام خانوادگی				شماره ملی		تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه:	تعمیرکاران‌برق‌صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۲	**استاندارد عملکرد کار:** محاسبه و سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی با سیم‌پیچ‌های مشترک	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	L3		
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۲۲	کار	سیم پیچی ترانسفورماتورهای چند ورودی ـ چند خروجی با سیم پیچ مشترک	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 و سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک	در کارگاه سیم‌پیچی و با قرقره و هسته ترانسفورماتور، سیم لاکی مناسب، کاغذ عایق، دستگاه سیم‌پیچی، شمارنده دور، کولیس یا خط‌کش، ماشین‌حساب، دم‌باریک، نوار عایق، اهم‌متر، تجهیزات ایمنی در زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی محاسبات انجام‌شده، ارزیابی کار	عایق‌گذاری اولیه به‌طور کامل و استاندارد انجام شده، سیم‌پیچی اولیه با تعداد دور دقیق و مطابق مشخصات ترانس چند سر اجرا شده، لایه‌ها منظم و بدون آسیب به روکش سیم هستند و آماده ادامه سیم‌پیچی ثانویه می‌باشد.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل عایق‌گذاری و سیم‌پیچی اولیه به‌درستی انجام شده است، اما در تعداد دور، نظم سیم‌پیچی یا کیفیت عایق‌کاری اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				عایق‌گذاری یا سیم‌پیچی اولیه ناقص یا نادرست انجام شده، تعداد دورها یا مشخصات رعایت نشده و ادامه کار یا عملکرد صحیح ترانسفورماتور را دچار مشکل می‌کند.	۱	
۲	نصب عایق و سیم‌پیچی ثانویه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک	در کارگاه سیم‌پیچی و با قرقره و هسته ترانسفورماتور، سیم لاکی مناسب، کاغذ عایق، دستگاه سیم‌پیچی، شمارنده دور، کولیس یا خط‌کش، ماشین‌حساب، دم‌باریک، نوار عایق، اهم‌متر، تجهیزات ایمنی در زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی محاسبات انجام‌شده، ارزیابی کار	عایق‌گذاری ثانویه به‌طور کامل و استاندارد انجام شده، سیم‌پیچی ثانویه با تعداد دور دقیق و مطابق مشخصات ترانس چند سر اجرا شده، لایه‌ها منظم و بدون آسیب به روکش سیم هستند.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل عایق‌گذاری و سیم‌پیچی ثانویه به‌درستی انجام شده است، اما در تعداد دور، نظم سیم‌پیچی یا کیفیت عایق‌کاری اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				عایق‌گذاری یا سیم‌پیچی ثانویه ناقص یا نادرست انجام شده، تعداد دورها یا مشخصات رعایت نشده و ادامه کار یا عملکرد صحیح ترانسفورماتور را دچار مشکل می‌کند.	۱	
۳	جا زدن هسته	در کارگاه سیم‌پیچی قرقره سیم‌پیچی شده، هسته ترانسفورماتور (ورقه‌های 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، چک‌لیست مراحل مونتاژ، بررسی صحت قرارگیری ورقه‌های هسته، ارزیابی استحکام مونتاژ	هسته به‌صورت کامل، منظم و بدون فاصله غیرمجاز در قرقره قرار گرفته، ورقه‌ها به‌درستی چفت شده‌اند و ترانسفورماتور از نظر مکانیکی محکم و بدون لرزش مونتاژ شده است.	۳	
				بیش از نیمی از هسته به‌درستی جا زده شده است، اما در چیدمان ورقه‌ها، میزان فشردگی یا نظم مونتاژ اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				هسته به‌درستی مونتاژ نشده، ورقه‌ها نامنظم یا شل هستند یا کمتر از نیمی از هسته جا زده شده و استحکام مکانیکی مناسب ندارد.	۱	
۴	آزمایش بی‌باری در سیم‌پیچ‌های مختلف	در کارگاه سیم‌پیچی ترانسفورماتور یا الکتروموتور آماده آزمایش، منبع تغذیه مناسب، آمپرمتر یا کلمپ‌متر، ولت‌متر، وات‌متر (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، چک‌لیست مراحل تست، بررسی نحوه اتصال مدار، ارزیابی مقادیر جریان و ولتاژ بی‌باری، کنترل ثبت نتایج، پرسش شفاهی	آزمایش بی‌باری به‌صورت صحیح و ایمن روی سیم‌پیچ‌های مختلف انجام شده، مقادیر جریان و ولتاژ به‌درستی اندازه‌گیری و ثبت شده و هنرجو توانایی تحلیل وضعیت عملکرد دستگاه در حالت بی‌باری را دارد.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل آزمایش به‌درستی انجام شده است، اما در نحوه اتصال مدار، قرائت یا ثبت مقادیر اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				آزمایش به‌درستی انجام نشده، اندازه‌گیری‌ها نادرست یا ناقص هستند و هنرجو توانایی تحلیل نتایج بی‌باری را ندارد.	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،همکاری‌بادیگران،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:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از نصب عایق و سیم‌پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور چند سر ورودی و چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک (مراحل بحرانی)

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

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

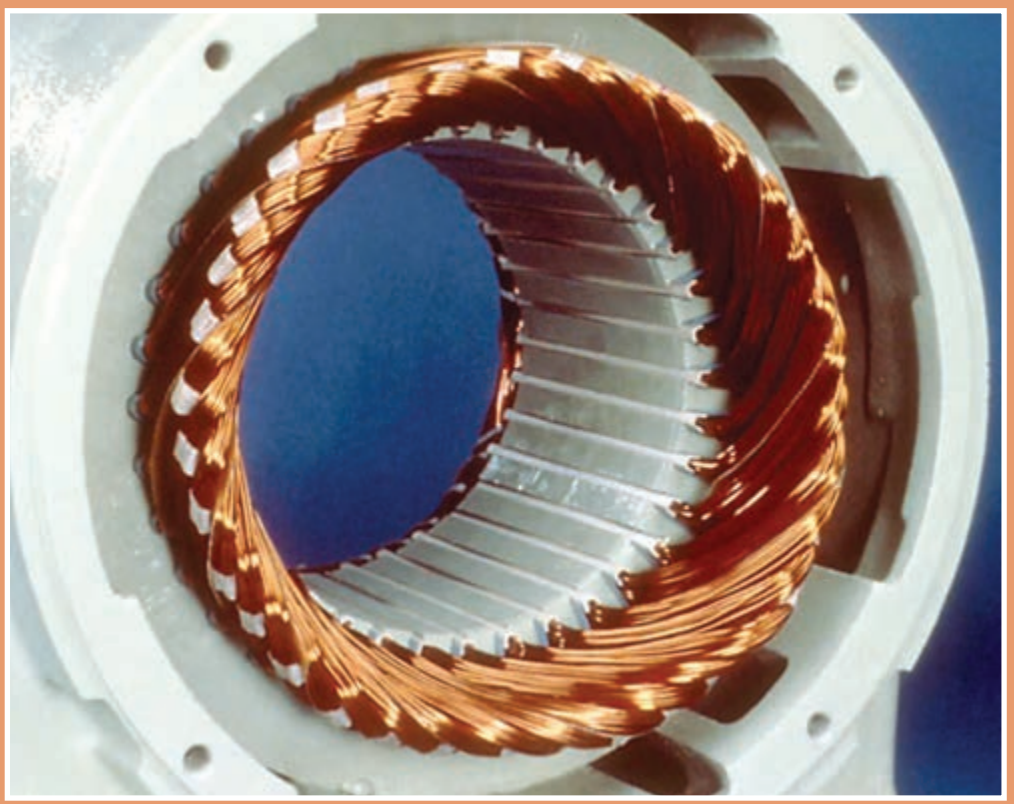
۲ـ تعریف سطوح شایستگی: صرف‌نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

ـ 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

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

پودمان سوم

سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز یک طبقه



واحد یادگیری ۱

عایق‌کاری و جا زدن کلاف‌های موتور سه‌فاز یک طبقه

آیا می‌دانید

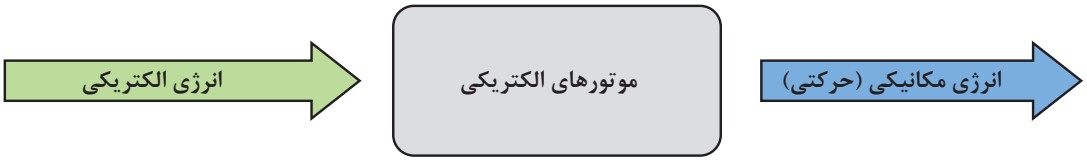
۱ موتورهای القایی چگونه کار می‌کنند؟
۲ سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی به چه پارامترهایی نیاز دارد؟
۳ انواع سیم‌پیچی از نظر شکل کلاف‌ها چگونه است؟
۴ دیاگرام گسترده موتور آسنکرون سه فاز یک طبقه چگونه ترسیم می‌شود؟
۵ موتور سه فاز را چگونه عایق‌کاری می‌کنند؟
۶ نحوه پیچیدن کلاف و کار با بوبین پیچ چگونه انجام می‌شود؟
۷ سربندی و اتصالات موتور سه فاز با چه روش‌هایی انجام می‌شود؟

استاندارد عملکرد

- پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود پس از شناسایی اجزای الکتروموتور سه فاز سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز را سربندی نمایند.
- همچنین آنها قادر خواهند بود محاسبه و رسم دیاگرام سیم‌پیچی 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 مفتول‌های موتور می‌شود و موتور به حرکت درمی‌آید. از آنجا که جریان مفتول‌ها از طریق القای الکترومغناطیس تأمین می‌شود، به آنها موتورهای القایی می‌گویند.



نمودار ۱ــ سیستم موتور الکتریکی

موتورهای الکتریکی به‌دلیل راندمان بالا، عمرطولانی و نیاز کم به نگهداری به‌صورت 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 تک‌فاز و سه‌فاز 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 تک‌فاز نیاز به تجهیزات راه‌اندازی کمکی ندارند)





شکل ۱ــ موتورهای الکتریکی AC

فعالیت

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

ساختمان داخلی موتورهای سه فاز

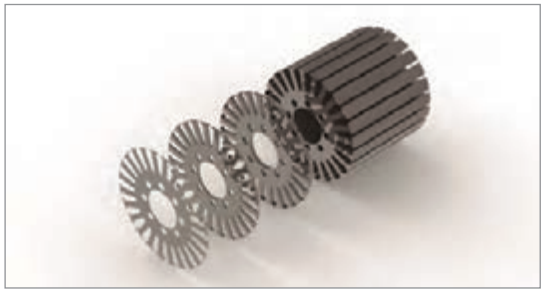
ساختمان داخلی موتورهای AC عمدتاً از دو بخش اصلی ساکن و متحرک تشکیل شده است.

۱ـ 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 آهنِ سیلیس‌دار یا فولاد الکتریکی شناخته می‌شود به‌دلیل 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 ۲ـ استاتور موتور الکتریکی



شکل ۳ـ ورقه ورقه ساختن استاتور

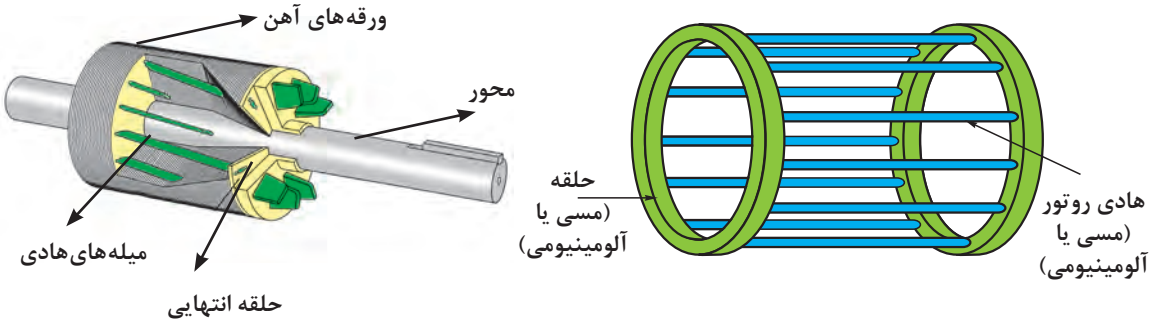
۲ـ بخش متحرک یا گردان

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 سیلیس‌دار 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 آلومینیومی‌تشکیل 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. هنگامی‌که 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



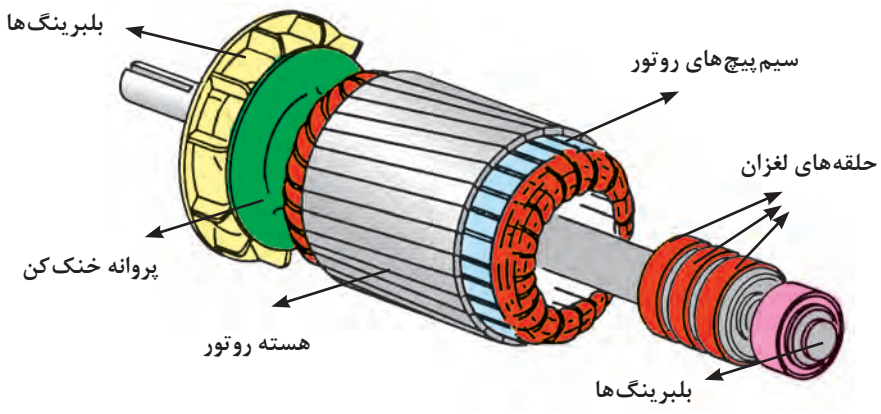
ج) تصویر واقعی روتور قفس سنجابی

شکل ۴ـ روتور قفس سنجابی

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

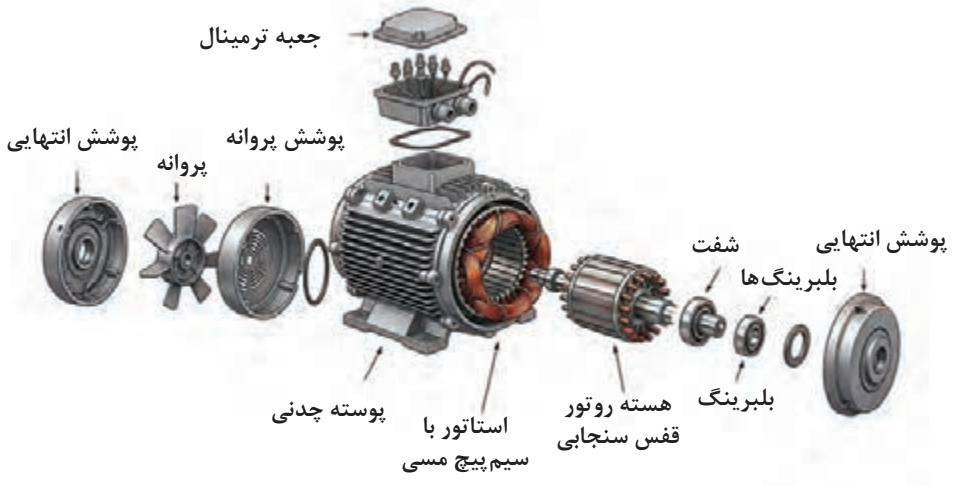
ب) روتور سیم‌پیچی: در این نوع روتور، به‌جای استفاده از میله در روتور، آن را سیم‌پیچی می‌کنند و انتهای سیم‌پیچ را به حلقه‌های لغزشی وصل می‌کنند. این سرسیم‌های خروجی از روتور، قابل دسترسی‌اند و می‌توان با اضافه کردن مقاومت به سیم‌پیچ‌ها سرعت و گشتاور موتور را تغییر داد.

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 ۵ــ روتور سیم‌پیچی شده

علاوه بر بخش اصلی گفته شده، موتورها 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.

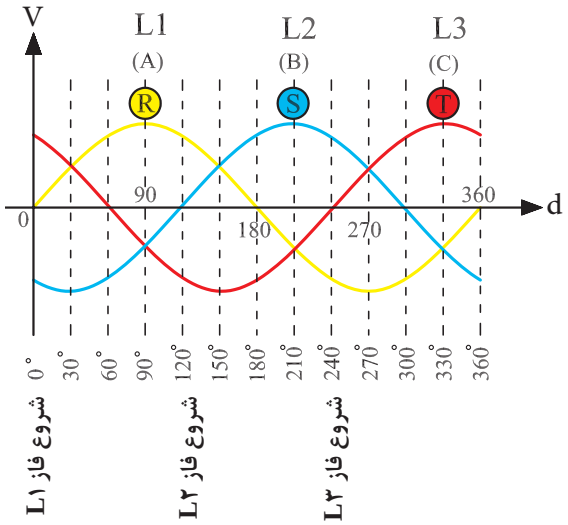


شکل ۶ــ نقشه انفجاری موتور الکتریکی AC

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

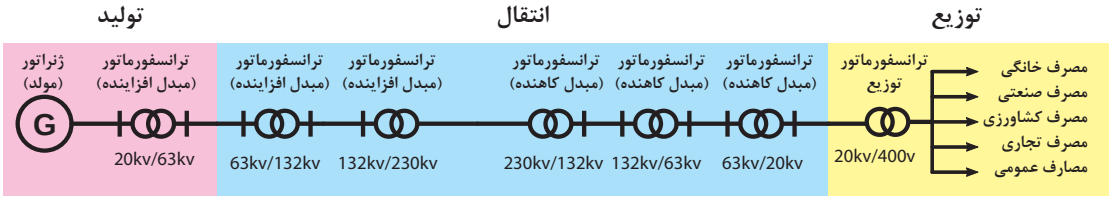
انرژی الکتریکی سه فاز

انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها به‌وسیله 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 ۷ــ 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 ۸ــ 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.

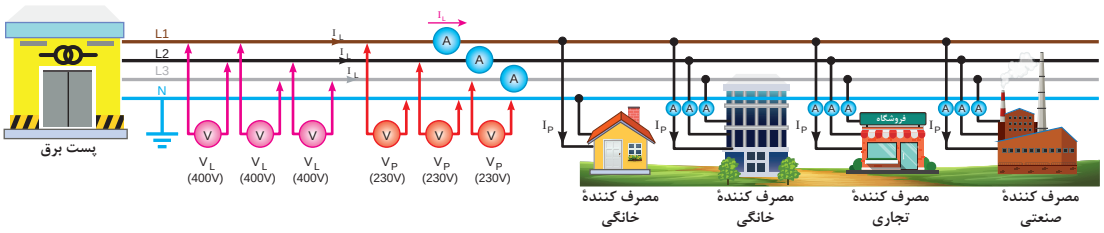
الف) ولتاژ خطی (V_L): به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) بین دو فاز یک شبکه سه فاز « ولتاژ خطی» گویند که در شبکه توزیع ایران مقدار آن ۴۰۰ V است.

ب) ولتاژ فازی (V_p): به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) دو سر هریک از کلاف‌های (مسیرهای عبورجریان) یک مصرف‌کننده سه فاز، «ولتاژ فازی» گویند. به بیانی دیگر به اخـتلاف پتانسیل بین هر فاز و سیم نول نیز «ولتاژ فازی» گفته می‌شود. مقدار این ولتاژ در شبکه توزیع ایران ۲۳۰ V است.

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

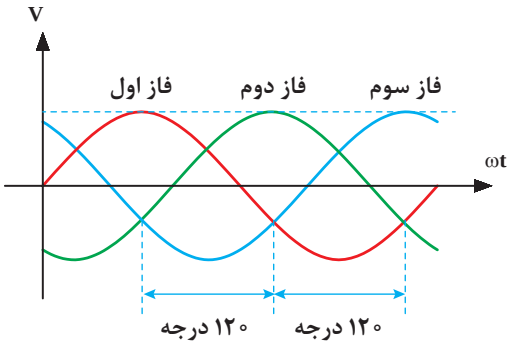
د) جریان فازی (I_p): به مقدار جریانی که از سیم‌پیچ هر فاز مصرف‌کننده سه فاز عبور می‌کند «جریان فازی» گویند.

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



شکل ۹ــ ولتاژ و جریان‌های خطی و فازی

اساس کار موتورهای القایی سه فاز



شکل ۱۰ــ 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. به‌دلیل اختلاف فاز الکتریکی ۱۲۰ درجه‌ای بین فازها (شکل ۱۰) و همچنین اختلاف فاز ۱۲۰ درجه مکانی بین سیم‌پیچ‌های داخل استاتور (به نحوه قرارگرفتن سیم‌پیچی‌ها در کنار یکدیگر بستگی دارد)، در هر لحظه از زمان یکی از سیم‌پیچ‌ها حامل جریان شده و در فضای اطراف آن میدان‌های مغناطیسی به‌وجود می‌آید. میدان مغناطیسی تولید شده در داخل فضای استاتور با سرعت ثابت (سرعت سنکرون) درحال 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.

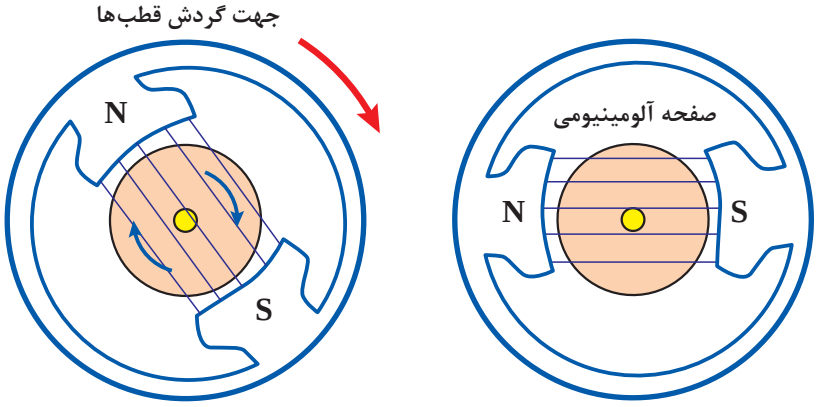
به بیانی دیگر، تصور کنید که صفحه آلومینیومی قادر است حول محور خود گردش کند، این صفحه در داخل دو قطب مغناطیسی مطابق شکل ۱۱ قرار داده شده و قطب‌های مغناطیسی به گردش درآورده می‌شود. مشاهده می‌شود صفحه آلومینیومی، نیز به‌دنبال قطب‌ها، ولی با سرعت کمتر از سرعت قطب‌ها به گردش درمی‌آید.

سرعت کم صفحه آلومینیومی باعث می‌شود تا صفحه آلومینیومی با تغییر شار مغناطیسی مواجه شود و درآن

جریان القا شود. جریان القا شده در صفحه آلومینیومی در میدان حوزه دوار گشتاور ایجاد نموده و صفحه حول محور خود به گردش درمی‌آید. پس می‌توان نتیجه گرفت:

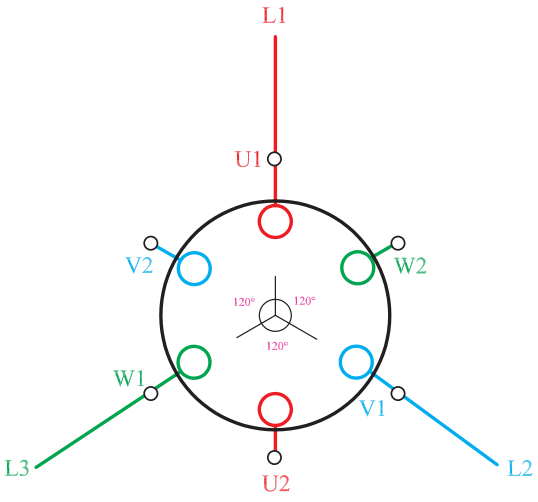
۱ جریان داخل صفحه آلومینیومی ازطریق القای مغناطیسی تأمین می‌شود به همین دلیل این موتورها را موتورهای القایی می‌گویند.

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



شکل ۱۱ــ صفحه آلومینیومی در میدان استاتور

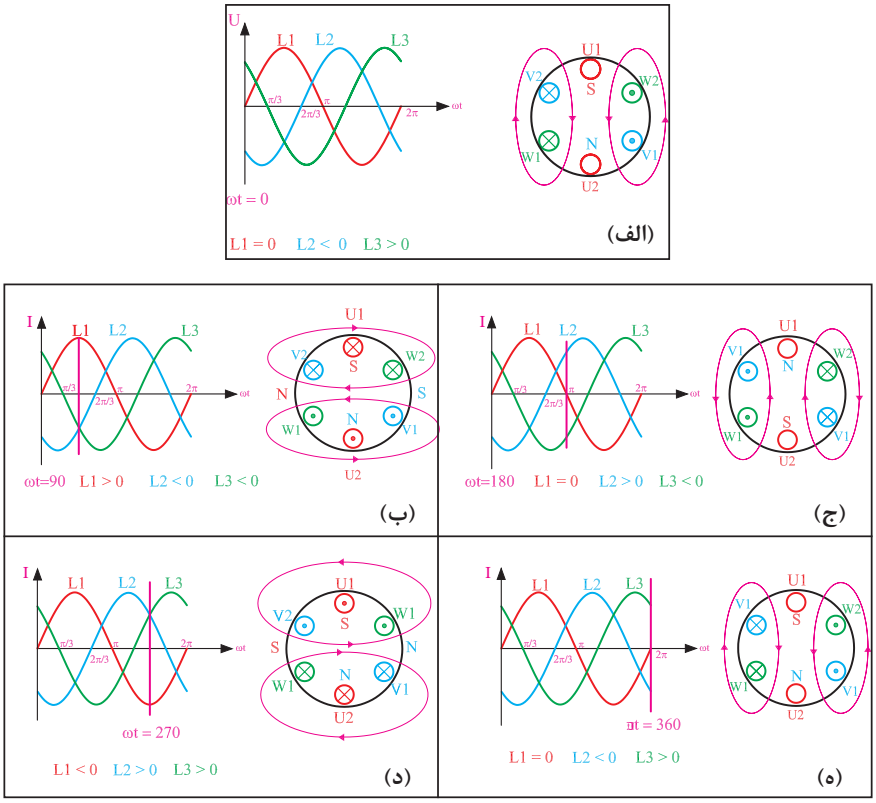
در موتورهای صنعتی جریان متناوب، سه فاز به سه سیم‌پیچ سه فاز متصل می‌شود و یک میدان مغناطیسی دوار در سطح استاتور با سرعت ثابت (سنکرون) $n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{۲p}$ به‌وجود می‌آید. در شکل ۱۲ وضعیت قرار گرفتن سه سیم‌پیچ که با یک اختلاف فاز مکانی ۱۲۰ درجه در داخل استاتور جای می‌گیرند را مشاهده می‌کنید.



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

شکل ۱۲ــ وضعیت قرارگیری سیم‌پیچ‌ها 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 nr به گردش درمی‌آید. شکل ۱۳ با بررسی در موقعیت‌های مختلف وضعیت میدان مغناطیسی دوار در فضای داخلی استاتور را نشان می‌دهد.



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

مفاهیم و روابط لازم برای سیم‌پیچی موتورهای سه فاز

۱ــ تعداد شیارهای استاتور (Z)

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

۲ــ تعداد فاز (m)

موتورهای الکتریکی موجود در صنعت عمدتاً به‌صورت سه فاز یا تک‌فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعداد فازهای موتور را با حرف m نشان می‌دهند، به‌عنوان مثال در موتور سه فاز، m =۳ است.

۳ــ تعداد قطب (۲P)

سرعت میدان دوار (سرعت سنکرون) موتورهای سه فاز را از رابطه صفحه بعد می‌توان به‌دست آورد. همان‌طورکه 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.

$$n_s = \frac{۱۲۰f}{۲P}$$

$۲p$: تعداد قطب

n_s: سرعت چرخش میدان دوار(سرعت سنکرون)

f: فرکانس موتور

برای محاسبه تعداد قطب‌های موتور از رابطه سرعت سنکرون داریم:

$$۲P = \frac{۱۲۰f}{n_s}$$

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

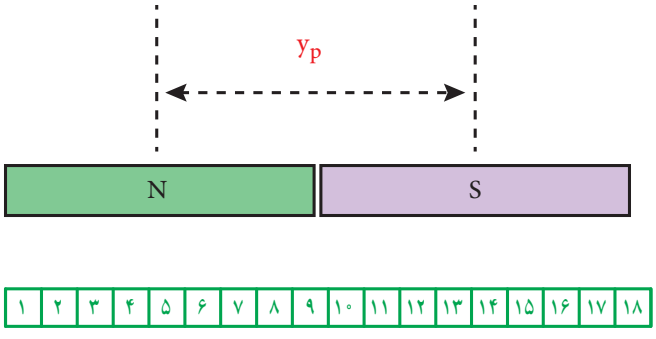
جدول ۱ــ رابطه سرعت با تعداد قطب در فرکانس ۵۰ هرتز

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

۴ــ گام قطبی (y_p)

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

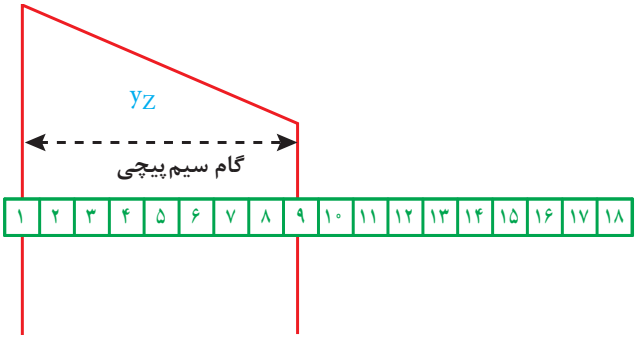
$$y_p = \frac{z}{۲P}$$



شکل ۱۴ــ گام قطبی

۵ـ 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 ۱۵ـ مفهوم گام سیم‌بندی

انواع گام سیم‌پیچی در موتورهای سه فاز: در موتورهای الکتریکی انتخاب نوع گام سیم‌بندی تأثیر مستقیمی‌بر 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 صورتی‌که 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 به‌صورت جبری جمع می‌شوند که منجر به حداکثر شدن ولتاژ خروجی می‌شود.

ب) گام کسری یا گام کوتاه شده: درصورتی 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 ۱۸۰ 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 به‌شرح 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.


الف) کلاف


ب) کلاف پیچ

شکل ۱۶

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.

۶ـ تعداد شیارهای هر قطب مربوط به هرفاز (q)

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

$$q = \frac{z}{۲P \times m}$$

چون $y_p = \frac{z}{۲P}$ و از طرفی در موتورهای سه فاز $m = ۳$ است پس رابطه q را چنین نیز می‌توان نوشت:

$$q = \frac{۱}{۳} \times y_p$$

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.

۷ـ 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 هرکلاف دو شیار را پر می‌کند و مقدار آن را از رابطه زیر می‌توان به‌دست آورد.

$$\gamma_m = \frac{z.t}{۲m}$$

t- تعداد طبقات سیم‌پیچی (سیم‌پیچی موتورهای سه فاز به‌صورت یک یا دو طبقه هستند)

به‌عنوان مثال براساس رابطه γ_m در یک موتور سه فاز ۳۶ شیار تعداد کلاف‌های هر فاز ۶ می‌باشد.

$$\gamma_۱ = \frac{۱ \times ۳۶}{۳ \times ۲} = ۶$$

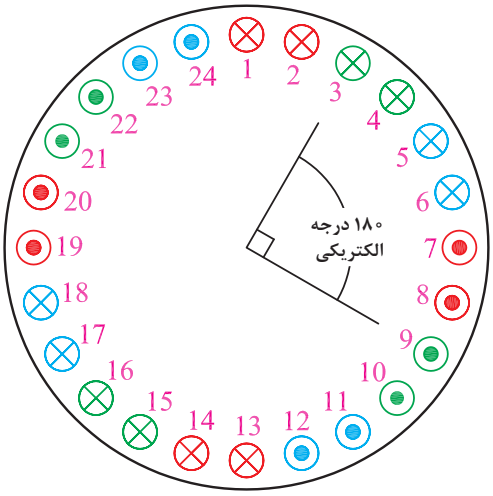
۸ـ زاویه الکتریکی بین دو شیار مجاور(α_{ez})

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.

$$\alpha_{ez} = \frac{۳۶۰ \times p}{z}$$

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 ۱۷ــ نمایش مفهوم زاویه الکتریکی داخل استاتور

تحقیق‌کنید

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

۹ــ 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.

شروع شیار فاز اول = ۱

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

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

۱۰ــ گام فازی (Y_{ph})

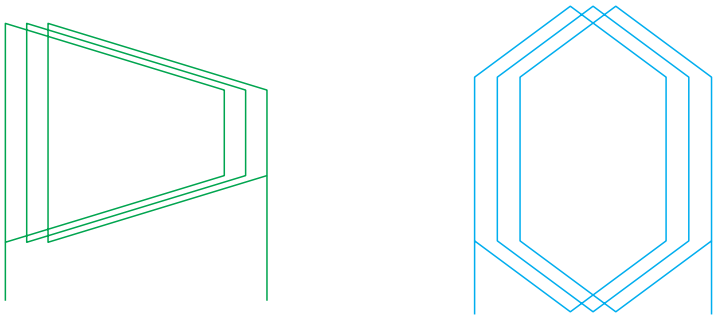
به تعداد شیارهایی که بین دو شیار شروع دو فاز قرار دارند را «گام فازی» گفته می‌شود. در موتورهای سه فاز از رابطه زیر می‌توان برای محاسبه گام فازی استفاده کرد. از مقدار گام فازی برای ترسیم و بررسی صحت نقشه سیم‌پیچی موتورهای سه فاز استفاده می‌شود.

$$Y_{ph} = \frac{۲}{۳} \times y_p$$

۱۱ــ فرم کلاف‌های سیم‌پیچی

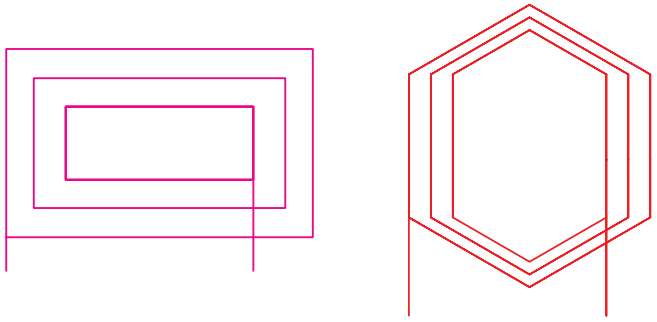
در حالت کلی دو نوع سیم‌پیچی برای موتورهای جریان متناوب درنظر گرفته می‌شود:

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 ۱۸ـ 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 هرکلاف بزرگ، کلاف کوچک‌تر را دربرمی‌گیرد. 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 ۱۹ـ 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.

۱۲ـ 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. درترسیم 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.
بدین‌ترتیب، شیارها در مجاور هم و در یک ردیف ترسیم می‌شوند. اشکال این نوع نقشه این است که اولین شیار و آخرین شیاری 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 به‌صورت 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.

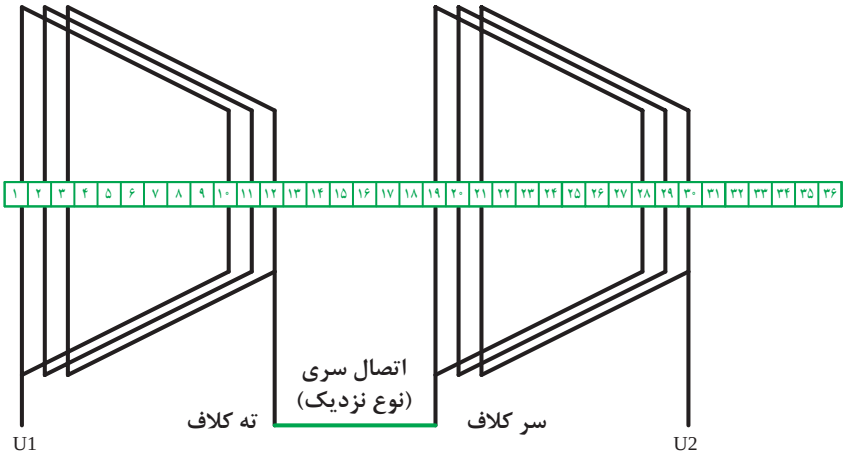
۱۳ـ اتصالات گروه کلاف‌ها (سربندی موتور)

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:

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

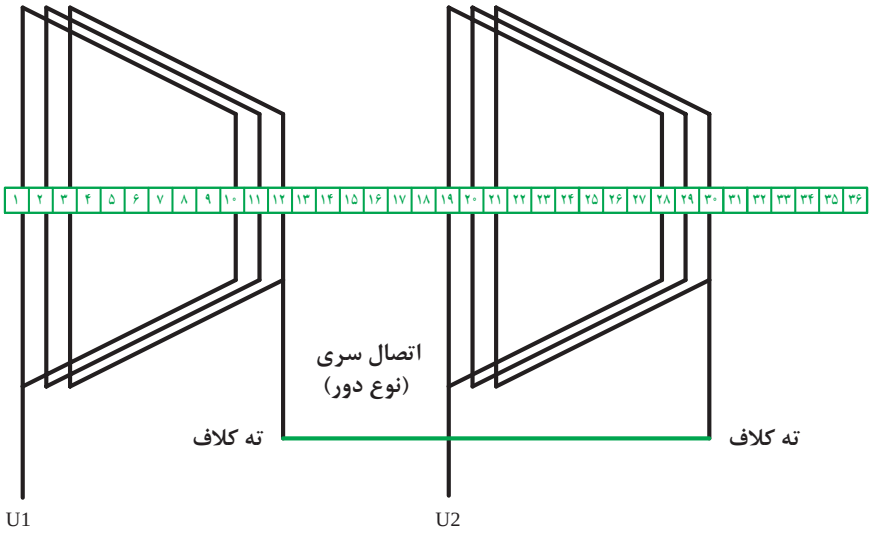
t - نشان‌دهنده تعداد طبقه سیم‌پیچی موتور است

به‌عنوان مثال اگر در محاسبات یک موتور G =۲ 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 ـ (G=P)» گفته می‌شود. در این حالت از اتصال نزدیک یعنی (سر به ته یا ته به سر) استفاده می‌شود (شکل ۲۰).



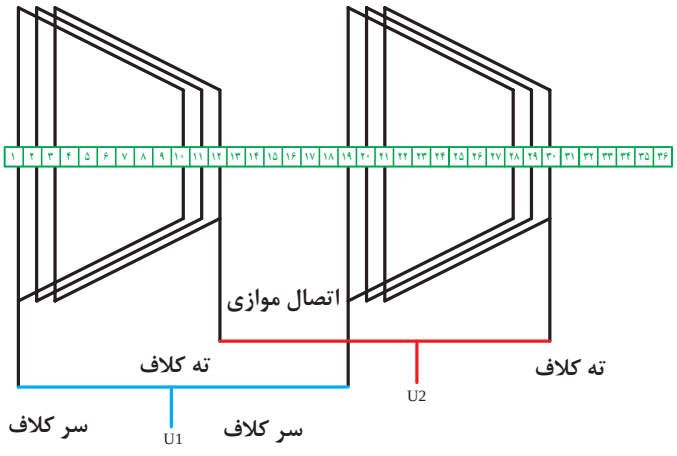
شکل ۲۰ـ اتصال سری از نوع اتصال نزدیک (ته به سر یا سر به ته)

حالت دوم زمانی است که تعداد گروه کلاف در هر فاز برابر تعداد قطب شود. به این حالت سیم‌بندی «به ازای قطب ـ (G=۲P)» گفته می‌شود. در این حالت اتصال کلاف‌ها به‌صورت اتصال دور یعنی (ته به ته یا سر به سر) باید باشد (شکل ۲۱).



شکل ۲۱ـ 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 ۲۲ـ اتصال موازی

۱۴ـ 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=۲، 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 علمی‌مربوط به مثالی با q=۲ و چهار قطب به‌صورت گام کامل را نشان می‌دهد.

جدول ۲ـ جدول علمی(q=۲ و ۲p=۴)

قطب \ فاز	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 **عملی** 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 عملی را نشان می‌دهد.

جدول ۳ـ جدول عملی (q=۲ و ۲p=۴)

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

پرسش

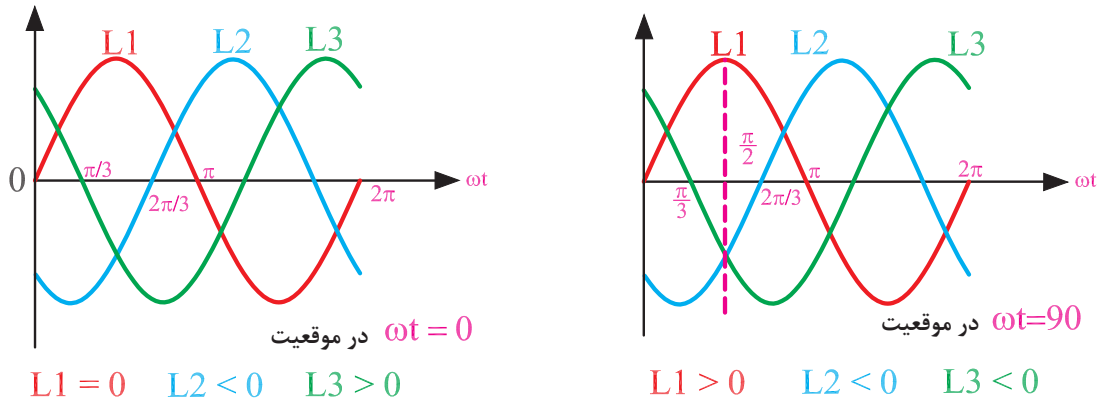
در جدول عملی با جابه‌جایی ستون‌های دوفاز موقعیتی که برای فازها درنظر گرفته می‌شود، کدام موقعیت روی موج سه فاز است؟

بیشتربدانید

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 هرکلاف و اندازه‌گیری گام سیم‌پیچی کار تجدید سیم‌پیچی را انجام می‌دهد.

۱۵ـ 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 ـ ورودی جریان به کلاف) و (نیم‌سیکل منفی ـ 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 ۲۳ـ 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 ۳۰° و برای تکمیل **جدول عملی** و ترسیم نقشه گسترده سیم‌پیچی موقعیت ۱۵۰° انتخاب و ملاک قرار گرفته است.

فعالیت

با توجه به شکل موج سه فاز وضعیت فازها درموقعیت ۳۰° و ۱۵۰° را بنویسید.

توضیح: انجام کلیه کارهای موردنیاز برای سیم‌پیچی موتور موردنظر به‌عنوان کارهای عملی در قالب واحد کارهای ۱ و ۲ این پودمان درنظر گرفته شده است که مراحل انجام کار به تفکیک در هر قسمت آمده است. در ادامه و در قالب یک مثال مراحل محاسباتی و ترسیمی‌لازم برای سیم‌پیچی یک موتور سه فاز یک طبقه مورد بررسی قرار گرفته است.

مثال

یک الکتروموتور سه فاز با استاتور ۳۶ شیار را درنظر بگیرید. اگر بخواهیم این موتور با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه بچرخد، محاسبات و جدول سیم‌پیچی این موتور را به‌صورت یک طبقه با گام کامل بنویسید.

حل: با توجه به اینکه خواسته شده سرعت موتور ۱۵۰۰دور بر دقیقه باشد، بنابراین تعداد قطب آن برابر خواهد بود با:

$$n_s = \frac{۱۲۰f}{۲p} \rightarrow ۲P = \frac{۱۲۰f}{n_s} = \frac{۱۲۰\times۵۰}{۱۵۰۰} = ۴$$

معلومات : $z=۳۶$، $۲P=۴$، $m=۳$ و چون گام کامل است پس $y_p = y_z$

$$y_p = \frac{z}{۲p} = \frac{۳۶}{۴} = ۹ \rightarrow y_p = y_z = ۹$$

$$q = \frac{z}{۲P.m} = \frac{۳۶}{۴\times۳} = ۳$$

$$\alpha_{ez} = \frac{۳۶۰P}{z} = \frac{۳۶۰\times۲}{۳۶} = ۲۰^\circ$$

شماره شیار شروع فاز اول = ۱

$$\text{شماره شیار شروع فاز دوم} = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۲۰} = ۷$$

$$\text{شماره شیار شروع فاز سوم} = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۲۴۰}{۲۰} = ۱۳$$

$$G = \frac{t\times z}{۲q.m} = \frac{۱\times۳۶}{۲\times۳\times۳} = ۲$$

از آنجا که $G=۲$ بنابراین سیم‌بندی به ازای جفت قطب بوده و برای اتصال کلاف‌های موتور باید از اتصال نزدیک (ته به سر) استفاده شود.

با توجه به اینکه در این موتور سه فاز، $q=۳$ و $۲P = ۴$، جدول سیم‌پیچی آن شامل ۴ سطر (به تعداد قطب) و ۳ ستون (به تعداد فازها) خواهد بود. همچنین چون $q = ۳$ است، پس هر ستون نیز خود به ۳ قسمت تقسیم خواهد شد. در ادامه جدول **علمی** و **عملی** به‌ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است.

جدول ۴ـ جدول علمی‌موتور 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	$Y_p = Y_z$ ۱۰	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 ۵ـ جدول عملی 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	$Y_p = Y_z$ ۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
N	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
S	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶

عایق‌کاری 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 عایق‌کاری 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.

جدول۶ـ ضخامت کاغذ برشمان مناسب برای ولتاژهای مختلف

ولتاژ فازی [v]	۰ـ۱۰۰	۱۰۰ـ۲۰۰	۲۰۰ـ۳۰۰	۳۰۰ـ۴۵۰	۴۵۰ـ۶۰۰	۶۰۰ـ۸۰۰	۸۰۰ـ۱۰۰۰
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.

کارعملی

هدف: آماده‌سازی و عایق‌گذاری داخل شیارهای استاتور الکتروموتور سه فاز۲۴ یا ۳۶ شیار

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ـ پوسته موتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۲ـ عایق برشمان ۳ـ کاتر ۴ـ خط‌کش ۵ـ کولیس

مراحل انجام کار:

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

درصورتی‌که 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.

۲ـ 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. (به‌عنوان مثال به‌صورت ساعت‌گرد شماره شیارها را تعیین کنید).



شکل ۲۴ـ شماره‌گذاری شیار شروع

۳ـ 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

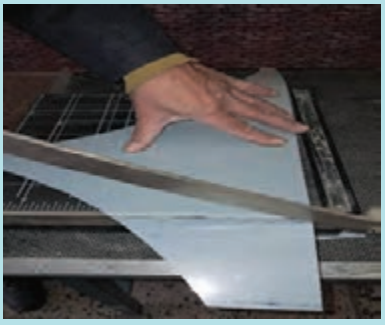
توضیح: در صورتی‌که کولیس در اختیار ندارید می‌توانید از خط‌کش استفاده کنید.



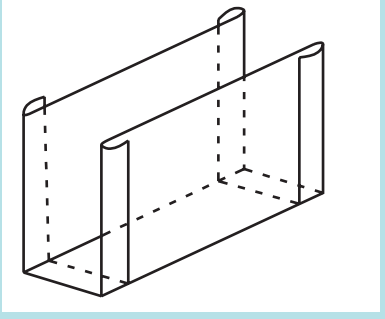
شکل ۲۵ـ اندازه‌گیری طول استاتور

۴ـ ساخت عایق‌های شیار: پس از اندازه‌گیری طول استاتور نوبت به ساخت عایق مناسب جهت قرار دادن در شیارهای استاتور است. طول عایق معمولاً بین۶ تا ۱۰میلی‌متر بیشتر از طول شیار و عرض آن باید مطابق شکل شیار استاتور درست شود. لبه‌های عایق باید از دو طرف شیار مطابق شکل۲۷ به طرف خارج شیار تا زده شود. این کاربرای جلوگیری ازحرکت عایق درون شیار استاتور بوده و باعث افزایش استحکام مکانیکی عایق درآن قسمت می‌شود.

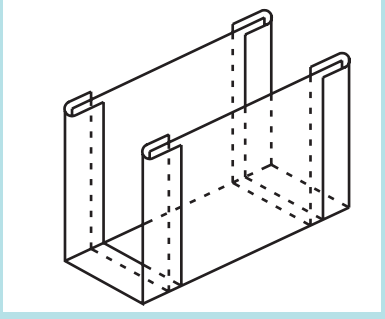




شکل ۲۶ـ اندازه‌گیری و برش عایق موجود در کارگاه



(الف)



(ب)

شکل ۲۷ـ 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 ۲۸ـ عایق آماده شده



شکل ۲۹ـ قراردادن عایق آماده شده داخل شیار

۵ـ 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 صورتی‌که 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 کلاف‌پیچ قرار داده و دو بازوی کلاف پیچ را تنظیم می‌کنیم تا سیم به حالت کاملاً کشیده باشد.



شکل ۳۰ـ اندازه‌گیری تجربی محیط کلاف



شکل ۳۱ـ تنظیم کلاف پیچ

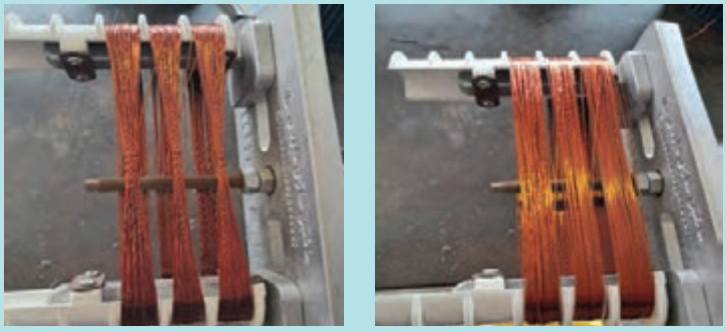
۶ـ پیچیدن و آماده کردن گروه کلاف‌ها: با توجه به مقدار q و تعداد دور تعیین شده توسط مربی برای هر کلاف، شروع به پیچیدن کلاف‌ها کنید. در این مثال، $q=3$ است، بنابراین سه کلاف پیوسته با تعداد دور و قطر سیم که مربی تعیین کرده است را روی کلاف پیچ بپیچید. (به‌عنوان مثال ۵۰ دور سیم لاکی با قطر ۰/۵ میلی‌متر)

همان‌گونه‌که در جدول علمی‌یا 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.

پژوهش کنید

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.

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.

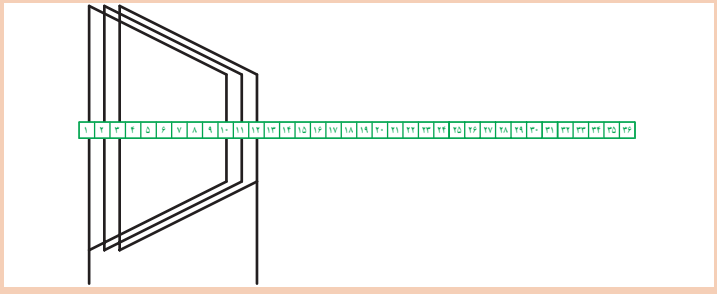


شکل ۳۲ـ آماده‌سازی کلاف‌ها

مثال

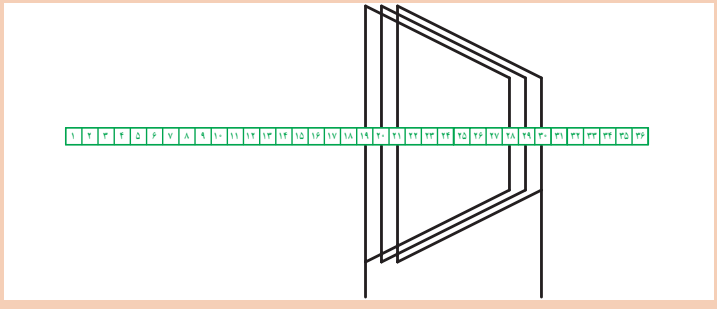
الکتروموتور سه فاز با استاتور ۳۶ شیار ۴ قطب مثال ۱ را درنظر گرفته و دیاگرام گسترده آن را به‌صورت مرحله به مرحله برای هر فاز رسم کنید.

حل: برای رسم دیاگرام موتور موردنظر کافیست کمی به جدول سیم‌پیچی دقت کرده و براساس مقادیر به‌دست آمده برای y_p ،y_z ،q 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 به‌صورت (۱ به ۱۰، ۲ به ۱۱ و ۳ به ۱۲) باید ترسیم شوند.



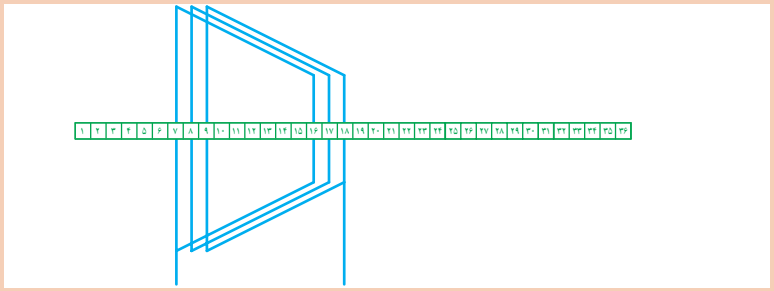
شکل ۳۳ـ گروه کلاف اول از فاز اول

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



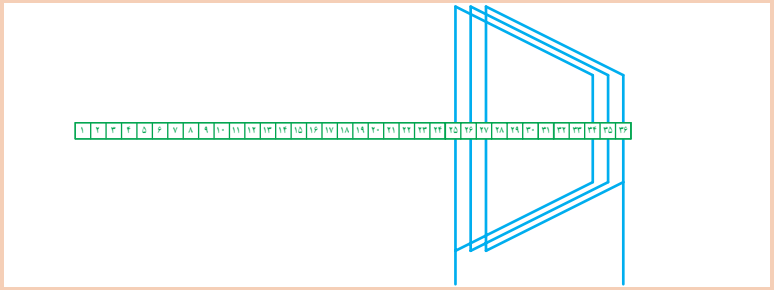
شکل ۳۴ـ گروه کلاف دوم از فاز اول

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



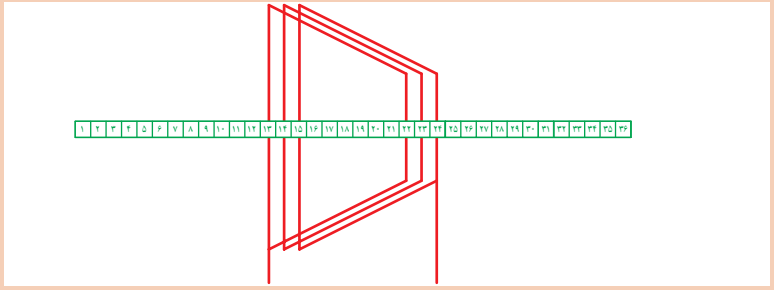
شکل ۳۵ـ گروه کلاف اول از فاز دوم

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



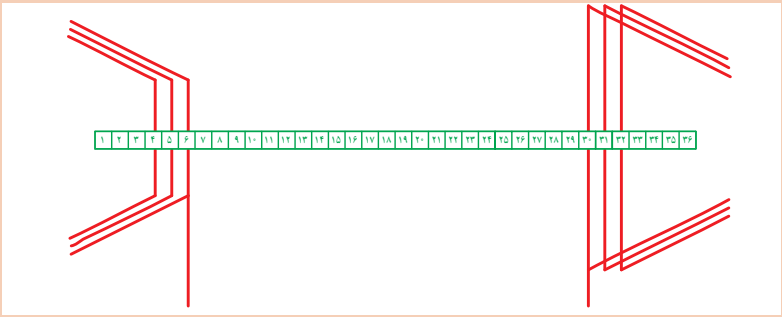
شکل ۳۶ـ گروه کلاف دوم از فاز دوم

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



شکل ۳۷ـ گروه کلاف اول از فاز سوم

در خاتمه نیز مشابه شکل ۳۸ **پیچک‌های گروه کلاف دوم مربوط به فاز سوم** در شیارهای مربوطه به‌صورت (۳۱ به ۴، ۳۲ به ۵ و ۳۳ به ۶) ترسیم می‌شوند.



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

با کمی دقت مشخص است که شیارهای ۱ و ۳۰ به‌ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز اول (U1 و U2)، شیارهای ۷ و ۳۶ به‌ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز دوم (V1 و V2) و شیارهای ۱۳ و ۶ به‌ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز سوم (W1 و W2) هستند.

نکته

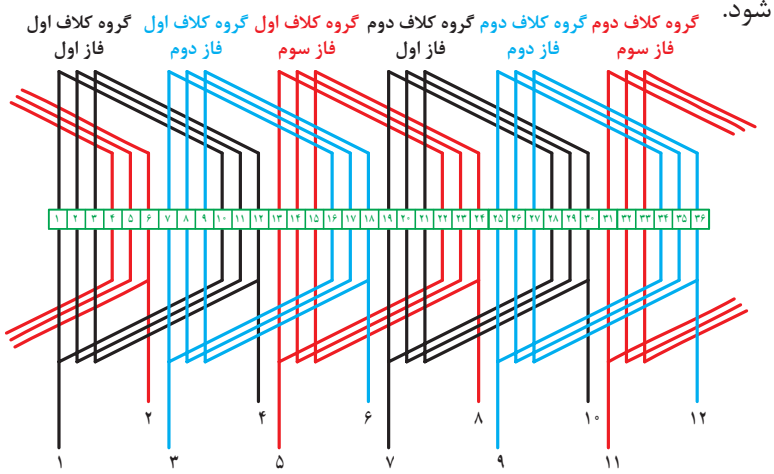
توصیه می‌شود در حین اجرای کار عملی شماره شیار ابتدا و انتهای سیم‌پیچی‌های سه فاز موتور را با برچسب یا نوارچسب کاغذی مشخص کنید.

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.

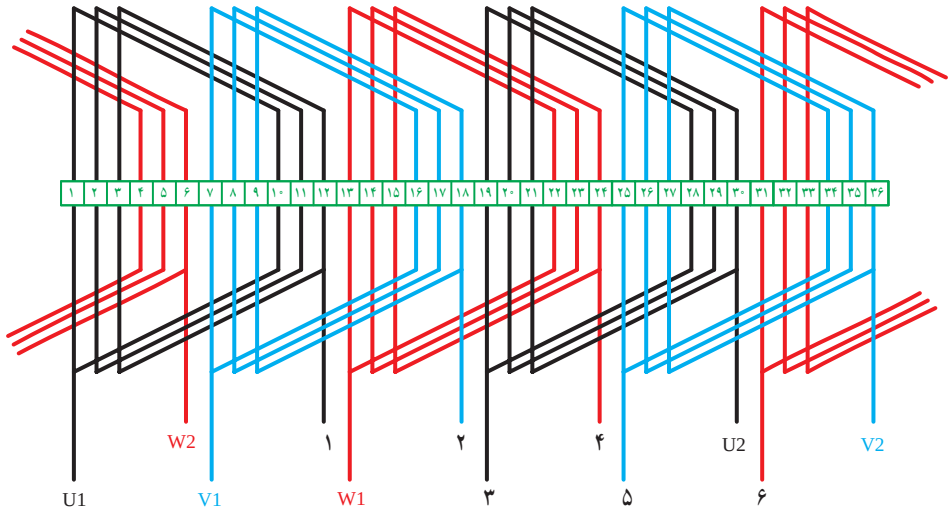


شکل ۳۹ـ ۱۲ سر سیم خارج شده از شیارهای مختلف

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

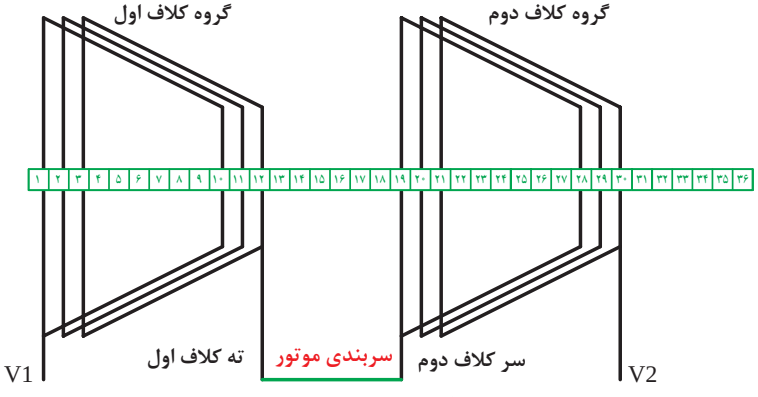
۱ و ۳۰ که ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز اول (U1 و U2)، ۷ و ۳۶ به‌ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز دوم (V1 و V2) و ۱۳ و ۶ به‌ترتیب ابتدا و انتهای سیم‌پیچی فاز سوم (W1 و W2) هستند که در انتهای کار سیم‌پیچی به تخته کلم موتور هدایت خواهند شد.

مطابق دیاگرام نشان داده شده در شکل ۴۰ شش سرسیم دیگر که از شیارهای شماره ۱۲و 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.

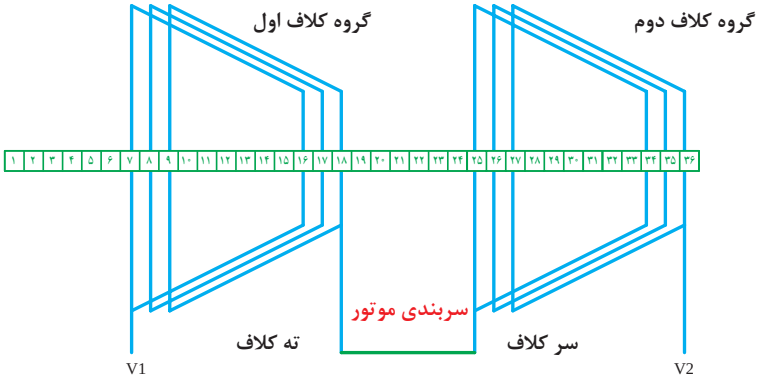


شکل ۴۰ـ شش سر باقی‌مانده بعد از اتصال سر سیم‌های افشان به سر و ته کلاف

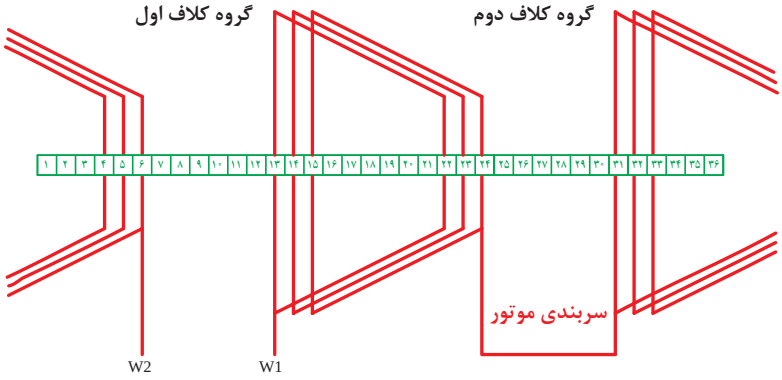
چون براساس محاسبات مقدار G=P=۲ به‌دست آمده است پس اتصال سربندی موتور از نوع اتصال نزدیک (ته به سر) است. در شکل ۴۱ نحوه سربندی گروه کلاف‌های فاز اول نشان داده شده است.



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

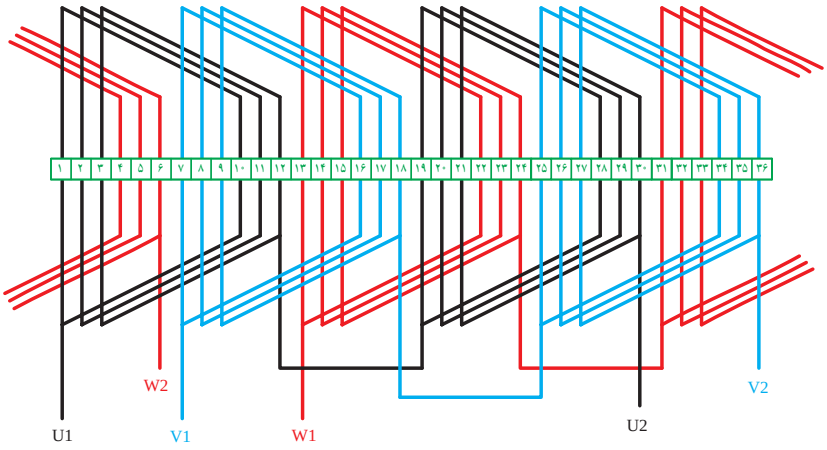


شکل ۴۲ـ نحوه سربندی گروه کلاف‌های فاز دوم (اتصال نزدیک)



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

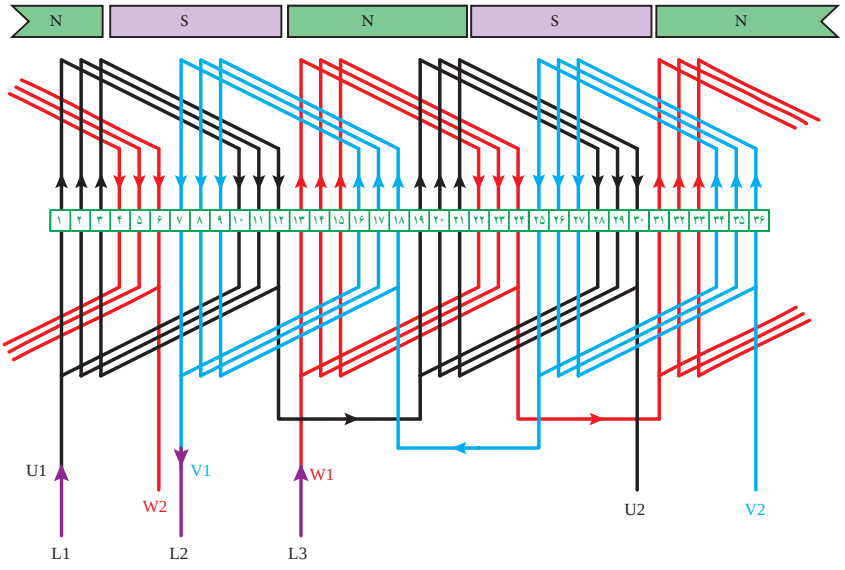
شکل ۴۴ سربندی‌های لازم بین گروه کلاف‌های سه فاز و همچنین سر و ته کلاف‌های سیم‌پیچی‌های سه فاز را نشان می‌دهد.



شکل ۴۴ـ 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 کافیست فازها در یکی از موقعیت‌های مکانی درنظر 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 به‌همراه قطب‌سازی در شیارهای آن برای موقعیت ۳۰ درجه مشاهده می‌کنید.



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

کارعملی

هدف: کلاف‌گذاری، سربندی الکتروموتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب به‌صورت یک طبقه

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ـ پوسته ۳۶ شیار ۲ـ کلاف‌پیچ ۳ـ سیم لاکی سایز ۰/۵ ۴ـ عایق برشمان ۵ـ کاتر ۶ـ خط‌کش ۷ـ کولیس ۸ـ نخ ۹ـ هویه، سیم لحیم و روغن لحیم‌کاری ۱۰ـ سیم افشان سایز ۱ میلی‌مترمربع ۱۱ـ 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 به‌صورت زیر دنبال می‌کنیم:

۱ـ 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.





شکل ۴۶ـ 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 به‌درستی 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 به‌ترتیب نحوه جا زدن کلاف به شکل صحیح و همچنین نحوه نادرست جازدن نشان داده شده است.



شکل ۴۷ـ نحوه صحیح جازدن کلاف

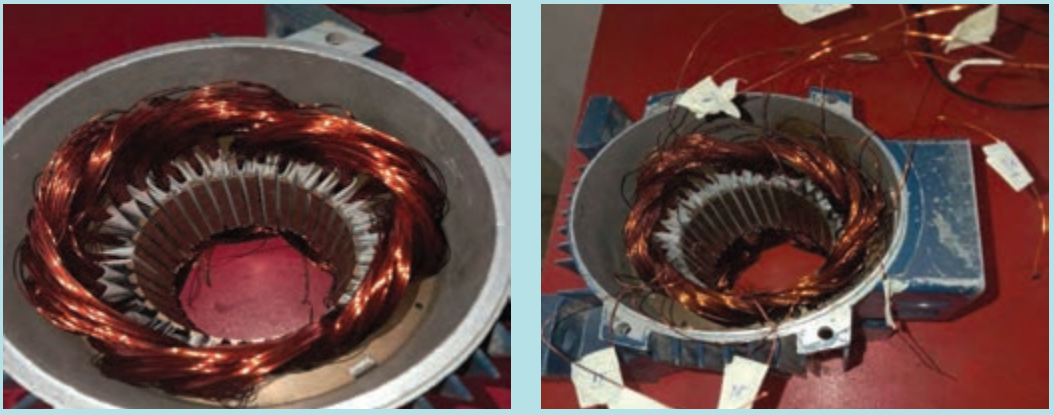


شکل ۴۸ـ نحوه نادرست کلاف‌گذاری

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.



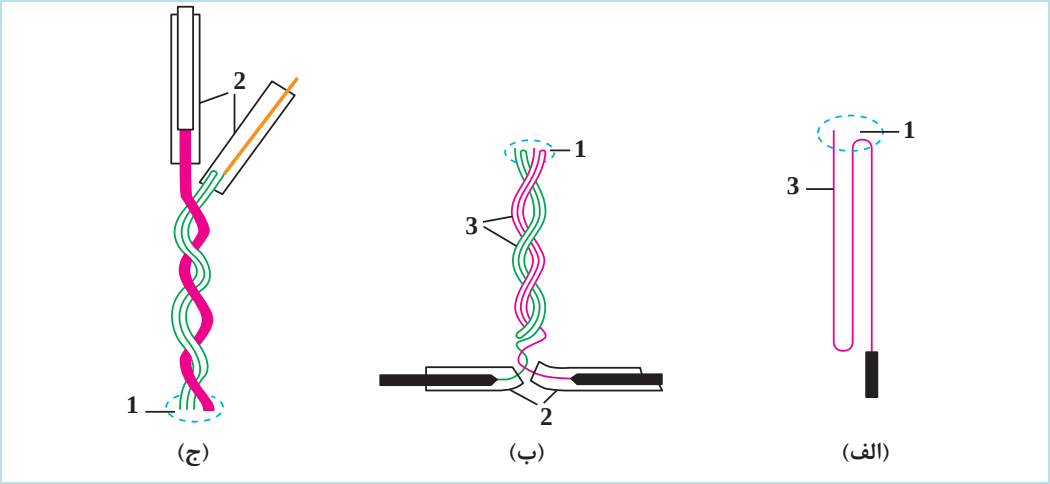
شکل ۴۹ـ کلاف‌های آماده و جا زده شده در شیارها



شکل ۵۰ـ جای گذاری تمام کلاف‌ها

۲ـ لحیم‌کاری اتصالات داخلی (سربندی موتور): برای اتصال دو سیم لاکی یا سیم لاکی به سیم افشان می‌بایست از لحیم‌کاری جهت استحکام بیشتر استفاده نمود. در لحیم‌کاری 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 لحیم‌کاری ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد استفاده نمود.
در صورتی‌که قطر هریک از سیم‌ها از یک میلی‌متر کمتر باشد، باید سیم‌ها را با خم کردن مجدد، آن چنان

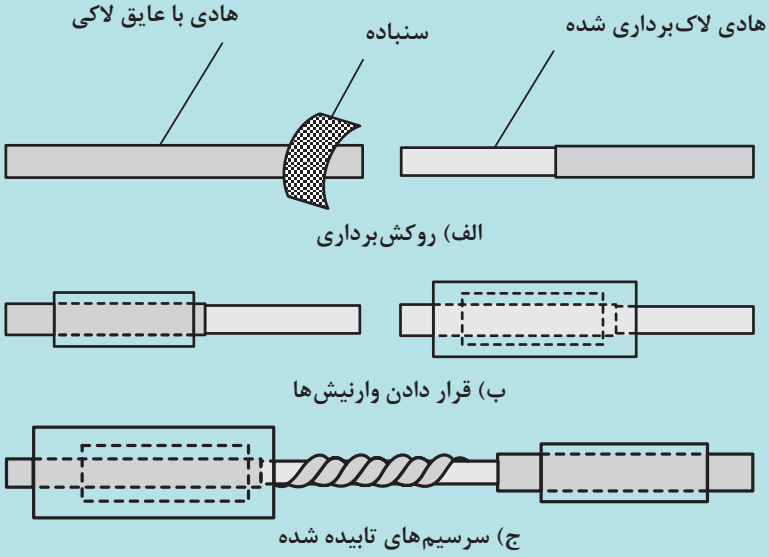
پهلوی هم قرار داد که سطح جوشکاری از ۰/۷۵ میلی‌مترمربع کمتر نباشد. در سیم‌های با قطر کمتر از یک میلی‌متر مطابق شکل زیر محل جوش را چند بار خم نموده و در محل تاخورده به یکدیگر می‌تابانیم و سپس سر آنها را جوش می‌دهیم.

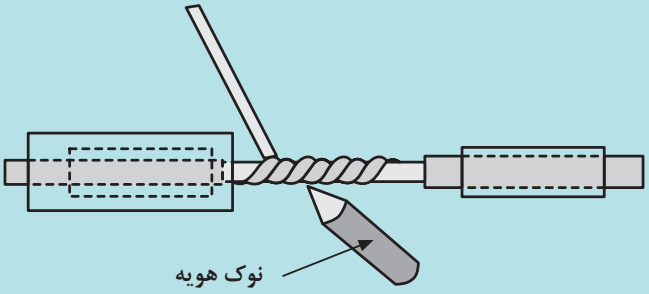


شکل ۵۱ـ چگونگی اتصال سیم‌ها با قطر کمتر از یک میلی‌متر

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 به‌ترتیب مراحل آورده شده است.





د) لحیم‌کاری قسمت تابیده شده



هـ) پوشش محل لحیم‌کاری شده با وارنیش

شکل ۵۲ـ نحوه وارنیش‌گذاری

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

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

ـ با توجه به توضیحات داده شده با انجام لحیم‌کاری مانند شکل ۵۴ اتصالات لازم را انجام داده و ۶ سیم مربوط به (سر و ته) کلاف‌های موتور را به تخته کلم موتور هدایت کرده و زیر پیچ‌های مربوطه اتصال دهید.

در ادامه باید ۶ سیم خارج شده از شیارهای موتور را طبق مطالبی که آموزش آن داده شد با یکدیگر به‌صورت 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



شکل ۵۳ـ لاک‌برداری سیم لاکی



شکل ۵۴ـ لحیم‌کاری سر سیم‌های موتور

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



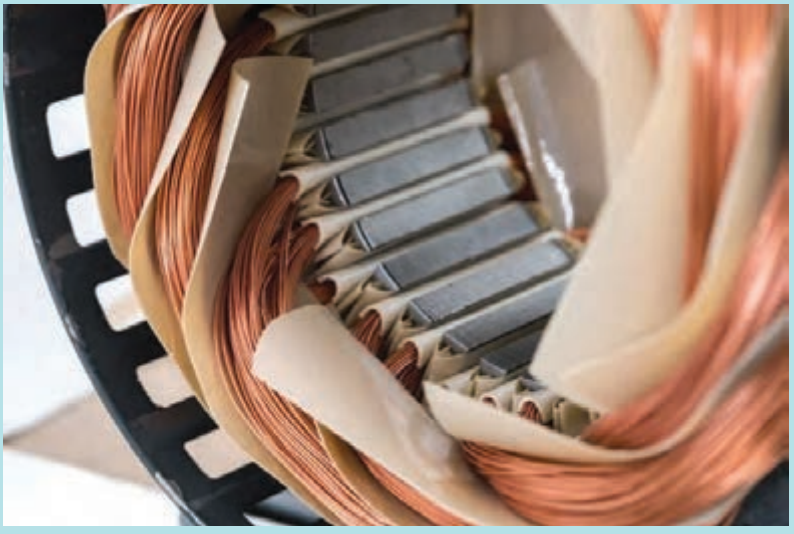
شکل ۵۵ـ سربندی (اتصال) کلاف‌های موتور



شکل ۵۶ـ لحیم‌کاری اتصالات کلاف‌های موتور

۳ـ هدایت سر سیم‌های موتور به تخته کِلِم: سرکلاف‌های U1، V1 و W1 سه فاز موتورکه 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.

۴ـ 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 ۵۷ـ عایق‌گذاری بین پیشانی کلاف فازهای مختلف

خودآزمایی

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 شیاری 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 عایق‌کاری و جا زدن کلاف‌های موتور سه‌فاز یک طبقه

نام و نام خانوادگی				شماره ملی		تاریخ ارزشیابی		نوبت
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه	تعمیرکاران برق صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۳	استاندارد عملکرد کار: شناسایی اجزا، کلاف گذاری و سربندی موتورهای سه فاز یک طبقه گام کامل		
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳			
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۳۱	کار	عایق‌کاری 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/نمره‌دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	آماده‌سازی و عایق‌گذاری داخل شیارهای استاتور	در کارگاه سیم‌پیچی توسط استاتور، عایق، خط‌کش، قیچی و درمدت تقریبی ۹۰ دقیقه	مشاهده مستقیم، چک‌لیست مراحل کار، بررسی کیفیت عایق‌گذاری، پرسش شفاهی درباره اصول عایق‌کاری و ایمنی	فرم دهی عایق متناسب با نوع شیار	۳	
				نصب عایق در استاتور	۲	
				برش عایق	۱	
۲	کلاف پیچی بوبین ها	در کارگاه سیم‌پیچی با استفاده از کلاف پیچ، سیم لاکی، 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 بوبین ها	۱	
۳	جازدن کلاف ها	در کارگاه سیم‌پیچی استاتور، کلاف‌های سیم لاکی، وارنیش، سیم افشان، اهم متر، هویه وقلع، جعبه ابزار سیم‌کشی در مدت ۱۵۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل کار، بررسی صحت کلاف‌گذاری و سربندی	جازدن کلاف‌ها و عایق کاری وفرم‌دهی	۳	
				جازدن کلاف‌ها و عایق کاری	۲	
				جازدن کلاف‌ها	۱	
۴	اتصال سر سیم‌ها به ترمینال وتست‌الکتریکی	در کارگاه سیم‌پیچی و با استاتور، سیم لاکی، 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 وتست 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:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از جازدن کلاف ها و اتصال سرسیم‌ها به ترمینال و تست الکتریکی (مراحل بحرانی)

ـ کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی،بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲ـ 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.

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

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

واحد یادگیری ۲

راه‌اندازی و آزمایش موتورهای سه فاز یک طبقه

آیا می‌دانید

۱ پلاک روی موتور چه اطلاعاتی به ما می‌دهد؟
۲ نواربندی موتور چگونه انجام می‌شود؟
۳ روتور چگونه در محل خود قرار می‌گیرد؟
۴ استانداردهای نام‌گذاری سرهای موتور روی تخته کِلِم چیست؟
۵ اتصالات ستاره و مثلث سیم‌پیچی‌های موتور چگونه بوده و چه تفاوت‌هایی دارد؟
۶ در راه‌اندازی موتور القایی سه فاز به چه نکاتی باید توجه کرد؟
۷ روش‌های قرائت جریان موتور چگونه است؟
۸ عیوب الکتریکی موتور سه فاز چطور شناسایی و رفع می‌شوند؟

استاندارد عملکرد

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

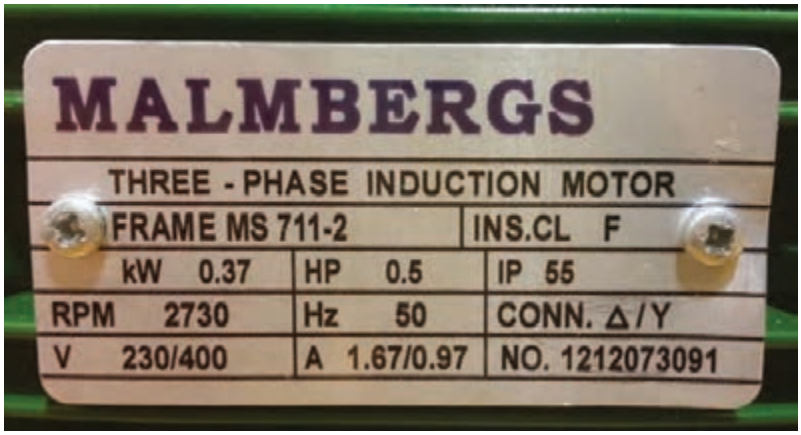


مقدمه

آشنایی با ساختار، مشخصات نامی و نحوه بهره‌برداری صحیح از این موتورها، یکی از مهارت‌های کلیدی برای هنرجویان رشته برق محسوب می‌شود. در این واحد یادگیری، ابتدا به بررسی اطلاعات درج شده بر روی پلاک موتور به‌عنوان شناسنامه فنی پرداخته می‌شود تا هنرجو بتواند پارامترهای مهمی مانند ولتاژ، جریان، توان، فرکانس، سرعت و نوع اتصال را به‌درستی 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 ۵۸ــ پلاک یک موتور القایی سه فاز

در شکل ۵۸ توان موتور نیم اسب بخار، با سرعت ۲۷۳۰ دور بر دقیقه و فرکانس ۵۰ هرتز است. ولتاژ کاری موتور در دو حالت فازی (۲۳۰ ولت) و خطی (۴۰۰ ولت) بوده نوع اتصال آن ستاره/ مثلث است.
اطلاعات زیر توسط سازندگان موتور روی پلاک موتورها ثبت می‌شود.

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

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

۳ـ توان نامی: توان نامی یک موتور، میزان توانی است که موتور در شرایط کار نامی‌خود 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.
۴ـ نوع کار: این مشخصه با علائم S۱ تا S۱۰ نشان داده می‌شود که هرکدام 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.
۵ـ 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 موتورها، کلاس F،B و H است که به‌ترتیب می‌توانند دماهای ۱۳۰، ۱۵۵ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل کنند. این دماها به ازای دمای محیط ۴۰ درجه سانتی‌گراد داده شده‌اند.
۶ـ ولتاژ نامی: ولتاژ نامی‌در واقع ولتاژی است که موتور برای کار در آن ولتاژ طراحی شده است. در بازار، معمولاً موتورها برای ولتاژهای نامی‌مختلف وجود دارند که این مقادیر استاندارد شده هستند و مقادیر خارج از استاندارد برای ولتاژ نامی وجود ندارد.
۷ـ فرکانس نامی: فرکانس ولتاژی که به موتور اعمال می‌شود. بر روی سرعت موتور و تلفات موتور تأثیر به‌سزایی دارد. معمولاً موتورها یک فرکانس نامی دارند که در این فرکانس موتور می‌تواند به سرعت نامی‌خود برسد.
۸ـ 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.
۹ـ سرعت نامی: سرعتی است که موتور برای کار در این طراحی شده است. سرعت نامی‌یک موتور معمولاً برحسب دور در دقیقه و یا rpm بیان می‌شود. علاوه بر سرعت نامی، سرعت سنکرون موتور نیز بر روی پلاک آن ذکر می‌شود.
۱۰ـ 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 نامی‌یعنی بار، ولتاژ و فرکانس نامی، ارائه می‌کنند.
۱۱ـ نوع محافظت: این مشخصه توسط حروف IP و دو عدد که به‌دنبال 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 درجهٔ حفاظتی IP68 باشند.
۱۲ـ نوع یا کلاس قفس روتور: این مشخصه را با حروف انگلیسی C،B،A و یا D نشان می‌دهند. هرکدام از این نوع ماشین‌ها دارای مشخصه سرعت ـ گشتاور متفاوتی هستند.

به‌عنوان مثال موتور با تیپ D دارای گشتاور راه‌اندازی زیاد و جریان راه‌اندازی کم است. همچنین در شرایط کار عادی، سرعت آن فاصلهٔ زیادی تا سرعت سنکرون موتور دارد.

۱۳ـ ضریب خدمات یا ضریب کارکرد: این مشخصه بیانگر میزان اضافه باری است که موتور می‌تواند در شرایط کاری طولانی مدت تحمل کند. مثلاً اگر ضریب خدمات برابر با ۱/۱۵ باشد یعنی، موتور می‌تواند باری به اندازه ۱/۱۵ برابر بار نامی‌خود را تحمل کند.

۱۴ـ حداکثر دمای محیط: حداکثر دمایی است که موتور در آن محیط می‌تواند در شرایط بار نامی‌خود کار کند بدون اینکه به عایق موتور آسیبی وارد شود. این دما معمولاً برحسب سانتی‌گراد بیان می‌شود.

۱۵ـ بازده: بازده یک موتور برحسب تعریف، نسبت توانی است که موتور به بار می‌دهد، به توانی که موتور از شبکه می‌گیرد. در بسیاری از موارد بازده موتور در شرایط کار نامی‌نیز روی پلاک موتور ذکر می‌شود.

۱۶ـ نوع اتصال سیم‌پیچی استاتور: در موتورهای القایی سه فاز ممکن است سیم‌پیچی‌های استاتور در داخل موتور توسط سازنده به‌صورت ستاره یا مثلث بسته شده باشند. در این حالت نوع اتصال بر روی پلاک موتور ذکر می‌شود.

همچنین ممکن است سازنده، امکان دسترسی به تمامی‌سرهای سیم‌پیچ‌های استاتور را به مصرف کننده داده باشد تا بتواند موتور را به دلخواه خود، ستاره یا مثلث ببندد.

پژوهش کنید

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

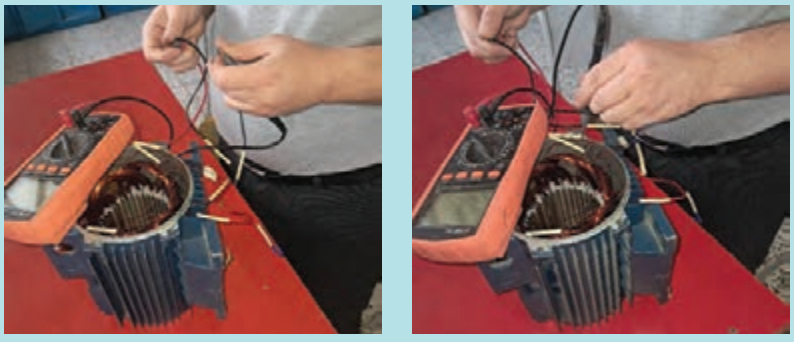
در واحد یادگیری قبل نحوه ساخت عایق، تنظیم کلاف‌پیچ، کلاف‌گذاری و سربندی موتورهای القایی سه فاز بیان شد. در این واحد یادگیری نواربندی، نحوه سوار کردن و راه‌اندازی موتور القایی شرح داده می‌شود.

کار عملی

هدف: تست مقاومتی سیم‌پیچی، اتصال بدنه و نواربندی (نخ‌پیچی) سیم‌پیچی

مواد، ابزار و تجهیزات موردنیاز: ۱ـ پوسته ۳۶ شیار سیم‌پیچی شده در کار عملی ۲ ۲-روتور ۳ـ درپوش موتور ۴ـ چکش لاستیکی

۱ـ اندازه‌گیری مقاومت اهمی‌و اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها: به کمک یک اهم‌متر و راهنمایی مربی خود سیم‌پیچی‌های موتور را از نظر سالم بودن سربندی گروه کلاف‌های سه فاز و همچنین نداشتن اتصال بدنه مورد بررسی قرار دهید.



شکل ۵۹ـ تست بدنه و تست صحت سر و ته کلاف‌ها

نکته مهم

در پایان کار لحیم‌کاری با راهنمایی مربی خود و استفاده از قسمت اهم‌متری یک دستگاه مولتی‌متر سر و ته کلاف‌های 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 اهم‌متر به سروته کلاف‌های هر فاز می‌بایست کمترین مقاومت مشاهده شود و در ضمن سر یا ته کلاف‌های هر فاز با فاز دیگر هیچ‌گونه ارتباطی نداشته باشند (مقاومت بی‌نهایت نشان داده شود)

۲ برای تشخیص اینکه سیم‌پیچی انجام شده با بدنه موتور هیچ ارتباطی ندارد (عدم اتصال بدنه) می‌بایست یک سر سیم اهم‌متر به بدنه موتور اتصال داده و سر دیگر اهم‌متر به تک‌تک سرسیم‌های موتور اتصال داده شود. در صورت عدم وجود اتصال بین بدنه و سیم‌پیچی موتور، اهم‌متر مقاومت بی‌نهایت را نشان خواهد داد.

۲ـ نواربندی (نخ‌پیچی) موتور: برای محکم شدن سیم‌های داخل موتور و نظم گرفتن آنها، عملیات نخ‌بندی باید انجام شود. برای نخ‌بندی از نخ‌ها و یا نوارهای کنفی موجود در کارگاه استفاده می‌شود. با راهنمایی مربی خود و یک تکه سیم لاکی با قطر بالا (مثلاً ۰/۷ میلی‌متر) یک سوزن درست کرده و کار نخ‌بندی را مطابق تصاویر نشان داده شده شکل زیر و نظارت مربی کارگاه انجام دهید.

دقت کنید برای بهتر شدن فرایند نخ‌بندی، وارنیش‌های دور اتصالات زیر نخ به‌طور محکم قرارداده 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 به‌عنوان عایق بین کلاف‌ها استفاده کنید.



شکل ۶۰ـ نواربندی

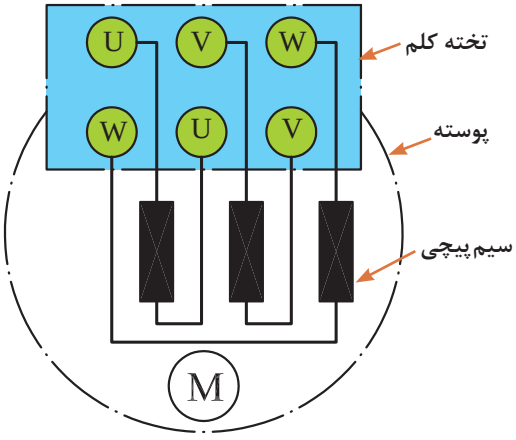




شکل ۶۱ـ استاتور پس از سربندی و نواربندی

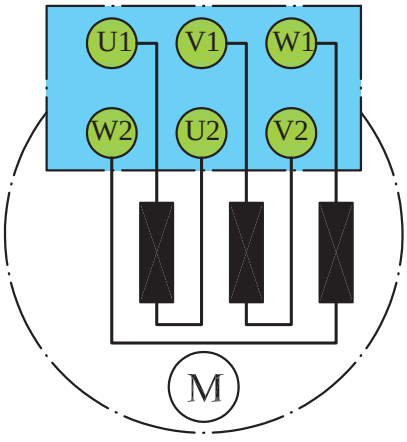
اتصال کلاف‌های موتور

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 به‌ترتیب از حروف U، V و W و برای نمایش ته کلاف‌ها به‌ترتیب از X ،Y و Z استفاده می‌شد. در شکل ۶۲ شمای حقیقی یک موتور سه فاز در استاندارد VDE را مشاهده می کنید.



شکل ۶۲ـ شمای حقیقی موتور سه فاز در استاندارد VDE

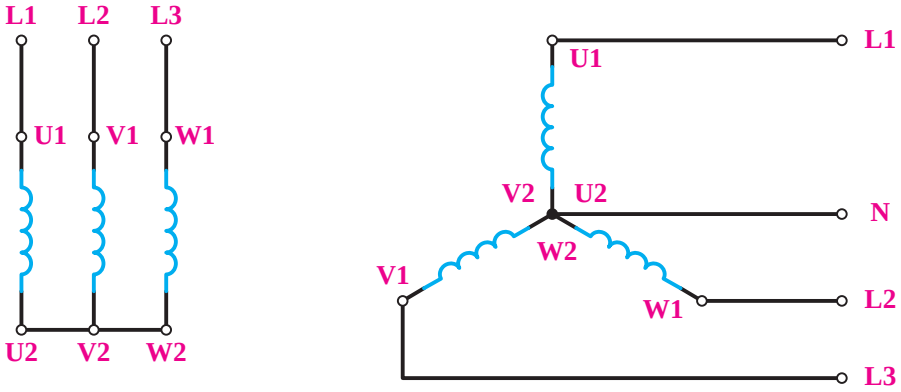
در استاندارد IEC برای نشان دادن سر کلاف‌ها به‌ترتیب از کلاف اول تا سوم از حروف (U1، V1 و W1) و برای نمایش ته کلاف‌ها به‌ترتیب از (U2، V2 و W2) استفاده می‌شود. در شکل ۶۳ چیدمان تخته کلم با توجه به استاندارد IEC نشان داده شده است.



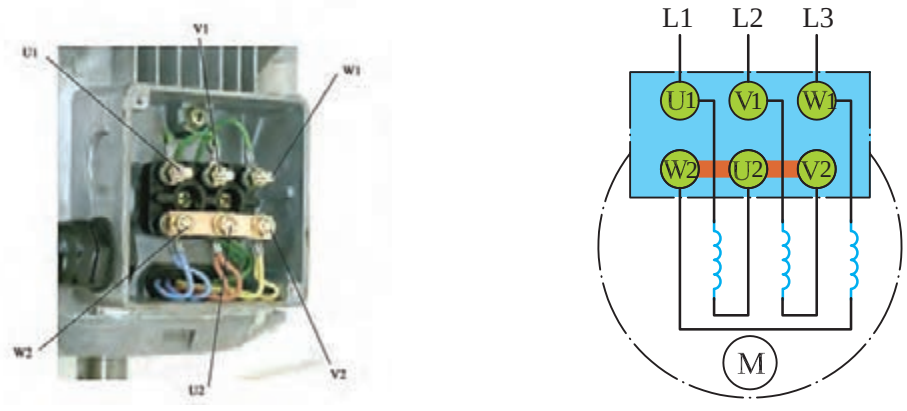
شکل ۶۳ـ شمای حقیقی موتور سه فاز در استاندارد IEC

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

۱ـ اتصال ستاره: هرگاه به ابتدای سیم‌پیچ‌های موتور (سر کلاف‌های U1، V1 و W1) به‌ترتیب 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 به‌صورت مداری و در شکل ۶۵ نحوه اتصال روی تخته کِلِم موتور نشان داده شده است.

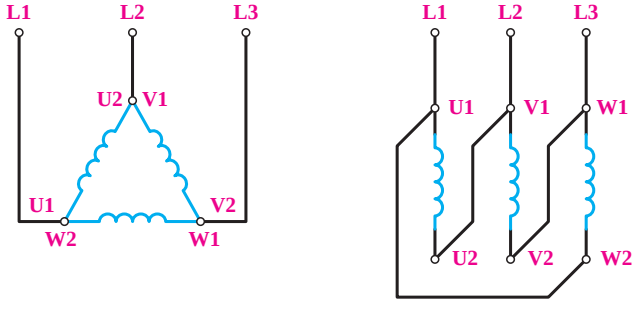


۶۴ـ شکل مداری اتصال ستاره

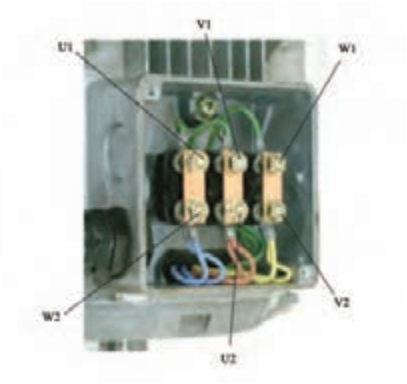


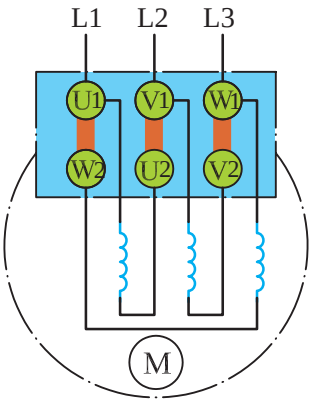
شکل ۶۵ـ اتصال ستاره روی تخته کلم موتور

۲ـ 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 به‌صورت مداری و در شکل ۶۷ نحوه اتصال روی تخته کلم موتور نشان داده شده است.



شکل ۶۶ـ شکل مداری اتصال مثلث





شکل ۶۷ـ اتصال مثلث روی تخته کلم موتور

کارعملی

هدف: سوار کردن روتور و راه‌اندازی موتور

مواد، ابزار و تجهیزات موردنیاز: ۱ـ پوسته ۲۴ یا ۳۶ شیار ۲ـ روتور ۳ـ درپوش موتور ۴ـ چکش لاستیکی

مراحل انجام کار:

سوار کردن روتور و بستن درپوش‌های موتور:



شکل ۶۸ـ جا زدن روتور

■ 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).

(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 به‌آرامی به دو طرف ضربه زده تا درپوش در جای خود قرار گیرد. دقت کنید تا به پروانه و درپوش آسیب وارد نشود (شکل ۶۹).



شکل ۶۹ـ سوار کردن روتور

■ 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.

تذکر

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

۱ـ تشخیص گیر مکانیکی با چرخاندن محور

■ محور روتور را با دست بچرخانید. درصورتی‌که 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.



شکل ۷۰ـ تشخیص گیر مکانیکی با چرخاندن محور

۲ـ ایجاد اتصال ستاره روی تخته کِلِم:

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

۳ـ اتصال سیم‌پیچی به تابلوی برق و راه‌اندازی موتور:

■ موتور را روی میز آزمایش قرار داده و سه آمپرمتر 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_{start} (L1) = ... I_{start} (L2) = ... I_{start} (L3) = ...

تحقیق‌کنید

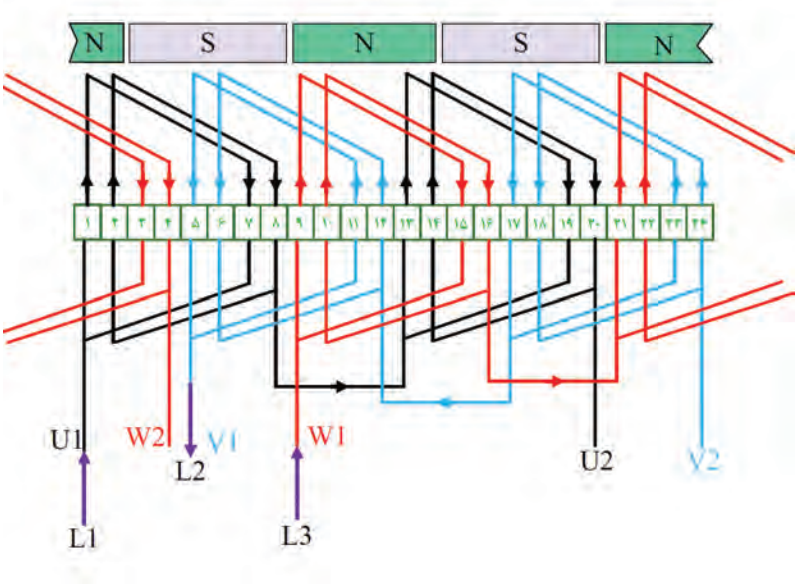
۱ در صورت وجود اختلاف بین جریان‌های سه فاز با یکدیگر علت را بررسی نموده و در دفتر گزارش کار خود بنویسید.

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

I_L (L1)=..... I_L (L2) = ... I_L (L3) = ...

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 شیار۴ قطب یک طبقه در شکل ۷۱ نشان داده شده است.



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

تذکر

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.

توضیح: تا اینجا کار سیم‌پیچی یک موتور سه فاز تک طبقه گام کامل به پایان رسید. این کار به‌صورت یک کار آموزشی است. در صورتی‌که قرار باشد این موتور در شرایط واقعی کار کند، علاوه بر تغییراتی در تعداد دور و قطر سیم متناسب با توان موردنیاز، 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:

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

۲ـ 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 موتورها تمیز و گردوغبار آن توسط پمپ باد یا جاروبرقی برطرف شود. در انجام این کار باید نهایت دقت را به‌کار برد تا سیم‌های لاکی و عایق‌ها آسیب نبینند.

۳ـ 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.

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

■ شناسایی عیوب الکتریکی و برطرف نمودن آن:

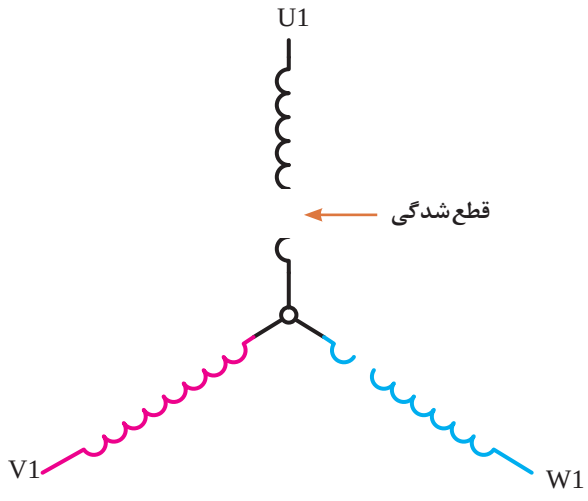
عیب‌های الکتریکی در سیم‌پیچ‌ها که وظیفه انتقال جریان و ایجاد شار دارند، اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی ممکن است سیم‌پیچ‌ها دچار ۱ـ قطعی ۲ـ اتصال کوتاه ۳ـ اتصال بدنه شوند.

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 آمپرمتر در مسیر هر فاز برای مدت کوتاه به ولتاژ نامی‌وصل می‌کنیم. چند حالت ممکن است رخ دهد:

۱ـ آمپرمترها 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.

۲ـ 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 آمپرمتر جریانی نشان نمی‌دهد قطع‌شدگی اتفاق افتاده است.



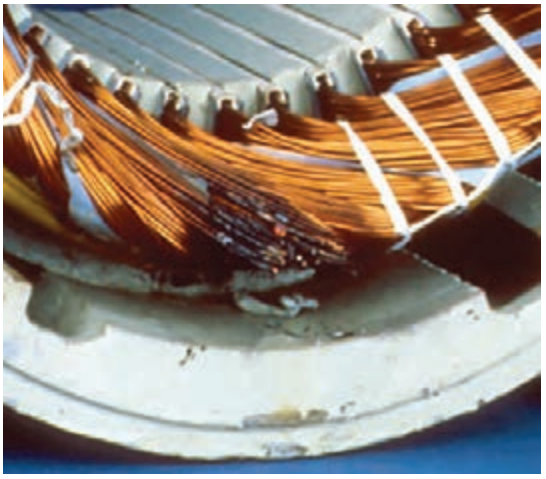
شکل ۷۲ـ قطع‌شدگی در سیم‌پیچ‌های موتور

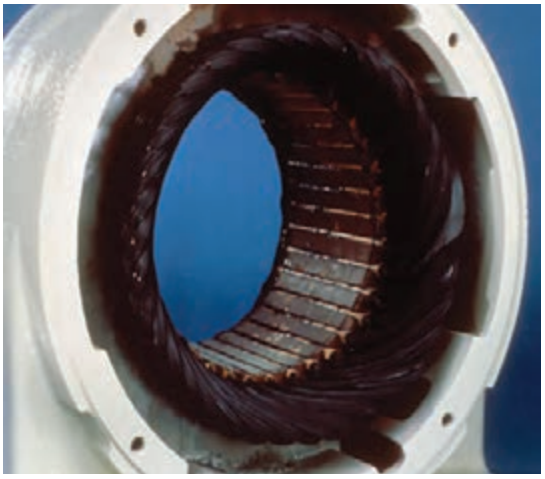
۳ـ موتور می‌چرخد اما به سرعت نامی نمی‌رسد: در این وضعیت احتمالاً اتصال کوتاه کلاف‌ها یا اتصال بدنه رخ داده است. ابتدا اتصال بدنه توسط مِگر بررسی می‌شود. در صورت عدم وجود اتصال بدنه، باید کلاف‌های مختلط فازها را با یکدیگر مورد بررسی قرار داد. در شرایط عادی مقاومت هر سه کلاف تقریباً با یکدیگر برابر است.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

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

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

۶ـ 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 ۷۳ـ سیم‌پیچ‌های سوخته به‌طور جزئی و کامل

در جدول ۷ عیب‌های الکتریکی به اختصار بیان شده است.

جدول ۷ـ 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 برق‌دار شدن بدنه	تماس سیم‌پیچی 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 بی‌متال	بار بیش از ظرفیت موتور	اضافه‌بار	کاهش بار
۷	بوی شدید سوختگی	خرابی کامل عایق	سوختن سیم‌پیچی	سیم‌پیچی مجدد
۸	لرزش و کاهش توان	شکستگی میله‌ها	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 مگااهم‌متر
۱۱	جریان غیرعادی	اشتباه در ستاره/ مثلث	اتصال نادرست	اصلاح اتصال
۱۲	تغییر سرعت	اختلاف فرکانس	فرکانس نامناسب	تنظیم فرکانس

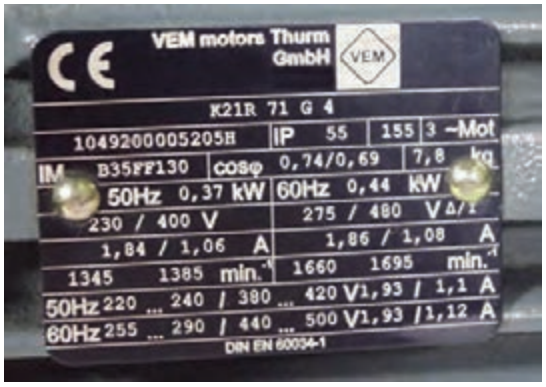
خودآزمایی

۱ اتصال ستاره موتورهای الکتریکی را با رسم شکل به‌طور کامل توضیح دهید.

۲ اتصال مثلث موتورهای الکتریکی را با رسم شکل به‌طور کامل توضیح دهید.

۳ اطلاعات پلاک مقابل را استخراج و یادداشت نمایید.

۴ موتوری می‌چرخد اما به سرعت نامی نمی‌رسد، علت بروز عیب و چگونگی رفع آن را توضیح دهید.



شکل ۷۴

ارزشیابی شایستگی راه‌اندازی و آزمایش موتورهای سه فاز یک طبقه

نام و نام خانوادگی				شماره ملی		تاریخ ارزشیابی	
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه	تعمیرکاران برق صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۳	استاندارد عملکرد کار: آماده‌سازی و راه‌اندازی الکتروموتورهای سه فاز یک طبقه گام کامل	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳		
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۳۲	کار	راه‌اندازی و آزمایش موتورهای سه فاز یک طبقه	سطح شایستگی	مهارت		

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	اندازه گیری مقاومت اهمی و اتصال بدنه سیم پیچ ها	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 به‌درستی اندازه‌گیری و ثبت شده، آزمون اتصال بدنه مطابق اصول فنی انجام شده و نتایج به‌درستی تفسیر و گزارش شده است.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل اندازه‌گیری و ثبت نتایج به‌درستی انجام شده، اما در نحوه اندازه‌گیری، ثبت مقادیر یا تفسیر نتایج اشکالات جزئی وجود دارد.	۲	
				اندازه‌گیری‌ها نادرست انجام شده یا ثبت نشده‌اند، آزمون اتصال بدنه به‌درستی اجرا نشده است.	۱	
۲	نوار بندی	در کارگاه سیم‌پیچی با استفاده از نخ نسوز، استاتورسیم‌پیچی شده و جعبه 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 به‌صورت منظم، محکم و مطابق اصول فنی انجام شده، کلاف‌ها به‌خوبی مهار شده‌اند و هیچ‌گونه آسیب به عایق یا سیم‌ها وارد نشده است.	۳	
				بیش از نیمی از نخ‌بندی به‌درستی انجام شده، اما در میزان استحکام، نظم یا پوشش کامل کلاف‌ها اشکالات جزئی وجود دارد که قابل اصلاح است.	۲	
				نخ‌بندی ناقص یا نامناسب انجام شده، کلاف‌ها به‌خوبی مهار نشده‌اند یا به عایق و سیم‌ها آسیب وارد شده و کیفیت کار قابل قبول نیست.	۱	
۳	سوار کردن روتور، بستن در پوش و ایجاد اتصال ستاره	در کارگاه سیم پیچی با جعبه 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 به‌درستی بسته شده‌اند، روتور به‌راحتی و بدون گیرکردگی می‌چرخد و اتصال ستاره مطابق نقشه و اصول فنی به‌درستی اجرا شده است.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل مونتاژ و اتصال ستاره به‌درستی انجام شده است، اما در بستن درپوش‌ها، تنظیم روتور یا اجرای اتصالات اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				مونتاژ موتور یا اتصال ستاره به‌صورت نادرست انجام شده، روتور به‌سختی حرکت می‌کند یا اتصالات دارای خطا هستند و موتور برای بهره‌برداری آماده نیست.	۱	
۴	راه اندازی موتور به‌صورت بی بار، قرائت جریان‌های راه‌اندازی و جریان بی باری	در کارگاه سیم‌پیچی الکتروموتور مونتاژشده، منبع تغذیه سه‌فاز، تابلو و تجهیزات حفاظتی، آمپرمتر، ولت‌متر، کابل‌های اتصال و در زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، بررسی نحوه استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری، ارزیابی مقادیر ثبت‌شده	جریان‌های راه‌اندازی و بی‌باری هر سه فاز به‌درستی اندازه‌گیری و عملکرد موتور عادی و بدون لرزش یا صدای غیرعادی است.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل راه‌اندازی و اندازه‌گیری به‌درستی انجام شده است. موتور صدایی غیرعادی دارد.	۲	
				جریان‌ها متعادل نیست، موتور آمپر می‌کشد.	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:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از مراحل سوار کردن رتور، بستن در پوش و ایجاد اتصال ستاره، راه‌اندازی موتور به‌صورت بی بار و قرائت جریان ها (مراحل بحرانی)

ـ کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی،بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

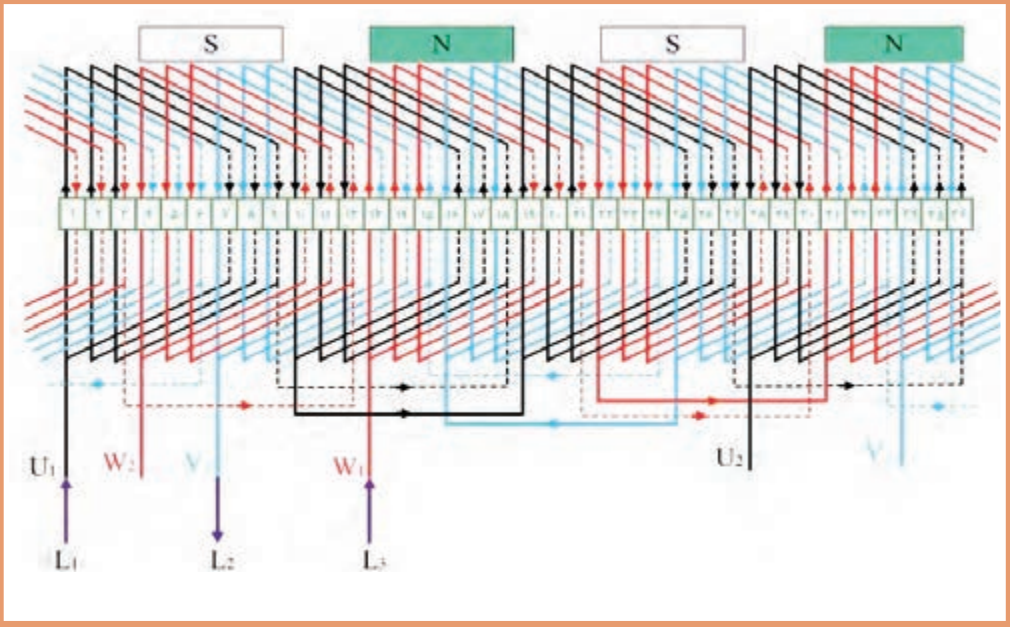
۲ـ تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

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

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

پودمان چهارم

سیم‌پیچی موتورهای سه فاز دوطبقه



واحد یادگیری ۱

سیم‌پیچی موتورهای سه فاز دوطبقه گام کامل

آیا می‌دانید

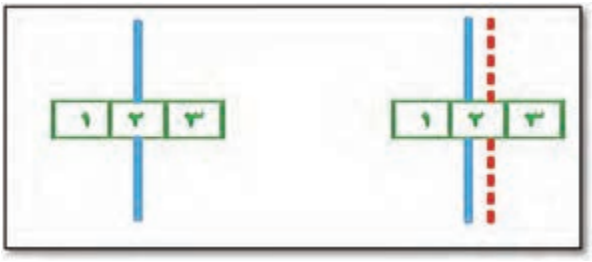
۱ تفاوت موتورهای یک طبقه و دو طبقه در چیست؟
۲ گام کامل در سیم‌پیچی موتورها به چه معناست؟
۳ محاسبات لازم جهت سیم‌پیچی موتور دوطبقه به چه صورت است؟
۴ طراحی دیاگرام گسترده سیم‌پیچی دوطبقه چگونه است؟
۵ جدول سیم‌پیچی دوطبقه چگونه پر می‌شود؟
۶ فرایند کلاف گذاری و سربندی موتورهای دوطبقه چطور انجام می‌شود؟
۷ 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 سیم‌پیچی دوطبقه استفاده می‌شود. در سیم‌پیچی دو طبقه در هر شیار استاتور ۲ بازوی کلاف قرار می‌گیرد. سیم‌پیچی دو طبقه ممکن است به صورت گام کامل یا گام کوتاه (کسری) انجام شود. اگر مقدار گام قطبی (y_p) و گام سیم‌پیچی (y_z) برابر باشد ($y_p=y_z$) گام کامل است. اگر گام قطبی و گام سیم‌پیچی برابر نباشد گام کوتاه خواهد بود. در سیم‌پیچی دوطبقه با گام کامل، دوبازوی کلاف درون یک شیار، حتماً مربوط به یک فاز هستند ولی در سیم‌پیچی دوطبقه با گام کسری، دوبازوی کلاف درون یک شیار احتمالاً مربوط به دو فاز مختلف است.



شکل ۱ــ وضعیت شیار در سیم‌پیچی یک طبقه و دو طبقه

سیم‌پیچی یک طبقه و دو طبقه تفاوت‌هایی دارند که عبارت‌اند از :

۱ در سیم‌پیچی دو طبقه تعداد دور هر کلاف نصف تعداد دور کلاف‌ها در سیم‌پیچی یک طبقه است. یک بازوی کلاف در کف شیار و بازوی دوم در بالای شیار دیگر قرار می‌گیرد. بنابراین سیم‌پیچی دو طبقه نسبت به یک طبقه تهویه بهتر و خنک کنندگی بیشتری دارد.

۲ در سیم‌پیچی دو طبقه امکان موازی کردن کلاف‌ها وجود دارد بنابراین باعث کم شدن سطح مقطع هادی‌ها می‌شود.

۳ تعمیر و عیب‌یابی سیم‌پیچی 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 ۱ــ مزایا و معایب سیم‌پیچی دو طبقه

مزایا	معایب
راندمان بیشتر و خنک‌کنندگی بهتر	پیچیدگی بیشتر در ساخت
امکان استفاده از سیم نازک‌تر	احتمال خطای عایقی بیشتر
توزیع میدان مغناطیسی بهتر	عیب‌یابی پیچیده‌تر

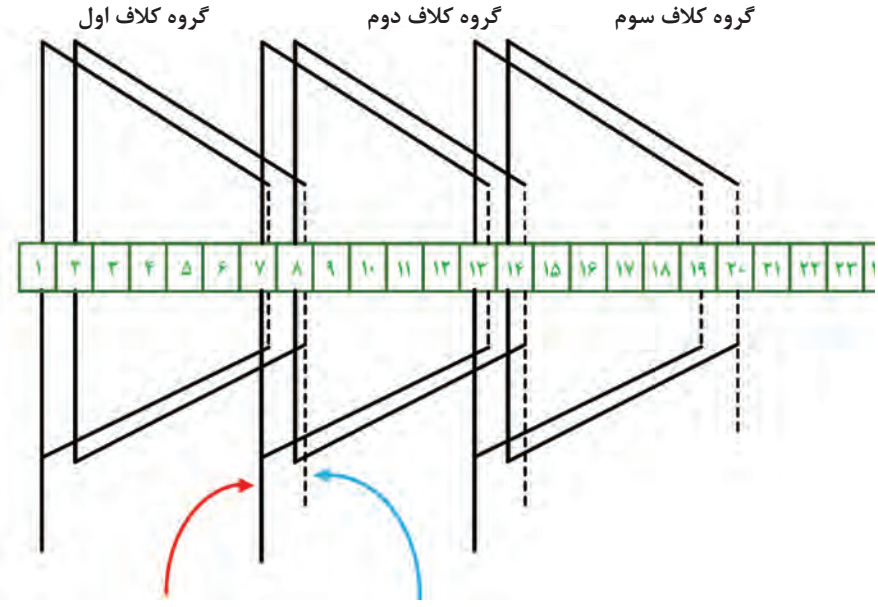
در این واحد یادگیری سیم‌پیچی دو طبقه با گام کامل و در واحد یادگیری دوم سیم‌پیچی دوطبقه با گام کسری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پژوهش کنید

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

سیم‌پیچی دوطبقه 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 عایق‌کاری نمی‌باشد.



شکل ۲ـ بخشی از دیاگرام فاز اول سیم‌پیچی دو طبقه

شکل ۲ بخشی از دیاگرام فاز اول سیم‌پیچی دوطبقه 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 خط‌چین 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.

مثال

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 سیم‌پیچی و جدول این موتور را به صورت دو طبقه، گام کامل نوشته و ترسیم نمایید.

معلومات: $z=۲۴$، $۲p=۴$، $m=۳$، $t=۲$ و چون گام کامل است : $y_p=y_z$

$$y_p=\frac{z}{۲p}=\frac{۲۴}{۴}=۶\rightarrow y_p=y_z=۶$$

$$q=\frac{z}{۲p.m}=\frac{۲۴}{۴\times۳}=۲$$

$$\alpha_{ez}=\frac{۳۶۰p}{z}=\frac{۳۶۰\times۲}{۲۴}=۳۰^\circ$$

شروع شیار فاز اول = ۱

$$\text{شروع شیار فاز دوم} = ۱+\frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}}=۱+\frac{۱۲۰}{۳۰}=۵$$

$$\text{شروع شیار فاز سوم} = ۱+\frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}}=۱+\frac{۲۴۰}{۳۰}=۹$$

$$G=\frac{t\times z}{۲qm}=\frac{۲\times۲۴}{۲\times۲\times۳}=۴$$

از آنجا که :

$G = ۲p = ۴$

بنابراین سیم‌بندی به ازای تعداد قطب بوده و از اتصال دور (ته به ته یا سر به سر) استفاده می‌شود.

تشکیل جدول سیم‌پیچی:

با توجه به اینکه در این موتور سه فاز، $q=۲$ و $۲p=۴$، جدول شامل ۴ سطر (تعداد قطب) و ۳ ستون (سه فاز) خواهد بود. هر خانه جدول نشان دهنده وضعیت شیارهای مربوط به هرفاز است. اعداد باید به گونه‌ای نوشته شوند که نشان‌دهنده بازوهای رو و زیر واقع در هر شیار باشند.

برای تکمیل جدول علمی از شماره شیار شروع هر فاز که در هرقطب قرار می‌گیرد آغاز می‌کنیم (فاز اول) و به تعداد q اعداد را در هر ستون می‌نویسیم سپس به‌اندازه مقدار y_z به اعداد اضافه کرده و با کشیدن فلش در جلوی آن می‌نویسیم. سپس به سطر بعد رفته و به اندازه y_p به اعداد سطر بالایی اضافه کرده و مجدداً به‌اندازه مقدار y_z به اعداد اضافه کرده و با کشیدن فلش به‌صورت مورب با اعداد پریم دار می‌نویسیم. مشابه این کار را در ستون‌های مربوط دو فاز دیگر انجام می‌دهیم تا همه خانه‌های جدول تکمیل شود (جدول ۲).

جدول ۲ـ جدول علمی سیم‌پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل

فاز / قطب	U1 , U2				V1 , V2				W1 , W2			
N	۱ (y_p)	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′

همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شده است در برخی موارد به جهت اینکه کار تشکیل جدول راحت‌تر انجام شود جای دو ستون فاز دوم و سوم را عوض می‌کنند که در این‌صورت اعداد مربوط به شیارهای موتور به‌شکل مرتب دنبال هم قرار می‌گیرند، اصطلاحاً به این **جدول عملی** می‌گویند.

برای تشکیل جدول عملی به‌صورت زیر عمل می‌کنیم: مانند جدول یک طبقه، ابتدا اعداد را از شماره ۱ تا ۲۴ (کل شیارها) به ترتیب می‌نویسیم. این اعداد مشخص‌کننده بازوهای رویی یک کلاف است. بازوی دیگر هرکلاف، باید به اندازه y_z شیار با بازوی رفت آن فاصله داشته باشد (در این مثال $y_z = ۶$). شیاری 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 می‌نویسیم تا جدول سیم‌پیچی تکمیل شود (جدول ۳).

در این جدول اعداد پریم‌دار که بازوهای زیر را نشان می‌دهند نیز به ترتیب پشت سرهم می‌باشند.

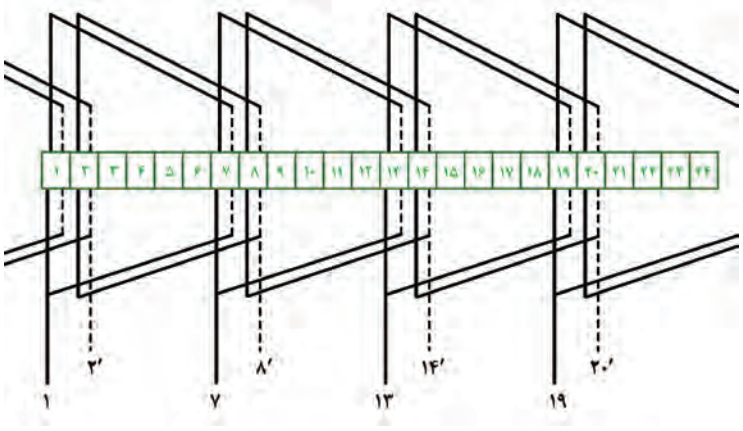
جدول ۳ـ جدول عملی سیم‌پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل

فاز / قطب	U1 , U2				W1 , W2				V1 , V2			
N	۱ (y_p)	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 سیم‌پیچی موتورهای دوطبقه: برای درک و راحتی کار، سیم‌پیچی موتور دو طبقه را به‌صورت فاز به فاز انجام می‌دهیم. با توجه به جدول شماره ۲ چهار گروه (G=۴) کلاف دوتایی (q=۲) برای هر فاز نیاز است. ابتدا کار عایق‌گذاری را مطابق مطالب گفته شده در پودمان قبل انجام می‌دهیم. با اندازه‌گیری طول استاتور و با استفاده از روش تجربی، کلاف پیچ را تنظیم نموده و چهار گروه کلاف دوتایی را به منظور کلاف‌گذاری فاز اول آماده می‌کنیم. همانطور که قبلاً اشاره شد در سیم‌پیچی دوطبقه تعداد دور هر کلاف نصف تعداد دور هر کلاف سیم‌پیچی یک طبقه است؛ به عنوان مثال اگر در موتور یک طبقه تعداد دور هرکلاف ۶۰ بوده باشد، در این موتور دوطبقه تعداد را ۳۰ دور در نظر می‌گیریم.

جازدن گروه کلاف‌های موتور :

مطابق دیاگرام سیم‌پیچی 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 جای‌گذاری کرد. دقت نمایید، بازوهای اول (بازوی رفت) باید در بالا و بازوی دوم (بازوی برگشت) در کف شیار قرار داده شوند. به عبارت دیگر می‌بایست اعداد پریم دار در کف شیار و اعداد بدون پریم در روی آنها و بالای شیار قرار گیرند.



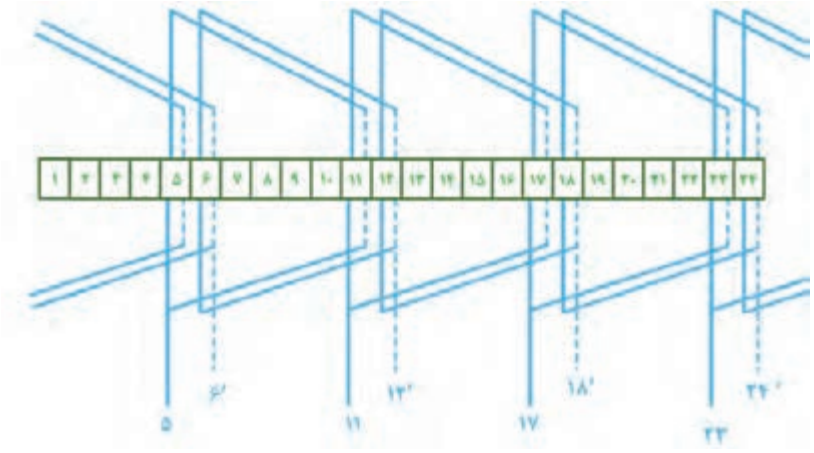
شکل ۳ـ دیاگرام فاز اول موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

برای گروه کلاف دوم از فاز اول نیز طبق دیاگرام، بازوی رفت کلاف دوم را در شیارهای ۷ و ۸ (بالای کلاف‌های برگشت گروه کلاف قبل قرار می‌گیرد) و بازوی برگشت این گروه نیز با توجه به گام سیم‌پیچی در کف شیار ۱۳ و ۱۴ جای‌گذاری می‌کنیم.

برای راحتی کار پیدا کردن سرهای سیم‌ها با توجه به دو طبقه بودن پیشنهاد می‌شود با یک برچسب کاغذی سر و ته کلاف‌ها را نام‌گذاری کنید. به عنوان مثال ۷ رو، ۸ زیر.

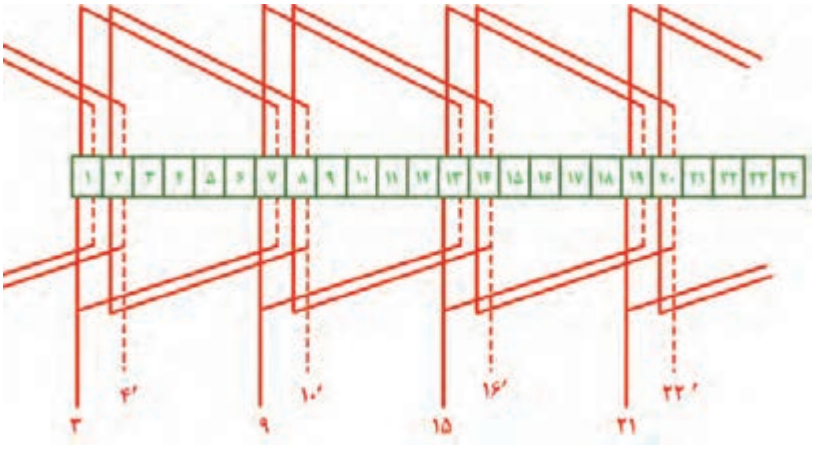
به همین ترتیب بازوی رفت گروه سوم در شیار ۱۳ و ۱۴ (بالای شیار) و بازوی برگشت آنها رادر کف شیار ۱۹ و ۲۰ جای گذاری می‌کنیم. با توجه به اینکه در هر شیار دو بازو از یک فاز قرار دارند نیازی به عایق‌گذاری بین دو بازو درون یک شیار نیست. همچنین هرگاه در یک شیار ۲ بازو قرار گرفت برای محکم‌کردن کلاف و عایق‌گذاری، عایقی در بالای شیار قرار می‌گیرد.

برای گروه کلاف چهارم فاز اول نیز بازوی رفت در شیارهای ۱۹ و ۲۰ و بازوی برگشت باید در کف شیار ۱و 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.



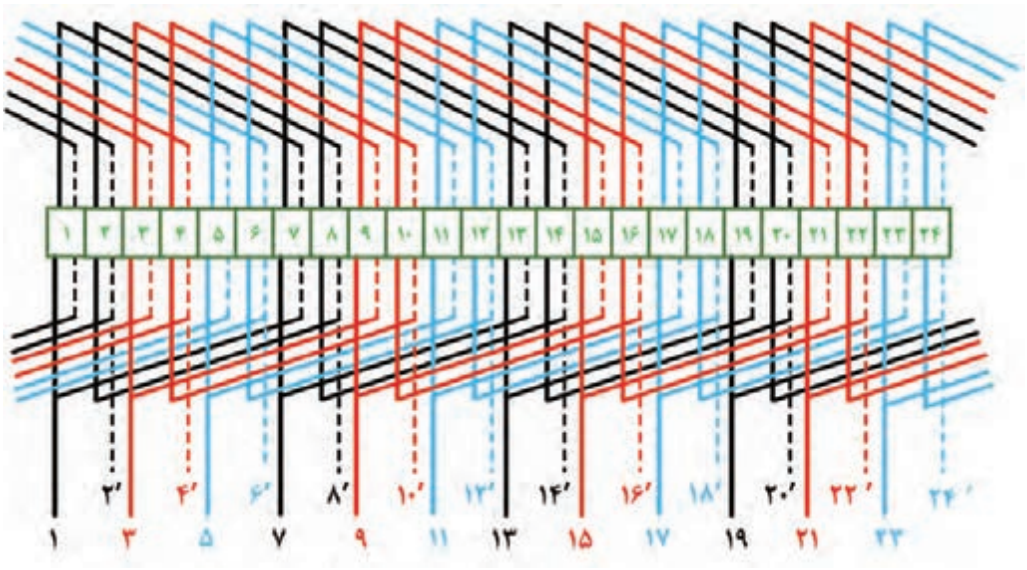
شکل ۴ــ دیاگرام فاز دوم موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

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 دربالای شیار و بازوی برگشت در کف شیار، باید در شیارها جای‌گذاری کرد (مطابق شکل ۵).



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

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



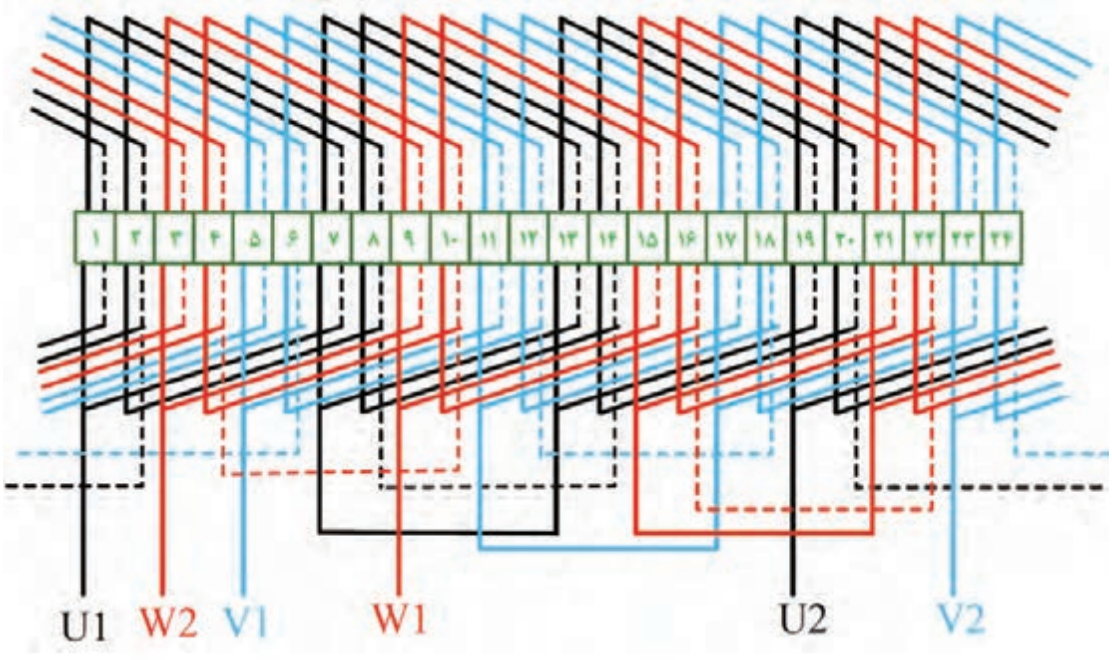
شکل ۶ــ کلاف‌گذاری تمام فازها

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 لحیم‌کاری اتصالات و وارنیش‌گذاری مانند موتور یک طبقه انجام شود.

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

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

شکل ۷ دیاگرام موتور ۲۴ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل را پس از انجام اتصالات داخلی (سربندی موتور) به‌همراه شش سر خروجی موتور نشان می‌دهد.

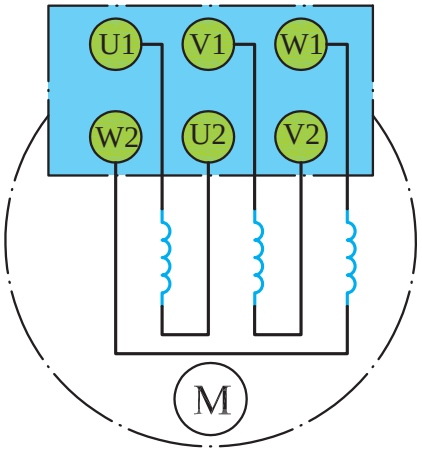


شکل ۷ــ دیاگرام سربندی موتور ۲۴ شیار سه فاز ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

در نهایت سرسیم‌های خارج شده از شیارهای ۱، ۵ و ۹ را به ترتیب U1، V1 و W1 (به‌عنوان سر کلاف‌های موتور) و سر سیم‌های 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 کِلِم موتور خارج شود.



الف) تخته کِلِم



ب) اتصال مداری تخته کلم

شکل ۸



شکل ۹ــ نخ بندی موتور

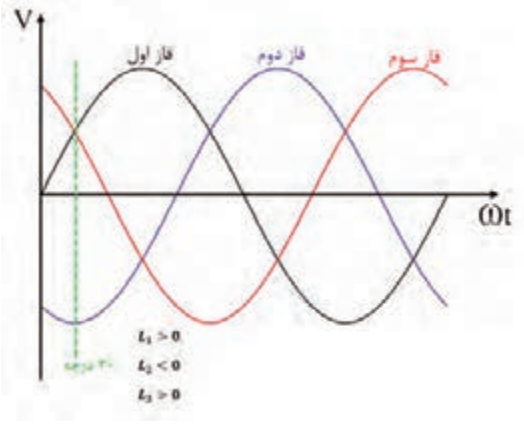
نواربندی (نخ پیچی): برپایه اصولی که در سیم‌پیچی موتورهای یک طبقه فرا گرفته‌اید پس از عایق‌گذاری بین کلاف‌های هر فاز با فاز دیگر، هر دو طرف پیشانی کلاف‌ها را نخ پیچی نمایید (شکل ۹).



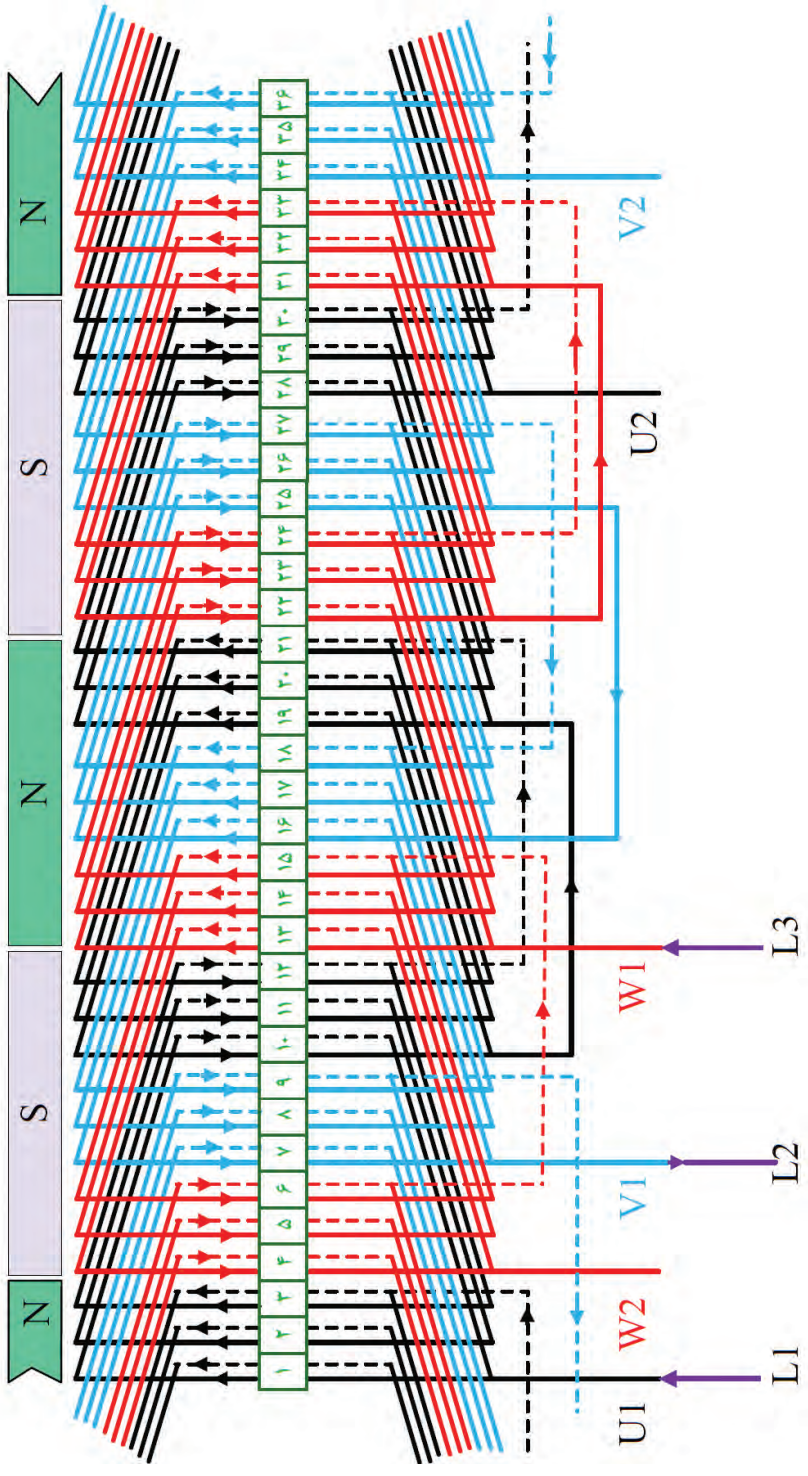
شکل ۱۰ ــ اتصال ستاره بر روی تخته کلم

سه سرسیم U1، V1 و W1 و سه ته کلاف U2، V2 و W2 موتور را مطابق شکل ۱۰ به تخته کِلِم 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.

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 راه‌اندازی کنید.
قطب سازی: همان‌گونه که در موتورهای یک طبقه اشاره شد برای نشان دادن وضعیت قطب‌سازی در موتور سیم‌پیچی شده بر روی شکل موج سه فاز موقعیت ۳۰ 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 قطب‌سازی مطابق شکل ۱۲ انجام می‌شود.



شکل ۱۱ــ موقعیت ۳۰ درجه



شکل ۱۲ــ قطب‌سازی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه گام کامل

کار کلاسی

هنرجویان به دو بخش تقسیم شده و هر نفر در هر گروه به‌طور 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 دو طبقه ۳۶ شیار ۶ قطب را محاسبه و رسم نمایید.

کار عملی ۱

هدف: عایق‌گذاری و کلاف‌گذاری یک الکتروموتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار به صورت دو طبقه گام کامل

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ـ پوسته ۲۴ یا ۳۶ شیار ۲ـ کلاف پیچ ۳ـ سیم لاکی سایز ۰/۵۰ ۴ـ عایق برشمان ۵ـ کاتر ۶ـ خط‌کش ۷ـ قیچی ۸ـ چسب کاغذی

مراحل انجام کار:

۱ـ انجام محاسبات: ابتدا محاسبات مربوط به موتور ۳۶ شیار، ۴ قطب دوطبقه با گام کامل را انجام دهید. جدول سیم‌پیچی مربوطه را نوشته و دیاگرام سیم‌پیچی این موتور را بر روی یک کاغذ شطرنجی رسم نمایید.

۲ـ شماره‌گذاری شیارها: شیارها را شماره‌گذاری کنید. عایق‌های معیوب را تعویض و یا شیارهای بدون عایق را مطابق آموزش‌های داده شده در پودمان قبل تکمیل نمایید.

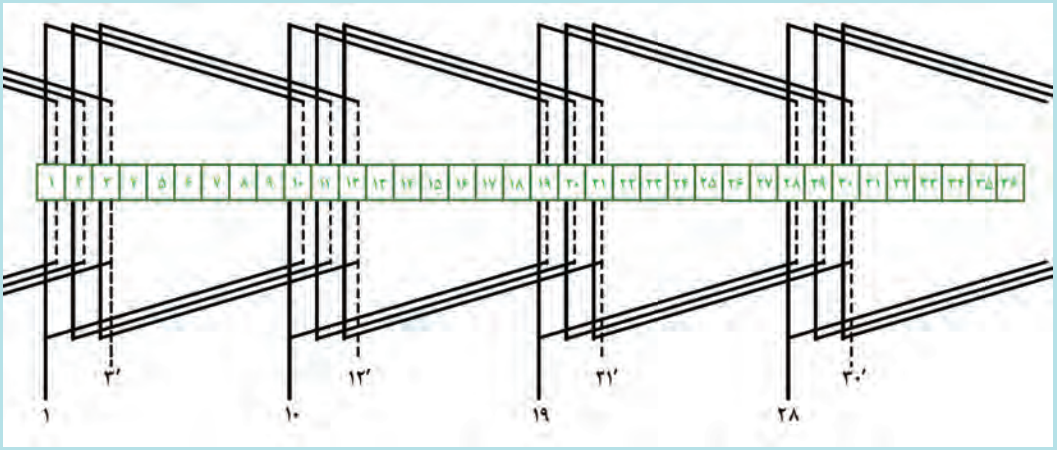
۳ـ تنظیم کلاف پیچ: با توجه به گام سیم‌بندی که در این موتور برابر با ۹ می‌باشد، کلاف پیچ را مطابق روش تجربی تنظیم نمایید.

۴ـ پیچیدن کلاف‌ها: مقدار q در این موتور برابر با ۳ بوده بنابراین هر گروه کلاف از ۳ پیچک تشکیل می‌شود. تعداد دور هر کلاف نصف تعداد دور سیم‌پیچی یک طبقه است. به‌عنوان مثال اگر در سیم‌پیچی 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 موردنیاز است.

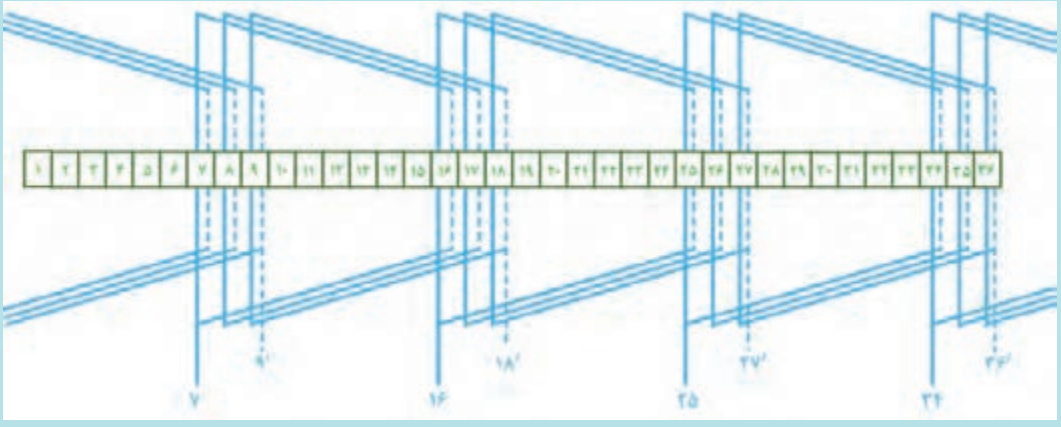
۵ـ جای‌گذاری کلاف‌ها: در این موتور طبق آموزش داده شده در مثال، موتور را به‌صورت فاز به فاز سیم‌پیچی نمایید. البته می‌توان مانند موتور یک طبقه طبق جدول نیز پیش رفت. حتماً با چسب کاغذی سر سیم‌ها را شماره‌گذاری نمایید.

فاز اول: طبق محاسباتی که انجام داده‌اید و با توجه به اینکه گام سیم‌پیچی (y_z=۹) است. گروه کلاف‌های فاز اول را طبق دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱۳ در داخل شیارها قراردهید. دقت کنید بازوی دوم کلاف‌ها (خطوط خط چین رسم شده) در زیرشیار قرار می‌گیرند.



شکل ۱۳ــ دیاگرام فاز اول موتور سه فاز ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

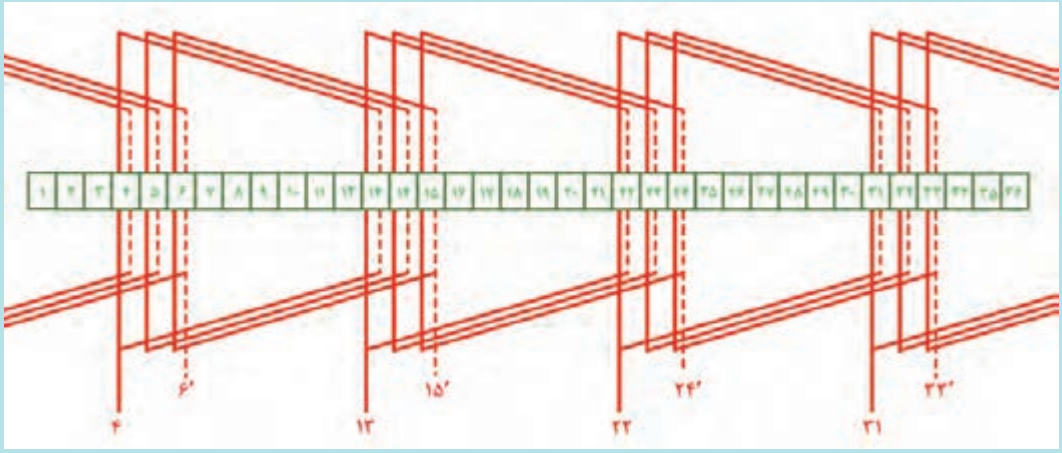
فاز دوم: براساس توضیحات داده شده در متن درس گروه کلاف‌های فاز دوم را نیز مشابه فاز اول و طبق دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱۴ در شیارهای مربوطه قرار دهید.



شکل ۱۴ــ دیاگرام فاز دوم موتور سه فاز ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کامل

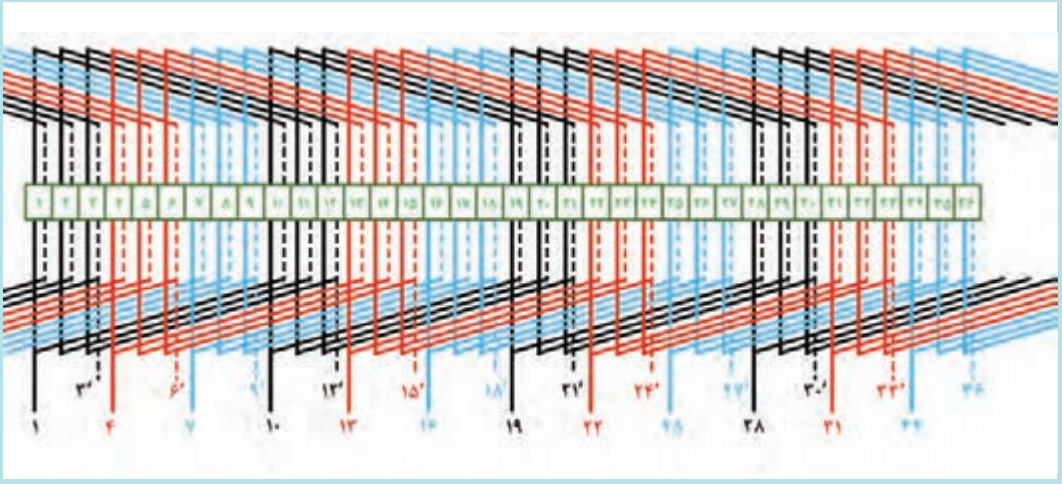
فاز سوم: برای فاز سوم نیز مطابق دو فاز دیگر و از روی دیاگرام نشان داده در شکل ۱۵ گروه کلاف‌های موتور در داخل شیارهای استاتور قرارداده می‌شوند.

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 قرا دهید تا بازوهای کلاف در روی شیارها قرار گیرند.



شکل ۱۵ـ 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 ۱۶ـ 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.

کار عملی

هدف:سربندی و اتصالات، نواربندی و راه‌اندازی موتورهای سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه باگام کامل

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ـ پوسته ۲۴ یا ۳۶ شیار کلاف‌گذاری شده در کار عملی قبل ۲ـ وارنیش ۳ـ سنباده نرم ۴ـ روتور ۵ـ درپوش موتور ۶ـ نخ ۷ـ هویه، سیم لحیم و روغن لحیم‌کاری ۸ـ سیم‌افشان سایز ۱ میلی‌متر مربع ۹ـ سیم‌چین و دم باریک

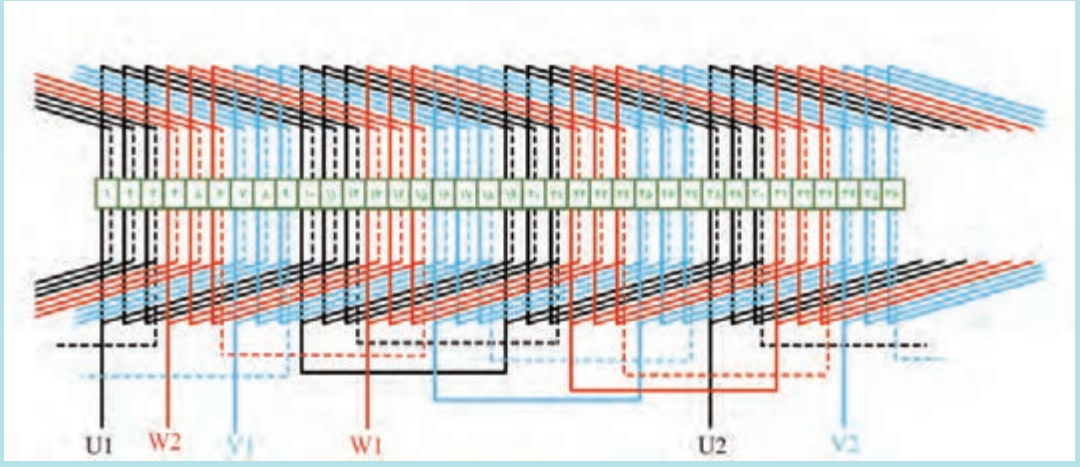
مراحل انجام کار:

۱ـ لحیم کاری اتصالات داخلی (سربندی موتور): پس از اتمام کار کلاف‌گذاری موتور که در کار عملی قبل انجام دادید می‌بایست کار سربندی و اتصالات لازم را انجام دهید. با توجه به اینکه مقدار G به‌دست آمده برابر با تعداد قطب‌ها (G=۲P=۴) 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 ۵ـ جدول اتصالات داخلی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کامل

فاز سوم	فازدوم	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 عایق‌کاری نمایید. در شکل ۱۷ اتصالات کلاف‌های (سربندی موتور) را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۷ـ دیاگرام موتور ۳۶ شیار سه فاز ۴ قطب دو طبقه با گام کامل

پس از انجام اتصالات داخلی (سربندی) و لحیم‌کاری آن با قراردادن وارنیش در محل‌های اتصالات (سر سیم‌های لحیم‌کاری شده) آن‌را عایق کاری کنید.

۲ـ هدایت سر سیم‌های موتور به تخته کِلِم: سرکلاف‌های U1، V1 و W1 سه فاز موتورکه 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.

۳ـ 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.

۴ـ نخ پیچی موتور: سیم‌پیچی موتور را برپایه اصولی که فرا گرفته‌اید نخ پیچی کنید.

۵ـ جازدن روتور و مونتاژ درپوش‌های موتور: روتور را به آرامی روی استاتور سوار کرده، درپوش‌های موتور را قرارداده و پیچ‌های درپوش را ببندید.

تذکر

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

۶ـ اندازه‌گیری مقاومتی و اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها: به کمک یک اهم‌متر 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.

۷ـ ایجاد اتصالات ستاره روی تخته کِلِم: با استفاده از تسمه‌های مسی روی تخته کِلِم انتهای کلاف‌های موتور (U2، V2 و W2) را بصورت ستاره اتصال دهید.

۸ـ اتصال سیم‌پیچی به تابلو برق و راه‌اندازی موتور: موتور را روی میز آزمایش قرار داده و سه آمپرمتر 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.

ـ در حضور مربی کارگاه و با رعایت نکات ایمنی، کلید تابلو را وصل کرده و موتور را راه‌اندازی کنید.

ـ جریان لحظه راه‌اندازی هریک از فازها را اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید.

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

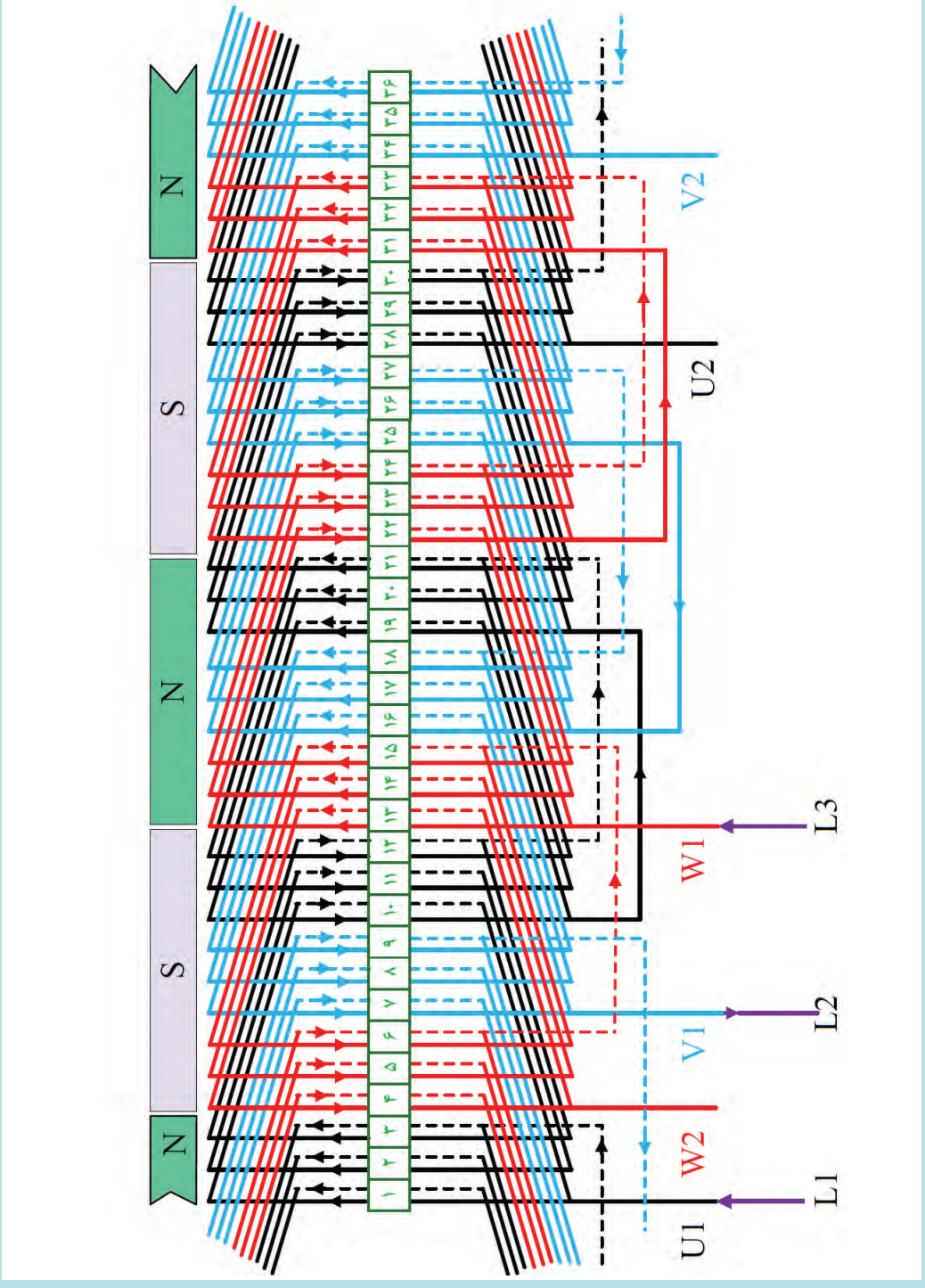
تحقیق‌کنید

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

ـ پس از ۲۰ ثانیه کارکردن موتور جریان دائم کار هریک از فازها را از روی آمپرمترها قرائت نموده و یادداشت کنید $I_{L\ (L1)}$ = ... $I_{L\ (L2)}$ = ... $I_{L\ (L3)}$ = ...

۲ در صورت وجود اختلاف بین جریان‌های 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 سیم‌پیچی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب را به‌همراه قطب‌سازی نشان می‌دهد.



شکل ۱۸ــ 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 ازکدام شیاراست؟

الف) ۵ ب) ۷ ج) ۹ د) ۱۱

۴ موتور سه فاز ۳۶ شیاری 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 آن‌را رسم نمایید.

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی موتورهای سه فاز دوطبقه گام کامل

نام و نام خانوادگی				شماره ملی		تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه :	تعمیرکاران برق صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۴	استاندارد عملکرد کار: محاسبه و رسم دیاگرام سیم‌پیچی و اجرای سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز دوطبقه با گام کامل	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳ L		
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 لاکی، 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	
				بیش از نیمی از مراحل کار به‌درستی انجام شده است، اما در عایق‌گذاری، ساخت کلاف‌ها اشکالات جزئی وجود دارد.	۲	
				کمتر از نیمی از مراحل انجام شده یا عایق‌گذاری، کلاف‌پیچی دارای خطاهای اساسی است و کیفیت کار برای ادامه مراحل سیم‌پیچی قابل قبول نیست.	۱	
۲	جا زدن کلاف‌ها به‌صورت دوطبقه گام کامل	در کارگاه سیم‌پیچی، استاتور عایق‌گذاری‌شده، 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 لاکی، با نظم و آرایش صحیح در شیارهای مربوطه به صورت گام کامل جای‌گذاری شده‌اند.	۳	
				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.	۲	
				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.	۱	
۳	سربندی و نوارپیچی	در کارگاه سیم‌پیچی با استاتور کلاف‌گذاری‌شده، 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 نوارپیچی و عایق‌کاری	اتصالات کلاف‌ها مطابق نقشه موتور دوطبقه و بدون خطا انجام شده، محل اتصالات به‌خوبی عایق شده و نوارپیچی با استحکام و نظم مناسب اجرا شده است.	۳	
				بیش از نیمی از سربندی و نوارپیچی به‌درستی انجام شده است، اما در برخی اتصالات، عایق‌کاری یا نحوه نوارپیچی اشکالات جزئی وجود دارد که با راهنمایی قابل اصلاح است.	۲	
				سربندی دارای خطاهای اساسی است یا نوارپیچی و عایق‌کاری به‌درستی انجام نشده، به‌گونه‌ای که ادامه کار یا بهره‌برداری ایمن از موتور امکان‌پذیر نیست.	۱	
۴	تست بدنه، بستن در پوش و راه‌اندازی و قرائت جریان‌ها	در کارگاه سیم‌پیچی الکتروموتور مونتاژشده، منبع تغذیه سه‌فاز، تابلو و تجهیزات حفاظتی، آمپرمتر ، 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 ثبت‌شده، 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	
				بیش از نیمی از مراحل راه‌اندازی و اندازه‌گیری به‌درستی انجام شده است. موتور صدایی غیر عادی دارد.	۲	
				جریان ها متعادل نیست ، موتور آمپر می‌کشد.	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.		
				عدم رعایت اصول ایمنی، بهداشت و ملاحظات زیست‌محیطی، یا بروز خطاهای جدی در نگرش و رفتار کاری.		
ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)					بلی ☐	
					خیر ☐	

توضیحات:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از جا زدن کلاف‌ها به‌صورت دوطبقه گام کامل، تست بدنه، بستن در پوش و راه‌اندازی و قرائت جریان‌ها (مراحل بحرانی)

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

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲ـ 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 موتورهای سه فاز دوطبقه گام کسری

آیا می‌دانید

۱ تفاوت موتورهای گام کسری و گام کامل در چیست؟
۲ سیم‌پیچی با گام کسری چه مزایا و معایبی دارد؟
۳ محاسبات و جدول سیم‌پیچی دو طبقه چگونه انجام می‌شود؟
۴ طراحی دیاگرام گسترده سیم‌پیچی دوطبقه گام کسری چگونه است؟
۵ فرایند کلاف‌گذاری و سربندی موتورهای دو طبقه چطور انجام می‌شود؟
۶ عیب‌های مکانیکی موتورهای سه فاز چیست؟

استانداردعملکرد

■ پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود تفاوت‌های موتور گام کامل و کام کسری را شناسایی و موتورهای دو طبقه گام کسری را به طور کامل سیم‌پیچی 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.

مقدمه

موتورهای با سیم‌پیچی 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 سیم‌پیچی‌های دوطبقه به‌ویژه در موتورهای سه‌فاز باعث کاهش اثرات نویز و لرزش، توزیع بهتر میدان مغناطیسی و افزایش بازده موتور می‌شود. البته طراحی و اجرای سیم‌پیچی گام کسری نسبت به گام کامل پیچیده‌تر بوده و نیاز به دقت بیشتر در محاسبات و پیاده‌سازی سیم‌پیچی دارد. انتخاب نوع گام به کاربرد موتور، شرایط کاری و نیازهای عملکردی بستگی دارد. در جدول ۶ به‌اختصار چند ویژگی سیم‌پیچی نوع گام کامل و گام کسری مقایسه شده است.

جدول ۶ـ مقایسه سیم‌پیچی گام کسری با گام کامل

خصوصیات سیم‌پیچی	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 ۷ـ مزایا و معایب سیم‌پیچی دو طبقه با گام کسری

مزایا	معایب
کاهش نویز و لرزش	پیچیدگی بیشتر در طراحی و محاسبات
صرفه‌جویی در مصرف مس	نیاز به دقت بالا در سیم‌پیچی
افزایش بازده	کاهش جزئی ولتاژ القایی
کاهش دمای کاری	احتمال خطا در اجرا توسط افراد کم تجربه

یکی از مهم‌ترین دلایل استفاده از موتورهای دوطبقه با گام کسری حذف پدیده‌ای به نام هارمونیک[1] است. هارمونیک‌ها اثری مخرب بر شکل موج ولتاژ و جریان داشته و در حقیقت شکل موج سینوسی ولتاژ و جریان را ازحالت صاف و ایده آل خارج نموده و باعث افزایش دمای کار موتور و لرزش آن می‌شوند.

۱ـ هارمونیک: به یک‌سری ریز موج‌هایی که با مضارب مختلفی از موج سینوسی سه فاز بر روی آن سوار می‌شوند، هارمونیک گفته می‌شود. اغلب، هارمونیک‌های مضرب فرد (شماره فرد) در کار موتور اخلال ایجاد می‌کنند، به همین خاطر در سیم‌پیچی موتورهای دو طبقه برای کاهش اثرات این ریز موج‌ها و با استفاده از ضریب سیم‌پیچی، اقدام به حذف آنها می‌کنند.

اصطلاحاً سیم‌پیچی موتورهای دو طبقه با گام کسری جهت حذف هارمونیک شماره ۳، ۵ و یا ۷ انجام می‌شود. برای حذف هارمونیک موردنظر، از ضریبی تحت عنوان «**ضریب کوتاهی گام** ـ (ε)» استفاده می‌شود. در موتورهای سه فاز دو طبقه گام سیم‌پیچی از ضرب مقدار ضریب کوتاهی گام در گام قطبی سیم‌پیچی به‌دست می‌آید. بنابراین برای محاسبه گام سیم‌پیچی (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 نمی‌توان 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 سیم‌پیچی (y_z) در سیم‌پیچی گام کسری پیشانی کلاف‌ها کوتاه شده و نیروی محرکه القایی (ولتاژ القایی) در موتور کمتر از حالت گام کامل می‌باشد. 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 گام‌ها آمده است.

جدول ۸ــ 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 سیم‌پیچی گام کسری نسبت به گام کامل
هارمونیک سوم	$\frac{۲}{۳}$	۱۵ درصد
هارمونیک پنجم	$\frac{۴}{۵}$	۶ درصد
هارمونیک هفتم	$\frac{۶}{۷}$	۳ درصد

چند نکته در مورد سیم‌پیچی دو طبقه و گام کسری:

۱ در موتورهای دو طبقه گام کسری، دو بازوی قرار گرفته در شیارها مربوط به دو فاز مختلف می‌باشند که لازم است بین این دو بازوی زیرین و بالایی به خوبی عایق شود.

۲ واضح است تعداد کلاف‌ها در سیم‌پیچی دو طبقه (گام کامل یا گام کسری) دو برابر سیم تعداد کلاف‌ها در سیم‌پیچی یک طبقه است. البته همان‌طور که گفته شد، تعداد دور کلاف‌های دو طبقه نصف تعداد دور کلاف‌های یک طبقه می‌باشد. 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 می‌بایست طوری کلاف‌ها 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.

پژوهش کنید

در مورد هارمونیک‌های مزاحم در موتورهای الکتریکی تحقیق کنید و برای دوستان خود در کلاس ارائه دهید.

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 به‌دست آورید.

حل)

معلومات: $z=۲۴$، $۲p=۴$، $m=۳$، $t=۲$

$$y_p = \frac{z}{۲p} = \frac{۲۴}{۴} = ۶$$

برای حذف هارمونیک سوم از جدول ۸ مقدار ضریب کوتاهی گام برابر با $\frac{۲}{۳}$ انتخاب می‌شود و گام سیم‌پیچی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$y_z = \varepsilon . y_p = \frac{۲}{۳} \times ۶ = ۴$$

$$q = \frac{z}{۲p \times m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۳} = ۲$$

$$\alpha_{ez} = \frac{۳۶۰p}{z} = \frac{۳۶۰ \times ۲}{۲۴} = ۳۰^\circ$$

شروع شیار فاز اول = ۱

$$\text{شروع شیار فاز دوم} = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۳۰} = ۵$$

$$\text{شروع شیار فاز سوم} = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۲۴۰}{۳۰} = ۹$$

$$G = \frac{t \times z}{۲qm} = \frac{۲ \times ۲۴}{۲ \times ۲ \times ۳} = ۴$$

از آنجا که $G = ۲p = ۴$ 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=۲ و ۲p=۴ است پس جدول سیم‌پیچی 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 شیارهای مربوط به هرفاز است باید به گونه‌ای نوشته شود که نشان‌دهنده بازوهای رو و زیر واقع در هر شیار نیز باشد.
در تشکیل جدول سیم‌پیچی علمی و عملی موتور مشابه موتور دو طبقه گام کامل عمل می‌کنیم با این تفاوت که گام سیم‌پیچی در این موتور ۴ است و جدول را باید براساس آن کامل کرد. جدول ۹ جدول علمی سیم‌پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب، گام کسری را نشان می‌دهد.

جدول ۹ــ جدول علمی سیم‌پیچی 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′

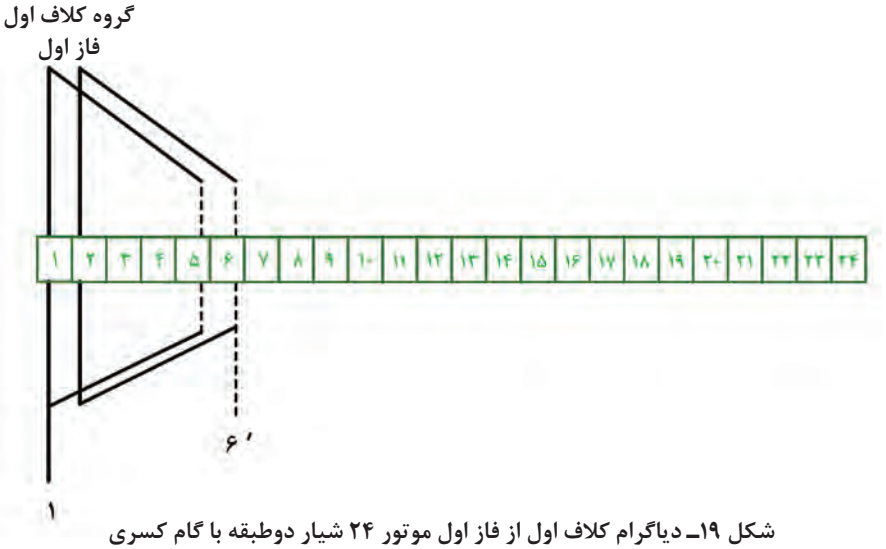
قبلاً اشاره شده است که نحوه پرکردن جدول سیم‌پیچی گام کسری مشابه جدول گام کامل است با این تفاوت که گام سیم‌پیچی در گام کسری با گام قطبی متفاوت بوده و باعث می‌شود در یک شیار بازوی بالایی با بازوی زیرین از دو فاز متفاوت باشند. جدول ۱۰ جدول عملی سیم‌پیچی موتور ۲۴ شیار ۴ قطب، گام کسری را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰ــ جدول عملی سیم‌پیچی 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′

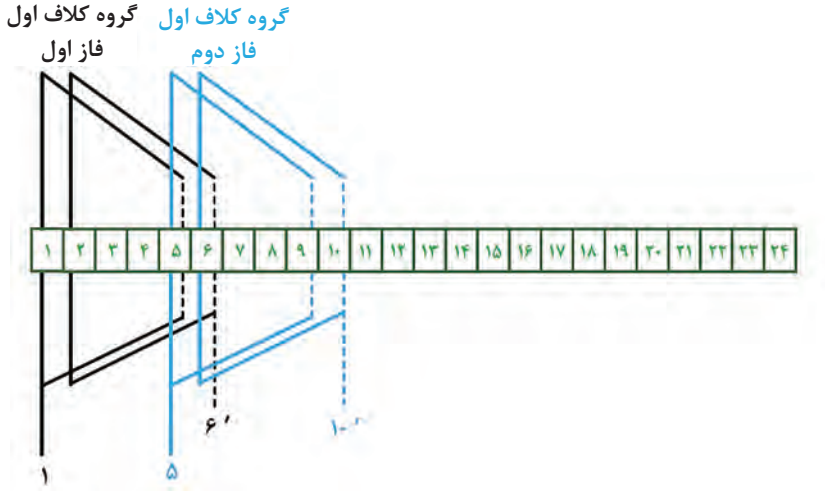
با توجه به جدول سیم‌پیچی و برای تشریح بهتر سیم‌پیچی، نحوه کلاف‌گذاری فازها را به‌صورت مرحله به مرحله مانند موتور یک طبقه دنبال نموده و دیاگرام به تدریج تکمیل شده است .

■ **گروه کلاف اول از فاز اول (رنگ مشکی)**: از شیار ۱ و ۲ که شیارشروع فاز اول است با توجه به گام سیم‌پیچی که (۴) است به شیار ۵ و ۶ می‌رویم. دقت کنید که بازوهای رفت (۱و۲) 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 ۱۹ـ 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).

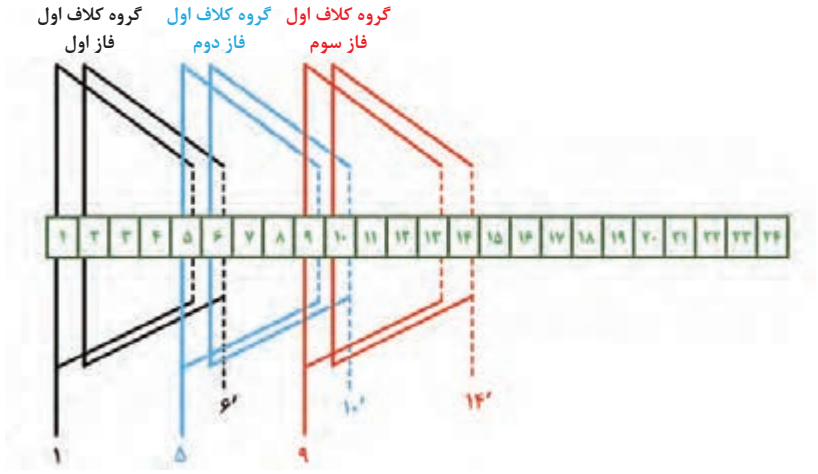


شکل ۲۰ـ دیاگرام کلاف اول از فاز دوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

تذکر

همان‌طور که از شکل ۲۰ مشخص است در شیار ۵ و ۶ دو بازو از دو فاز متفاوت قرار دارد بنابراین عایق‌گذاری بین دو بازو می‌بایست رعایت شود.

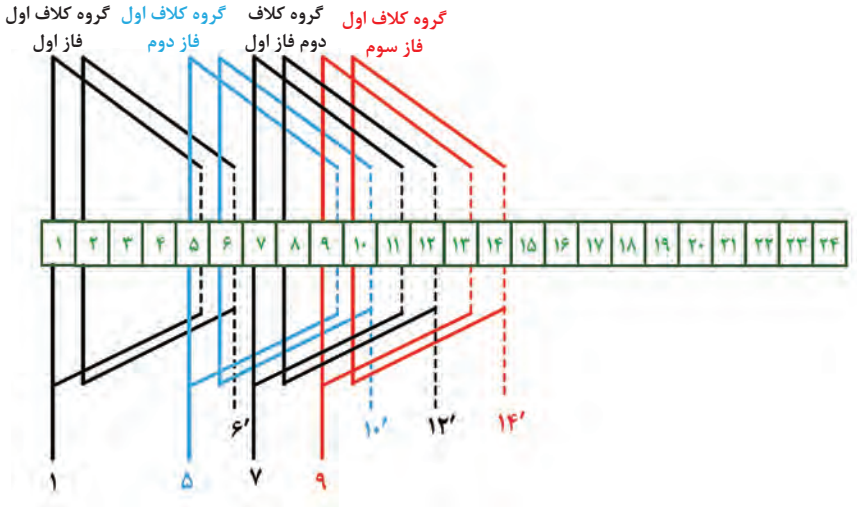
■ **گروه کلاف اول از فاز سوم (رنگ قرمز):** شیار شروع فاز سوم طبق محاسبات شیار ۹ بوده و می‌بایست این گروه کلاف را در بالای شیارهای ۹ و ۱۰ قرار داده و بازوی دیگر این گروه کلاف در کف شیارهای ۱۳′ و ۱۴′ قرار می‌گیرند. شکل ۲۱ کلاف‌گذاری بخشی از فاز سوم را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ــ دیاگرام کلاف اول از فاز سوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

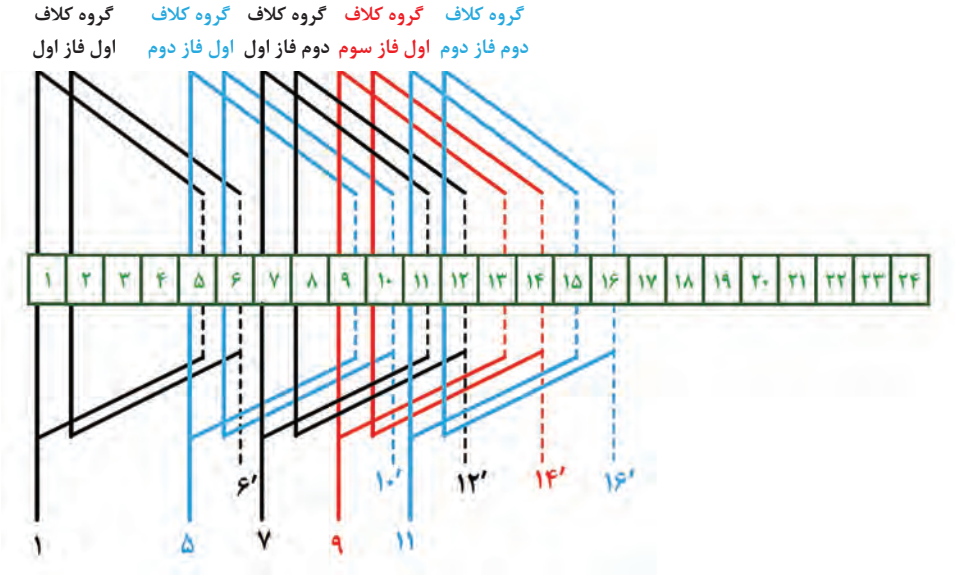
مابقی کلاف‌های باقیمانده موتور را به ترتیب مطابق جدول ۹ و به‌صورت زیر باید در شیارهای استاتور جای‌گذاری کرد.

■ **گروه کلاف دوم از فاز اول (رنگ مشکی):** برای جای‌گذاری 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.



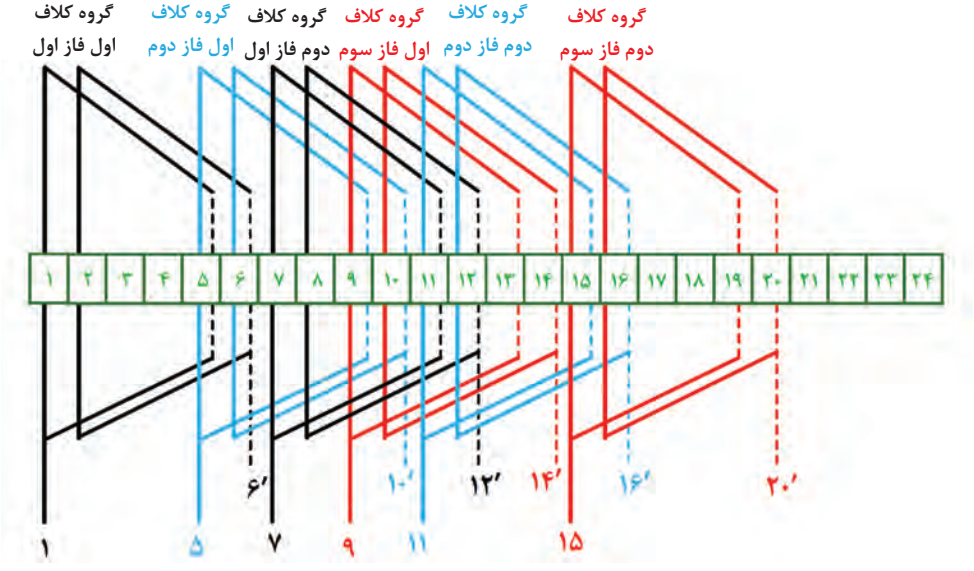
شکل ۲۲ــ دیاگرام کلاف دوم از فاز اول موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف دوم از فاز دوم (رنگ آبی):** برای جای‌گذاری گروه کلاف دوم از فازدوم 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.



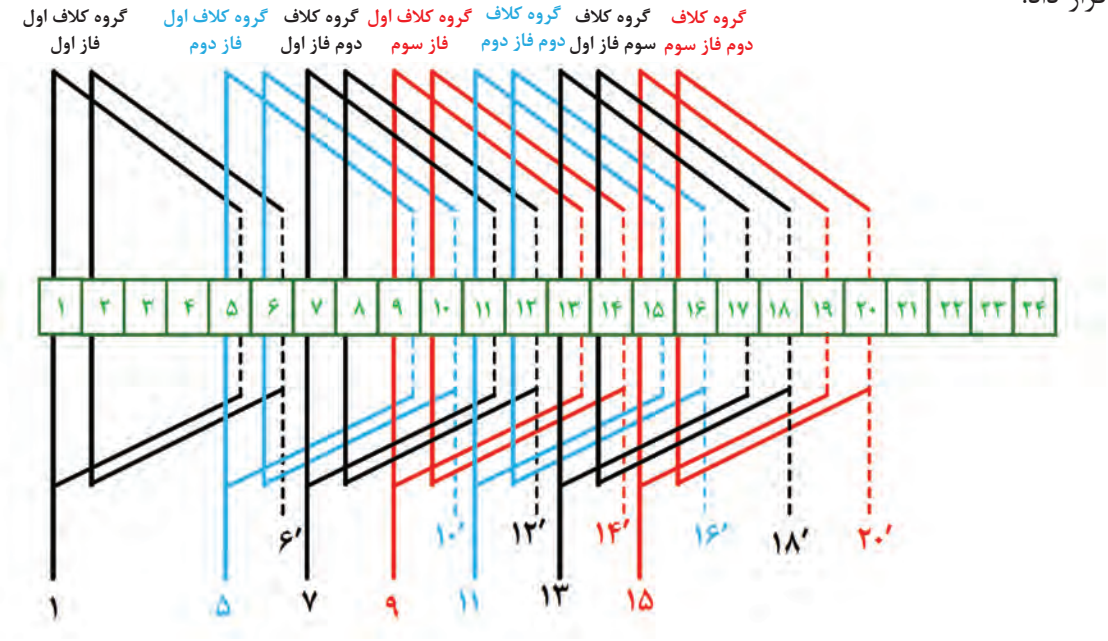
شکل ۲۳ـ دیاگرام کلاف دوم از فاز دوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف دوم از فاز سوم (رنگ قرمز):** برای جای‌گذاری 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.



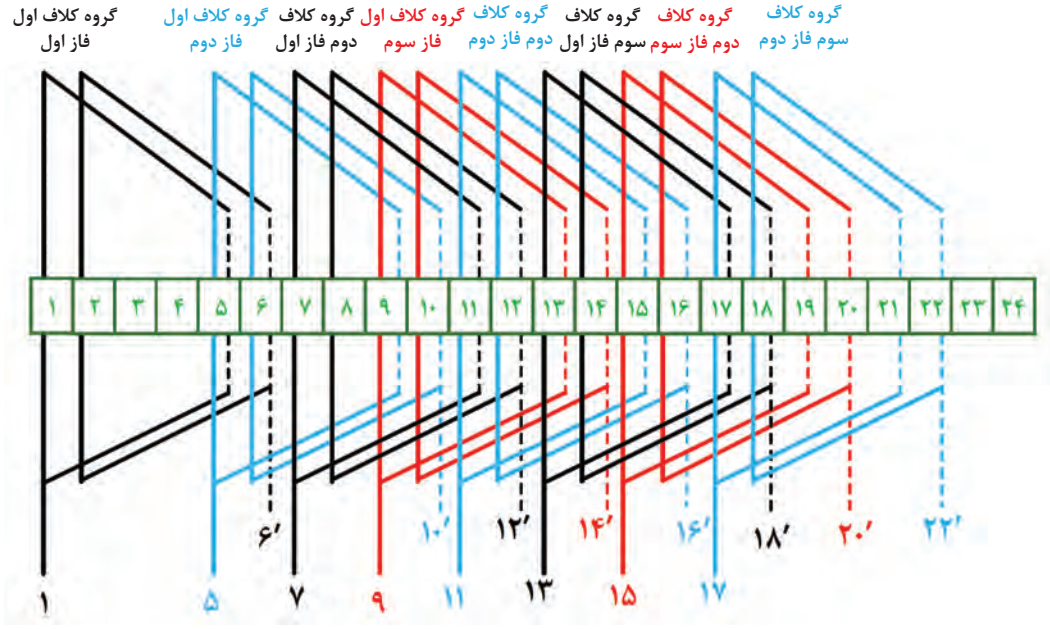
شکل ۲۴ـ دیاگرام کلاف دوم از فاز سوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف سوم از فاز اول (رنگ مشکی):** برای جای‌گذاری 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.



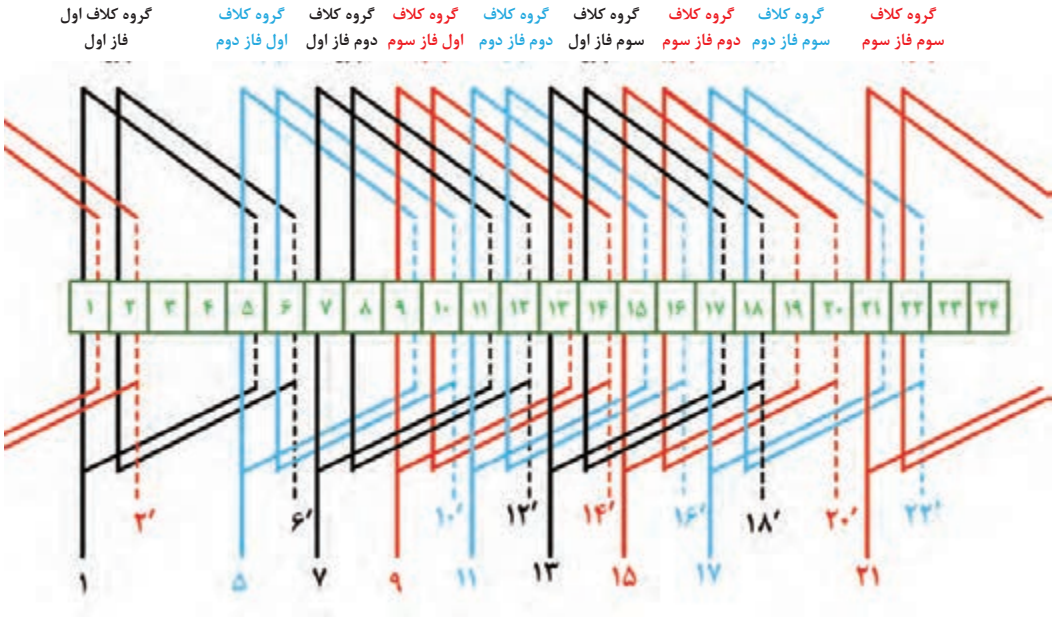
شکل ۲۵ــ دیاگرام کلاف سوم از فاز اول موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف سوم از فاز دوم (رنگ آبی):** برای جای‌گذاری 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 .



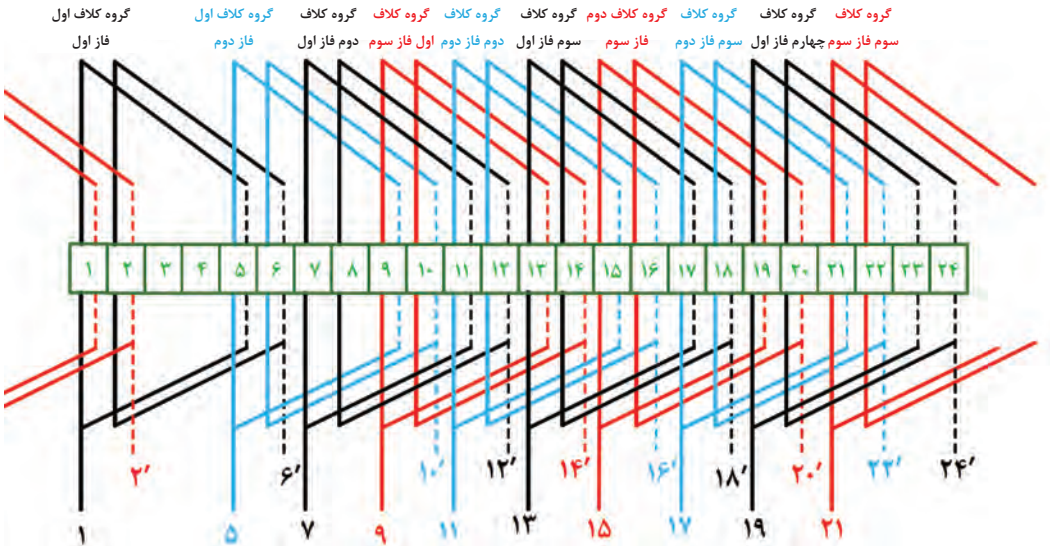
شکل ۲۶ــ دیاگرام کلاف سوم از فاز دوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف سوم از فاز سوم (رنگ قرمز):** برای جای‌گذاری 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 جای‌گذاری 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 می‌دهیم.



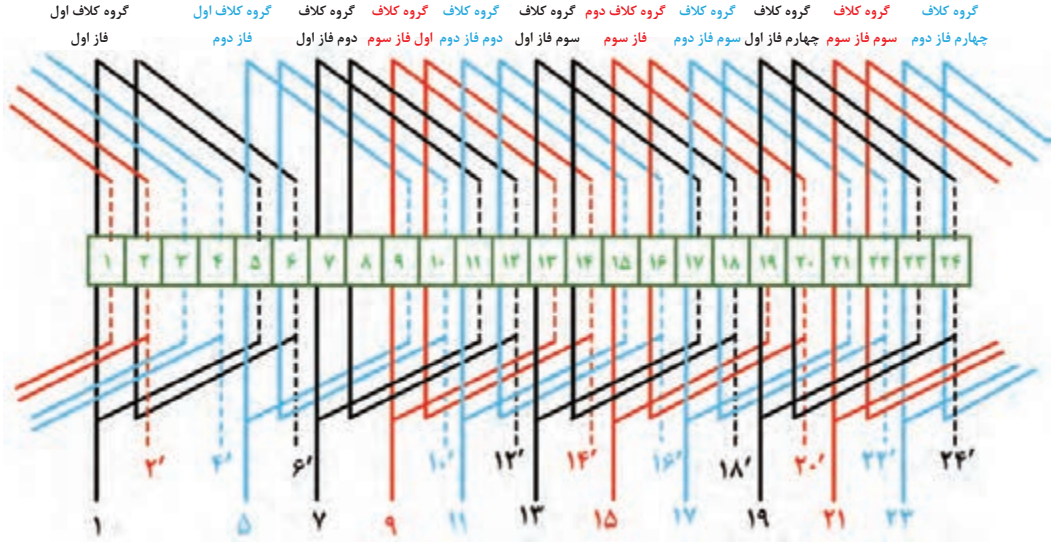
شکل ۲۷ــ دیاگرام کلاف سوم از فاز سوم موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **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 می‌گیرند.



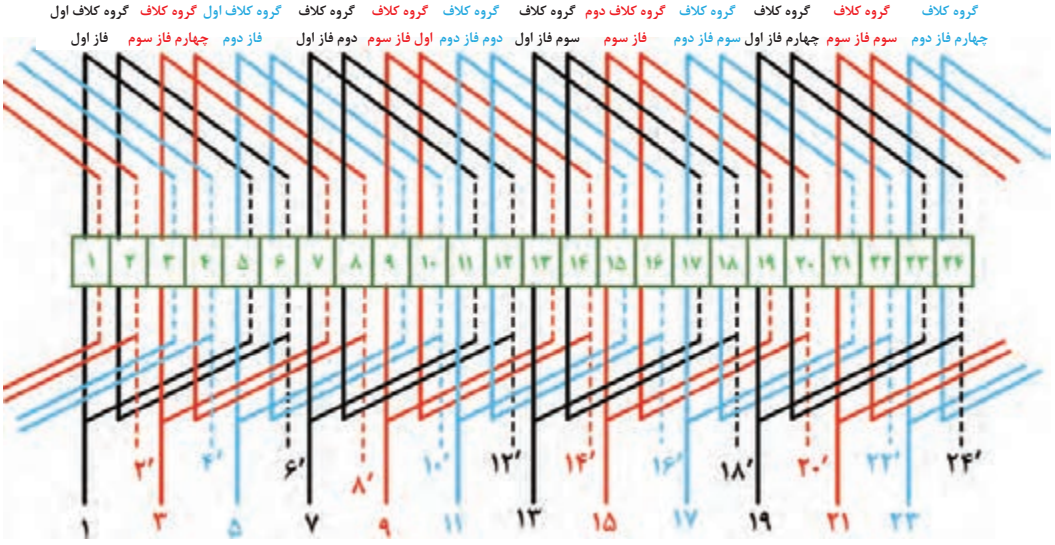
شکل ۲۸ــ دیاگرام کلاف چهارم از فاز اول موتور ۲۴ شیار دوطبقه با گام کسری

■ **گروه کلاف چهارم از فاز دوم (رنگ آبی)**: بازوهای اول و دوم گروه کلاف چهارم فاز دوم به‌ترتیب در شیارهای ۲۳ و ۲۴ (رو) به ۳ و ۴ (زیر) قرار می‌گیرند .



شکل ۲۹ـ 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 به‌ترتیب در شیارهای ۳ و ۴ (رو) به ۷ و ۸ (زیر) قرار می‌گیرند



شکل ۳۰ـ 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.

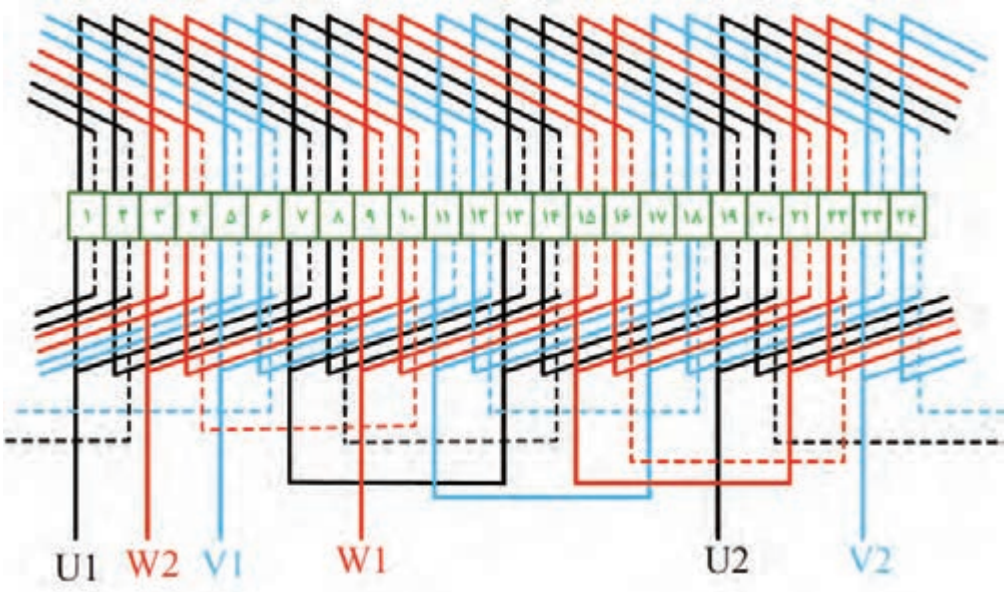
اتصال داخلی کلاف‌ها (سربندی موتور)

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 U1، V1 و W1 و شیارهای ۱۹، ۲۳ و ۳ به ترتیب انتهای کلاف‌های U2، V2 و W2 است. با توجه به‌اینکه G=۴ 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 ۱۱ــ اتصالات داخلی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با گام کسری

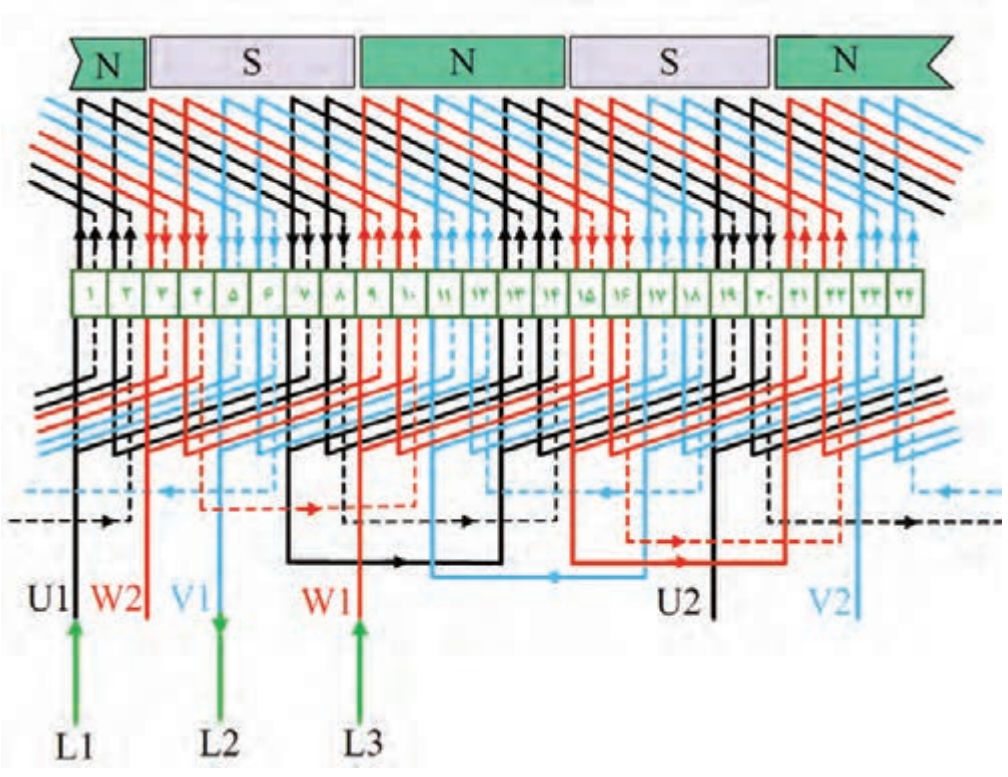
فاز سوم	فازدوم	فاز اول
۱۴′ به ۲۰′ ۱۵ به ۲۱ ۲′ به ۸′	۱۰′ به ۱۶′ ۱۱ به ۱۷ ۲۲′ به ۴′	۶′ به ۱۲′ ۷ به ۱۳ ۱۸′ به ۲۴′

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 دیاگرام سربندی شده و اتصالات داخلی موتور ۲۴ شیار چهار قطب دو طبقه با گام کسری نشان داده شده است.



شکل ۳۱ــ دیاگرام 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 به‌صورت 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 آمپرمتر 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 ۳۲ـ دیاگرام موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب با گام کسری به‌همراه قطب‌سازی

تذکر

هنرجوی عزیز با توجه به خطرات برق سه فاز، هرگز بدون حضور مربی کارگاه موتور را آزمایش نکنید.

کارعملی

هدف: عایق‌کاری و کلاف‌گذاری موتور سه فاز ۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با گام کسری برای حذف هارمونیک سوم

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ـ پوسته ۲۴ یا ۳۶ شیار ۲ـ عایق پرشمان ۳ـ کاتر ۴ـ خط‌کش ۵ـ کولیس ۶ـ سیم لاکی (برای کار آموزشی با راه‌اندازی ولتاژ خطی ۲۲۰ سیم شماره حداقل ۰/۵۰ mm) ۷ـ کلاف پیچ ۸ـ چسب کاغذی برای شماره‌گذاری

مراحل انجام کار:

۱ـ انجام محاسبات و رسم دیاگرام سیم‌پیچی: ابتدا محاسبات مربوط به موتور ۳۶ شیار، ۴ قطب دوطبقه با گام کسری (حذف هارمونیک سوم) را انجام دهید. ضریب کوتاهی گام را از جدول ۸ استخراج نمایید. جدول سیم‌پیچی مربوطه را نوشته و دیاگرام سیم‌پیچی این موتور را بر روی یک کاغذ شطرنجی رسم نمایید.

۲ـ شماره‌گذاری شیارها: شیارها را شماره‌گذاری کنید. عایق‌های معیوب را تعویض و یا شیارهای بدون عایق را مطابق آموزش‌های داده شده در پودمان قبل تکمیل نمایید.

۳ـ تنظیم کلاف پیچ: با توجه به گام سیم‌بندی که در این موتور برابر با ۶ می‌باشد، کلاف پیچ را مطابق روش تجربی تنظیم نمایید.

۴ـ پیچیدن کلاف‌ها: مقدار q در این موتور برابر با ۳ بوده بنابراین هر گروه کلاف از ۳ پیچک تشکیل می‌شود. تعداد دور هر کلاف نصف تعداد دور سیم‌پیچی یک طبقه است. به‌عنوان مثال اگر در سیم‌پیچی 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.

۵ـ جای گذاری کلاف‌ها: طبق محاسباتی که انجام داده‌اید، اولین گروه کلاف از فاز اول از شیار ۱، ۲ و ۳ به ترتیب به شیارهای ۷، ۸ و ۹ می‌رود. 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 جای‌گذاری می‌شوند.



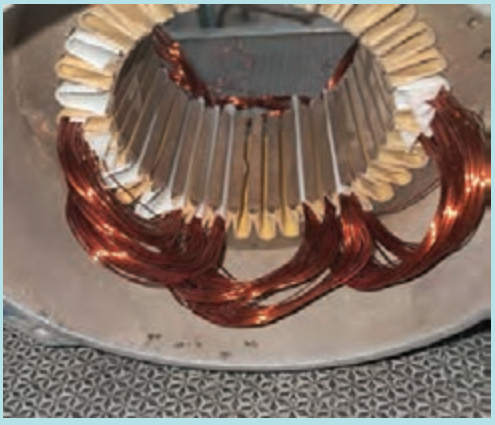
شکل ۳۳ـ قرار دادن کلاف گروه اول

به ترتیب کلاف بعدی جای گذاری می‌شود. کلاف دوم مربوط به فاز دوم است که از شیارهای ۷، ۸ و ۹ شروع شده و کف شیارهای ۱۳، ۱۴ و ۱۵ قرار می‌گیرد (شکل ۳۴).



شکل ۳۴ـ 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 می‌رود. شکل ۳۵ این گروه را نشان می‌دهد.

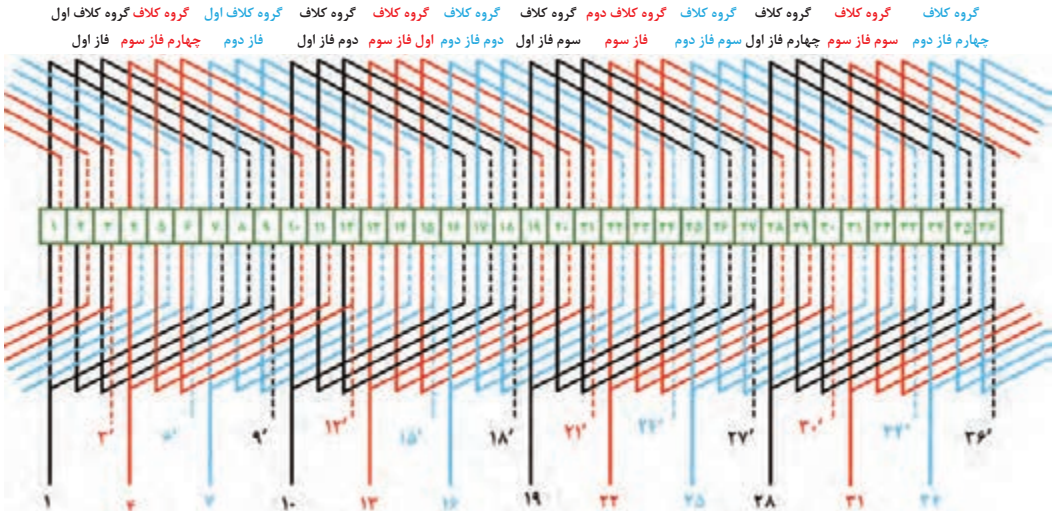


شکل ۳۵ـ قرار دادن کلاف گروه سوم

باقی کلاف‌ها 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.

راهنمایی

به‌منظور کاهش خطا، بهتر شدن کیفیت کار و همچنین داشتن مرجعی برای مقایسه نقشه ترسیم شده توسط هنرجویان، دیاگرام سیم‌پیچی موتور موردنظر کار عملی ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با ضریب کوتاهی $\frac{۲}{۳}$ در شکل ۳۶ نشان داده شده است.



شکل ۳۶ـ دیاگرام کامل موتور ۳۶ شیار دوطبقه با گام کسری

کار عملی

هدف: سربندی، اتصالات، نوار بندی و راه‌اندازی موتور سه فاز۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه با گام کسری

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ـ پوسته ۳۶ شیار سیم‌پیچی شده در کار عملی قبل ۲ـ سیم لحیم، هویه و روغن ۳ـ سنباده نرم ۴ـ سیم افشان سطح مقطع ۱ یا بالاتر ۵ـ نخ ابریشمی یا کنفی ۶ـ وارنیش ۷ـ روتور و درپوش

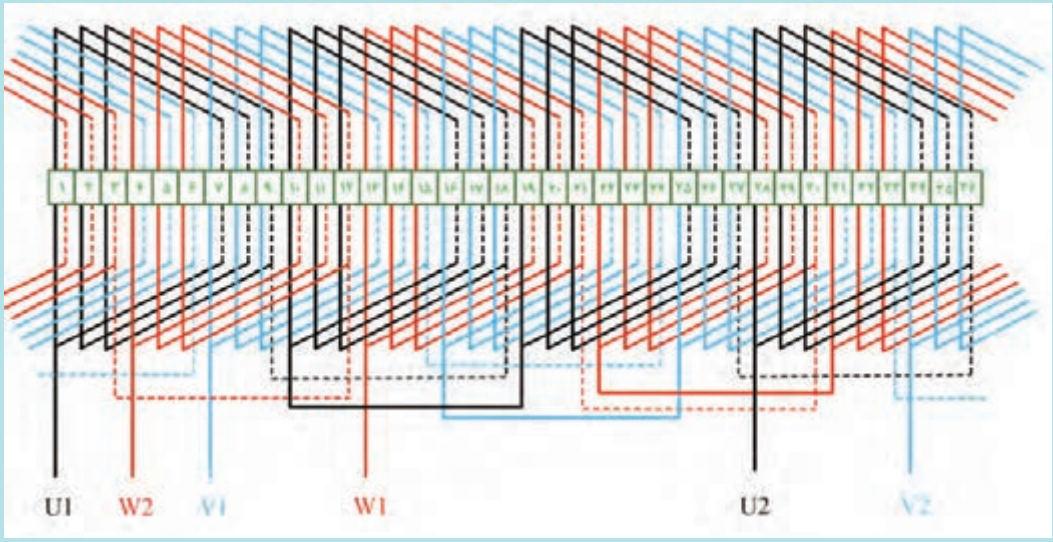
مراحل انجام کار:

۱ـ سربندی و اتصالات: پس از اتمام کار کلاف گذاری موتور که در کار عملی قبل انجام دادید می‌بایست کارسربندی و اتصالات لازم را انجام دهید. با توجه به اینکه مقدار G به‌دست آمده برابر با تعداد قطب‌ها (G=۲P=۴) 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 می‌دهد در نظر گرفته و سربندی کلاف‌های موتور را انجام دهید .

جدول ۱۲ـ جدول اتصالات داخلی موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دو طبقه گام کسری

فاز سوم	فازدوم	فاز اول
۲۱′ به ۳۰′ ۲۲ به ۳۱ ۳′ به ۱۲′	۱۵′ به ۲۴′ ۱۶ به ۲۵ ۶′ به ۳۳′	۹′ به ۱۸′ ۱۰ به ۱۹ ۲۷′ به ۳۶′

■ این اتصالات را با رعایت نکات فنی گفته شده در پودمان‌های قبل لحیم کاری نموده و محل اتصالات را به‌وسیله وارنیش عایق کاری نمایید. در شکل ۳۷ اتصالات کلاف‌ها (سربندی موتور) را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۷ـ دیاگرام سربندی و اتصالات موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کسری

۲ـ هدایت سر سیم‌های موتور به تخته کِلِم: سرکلاف‌های U1 ، V1 و W1 سه فاز موتورکه 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.

۳ـ 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.

۴ـ نخ‌پیچی موتور: سیم‌پیچی موتور را برپایه اصولی که فرا گرفته‌اید نخ پیچی کنید.

۵ـ جازدن روتور و مونتاژ درپوش‌های موتور: روتور را به‌آرامی روی استاتور سوار کرده، درپوش‌های موتور را قرارداده و پیچ‌های درپوش را ببندید.

تذکر

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

۶ـ اندازه‌گیری مقاومتی و اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها: به‌کمک یک اهم‌متر 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.

۷ـ ایجاد اتصالات ستاره روی تخته کِلِم: با استفاده از تسمه‌های مسی روی تخته کِلِم انتهای کلاف‌های موتور (U2، V2 و W2) را به‌صورت ستاره اتصال دهید.

۸ـ اتصال سیم‌پیچی به تابلو برق و راه‌اندازی موتور: موتور را روی میز آزمایش قرار داده و سه آمپرمتر را درمسیر 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 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.

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

تحقیق‌کنید

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

- پس از ۲۰ ثانیه کارکردن موتور جریان دائم کار هریک از فازها را از روی آمپرمترها قرائت نموده و یادداشت کنید.

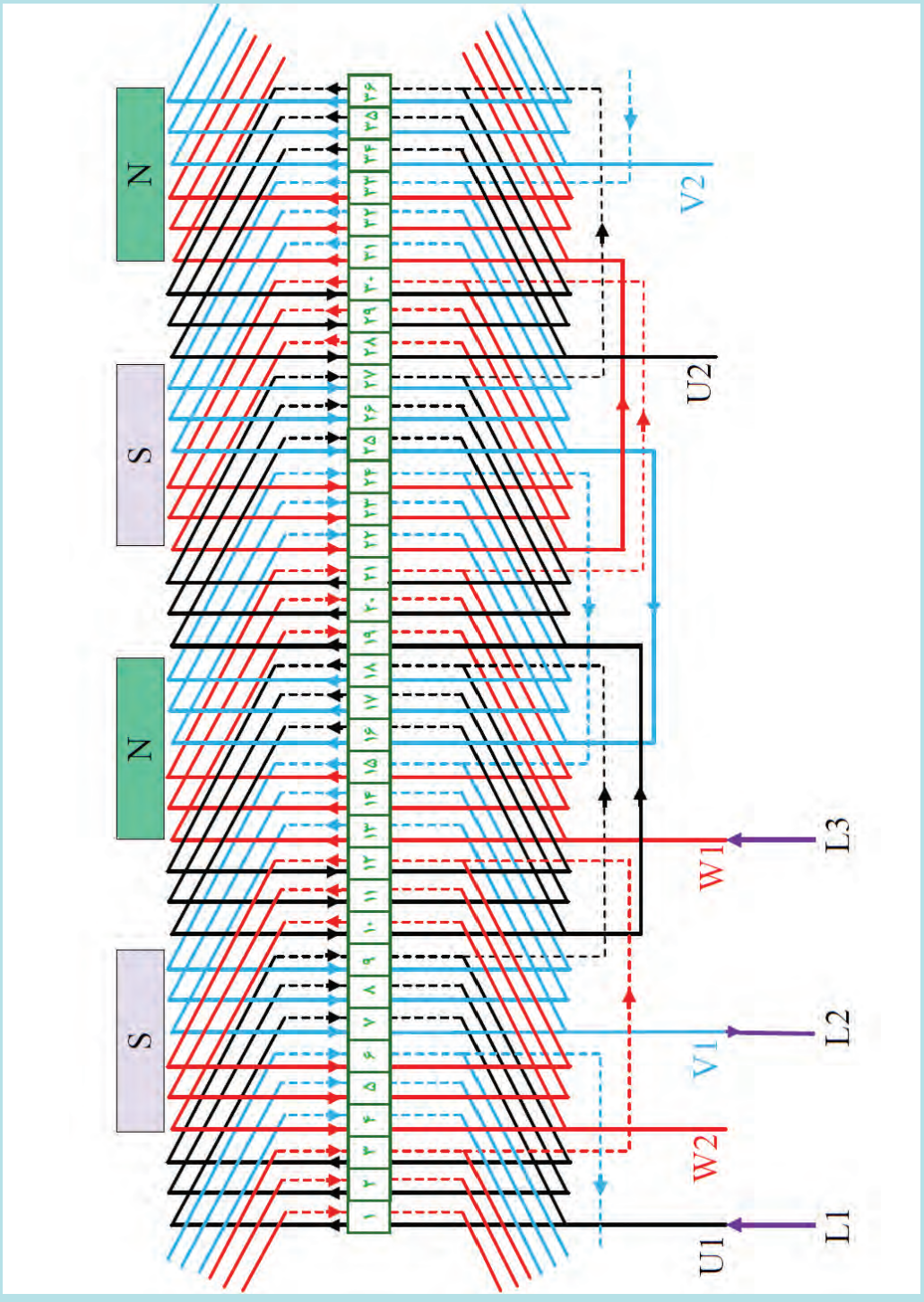
$I_L\ (L1)$ = ... $I_L\ (L2)$ = ... $I_L\ (L3)$ = ...

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

سؤال

آیا جریان‌های اندازه‌گیری 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 ۳۸ـ دیاگرام گسترده موتور ۳۶ شیار ۴ قطب دوطبقه با گام کسری

تمرین

محاسبات لازم برای سیم‌پیچی یک موتور سه فاز ۳۶ شیار۶ قطب که می‌خواهیم به‌صورت دو طبقه با ضریبی کوتاهی گام انجام شود را نوشته، جدول و دیاگرام سیم‌پیچی آن‌را 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 به‌دست می‌آید می‌توان رابطه نهایی را به‌دست آورد . برای تعویض سیم آلومینیومی با مسی از رابطه نهایی زیر می‌توان استفاده کرد.

$$d_{cu} = ۰/۷۹۳ \times d_{Al}$$

یعنی اگر بخواهیم سیم مسی را جایگزین سیم آلومینیومی نماییم، کافیست قطر سیم آلومینیومی به‌کار رفته در موتور را در عدد ۰/۷۹۳ ضرب نموده تا سیم مسی معادل به‌دست آید. در رابطه بالا ، قطر سیم مسی و قطر سیم آلومینیومی است.

مثال

در یک موتور الکتریکی از سیم لاکی آلومینیومی با قطر ۱/۲۰ استفاده شده است. جایگزین مسی آن چه سیمی خواهد بود؟

حل :

$$d_{cu} = ۰/۷۹۳ \times d_{Al}$$

$$d_{cu} = ۰/۷۹۳ \times ۱/۲۰ = ۰/۹۵ \text{ mm}$$

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 به‌دست 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.

$$d_{AL} = ۱/۲۶ \times d_{cu}$$

فعالیت

رابطه تبدیل سیم مسی به آلومینیومی را اثبات نمایید.

محاسبه قطر سیم برای جایگزینی سیم اصلی به‌صورت چند رشته

گاهی در باز پیچی سیم‌پیچی موتورها ممکن است سیم مورد نظر درکارگاه موجود نباشد. برای حل این موضوع می‌توان به جای استفاده از یک رشته سیم (تک لا) مورد نیاز موتور، از چند رشته سیم موجود به‌صورت (چندلا) استفاده کرد.
برای محاسبه قطر سیم جدید رابطه مقابل را می‌توان به‌کار برد.

$$d_۲ = \frac{d_۱}{\sqrt{n}}$$

در این رابطه n تعداد رشته سیم جایگزین، قطر سیم جدید و قطر سیم اصلی می‌باشد.

مثال

موتوری برای سیم‌پیچی نیاز به سیم ۰/۷۰ دارد که در کارگاه ۰/۷۰ موجود نیست. چه سیمی را به‌صورت دولا می‌توان جایگزین سیم ۰/۷۰ نمود؟

حل:

$$d_۲ = \frac{d_۱}{\sqrt{n}}$$

$$d_۲ = \frac{۰/۷۰}{\sqrt{۲}} = ۰/۵۰\,mm$$

یعنی می‌توان به جای سیم یک رشته سیم ۰/۷۰ mm از دو رشته سیم با قطر ۰/۵۰ mm استفاده نمود.

شناسایی عیوب مکانیکی و برطرف نمودن آن

عیوب مکانیکی در موتورهای سه فاز معمولاً به اجزای فیزیکی و متحرک مربوط می‌شوند و می‌توانند باعث لرزش، صدا ، افزایش دما و کاهش بازده شوند. مهم‌ترین عیوب مکانیکی و نحوه رفع آن در جدول ۱۳ آمده است.

جدول ۱۳ـ 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 به‌طور نامتقارن توزیع شده باشد	لرزش شدید	بالانس روتور در کارگاه تخصصی
۴	شل بودن قطعات	شل شدن پیچ‌ها یا اجزای داخلی	صدای تق تق و لرزش	سفت کردن پیچ‌ها، استفاده از واشر فنری
۴	خرابی فن خنک‌کننده	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 پایگاه‌های هوش مصنوعی، دیگر عیوب مکانیکی را پیدا کنید.

۲ چند نمونه از انواع یاتاقان‌های مورد استفاده در موتور را جستجو کنید.

خودآزمایی

۱ مزایا و معایب سیم‌پیچی دوطبقه با گام کسری را بنویسید.

۲ محاسبات سیم‌پیچی یک موتور سه فاز ۱۸ شیار ۶ قطب دوطبقه برای حذف هارمونیک سوم را نوشته و جدول و دیاگرام سیم‌پیچی آن را نیز رسم نمایید.

۳ موتوری با سیم پیچ مس به قطر ۰/۷۰ میلی‌متر در دسترس است. در صورتی که قرار باشد با سیم آلومینیوم سیم‌پیچی شود، قطر آن را محاسبه نمایید.

۴ چند رشته سیم ۰/۵۰ میلی متری می‌تواند جایگزین سیم ۰/۹۰ میلی‌متری شود؟

۵ چند نمونه از عیب‌های مکانیکی را نوشته و رفع آنها را توضیح دهید.

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی موتورهای سه فاز دوطبقه گام کسری

نام و نام خانوادگی				شماره ملی		تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه :	تعمیرکاران برق صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۴	استاندارد عملکرد کار: محاسبه و رسم دیاگرام سیم‌پیچی و اجرای سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز دوطبقه با گام کسری	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳ L		
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۴۲	کار	سیم‌پیچی 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 (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 لاکی، 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	
				بیش از نیمی از مراحل کار به‌درستی انجام شده است، اما در عایق‌گذاری، ساخت کلاف‌ها اشکالات جزئی وجود دارد.	۲	
				کمتر از نیمی از مراحل انجام شده یا عایق‌گذاری، کلاف‌پیچی دارای خطاهای اساسی است و کیفیت کار برای ادامه مراحل سیم‌پیچی قابل قبول نیست.	۱	
۲	جا زدن کلاف‌ها به‌صورت دوطبقه گام کسری	در کارگاه سیم‌پیچی، استاتور عایق‌گذاری‌شده، 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 لاکی، با نظم و آرایش صحیح در شیارهای مربوطه به صورت گام کامل جای‌گذاری شده‌اند.	۳	
				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.	۲	
				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.	۱	
۳	سربندی و نواربندی	در کارگاه سیم‌پیچی با استاتور کلاف‌گذاری‌شده، 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	
				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	تست بدنه، بستن در پوش و راه‌اندازی و قرائت جریان‌ها	در کارگاه سیم‌پیچی الکتروموتور مونتاژشده، منبع تغذیه سه‌فاز، تابلو و تجهیزات حفاظتی، آمپرمتر ، ولت‌متر، کابل‌های اتصال و در زمان تقریبی ۲۰ الی ۳۰ دقیقه	مشاهده مستقیم عملکرد هنرجو، چک‌لیست مراحل راه‌اندازی، بررسی نحوه استفاده از تجهیزات، ارزیابی مقادیر ثبت‌شده، پرسش شفاهی	جریان‌های راه‌اندازی و بی‌باری هر سه فاز به‌درستی اندازه‌گیری و عملکرد موتور عادی و بدون لرزش یا صدای غیرعادی است.	۳	
				بیش از نیمی از مراحل راه‌اندازی و اندازه‌گیری به‌درستی انجام شده است. موتور صدایی غیر عادی دارد.	۲	
				جریان ها متعادل نیست، موتور آمپر می‌کشد.	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.	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:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از جا زدن کلاف‌ها به‌صورت دوطبقه گام کسری و سربندی و نواربندی (مراحل بحرانی)

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

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲ـ 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 پنجم

سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز



واحد یادگیری ۱

سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز یک سرعته

آیا می‌دانید

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 به‌کار می‌روند. این موتورها در محدوده‌های توانی مختلف تولید می‌شوند؛ بااین‌حال، استفاده از آنها در توان‌های بالا به‌دلیل محدودیت ظرفیت انشعاب تک‌فاز و افزایش جریان، معمولاً مقرون‌به‌صرفه 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؛ ازاین‌رو، 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 به‌گونه‌ای 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 به‌دنبال آن شروع به چرخش می‌کند.

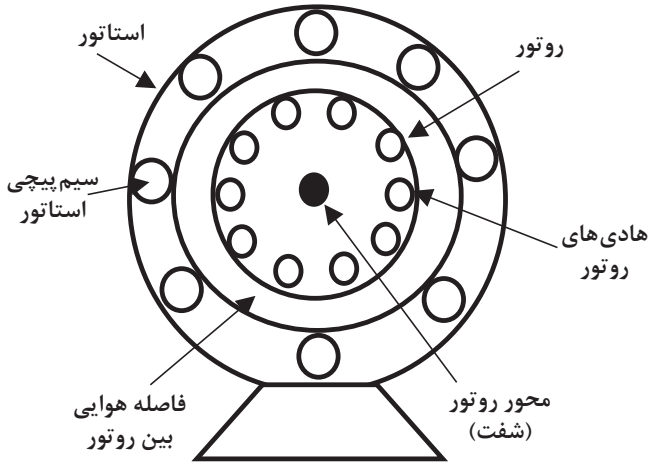


شکل ۱ــ چرخش آهن‌ربا

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.

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).



شکل ۲ــ نمای ساده از رتور و استاتور

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.

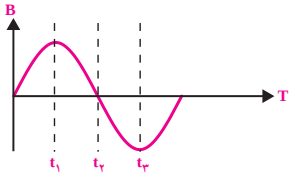


شکل ۳ــ تصویر انفجاری (باز شده) یک موتور الکتریکی تک‌فاز

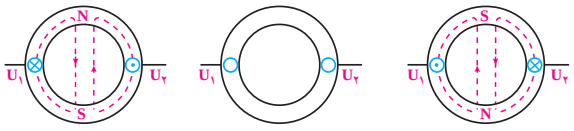
راه‌اندازی موتورهای القایی تک فاز

اگر در استاتور یک موتور القایی یک دسته سیم‌پیچی تعبیه کنیم و آن را به جریان متناوب سینوسی وصل کنیم با عبور جریان از این سیم‌پیچ در نیم‌سیکل مثبت یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. هر چند دامنه آن در نیم‌سیکل مثبت زیاد و کم می‌شود ولی ساکن است و در نیم‌سیکل منفی نیز به همین ترتیب با عبور جریان از داخل سیم‌پیچ یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که دامنه آن کم و زیاد می‌شود اما نسبت به نیم‌سیکل مثبت این تفاوت را دارد که جای قطب‌های مغناطیسی عوض شده است. منظور از میدان مغناطیسی ساکن آن است که محل قرار گرفتن قطب‌های N و S در هر دو نیم‌سیکل روی استاتور در یک راستا حرکت می‌کند. در شکل ۴ تغییر وضعیت قطب در دو نیم‌سیکل نشان داده شده است.

در حالت فوق اگر در داخل استاتور یک روتور قفسی قرار داشته باشد درهادی‌های آن جریان القایی به‌وجود می‌آید ولی گشتاور چرخشی نخواهیم داشت.



الف) جریان متناوب سینوس یک‌فاز



لحظه t_1 لحظه t_2 لحظه t_3

ب) وضعیت میدان مغناطیسی در یک استاتور با سیم‌پیچ تک‌فاز

شکل ۴ـ وضعیت میدان مغناطیسی

در لحظه اولیه راه‌اندازی، تعیین جهت چرخش برای روتور موتور تک‌فاز با یک سیم‌پیچ مقدور نیست. برای آنکه یک موتور القایی تک سیم‌پیچ بتواند راه‌اندازی 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.

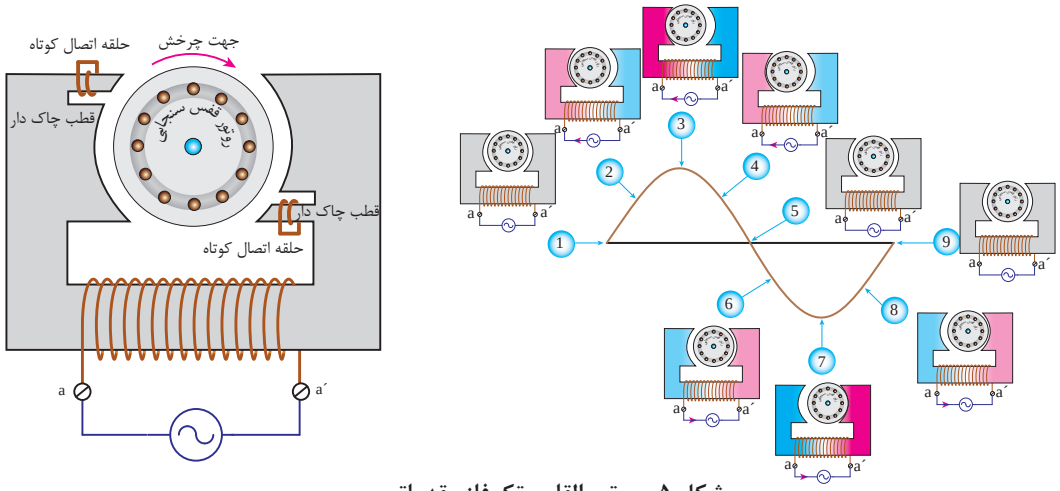
به همین دلیل اگر روتور را به‌وسیله دست یا هرعامل دیگری دریک جهت به چرخش درآوریم ملاحظه می‌شود که روتور به حرکت درخواهد آمد و با حذف عامل گردانده (مثلاً نیروی دست) روتور همچنان به چرخش خود ادامه خواهد داد. در بحث موتورهای تک‌فازه اساس کار چرخش بر پایه پدیده‌ای تحت‌عنوان تئوری دو میدان گردان مطرح می‌باشد.

ازتئوری دو میدان‌گردان می‌توان نتیجه گرفت پس در موتورهای تک‌فاز با یک سیم‌پیچ میدان دواری به‌وجود نمی‌آید تا روی روتور گشتاور چرخشی لازم را ایجاد کند، اما اگر در جهتی گردانده شود در جهت گردش به‌حرکت خود ادامه خواهد داد.

تحقیق‌کنید

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.

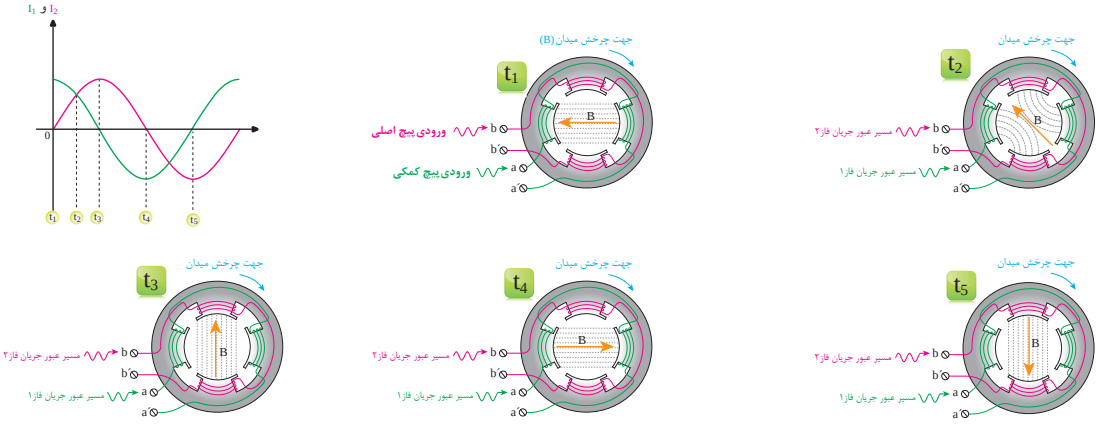
در شکل ۵ تصویر دیگری از چگونگی به‌وجود آمدن میدان مغناطیسی ضربانی (ساکن) و تغییر وضعیت قطب‌های N و S در فضای داخلی استاتور یک موتور القایی تک‌فاز نشان داده شده است.



شکل ۵ــ 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 دریک جهت ادامه دهد لازم است درون استاتور علاوه بر سیم‌پیچ اول «**سیم‌پیچ اصلی ــ Main**» از یک سیم‌پیچ دوم به‌نام «**سیم‌پیچ کمکی ــ 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 به‌طوری‌که جریان عبوری از آنها نیز دارای اختلاف فاز ۹۰ درجه الکتریکی باشد می‌توان میدان دوار ایجاد کرد.

شکل ۶ وضعیت میدان مغناطیسی به‌وجودآمده توسط سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی در فضای داخلی استاتورموتور تک‌فاز را در لحظات مختلف نشان داده شده است.



شکل ۶ــ وضعیت میدان مغناطیسی در لحظات مختلف

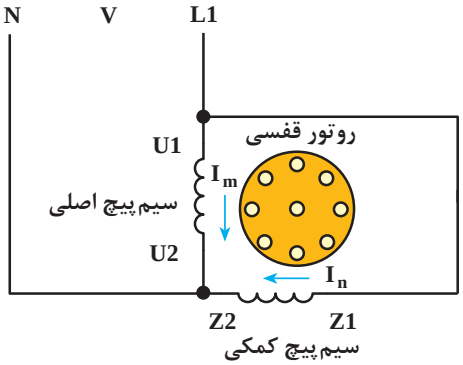
خصوصیات سیم‌پیچ کمکی

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:

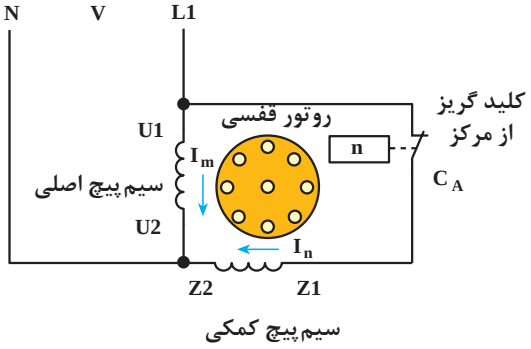
۱ سیم‌پیچ راه‌انداز باید از نظر مکانی ۹۰ درجه الکتریکی نسبت به سیم‌پیچ اصلی در درون استاتور اختلاف مکانی داشته باشد.

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 تحت‌عنوان «سیم‌پیچ راه‌انداز» نام برده می‌بریم.

شکل ۷ مدار الکتریکی دو نوع مدل تک‌فاز نشان داده شده است.



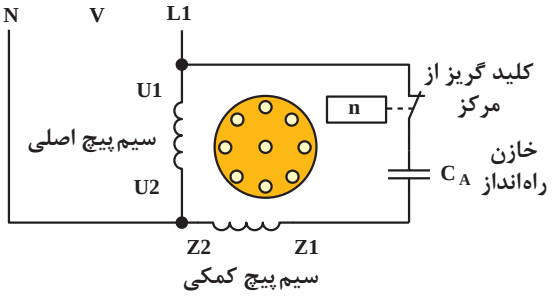
الف) موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی (دائم در مدار)



ب) موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی که توسط کلیدگریز از مرکز از مدار خارج می‌شود.

شکل ۷ــ مدار الکتریکی دو نوع موتور تک‌فاز

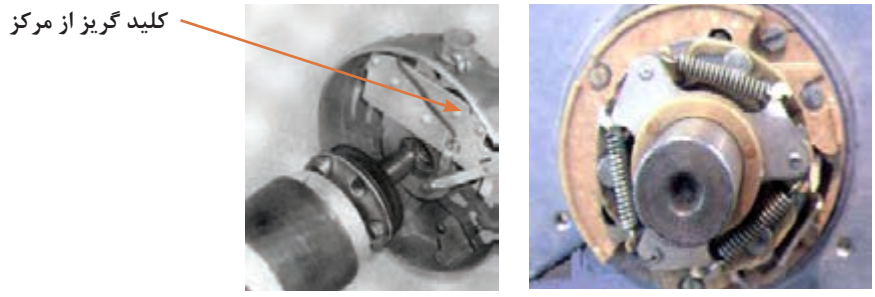
توضیح: در برخی موتورهای تک‌فاز از خازن در مسیر سیم‌پیچ راه‌انداز استفاده می‌شود تا گشتاور راه‌اندازی بهتر در موتور به‌وجود آید.



شکل ۸ــ مدار الکتریکی موتور تک‌فاز با کلید گریز از مرکز و خازن راه‌انداز

کلید تابع دور یا کلید گریز از مرکز

در بعضی از موتورهای تک‌فاز پس از راه‌اندازی دیگر نیازی به سیم‌پیچ راه‌انداز نیست و باید از مدار خارج شود. خارج کردن سیم‌پیچ راه‌انداز از مدار، معمولاً پس از رسیدن سرعت محور موتور به حدود ۷۵ درصد سرعت نامی آن، توسط کلیدهای گریز از مرکز انجام می‌شود. کلیدهای گریز از مرکز روی محور موتور نصب می‌شوند و با چرخش محور و استفاده از نیروی گریز از مرکز بازوهای آن باز شده و در نتیجه کنتاکت‌های متصل به آن تغییر وضعیت می‌دهند و باعث می‌شوند سیم‌پیچ کمکی پس از راه‌اندازی از مدار خارج شود.



شکل ۹ــ کلید گریز از مرکز

انواع موتورهای الکتریکی تک‌فاز

موتورهای الکتریکی تک‌فاز در چند نوع مختلف دسته‌بندی می‌شوند که در وسایل مختلف با توجه به کاربرد و توان و همچنین مسائل اقتصادی استفاده می‌شوند. هرکدام از انواع موتورهای تک‌فاز مشخصات و خصوصیات مختص به خودشان را دارند و به همین دلیل محل کاربرد آنها با هم تفاوت دارد.

۱ موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار
۲ موتور تک‌فاز با خازن دائم کار
۳ موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز
۴ موتور تک‌فاز دو خازنی
۵ موتور تک‌فاز قطب چاک‌دار
۶ موتور تک‌فاز یونیورسال



شکل ۱۰ـ انواع موتورهای تک‌فاز

۱ـ موتورهای تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی (سیم‌پیچ دائم کار)

از آنجا که موتورهای تک فاز از بیرون به برق تک فاز 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، به‌همین 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 تک فاز با سیم‌پیچ کمکی (سیم‌پیچ دائم کار):

- در این موتورها $\frac{۱}{۲}$ از شیارها به سیم‌پیچ اصلی و $\frac{۱}{۲}$ 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 تک فاز 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.

مثال

محاسبات کامل مربوط به یک الکتروموتور تک‌فاز با سیم‌پیچ دائم کار ۲۴ شیار ۴ قطب را به‌صورت یک طبقه، گام کامل انجام داده و ضمن تشکیل جدول سیم‌پیچی، دیاگرام گسترده آن‌را نیز ترسیم نمایید.

حل:

۱ـ خلاصه‌نویسی اطلاعات موتور و انجام محاسبات:

$Z = ۲۴ \ , \ ۲P=۴ \ , \ m=۱ \ , \ Y_z = Y_p \ , \ t=۱$

۲ـ تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ راه‌انداز:

تعداد شیارهای سیم‌پیچ اصلی $Z_m = \frac{۱}{۲} \times Z = \frac{۱}{۲} \times ۲۴ = ۱۲$

تعداد شیارهای سیم‌پیچ کمکی $Z_a = \frac{۱}{۲} \times Z = \frac{۱}{۲} \times ۲۴ = ۱۲$

۳ـ تعداد کلاف‌ها و گروه کلاف سیم‌پیچ اصلی

تعداد کلاف‌های هرگروه کلاف سیم‌پیچ اصلی $q_m = \frac{Z_m}{۲P \times m} = \frac{۱۲}{۴ \times ۱} = ۳$

تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی $G_m = \frac{t.Z_m}{۲q_m \times m} = \frac{۱ \times ۱۲}{۲ \times ۳ \times ۱} = ۲$

۴ـ تعداد کلاف‌ها و گروه کلاف سیم‌پیچ کمکی

تعداد کلاف‌های هرگروه کلاف سیم‌پیچ کمکی $q_a = \frac{Z_a}{۲P \times m} = \frac{۱۲}{۴ \times ۱} = ۳$

تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچ کمکی $G_a = \frac{t.Z_a}{۲q_a \times m} = \frac{۱ \times ۱۲}{۲ \times ۳ \times ۱} = ۲$

۵ـ زاویه الکتریکی هر شیاراستاتور

$\alpha_{ez} = \frac{۳۶۰ \times P}{Z} = \frac{۳۶۰ \times ۲}{۲۴} = ۳۰^\circ$

۶ـ شیار شروع سیم‌پیچ اصلی و کمکی

شیار شروع سیم‌پیچ اصلی = ۱

شیار شروع سیم‌پیچ راه‌انداز $= ۱ + \frac{۹۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۹۰}{۳۰} = ۴$

۷ـ گام قطبی موتور

$y_p = \frac{Z}{۲P} = \frac{۲۴}{۴} = ۶$

۸ـ گام سیم‌بندی سیم‌پیچ اصلی

$y_{zm} = y_p = ۶$ پس $y_z = y_p = ۶$ گام کامل

گام سیم‌بندی سیم‌پیچ اصلی $۱ \rightarrow ۱ + y_{zm} \rightarrow ۷$

۹ـ گام سیم‌بندی سیم‌پیچ کمکی

گام کامل $y_z = y_p = ۶$ پس $y_{za} = y_p = ۶$

گام سیم‌بندی سیم‌پیچ کمکی $۱ \rightarrow ۱ + y_{za} \rightarrow ۷$

۱۰ـ تشکیل جدول سیم‌پیچی

در تشکیل جدول تعداد سطرها با تعداد قطب‌ها و تعداد ستون‌ها با تعداد فازهای موتور برابر است.

تعداد سطرها = تعداد قطب‌ها = $۲P = ۴$

تعداد ستون‌ها = مجموع تعداد سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی = ۲

پس ابتدا باید یک جدول ۲×۴ ترسیم شده و در کنار هر سطر و ستون نام‌گذاری مربوطه را انجام داد.

جدول ۱ـ سیم‌پیچی موتور با سیم‌پیچ کمکی

m / ۲P	سیم‌پیچ اصلی U1 , U2	سیم‌پیچ راه‌انداز W1 , W2
N		
S		
N		
S		

چون $q=۳$ 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 به‌صورت جدول ۲ تکمیل کرد.

جدول ۲ـ سیم‌پیچی موتور با سیم‌پیچ کمکی

m / ۲P	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 ۳ــ سیم‌پیچی موتور با سیم‌پیچ کمکی با مشخص نمودن گام سیم‌پیچی

m / ۲P	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

سیم‌پیچ راه‌انداز	سیم‌پیچ اصلی
گروه کلاف اول	گروه کلاف اول
۴ → ۱۲	۱ → ۹
۵ → ۱۱	۲ → ۸
۶ → ۱۰	۳ → ۷
گروه کلاف دوم	گروه کلاف دوم
۱۶ → ۲۴	۱۳ → ۲۱
۱۷ → ۲۳	۱۴ → ۲۰
۱۸ → ۲۲	۱۵ → ۱۹

در جدول بالا کاملاً مشخص است که سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی هرکدام از دو گروه کلاف که هر کدام دارای ۳ کلاف هستند تشکیل شده است. قطر سیم لاکی به‌کار رفته در سیم‌پیچ کمکی نازک‌تر از سیم‌پیچ اصلی می‌باشد تا مقدار مقاومت آن بیشتر شده و اختلاف فاز بیشتری بین ولتاژ و جریان دو سیم‌پیچ به‌وجود آید.

۱۱ــ تعیین نوع اتصالات گروه کلاف‌ها (سربندی موتور)

برای محاسبه تعداد گروه کلاف‌های هر سیم‌پیچی از روابط زیر می‌توان استفاده کرد و در نهایت مشابه موتورهای سه فاز 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)

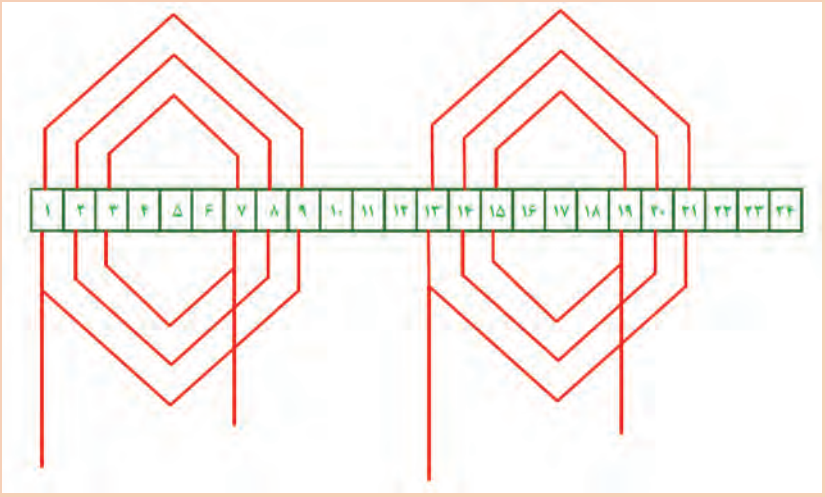
با توجه به رابطه تعداد گروه کلاف‌های موتور و محاسبه آن برای مشخصات موتور، اتصال گروه کلاف‌های موتور را به‌صورت زیر می‌توان تشخیص داد:

سیم‌پیچ اصلی $G_m = \frac{t \times Z_m}{2q_m \times m} = \frac{1 \times 12}{2 \times 3 \times 1} = 2$ اتصال نزدیک

سیم‌پیچ کمکی $G_a = \frac{t \times Z_a}{2q_a \times m} = \frac{1 \times 12}{2 \times 3 \times 1} = 2$ اتصال نزدیک

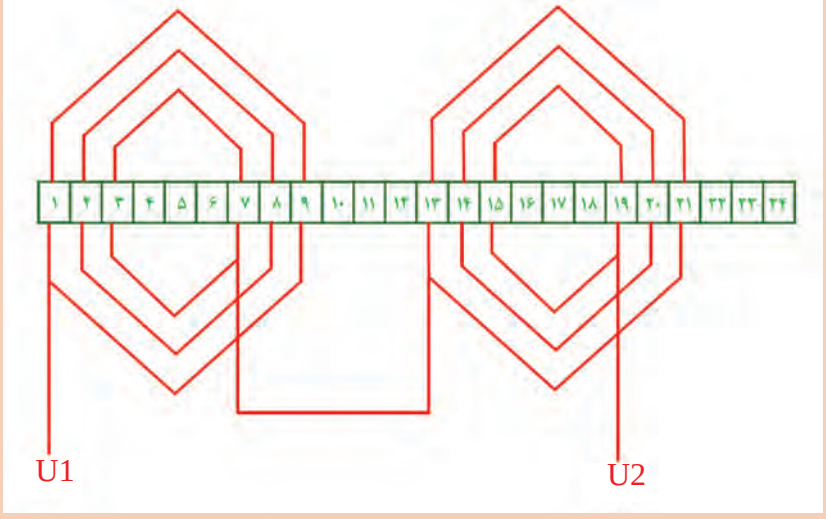
۱۲ــ ترسیم دیاگرام سیم‌پیچی موتور

■ **سیم‌پیچ اصلی:** بر پایه محاسبات انجام شده شکل دیاگرام گسترده سیم‌پیچی اصلی موتور در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



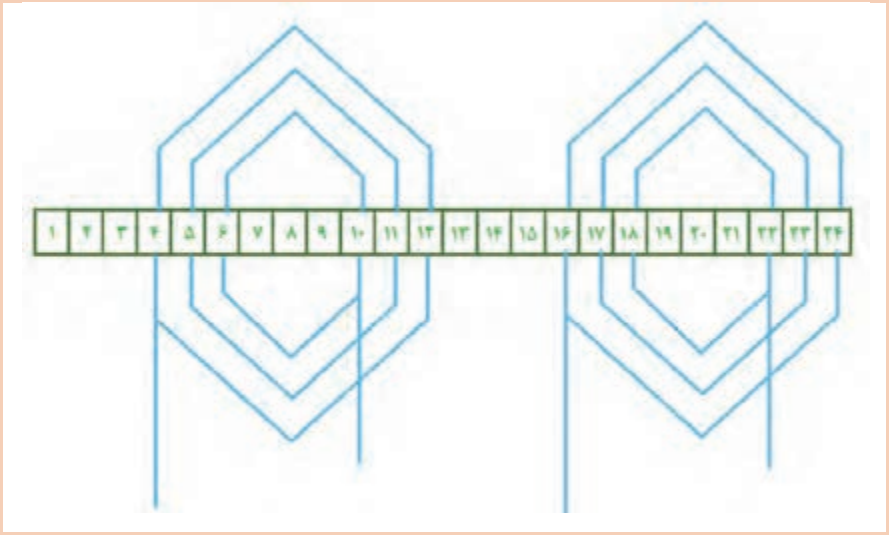
شکل ۱۱ــ دیاگرام کلاف گذاری سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

همان‌طوری‌که اشاره شد چون مقدار G = P به‌دست آمده است لذا نحوه اتصال گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی موتور به‌صورت «اتصال نزدیک» و مشابه شکل ۱۲ خواهد بود.



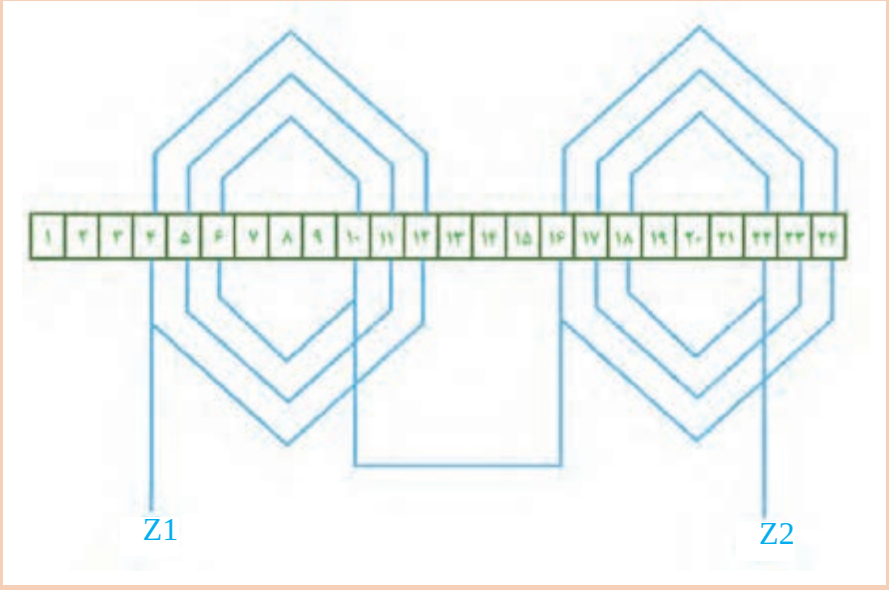
شکل ۱۲ــ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

■ **سیم‌پیچ کمکی:** نقشه دیاگرام گسترده سیم‌پیچ کمکی موتور در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



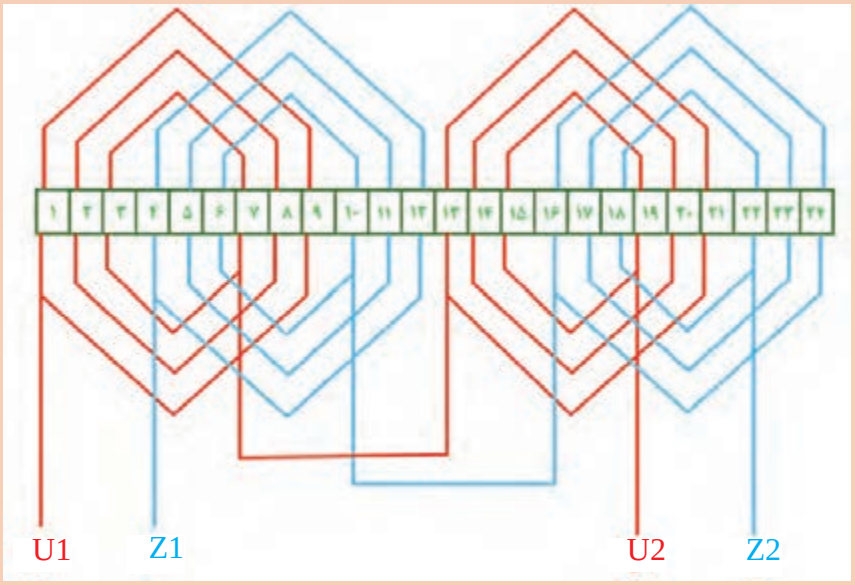
شکل ۱۳ـ دیاگرام کلاف‌گذاری سیم‌پیچ کمکی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

در شکل ۱۴ نحوه اتصال گروه کلاف‌های سیم‌پیچ کمکی (سربندی موتور) که اتصال نزدیک است را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۴ـ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

در شکل ۱۵ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی کامل موتور تک‌فاز ۲۴ شیار چهار قطب نشان داده شده است.



شکل ۱۵ـ دیاگرام گسترده موتور تک‌فاز ۲۴ شیار چهار قطب با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

کارعملی

هدف: کلاف‌گذاری، سربندی و نواربندی یک الکتروموتور ۲۴ یا ۳۶ شیار تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم در مدار

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ـ پوسته ۳۶ شیار ۲ـ کلاف پیچ ۳ـ سیم لاکی سایز ۰/۵۰ ۴ـ عایق برشمان ۵ـ کاتر ۶ـ خط‌کش ۷ـ کولیس ۸ـ نخ ۹ـ هویه، سیم لحیم و روغن لحیم‌کاری ۱۰ـ سیم افشان سایز ۱ میلی‌مترمربع ۱۱ـ سیم‌چین و دم‌باریک

مراحل انجام کار:

۱ با توجه به امکانات موجود در هنرستان و با نظر هنرآموز خود یکی از دو الکترو موتور تک فاز ۲۴ شیار یا ۳۶ شیار را از انبار تحویل بگیرید.

۲ محاسبات لازم برای سیم‌پیچی موتور تک فاز ۲۴ شیار۴ قطب یا ۳۶ شیار ۶ قطب را به‌صورت گام کامل به‌همراه 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 بازوی 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 سیم‌پیچ اصلی (U1 و U2) و سیم‌پیچ کمکی (Z1 و Z2) را از تخته کِلِم موتور خارج کنید.
۸ در پایان کار لحیم‌کاری با راهنمایی مربی خود و استفاده از قسمت اهم‌متری یک دستگاه مولتی‌متر سر و ته کلاف‌های 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 سیم‌پیچی موتور را نخ‌بندی کنید.
۱۰ به‌ترتیب به سرهای (U1 و U2) و(Z1 و Z2) که به‌صورت موازی اتصال داده و با حضور مربی کارگاه سیم‌های فاز و نول شبکه تک‌فاز (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 اندازه‌گیری کنید.
۱۳ درصورتی‌که روی تابلو آمپرمتر در مسیر سیم فاز وجود دارد مقدار جریان در لحظه وصل کنید و ۵ ثانیه پس از راه‌اندازی را یادداشت نمایید.

I_m (start) = ... I_m = ... n = ...

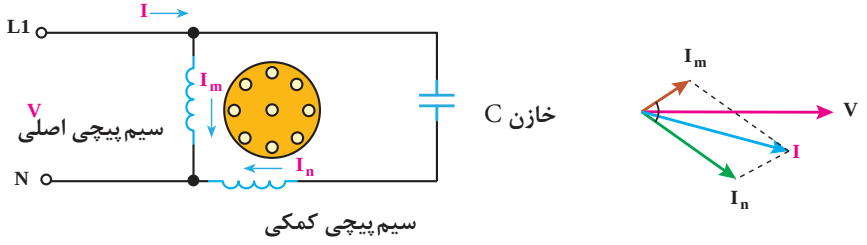
تمرین

محاسبات کامل یک الکترو موتور تک فاز ۲۴ شیار ۲ قطب، یک طبقه و گام کامل را به‌صورت طرح دو فاز با سیم‌پیچ راه‌انداز دائم کار انجام داده و نقشه گسترده آن را در کاغذ شطرنجی ترسیم نمایید.

۲ـ موتورهای تک‌فاز خازن‌دار

الف) موتور تک فاز خازن‌دار با سیم‌پیچ کمکی دائم کار:

نوعی از موتورهای تک‌فاز با سیم‌پیچ کمکی دائم کار وجود دارد که در مسیر سیم‌پیچ کمکی آنها یک خازن نیز قرار می‌گیرد. جنس این خازن روغنی بوده و به‌دلیل اینکه در مدار باقی می‌ماند ظرفیت بالایی ندارد. به این موتورها، موتورهای با خازن دائم کار گفته می‌شود. از این موتورها در بسیاری از لوازم خانگی مثل پنکه و ماشین‌لباسشویی استفاده می‌شود. این نوع موتورها سر و صدای بسیار کمی‌دارند و نسبت به موتور فاز شکسته گشتاور راه‌اندازی بالاتری دارند و همچنین تغییر جهت چرخش در آنها به‌راحتی توسط یک کلید ساده امکان‌پذیر است (شکل ۱۶).

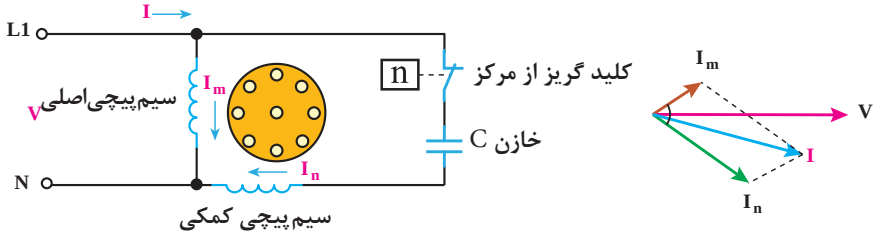


شکل ۱۶ـ اتصال سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی موتور تک‌فاز با خازن دائم کار به‌همراه دیاگرام برداری ولتاژ و جریان‌ها

ب) موتور تک‌فاز خازن‌دار با سیم‌پیچ کمکی موقت (سیم‌پیچ راه‌انداز)

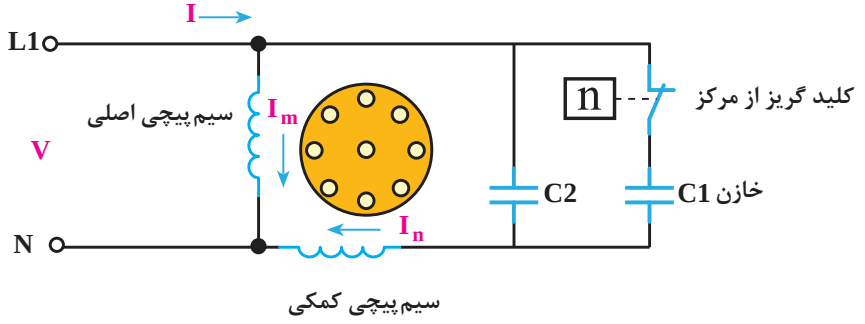
در این نوع موتورها زمان راه‌اندازی هر دو سیم‌پیچ اصلی و کمکی به‌صورت موازی با هم در مدار قرارمی‌گیرند، اما پس از راه‌اندازی و رسیدن سرعت موتور به حدود ۷۵٪ سرعت نامی، کلید تابع دور عمل می‌کند. این‌گونه موتورها در دو دسته تولید و به‌کار گرفته می‌شوند.

■ **موتور تک فاز 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 ۱۷ــ اتصال سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز به‌همراه دیاگرام برداری ولتاژ و جریان‌ها

■ **موتور تک فاز 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 دایم در مدار است. در این موتورها در واقع با حضورخازن دائم درمدار گشتاور کار موتور تقویت شده است. در زمان راه‌اندازی هر دو خازن با هم به‌صورت 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 ۱۸ــ اتصال سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی موتور تک‌فاز دو خازنی

در موتورهای تک فازی که سیم‌پیچ راه‌انداز پس از راه‌اندازی توسط کلید گریز از مرکز مدار خارج می‌شود $\frac{۲}{۳}$ از شیارها به سیم‌پیچ اصلی و $\frac{۱}{۳}$ از شیارها به سیم‌پیچ راه‌انداز اختصاص می‌یابد که البته این خاصیت باعث کاهش بازده موتور در حالت کار می‌شود.

در ادامه ضمن بررسی یک مثال با روابط و مراحل انجام محاسبات موتورهای تک‌فاز یک طبقه گام کامل آشنا خواهید شد.

محاسبات سیم‌پیچی موتورهای تک فاز دوسرعته با سیم‌پیچ راه‌انداز

مثال

مطلوبست محاسبات سیم‌پیچی یک الکترو موتور تک فاز۲۴ شیار ۴ قطب با راه‌انداز موقت را انجام داده و به‌همراه تشکیل جدول سیم‌پیچی، دیاگرام گسترده آن را نیز رسم نمایید.

حل: برای آشنایی با نحوه دستیابی به خواسته‌های سؤال محاسبات را طبق مراحل زیر باید انجام داد:

۱ـ خلاصه‌نویسی اطلاعات موتور و انجام محاسبات

سیم‌پیچ کمکی از مدار خارج می‌شود $Z = ۲۴ \ , \ ۲P=۴ \ , \ m=۱ \ , \ t=۱$

۲ـ تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ کمکی

تعداد شیارهای سیم‌پیچ اصلی $Z_m = \frac{۲}{۳} \times Z = \frac{۲}{۳} \times ۲۴ = ۱۶$

تعداد شیارهای سیم‌پیچ کمکی $Z_a = \frac{۱}{۳} \times Z = \frac{۱}{۳} \times ۲۴ = ۸$

۳ـ تعداد کلاف‌ها و گروه کلاف سیم‌پیچ اصلی

سیم‌پیچی اصلی موتور از چهار گروه کلاف که هرکدام دارای

$$q_m = \frac{Z_m}{۴P \times m} = \frac{۱۶}{۴ \times ۲ \times ۱} = ۲$$

دو کلاف هستند تشکیل می‌شود.

$$G_m = \frac{t \times Z_m}{۲q_m \times m} = \frac{۱ \times ۱۶}{۲ \times ۲ \times ۱} = ۴$$

۴ـ تعداد کلاف‌ها و گروه کلاف سیم‌پیچ کمکی (راه‌انداز)

سیم‌پیچی کمکی موتور از چهار گروه کلاف که هرکدام دارای

$$q_a = \frac{Z_a}{۴P \times m} = \frac{۸}{۴ \times ۲ \times ۱} = ۱$$

یک کلاف هستند تشکیل می‌شود.

$$G_a = \frac{t \times Z_a}{۲q_a \times m} = \frac{۸}{۲ \times ۱ \times ۱} = ۴$$

۵ـ زاویه الکتریکی هر شیار

$$\alpha_{ez} = \frac{۳۶۰ \times P}{Z} = \frac{۳۶۰ \times ۲}{۲۴} = ۳۰^{\circ}$$

۶ـ شیار شروع سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ کمکی (راه‌انداز)

۱= شیار شروع سیم‌پیچ اصلی

$$\text{شیار شروع سیم‌پیچ راه‌انداز} = ۱ + \frac{۹۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۹۰}{۳۰} = ۴$$

۷ـ گام قطبی موتور

$$y_p = \frac{Z}{۲P} = \frac{۲۴}{۴} = ۶$$

۸ـ گام سیم‌بندی سیم‌پیچ اصلی

$$y_{za} = y_p - q_m = ۶ - ۲ = ۴$$

گام سیم‌پیچ اصلی $۱ \rightarrow ۱ + y_{zm} \rightarrow ۷$

۹ـ گام سیم‌بندی سیم‌پیچ کمکی (راه‌انداز)

$$y_{za} = y_p - q_a = ۶ - ۱ = ۵$$

گام سیم‌پیچی کمکی (راه‌انداز) $۱ \rightarrow ۱ + y_{za} \rightarrow ۷$

۱۰ـ 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 ۴ـ سیم‌پیچی موتور تک‌فاز مثال ۲

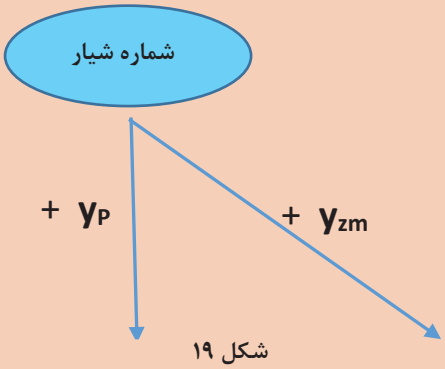
	سیم‌پیچ اصلی		سیم‌پیچ راه‌انداز	
N				
S				
N				
S				

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 $q'_m = ۲$ می‌باشد، در هر سلول ۲ شیار قرار می‌گیرد.
در ستون سیم‌پیچ راه‌انداز نیز ۸ سلول وجود دارد، در حالی‌که کل شیارهای سیم‌پیچ راه‌انداز ۸ شیار می‌باشد. یعنی در هر سلول یک شیار قرار می‌گیرد. از طرفی چون $q'_a = ۱$ می‌باشد، در هر سلول یک شیار قرار می‌گیرد.
ابتدا سلول‌های سیم‌پیچ اصلی را با شروع از شیار شماره یک به‌صورت زیر تکمیل می‌کنیم:

جدول ۵ـ 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



شکل ۱۹

پس در نهایت جدول سیم‌پیچ اصلی به‌صورت 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: ۱ → ۶، ۲ → ۵
گروه کلاف دوم: ۷ → ۱۲، ۸ → ۱۱
گروه کلاف سوم: ۱۳ → ۱۸، ۱۴ → ۱۷
گروه کلاف چهارم: ۱۹ → ۲۴، ۲۰ → ۲۳

شکل ۲۰ـ 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.

۱۱ـ تعیین نوع اتصالات گروه کلاف‌ها (سربندی موتور)

با توجه به تعدادگروه 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)

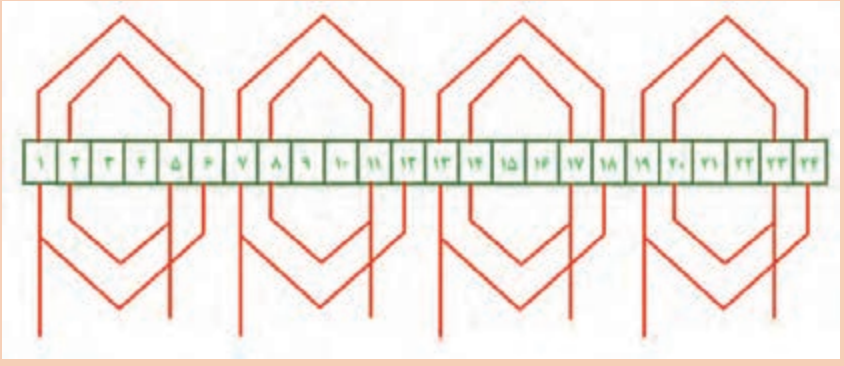
$G = P$ اتصال نزدیک (ته به سر و سر به ته)

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.

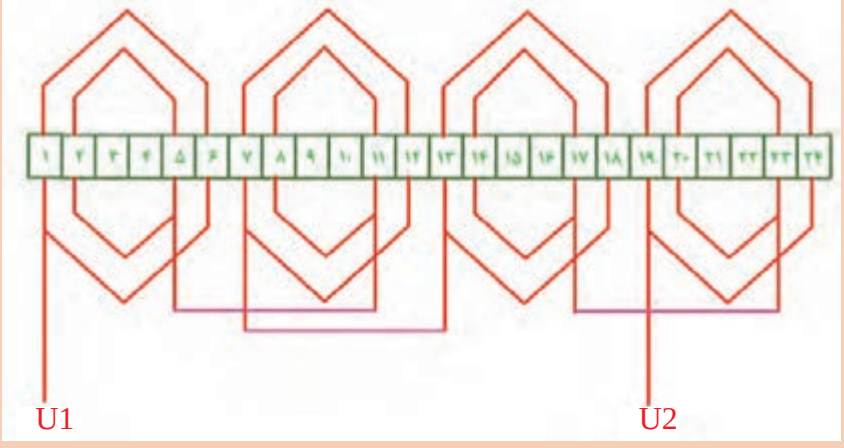
۱۲ـ ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور

سیم‌پیچ اصلی: در شکل ۲۱ نحوه قرارگرفتن گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی در داخل شیارهای استاتور نشان داده شده است.



شکل ۲۱ـ 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 ۲۲ـ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز با سیم‌پیچ راه‌انداز

اکنون با توجه به اینکه شیار شروع سیم‌پیچ راه‌انداز که از شیار شماره ۴ می‌باشد و همچنین مقادیر y_p و y_z و قاعده نشان داده شده در شکل ۲۳ جدول سیم‌پیچ راه‌انداز را باید تکمیل کرد.

جدول ۶ـ سیم‌پیچی راه‌انداز

سیم‌پیچی راه‌انداز		
N	۴	۳
S	۱۰	۹
N	۱۶	۱۵
S	۲۲	۲۱

ستون دوم سطر اول

شماره شیار

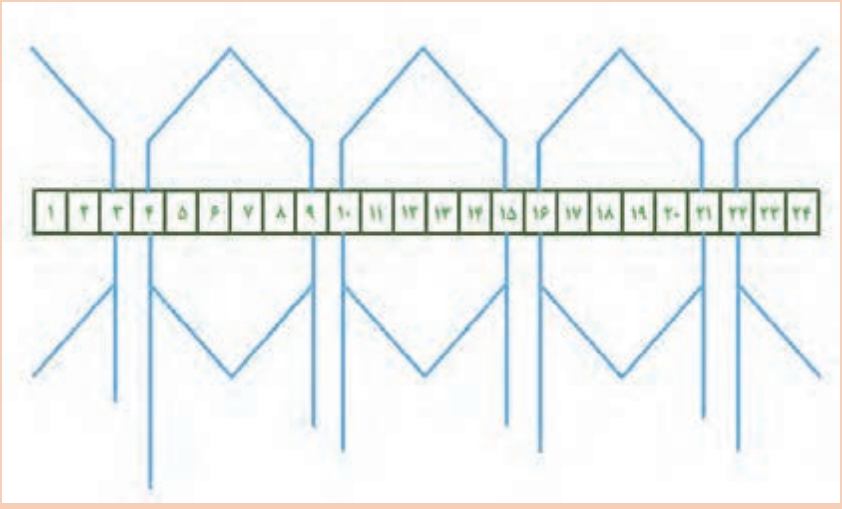
$+ Y_P$ $+ Y_{Za}$

سیم‌پیچی راه‌انداز		
N	۴	۳
S	۱۰	۹
N	۱۶	۱۵
S	۲۲	۲۱

همان‌طور که مشاهده می‌شود سیم‌پیچ راه‌انداز از ۴ گروه کلاف که دارای تک‌کلاف هستند تشکیل می‌شود که در مجموع ۸ شیار را پر می‌کند یعنی:

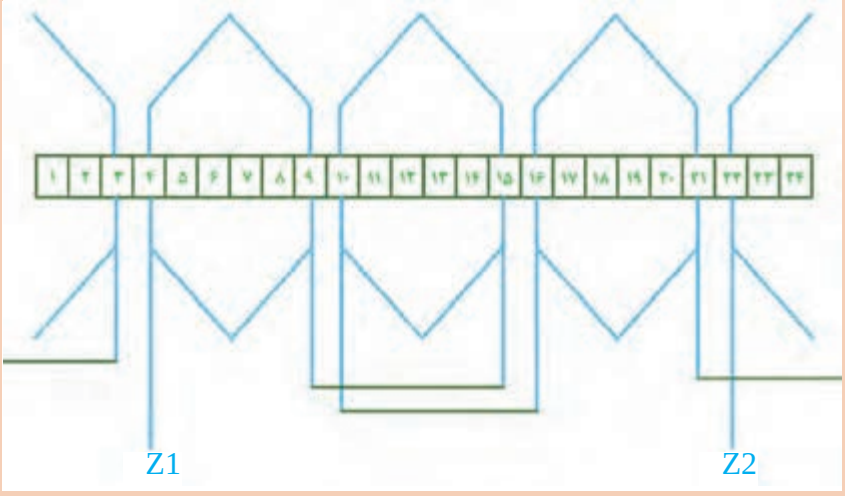
۲۱ → ۱۶ گروه کلاف سوم	۹ → ۴ گروه کلاف اول
۳ → ۲۲ گروه کلاف چهارم	۱۵ → ۱۰ گروه کلاف دوم

سیم‌پیچ راه‌انداز:



شکل ۲۳ـ دیاگرام کلاف‌گذاری سیم‌پیچ کمکی (سیم‌پیچ راه‌انداز) موتور تک‌فاز

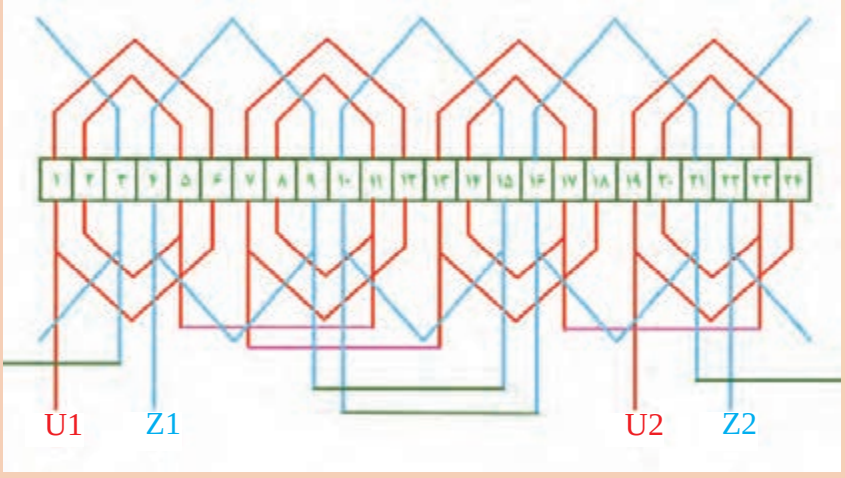
براساس مقدار به‌دست آمده برای G_a نوع سربندی سیم‌پیچ راه‌انداز نیز به‌صورت اتصال دور است.



شکل ۲۴ـ 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 ۲۵ـ دیاگرام موتور تک‌فاز ۲۴ شیار چهار قطب با سیم‌پیچ راه‌انداز

تمرین

محاسبات کامل یک الکترو موتور تک فاز ۳۶ شیار ۲ قطب را به‌صورت یک طبقه گام کامل با راه‌انداز موقت را انجام داده و ضمن تشکیل جدول سیم‌پیچی، نقشه دیاگرام گسترده آن را در دفترگزارش کار خود رسم کنید.

کارعملی

هدف: کلاف‌گذاری، سربندی و نواربندی یک الکتروموتور سه فاز۲۴ یا ۳۶ شیار به‌صورت یک طبقه با سیم‌پیچ کمکی موقت (سیم‌پیچ راه‌انداز)

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ ـ پوسته ۳۶ شیار ۲ـ کلاف پیچ ۳ـ سیم لاکی سایز ۰/۵ ۴ـ عایق برشمان ۵ـ کاتر ۶ـ خط‌کش ۷ـ کولیس ۸ـ نخ ۹ـ هویه، سیم لحیم و روغن لحیم‌کاری ۱۰ـ سیم افشان سایز ۱ میلی‌مترمربع ۱۱ـ 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 سیم‌پیچی موتور تک فاز ۲۴ شیار۴ قطب یا ۳۶ شیار ۶ قطب را به‌صورت یک طبقه گام کامل با راه‌انداز موقت، به‌همراه 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 مورد نیاز سیم‌پیچی موتور را توسط کلاف پیچ پیچیده و آماده نمایید.

۵ مطابق نقشه گسترده (یا جدول سیم‌پیچی) اقدام به جا زدن بازوکلاف‌های پیچیده شده و آماده نمایید.

۶ پس از جا زدن همه گروه کلاف‌ها، سر کلاف‌های خارج شده از شیارها را لحیم‌کاری کرده و اتصالات لازم برای سربندی موتور را انجام دهید.

۷ سر و ته سیم‌پیچ اصلی (U1 و U2) و سیم‌پیچ کمکی (W1 و W2) را از تخته کلم موتور خارج کنید.

۸ در پایان کار لحیم‌کاری با راهنمایی مربی خود و استفاده از قسمت اهم‌متری یک دستگاه مولتی متر سر و ته کلاف‌های 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 سیم‌پیچی موتور را نخ‌بندی کنید.

۱۰ به‌ترتیب به سرهای (U2 -U1) و(Z2 -Z1) که به‌صورت موازی اتصال داده و با حضور مربی کارگاه سیم‌های فاز و نول شبکه تک‌فاز (L1و 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 اندازه‌گیری کنید.

۱۳ درصورتی‌که روی تابلو آمپرمتر در مسیر سیم فاز وجود دارد مقدار جریان در لحظه وصل کلید و ۵ ثانیه پس از راه‌اندازی را یادداشت نمایید.

Im (start) = ... Im = ... n = ...

نکته مهم

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:

$Z = ۳۶ \quad ۲P = ۴ \quad m = ۱$ گام کامل

$$Z_m = \frac{۲}{۳} \times Z = \frac{۲}{۳} \times ۳۶ = ۲۴ \qquad Z_a = \frac{۱}{۳} \times Z = \frac{۱}{۳} \times ۳۶ = ۱۲$$

$$q_m = \frac{Z_m}{۴P \times m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۲ \times ۱} = ۳$$

$$q_a = \frac{Z_a}{۲P \times m} = \frac{۱۲}{۴ \times ۲ \times ۱} = ۱/۵$$

$$y_p = \frac{Z}{۲P} = \frac{۳۶}{۴} = ۹$$

$$\begin{cases} y_{zm} = y_p - q_m = ۹ - ۳ = ۶ \\ y_{za} = y_p - q_a = ۹ - ۱/۵ = ۷/۵ \end{cases}$$

گام سیم‌پیچی راه‌انداز برای نصف کلاف باید ۷ و برای نصف دیگر ۸ باشد. $\begin{cases} ۷ \\ ۸ \end{cases}$

$$G_m = \frac{t \times Z_m}{۲q_m \times m} = \frac{۱ \times ۲۴}{۲ \times ۳ \times ۱} = ۴$$

$$G_a = \frac{t \times Z_a}{۲q_a \times m} = \frac{۱۲}{۲ \times ۱/۵ \times ۱} = ۴$$

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.

$$\alpha_{ez} = \frac{۳۶۰P}{Z} = \frac{۳۶۰ \times ۲}{۳۶} = ۲۰^\circ$$

شیار شروع راه‌انداز $۱ + \frac{۹۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۹۰}{۲۰} = ۵/۵$ $\begin{cases} ۵ \\ ۶ \end{cases}$

اگر شروع راه‌انداز را از شیار شماره ۵ درنظر بگیریم، گروه کلاف اول دارای دو کلاف می‌شود اما اگر شیار شروع راه‌انداز را از شیار شماره ۶ در نظر بگیریم، گروه کلاف اول به‌صورت تک‌کلاف خواهد بود.

تشکیل جدول:

جدول ۷ـ سیم‌پیچی موتور ۳۶ شیار با سیم‌پیچ راه‌انداز

سیم‌پیچ 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 ۸ـ سیم‌پیچی موتور ۳۶ شیار با سیم‌پیچ راه‌انداز

سیم‌پیچ راه‌انداز		
N	۵ ۶	۴
S	۱۵	۱۳ ۱۴
N	۲۳ ۲۴	۲۲
S	۳۳	۳۱ ۳۲

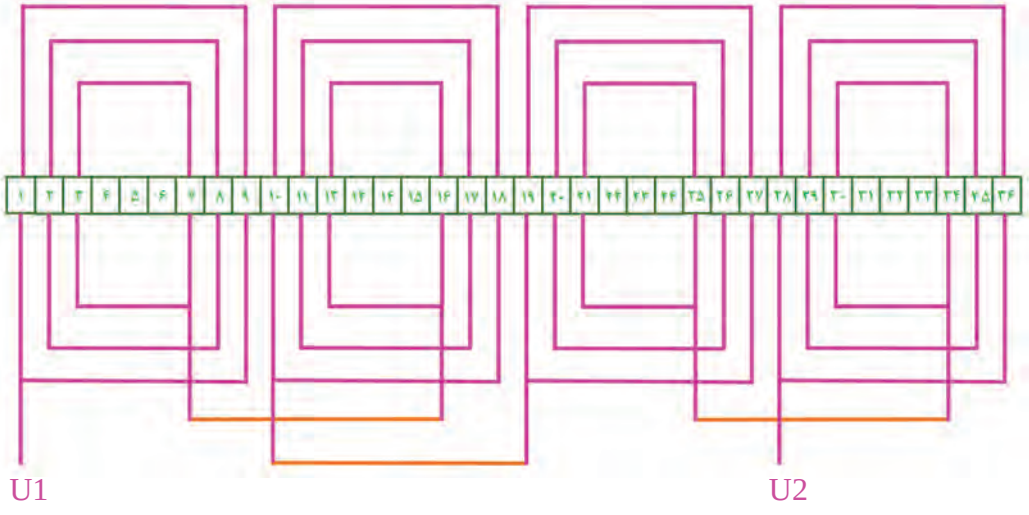
گروه کلاف اول
- ۵ → ۱۴
- ۶ → ۱۳

گروه کلاف دوم
- ۱۵ → ۲۲

گروه کلاف سوم
- ۲۳ → ۳۲
- ۲۴ → ۳۱

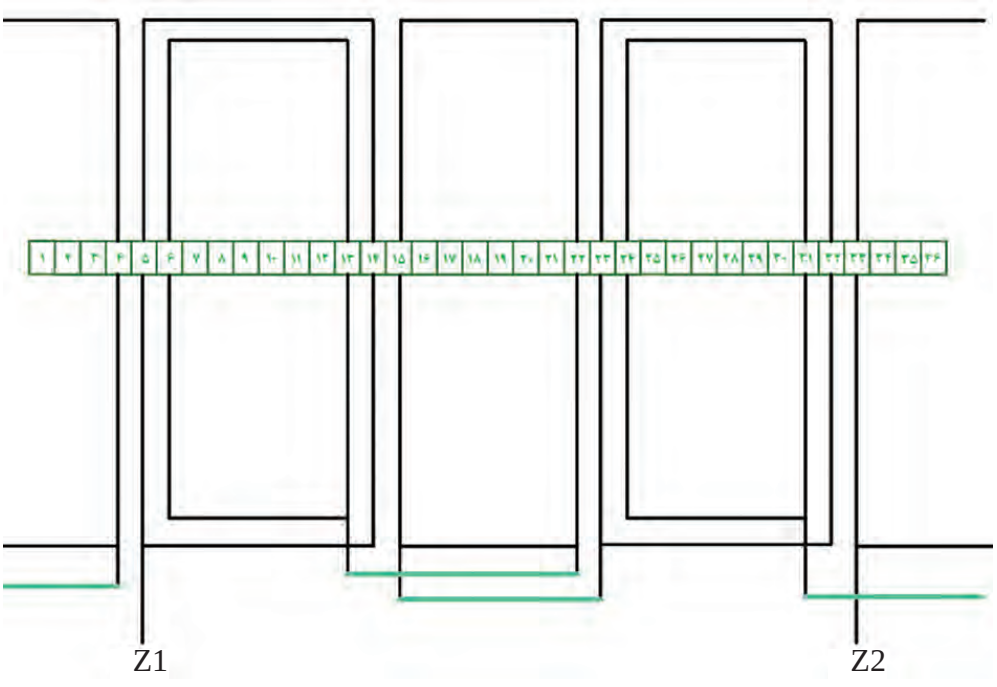
گروه کلاف چهارم
- ۳۳ → ۴

نقشه گسترده سیم‌پیچی اصلی:

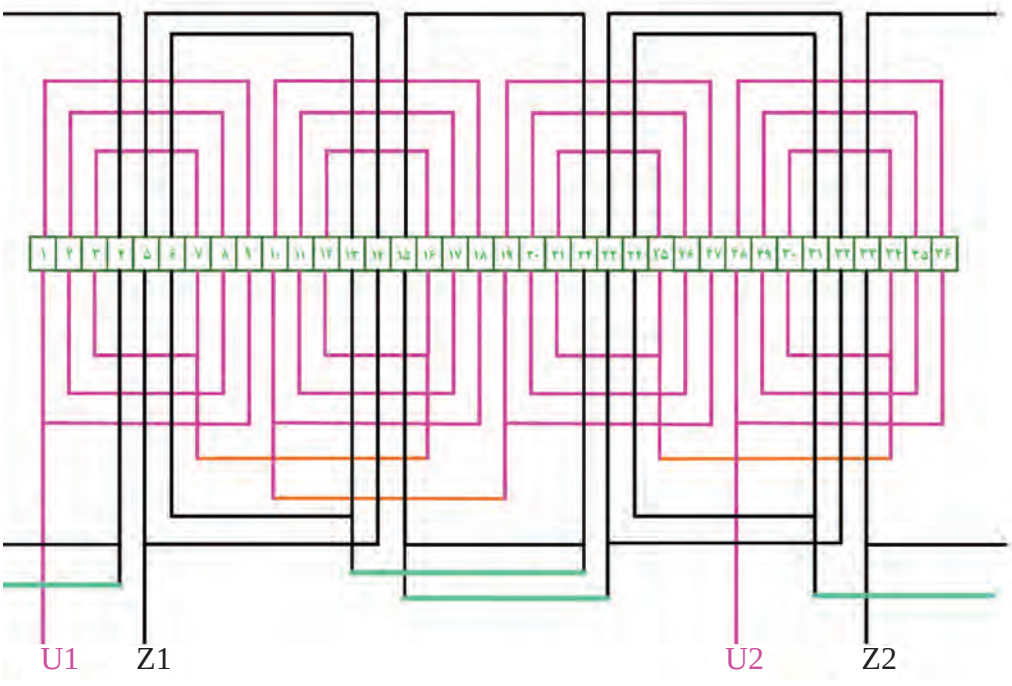


شکل ۲۶ـ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ اصلی موتور تک‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ راه‌انداز

نقشه گسترده سیم‌پیچی راه‌انداز:



شکل ۲۷ـ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ راه‌انداز موتور تک‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب



شکل ۲۸ـ دیاگرام گسترده کامل موتور تک‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ راه‌انداز

خود آزمایی

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 سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز یک سرعته

نام و نام خانوادگی			شماره ملی		تاریخ ارزشیابی:	نوبت:
کد حرفه	۷۴۱۲۱۳	حرفه:	تعمیرکاران‌برق‌صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۵	**استاندارد عملکرد کار:** محاسبه و سیم پیچی الکتروموتورهای تک‌فاز تک سرعته
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳	
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۵۱	کار	سیم پیچی موتورهای تک فاز یک سرعته	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 تک‌فاز	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 اصلی و کمکی 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	جازدن کلاف‌ها	در کارگاه سیم‌پیچی استاتور عایق‌گذاری شده، کلاف‌های اصلی و کمکی آماده، ابزار جازدن کلاف، دم‌باریک، چکش پلاستیکی، نقشه سیم‌پیچی، تجهیزات ایمنی 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 اصلی و کمکی 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، به عایق یا سیم‌ها آسیب وارد شده یا کمتر از نیمی از کار مطابق نقشه انجام شده است.	۱	
۳	سربندی و نوار‌بندی	درکارگاه سیم‌پیچ استاتور کلاف‌گذاری شده، نقشه سیم‌پیچی، دم‌باریک، سیم لخت‌کن، هویه و لوازم لحیم‌کاری (در صورت نیاز)، وارنیش یا روکش عایق، نوار عایق، نخ نسوز، اهم‌متر، 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 تک‌فاز و بدون خطا انجام شده، محل اتصالات به‌خوبی عایق شده و نوار‌بندی با استحکام 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، راه‌اندازی و قرائت جریان	در کارگاه سیم‌پیچی استاتور سیم‌پیچی شده، روتور، درپوش‌ها و یاتاقان‌ها، آچار و پیچ‌گوشتی، چکش پلاستیکی، منبع تغذیه، آمپرمتر 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 ثبت‌شده،	روتور به‌درستی در استاتور نصب شده، درپوش‌ها اصولی بسته شده‌اند، موتور بدون صدا و لرزش غیرعادی راه‌اندازی شده و جریان به‌درستی اندازه‌گیری، ثبت و تفسیر 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 یا نکات ایمنی رعایت نشده و موتور برای بهره‌برداری ایمن آماده نیست.	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،همکاری‌بادیگران،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.		

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)	بلی ☐
	خیر ☐

توضیحات:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ از جازدن کلاف‌ها، جا زدن روتور، بستن در پوش، راه اندازی و قرائت جریان (مراحل بحرانی)

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

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲ـ 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.

ـ 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

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

واحد یادگیری ۲

سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز دو سرعته (موتور کولر)

آیا می‌دانید

۱ کلید کولر آبی چگونه عمل می‌کند؟
۲ چگونه می‌توان یک موتور تک‌فاز را دو سرعته نمود؟
۳ کلید گریز از مرکز (تابع دور) چگونه کار می‌کند؟
۴ جدول سیم‌پیچی موتورهای کولر آبی با موتورهای سه فاز چه تفاوتی دارد؟
۵ توان‌ها و قطر سیم استاندارد موتور کولر چیست؟

استاندارد عملکرد

■ پس از اتمام این واحد یادگیری، هنرجویان قادر خواهند بود محاسبات سیم‌پیچی الکتروموتورهای تک فاز دو سرعته (کولر) را انجام داده و دیاگرام گسترده سیم‌پیچی آنها را ترسیم کرده و سیم‌پیچی کنند.

مقدمه

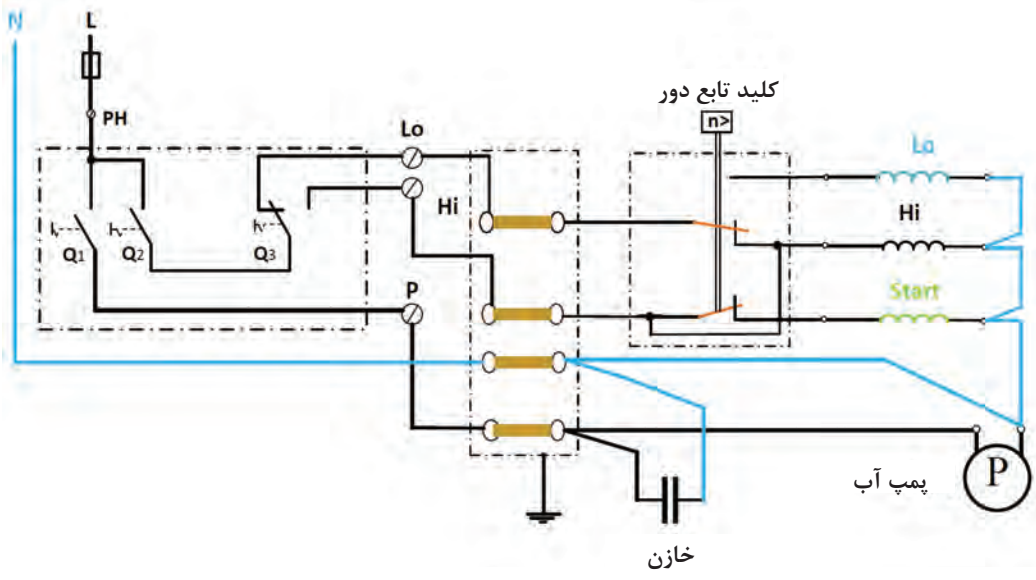
در انواع موتورهای تک فاز برای تغییر سرعت از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. در بعضی از موتورها مثل موتور پنکه برای تغییر سرعت از تغییر تعداد دور سیم‌پیچ‌ها و خروج سرهای مختلف از سیم‌پیچی استاتور استفاده می‌شود. در موتورهای تک فاز یونیورسال مثل جاروبرقی از کنترل سرعت‌های الکترونیکی استفاده می‌شود. نوع 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 سرعته (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 سرعته 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.



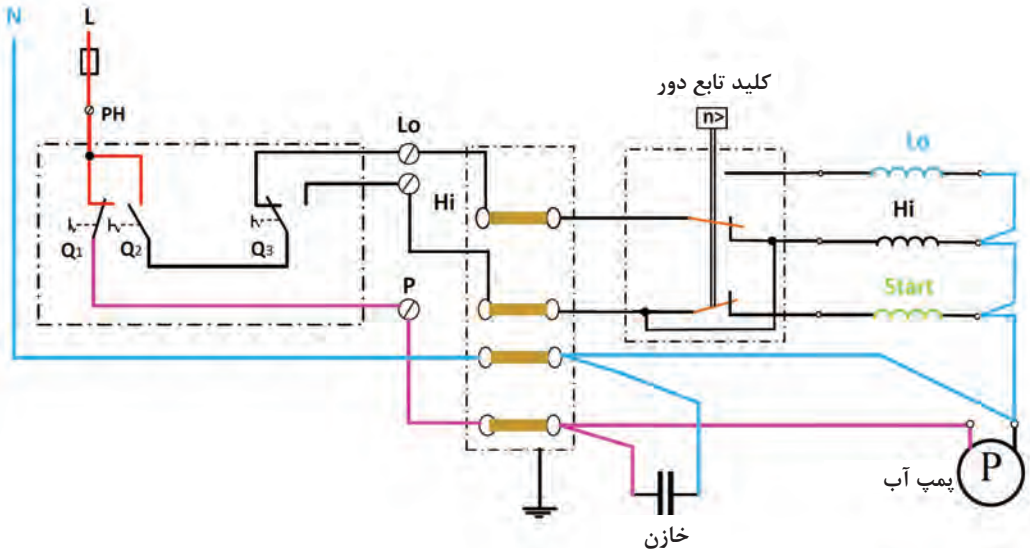
شکل ۲۹ـ کلید اصلی و کلید پمپ آب مدار کولر در وضعیت خاموش قرار دارد

توضیح

۱ وضعیت قرار گرفتن کنتاکت‌های کلید گریز از مرکز در شرایط خاموش بودن موتورکولر مطابق شکل ۲۹ است.

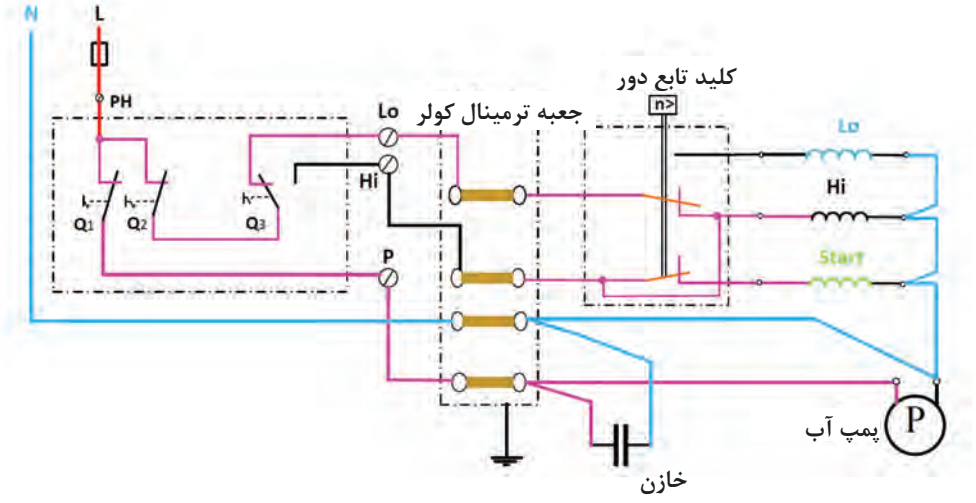
۲ در شکل‌های مربوط به کلید کولر مسیرهای حامل جریان با **رنگ قرمز** نشان داده شده است.

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.



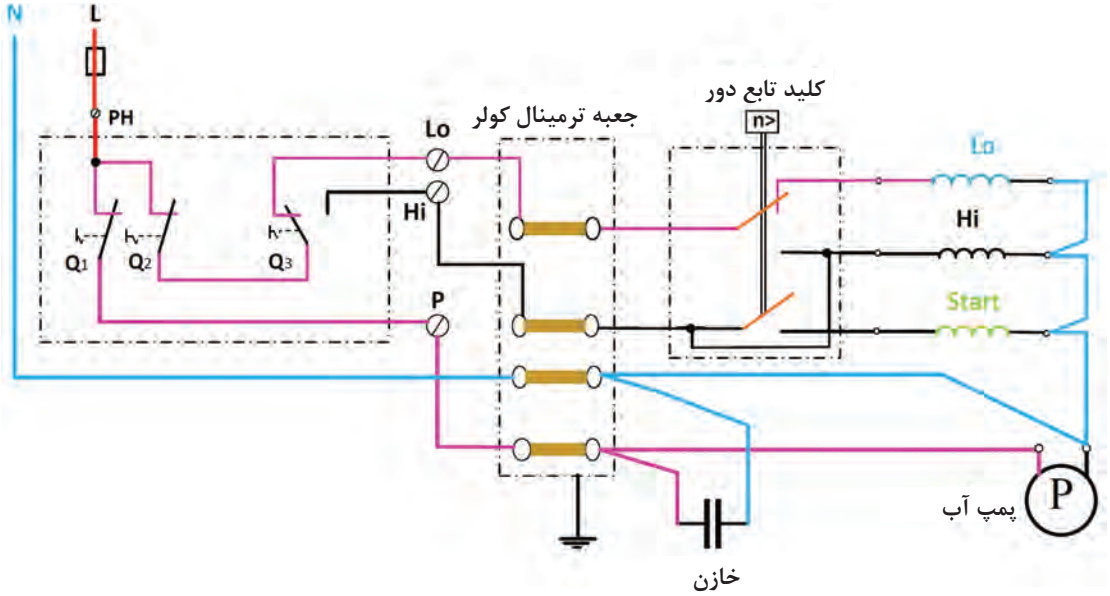
شکل ۳۰ـ کلید Q_1 وصل شده و پمپ آب در وضعیت روشن و موتور کولر خاموش است

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 سیم‌پیچ راه‌انداز شروع به کار نموده (شکل ۳۱) و در ادامه با عمل کلید تابع دور به حالت دور کم برسد.



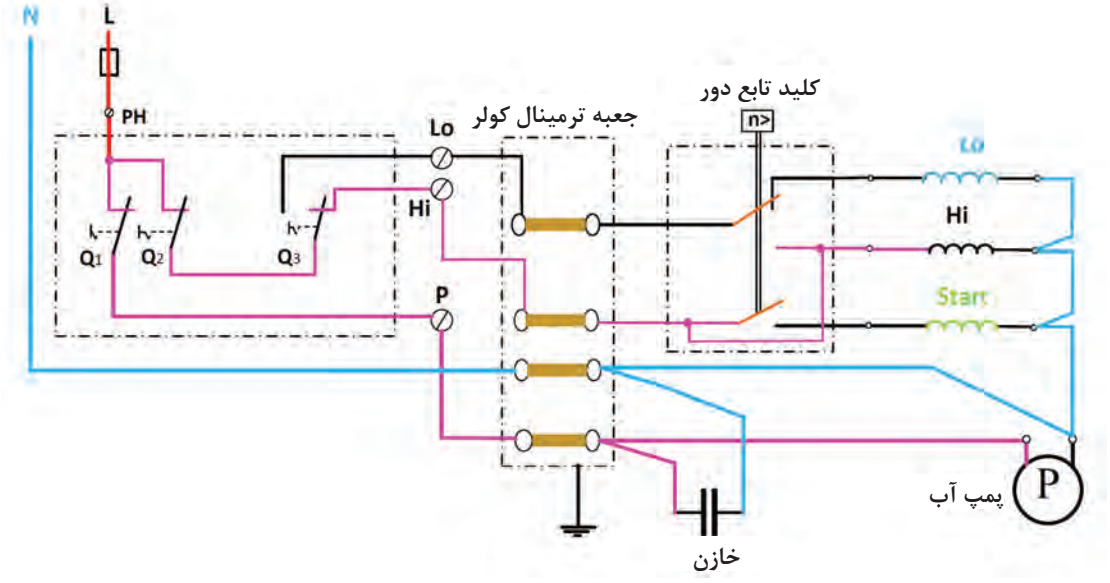
شکل ۳۱ـ در لحظه وصل کلید Q_2 (سیم‌پیچ راه‌انداز وسیم‌پیچ دورزیاد به‌همراه پمپ آب در وضعیت روشن)

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 ۳۲ـ کلید Q_2 در حالت وصل باقی‌مانده (موتور کولر در حالت دور کم به همراه پمپ آب در وضعیت روشن)

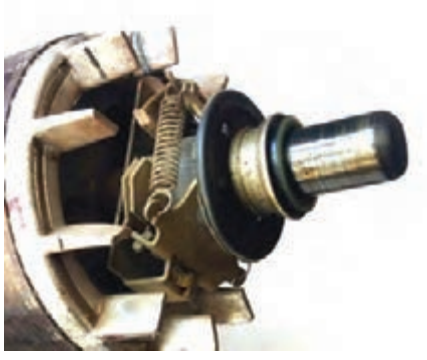
با فشردن کلید Q_2 مدار از حالت دور کم به حالت دور زیاد رفته، سیم‌پیچ دور کم از مدار خارج شده و مطابق شکل ۳۳ سیم‌پیچ دور زیاد (تند) در مدار قرار می‌گیرد.



شکل ۳۳ـ 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 ۳۴ـ روتور موتور تک‌فاز به همراه کلید تابع دور

شکل‌های ۳۴ و ۳۵ اتصال سیم‌پیچ‌های موتور کولر را در راه‌اندازی و در حالت کار عادی به یکدیگر و به شبکه نشان می‌دهند.



شکل ۳۵ـ اتصال سرسیم‌های سیم‌پیچ کولر به پین‌های کلید

شکل ۳۶ تصویر قسمت پشت کلید به سمت پوسته موتور را نشان می‌دهد. در واقع سرسیم‌های سیم‌پیچ‌های موتور به پین‌های روی کلید طبق یک رنگ بندی متداول متصل می‌شوند.



شکل ۳۶ـ محل اتصال سرسیم‌های کلید کولر به کلید تابع دور روی تخته کلم موتور

شکل ۳۷ تصویر قسمت جلویی کلید به سمت بیرون موتور را نشان می‌دهد. اتصالات مصرف‌کننده به این پین‌ها صورت می‌گیرد.



شکل ۳۷ـ قسمت بیرونی کلید تابع دور

کار عملی

هدف: بررسی ساختمان داخلی و نحوه عملکرد کلید تابع دور موتور کولر

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز: ۱ـ پوسته ۳۶ شیار موتور کولر ۲ـ 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 دقیقا تجزیه و تحلیل کرده و نتیجه را به‌صورت 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 به‌همراه 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 سرعته (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.

تذکر

محاسبات و سیم‌پیچی موتورهای کولر نسبت به سایر موتورهای تک‌فاز خاص‌تر بوده و تفاوت‌هایی دارد.



شکل ۳۸ــ شماره‌گذاری روی استاتور کولر

محاسبات سیم‌پیچی موتور کولر

در این قسمت به بررسی محاسبات، جدول و نقشه گسترده سیم‌پیچی یک موتور کولر دو سرعته ۳۶ شیار ۴ و ۶ قطبی می‌پردازیم.

حل: برای رسیدن به این هدف ابتدا با محاسبات، تشکیل جداول سیم‌پیچی و سپس با چگونگی ترسیم نقشه گسترده سیم‌پیچی‌های دور تند، دور کند و راه‌انداز به‌طور جداگانه آشنا می‌شوید و در نهایت هر سه نقشه را باید با هم ترکیب کرد تا نقشه کامل موتور کولر به‌دست آید.

برای اینکه به جزئیات مربوط به محاسبات و تشکیل جدول و ترسیم نقشه گسترده هر سیم‌پیچی بیشتر و بهتر پرداخته شود مراحل انجام کار به‌ترتیب و در قالب یک مثال مورد بررسی قرار گرفته است.

۱ــ معلومات

اطلاعات موتور به‌شرح زیر است:

$Z = ۳۶$, دور زیاد $۲P_۱ = ۴$, دور کم $۲P_۲ = ۶$

۲ــ محاسبات سیم‌پیچ دور تند

محاسبات سیم‌پیچ دور تند را باید به‌صورت موتورهای تک‌فاز با راه‌انداز موقت مطابق آنچه به آن اشاره شده است انجام داد.

تعداد شیارهای اصلی دور تند $Z_{m_۱} = \frac{۲}{۳} \times Z = \frac{۲}{۳} \times ۳۶ = ۲۴$

$$q_{m_۱} = \frac{Z_{m_۱}}{۲P_۱ \times m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۱} = ۶ \Rightarrow q'_{m_۱} = \frac{q_{m_۱}}{۲} = \frac{۶}{۲} = ۳$$

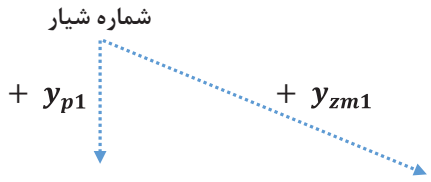
$$y_{p_۱} = \frac{z}{۲P_۱} = \frac{۳۶}{۴} = ۹$$

$$y_{zm_۱} = y_{p_۱} - q'_{m_۱} = ۹ - ۳ = ۶$$

۳ـ تشکیل جدول سیم‌پیچی دور تند (نوع سیم‌پیچی به‌صورت متحدالمرکز می‌باشد.)
براساس مقادیر به‌دست آمده برای Y_P و Y_Z باید مطابق قاعده نشان داده شده در جدول ۹، جدول سیم‌پیچی را کامل کرد.

جدول ۹ـ سیم‌پیچی موتور کولر دور تند

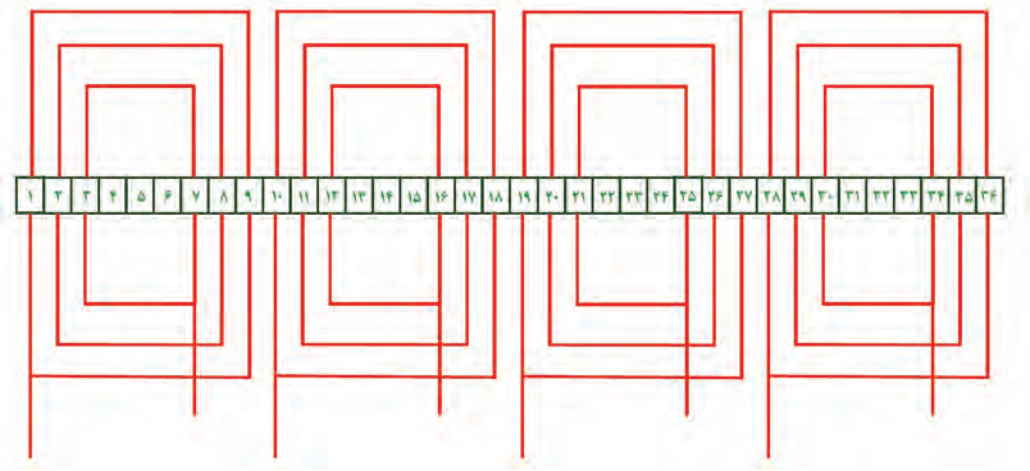
سیم‌پیچ اصلی دور تند		
N	۱ ۲ ۳	۳۴ ۳۵ ۳۶
S	۱۰ ۱۱ ۱۲	۷ ۸ ۹
N	۹ ۲۰ ۲۱	۱۶ ۱۷ ۱۸
S	۲۸ ۲۹ ۳۰	۲۵ ۲۶ ۲۷



شکل ۳۹

ملاحظه می‌شود که سیم‌پیچ اصلی دورتند ازچهار گروه کلاف که هریک دارای سه کلاف هستند تشکیل می‌شود.

۴ـ نقشه گسترده سیم‌پیچ اصلی دور تند



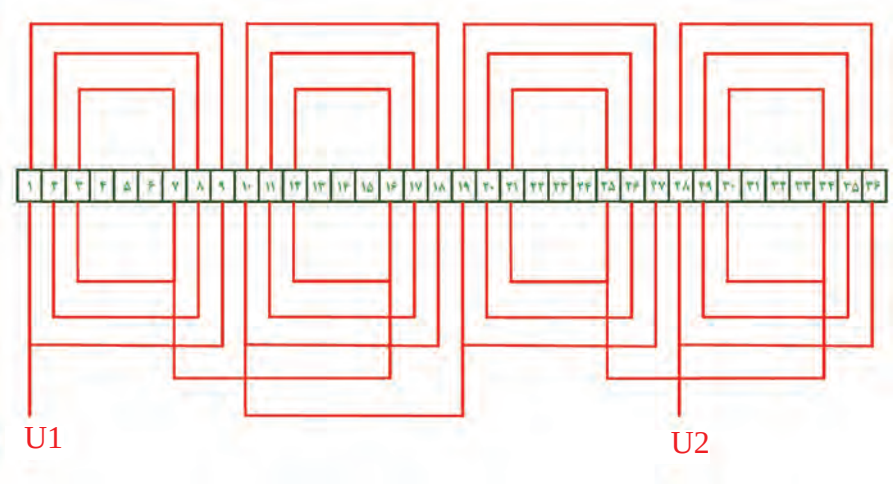
شکل ۴۰ـ دیاگرام کلاف‌گذاری سیم‌پیچ دور زیاد موتور کولر ۳۶ شیار

جدول ۱۰ـ اتصالات دور زیاد موتور کولر

سیم‌پیچ زیاد
۱- **U1** سر کلاف
۷ به ۱۶
۱۰ به ۱۹
۲۵ به ۳۴
۸ - **U2** ته کلاف

۵ـ سربندی سیم‌پیچی دور زیاد

به‌دلیل اینکه گروه کلاف‌های دور زیاد کاملاً کنار یکدیگر قرار دارند و بین آنها حتی یک شیار فاصله وجود ندارد، نوع سربندی آنها باید اتصال دور باشد.



شکل ۴۱ـ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ دور زیاد موتور کولر ۳۶ شیار

۶ـ محاسبات سیم‌پیچ دورکم

$۲P_۲ = ۶$

$Z_{m_۲} = \frac{۲}{۳} \times Z = \frac{۲}{۳} \times ۳۶ = ۲۴$ تعداد شیارهای سیم‌پیچ اصلی دور کند

$q_{m_۲} = \frac{Z_{m_۲}}{۲P_۲ \times m} = \frac{۲۴}{۶ \times ۱} = ۴ \Rightarrow q'_{m_۲} = \frac{q_{m_۲}}{۲} = \frac{۴}{۲} = ۲$

$y_{p_۲} = \frac{z}{۲P_۲} = \frac{۳۶}{۶} = ۶$

$y_{zm_۲} = y_{p_۲} - q'_{m_۲} = ۶ - ۲ = ۴$

۷ـ تشکیل جدول سیم‌پیچی دور کم (نوع سیم‌پیچی به‌صورت متحدالمرکز می‌باشد.)

جدول۱۱ـ سیم‌پیچی دور کم موتور کولر

	سیم‌پیچ اصلی دور کم	
N	۱ ۲	۳۵ ۳۶
S	۷ ۸	۵ ۶
N	۱۳ ۱۴	۱۱ ۱۲
S	۱۹ ۲۰	۱۷ ۱۸
N	۲۵ ۲۶	۲۳ ۲۴
S	۳۱ ۳۲	۲۹ ۳۰

گروه کلاف اول: ۱ → ۶، ۲ → ۵

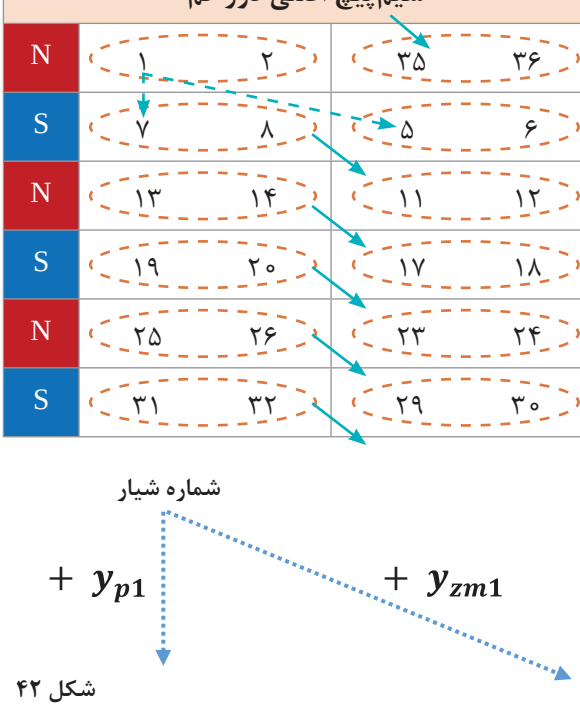
گروه کلاف دوم: ۷ → ۱۲، ۸ → ۱۱

گروه کلاف سوم: ۱۳ → ۱۸، ۱۴ → ۱۷

گروه کلاف چهارم: ۱۹ → ۲۴، ۲۰ → ۲۳

گروه کلاف پنجم: ۲۵ → ۳۰، ۲۶ → ۲۹

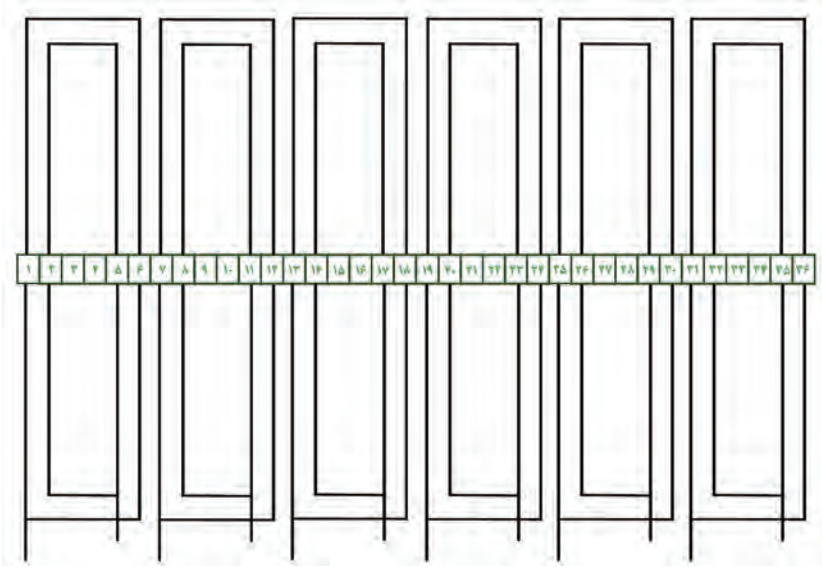
گروه کلاف ششم: ۳۱ → ۳۶، ۳۲ → ۳۵



شکل ۴۲

ملاحظه می‌شود که سیم‌پیچ اصلی دور کند از شش گروه کلاف که دارای دو کلاف می‌باشد تشکیل شده است.

۸ـ نقشه گسترده سیم‌پیچ اصلی دور کم



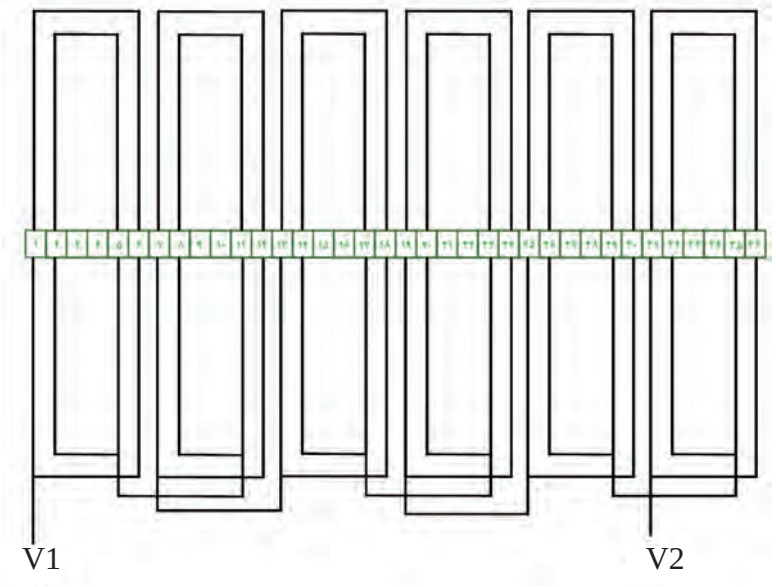
شکل ۴۳ـ دیاگرام کلاف‌گذاری سیم‌پیچ دور کم موتور کولر ۳۶ شیار

۹ـ سربندی سیم‌پیچ دور کند

به‌دلیل اینکه گروه کلاف‌های دور تند کاملاً کنار یکدیگر قرار دارند و بین آنها حتی یک شیار فاصله وجود ندارد، نوع سربندی آنها باید اتصال دور باشد.

جدول ۱۲ـ سربندی دور کم موتور کولر

سیم‌پیچ دور کم
۱ ـ **V1** سر کلاف
۵ به ۱۱
۷ به ۱۳
۱۷ به ۲۳
۱۹ به ۲۵
۲۰ به ۳۵
۳۱ ـ **V2** ته کلاف



شکل ۴۴ـ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ دور کم موتور کولر ۳۶ شیار

۱۰ـ محاسبات سیم‌پیچ راه‌انداز

در برخی از موتورهای کولر تعداد ۲۴ شیار برای سیم‌پیچ راه‌انداز و در بسیاری از موتورهای کولر تعداد ۲۸ شیار برای سیم‌پیچ راه‌انداز استفاده می‌شود.

تذکر

شما می‌توانید در زمان استخراج سیم‌پیچ‌های سوخته از درون استاتور با دقت در تعداد کلاف‌های سیم‌پیچ راه‌انداز که در قسمت رویی شیارها قرار دارد بررسی کنید که چند شیار به سیم‌پیچ راه‌انداز اختصاص یافته است.

اگر تعداد شیارهای راه‌انداز موتور کولر ۲۴ شیار باشد سیم‌پیچ راه‌انداز آن از چهار گروه کلاف که دارای سه کلاف هستند تشکیل می‌شود و درصورتی‌که تعداد شیارهای سیم‌پیچ راه‌انداز ۲۸ شیار باشد، گروه کلاف‌های سیم‌پیچ راه‌انداز به‌صورت یک درمیان به‌صورت چهار کلاف و سه کلاف خواهد بود.

حالت اول: تعداد شیارهای راه‌انداز ۲۴ شیار باشد.

$Z_a = ۲۴ \quad , \quad ۲P = ۴$

$$q_a = \frac{Z_a}{۲P \times m} = \frac{۲P}{۴ \times ۱} = ۶ \Rightarrow q'_a = \frac{q_a}{۲} = \frac{۶}{۲} = ۳$$

$$y_p = \frac{z}{۲P} = \frac{۳۶}{۴} = ۹$$

$$y_{za} = y_p - q'_a = ۹ - ۳ = ۶$$

$$a_{ez} = \frac{۳۶۰p}{z} = \frac{۳۶۰ \times ۲}{۳۶} = ۲۰^\circ$$

$$۱ + \frac{۹۰}{a_{ez}} = ۱ + \frac{۹۰}{۲۰} = ۵/۵ \quad \begin{cases} ۵ \\ ۶ \end{cases}$$ شیار شروع راه‌انداز

تشکیل جدول: چون سیم‌پیچ راه‌انداز براساس ۴ قطب طراحی شده پس جدول دارای چهار سطر بوده و به‌دلیل اینکه $q_a = ۳$ می‌باشد، در هر ستون سه شیار قرار می‌گیرد و شروع شیارهای راه‌انداز از شیار شماره ۵ خواهد بود.

جدول ۱۳ـ سیم‌پیچی راه‌انداز موتور کولر

سیم‌پیچ راه‌انداز		
N	۵ ۶ ۷	۲ ۳ ۴
S	۱۴ ۱۵ ۱۶	۱۱ ۱۲ ۱۳
N	۲۳ ۲۴ ۲۵	۲۰ ۲۱ ۲۲
S	۳۲ ۳۳ ۳۴	۲۹ ۳۰ ۳۱

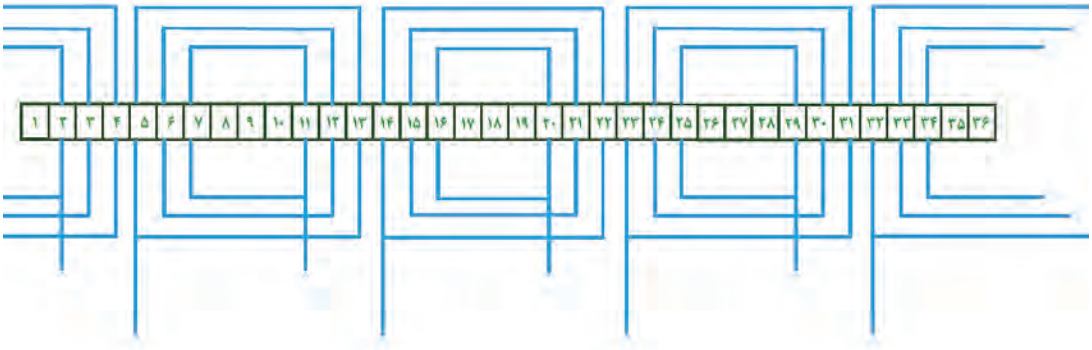
گروه کلاف اول
- ۵ → ۱۳
- ۶ → ۱۲
- ۷ → ۱۱

گروه کلاف دوم
- ۱۴ → ۲۲
- ۱۵ → ۲۱
- ۱۶ → ۲۰

گروه کلاف سوم
- ۲۳ → ۳۱
- ۲۴ → ۳۰
- ۲۵ → ۲۹

گروه کلاف چهارم
- ۳۲ → ۴
- ۳۳ → ۳
- ۳۴ → ۲

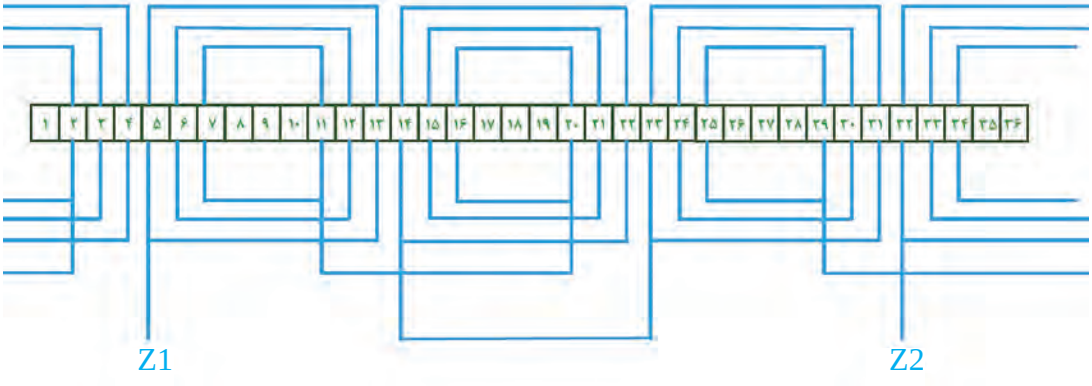
نقشه گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز



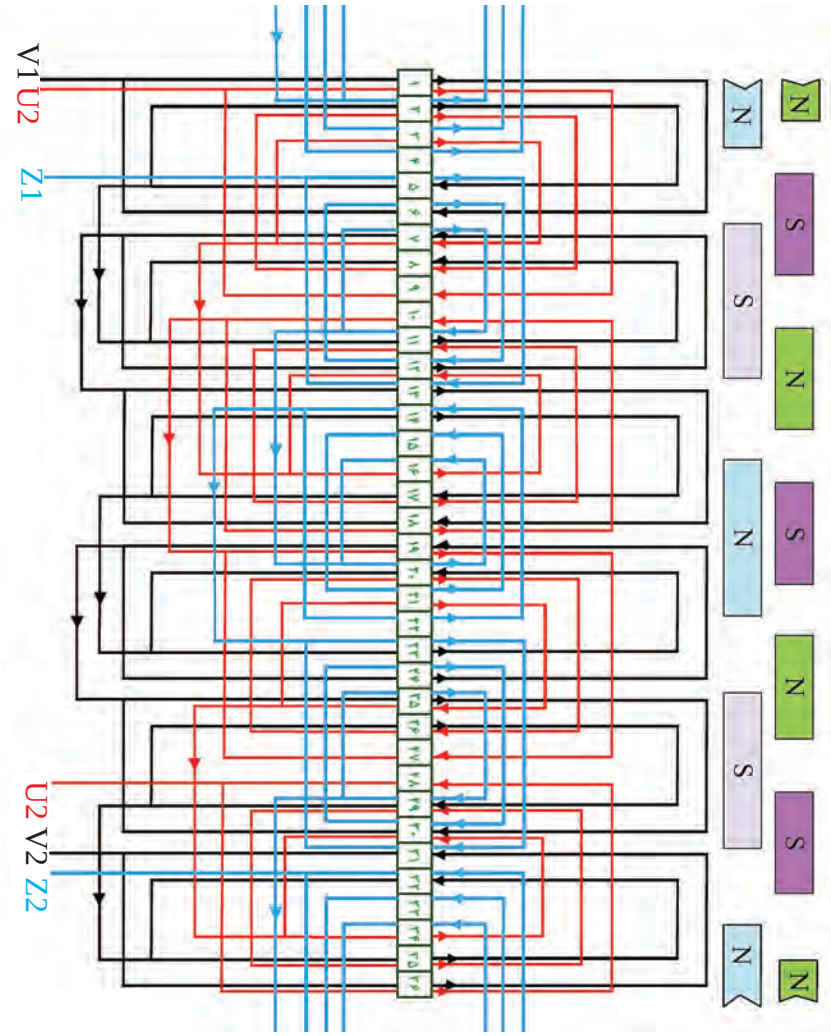
شکل ۴۵ـ دیاگرام کلاف‌گذاری سیم‌پیچ راه‌انداز موتور کولر ۳۶ شیار

جدول ۱۴ـ سربندی دور کم موتور کولر

سیم‌پیچ راه‌انداز
Z1 ـ ۵
۱۱ به ۲۰
۱۴ به ۲۳
۲۹ به ۲
Z2 ـ ۳۲



شکل ۴۶ـ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ راه‌انداز موتور کولر ۳۶ شیار ـ حالت راه‌انداز با ۲۸ شیار



شکل ۴۷ـ نقشه گسترده کامل موتور (کولر ۳۶ شیار ۴ قطب و ۶ قطب)

حالت دوم: تعداد شیارهای راه‌انداز ۲۸ شیار باشد.

$$Z_a = ۲۸ \quad , \quad ۲P = ۴$$

$$q_a = \frac{Z_a}{۲P \times m} = \frac{۲P}{۴ \times ۱} = ۷$$

$$q'_a = \frac{q_a}{۲} = \frac{۷}{۲} = ۳/۵ \quad \begin{cases} ۳ \\ ۴ \end{cases}$$

$$y_p = \frac{z}{۲P} = \frac{۳۶}{۴} = ۹$$

$$y_{za} = y_p - q'_a = ۹ - ۳/۵ = ۵/۵ \quad \begin{cases} ۵ \\ ۶ \end{cases}$$

$$\alpha_{ez}=\frac{۳۶۰p}{z}=\frac{۳۶۰\times۲}{۳۶}=۲۰^{\circ}$$

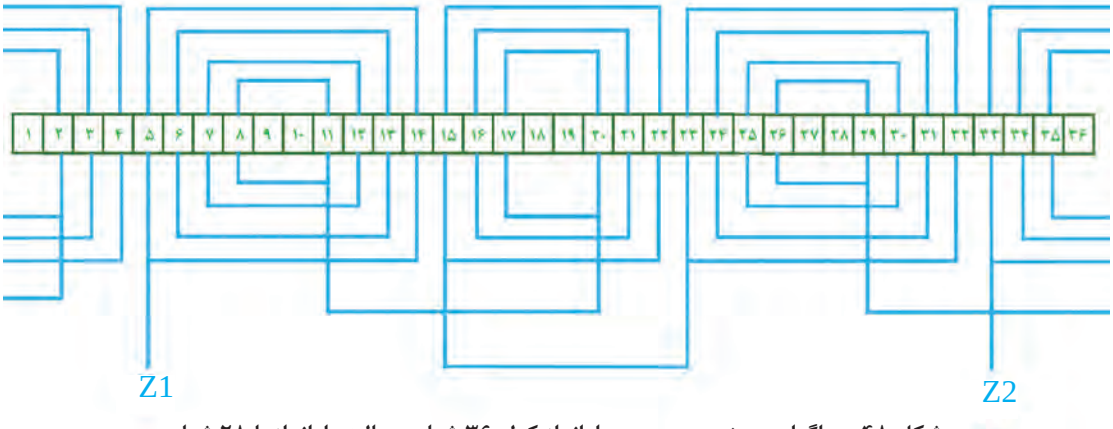
$$\text{شیار شروع راه‌انداز } ۱+\frac{۹۰}{a_{ez}}=۱+\frac{۹۰}{۲۰}=۵/۵ \quad \begin{cases}۵\\۶\end{cases}$$

شیار شروع راه‌انداز در موتورهای کولر از شیار شماره ۵ می‌باشد. سیم‌پیچ راه‌انداز از چهار گروه کلاف تشکیل می‌شود که به‌صورت یک در میان دارای ۴ گروه کلاف و ۳ کلاف می‌باشند زیرا: $q'_a=۳/۵$

گام سیم‌بندی برای گروه کلاف‌هایی که دارای ۴ کلاف هستند $y_{za}=۶$ و گام سیم‌بندی برای گروه کلاف‌هایی که دارای ۳ کلاف هستند $y_{za}=۵$ می‌باشد. چون در محاسبات داریم $y_{za}=۵/۵$

تشکیل جدول سیم‌پیچی در این حالت مقدور نیست و با شروع از شیار شماره ۵ و رعایت گام سیم‌بندی کلاف‌ها، گروه کلاف‌ها را به‌صورت 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 ۴۸ـ دیاگرام سربندی سیم‌پیچ راه‌انداز کولر ۳۶ شیار ـ 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 ۱۵ــ مشخصات سیم‌پیچی دور زیاد موتور کولر آبی

قطر داخلی استاتور به cm	طول هسته به cm	طول بوبین کوچک به cm	طول بوبین متوسط به cm	طول بوبین بزرگ به cm	تعداد دور بوبین کوچک	تعداد دور بوبین متوسط	تعداد دور بوبین بزرگ	گام بوبین کوچک	گام بوبین متوسط	گام بوبین بزرگ	قطر سیم مسی به mm	قدرت استاتور برحسب اسب بخار
۸/۹	۳/۷۵	۱۹/۵	۲۳/۵	۲۸/۵	۴۵	۵۵	۶۰	۳ـ۷	۲ـ۸	۱ـ۹	۰/۶۵	$\frac{1}{2}$
۸/۹	۴/۳	۲۱	۲۵	۳۰	۴۰	۵۰	۵۵	۳ـ۷	۲ـ۸	۱ـ۹	۰/۷۰	$\frac{1}{3}$
۸/۹	۵/۴	۲۳	۲۷	۳۲	۳۳	۴۰	۴۴	۳ـ۷	۲ـ۸	۱ـ۹	۰/۸۰	$\frac{1}{2}$
۸/۹	۵/۴	۲۳	۲۷	۳۲/۵	۳۲	۴۰	۴۲	۳ـ۷	۲ـ۸	۱ـ۹	۰/۹۵	$\frac{3}{4}$

جدول ۱۶ــ مشخصات سیم‌پیچی دورکم موتور کولر آبی

قطر داخلی استاتور به cm	طول هسته به cm	طول بوبین کوچک به cm	طول بوبین بزرگ به cm	تعداد دور بوبین کوچک	تعداد دور بوبین بزرگ	گام بوبین کوچک	گام بوبین بزرگ	قطر سیم مسی به mm	قدرت استاتور برحسب اسب بخار
۸/۹	۳/۷۵	۱۸	۲۲	۹۰	۹۰	۲ـ۵	۱ـ۶	۰/۴۵	$\frac{1}{4}$
۸/۹	۴/۳	۲۰	۲۳/۵	۸۴	۸۴	۲ـ۵	۱ـ۶	۰/۵۰	$\frac{1}{3}$
۸/۹	۵/۴	۲۲/۵	۲۵/۵	۷۰	۷۰	۲ـ۵	۱ـ۶	۰/۵۵	$\frac{1}{2}$
۸/۹	۵/۴	۲۲/۵	۲۵/۵	۶۵	۶۵	۳ـ۷	۱ـ۹	۰/۶۰	$\frac{3}{4}$

جدول ۱۷ـ مشخصات سیم‌پیچی راه‌انداز موقت سه بوبینه موتور کولر آبی

قطر داخلی استاتور به cm	طول هسته به cm	طول بوبین کوچک به cm	طول بوبین متوسط به cm	طول بوبین بزرگ به cm	تعداد دور بوبین کوچک	تعداد دور بوبین متوسط	تعداد دور بوبین بزرگ	گام بوبین کوچک	گام بوبین متوسط	گام بوبین بزرگ	قطر سیم مسی به mm	قدرت استاتور برحسب اسب بخار
۸/۹	۳/۷۵	۱۸/۵	/۲۲/۵	۲۶	۲۰	۳۵	۳۵	۳ـ۷	۲ـ۸	۱ـ۹	۰/۴۰	۱/۴
۸/۹	۴/۳	۲۰	۲۴	۲۸	۱۸	۳۵	۳۴	۳ـ۷	۲ـ۸	۱ـ۹	۰/۵۰	۱/۳
۸/۹	۵/۴	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۹	۲۱	۳۵	۳۴	۳ـ۷	۲ـ۸	۱ـ۹	۰/۵۰	۱/۲
۸/۹	۵/۴	۲۲/۵	۲۵/۵	۲۹	۲۴	۲۰	۲۰	۳ـ۷	۲ـ۸	۱ـ۹	۰/۵۵	۳/۴

جدول ۱۸ـ مشخصات سیم‌پیچی راه‌انداز موقت چهار بوبینه موتورکولر آبی

قطر بوبین ۴ به cm	طول بوبین ۳ به cm	طول بوبین ۲ به cm	طول بوبین ۱ به cm	تعداد دور بوبین ۴	تعداد دور بوبین ۳	تعداد دور بوبین ۲	تعداد دور بوبین ۱	گام بوبین ۴	گام بوبین ۳	گام بوبین ۲	گام بوبین ۱	قطر سیم مسی به mm	قدرت استاتور برحسب اسب بخار
۱۸/۵	۲۲/۵	۲۶	۳۱	۲۰	۳۵	۳۵	۳۶	۴ـ۷	۳ـ۸	۲ـ۹	۱ـ۱۰	۰/۴۰	۱/۴
۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۲۲	۳۵	۳۴	۳۲	۴ـ۷	۳ـ۸	۲ـ۹	۱ـ۱۰	۰/۴۵	۱/۳
۲۲/۵	۲۵/۵	۲۹	۳۴	۲۰	۳۷	۳۲	۳۱	۴ـ۷	۳ـ۸	۲ـ۹	۱ـ۱۰	۰/۵۰	۱/۲
۲۲/۵	۲۵/۵	۲۹	۳۴	۱۲	۲۰	۲۰	۲۰	۴ـ۷	۳ـ۸	۲ـ۹	۱ـ۱۰	۰/۵۵	۳/۴

کار عملی

هدف: کلاف‌گذاری، سربندی و نواربندی یک الکتروموتور ۳۶ تک‌فاز کولری

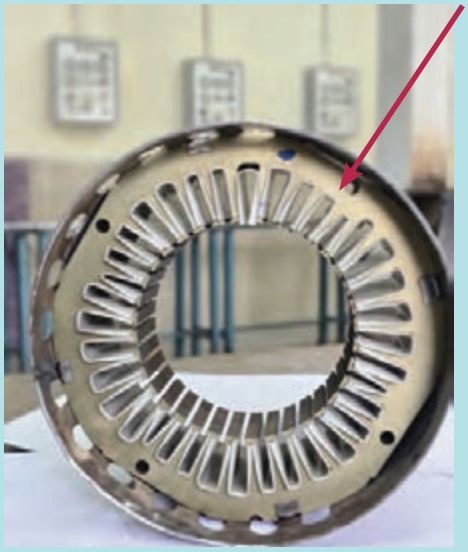
مواد، ابزار و تجهیزات موردنیاز: ۱ـ پوسته ۳۶ شیار کولر ۲ـ کلاف‌پیچ ۳ـ سیم لاکی با قطر مورد نیاز موتور ۴ـ عایق برشمان ۵ـ کاتر ۶ـ خط‌کش ۷ـ چسب کاغذی ۸ـ قالب کلاف متحدالمرکز ۹ـ هویه، قلع و روغن لحیم‌کاری ۱۰ـ سیم‌افشان ۱۱ـ وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها ۱۲ـ آچار تخت و رینگی، انبردست، پیچ‌گوشتی و دم‌باریک 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 به‌صورت 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 ۴۹ـ شماره‌گذاری شیار استاتور

۲ تنظیم کلاف پیچ

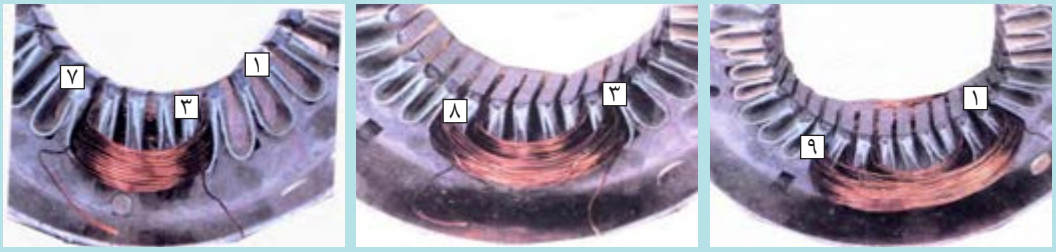
با توجه به گام‌های سیم‌بندی متفاوت که برای سیم‌پیچ راه‌انداز ۶، سیم‌پیچ دور کم ۴ و سیم‌پیچ دور زیاد ۶ است، کلاف‌پیچ را مطابق روش تجربی تنظیم نمایید.

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 دورکم (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 به‌ترتیب در شیارهای ۳ به ۷، ۲ به ۸ و ۱ به ۹ قرار دهید (شکل ۵۰).



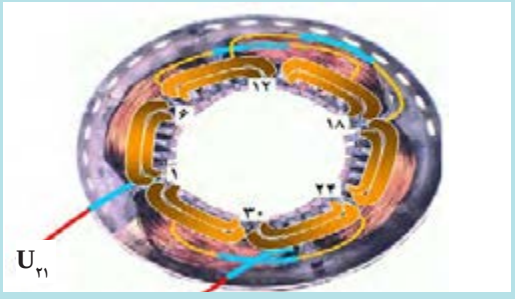
شکل ۵۰ــ کلاف‌گذاری دور زیاد

سه گروه بعدی را مطابق دیاگرام کلاف‌گذاری دور تند شکل ۴۰ در متن درس و نکات گفته شده در گروه کلاف اول، در شیارهای مربوطه جای‌گذاری کنید (شکل ۵۱).



شکل ۵۱ــ کلاف‌گذاری دور تند به‌طور کامل

سیم‌پیچ دور کم: برای سیم‌پیچ دور کند گروه اول را در شیارهای ۲ به ۵ و ۱ به ۶، گروه دوم شیار ۸ به ۱۱ و ۷ به۱۲ و به همین ترتیب و مطابق دیاگرام کلاف‌گذاری دور کم شکل ۴۲ در شیارهای مربوطه جای‌گذاری نمایید.



شکل ۵۲ــ کلاف‌گذاری دور کم

سیم‌پیچ راه‌انداز: سیم‌پیچ راه‌انداز را از شیار شماره ۵ شروع کنید و مطابق دیاگرام کلاف‌گذاری سیم‌پیچ راه‌انداز شکل ۴۵ در شیارهای مشخص شده قرار دهید.



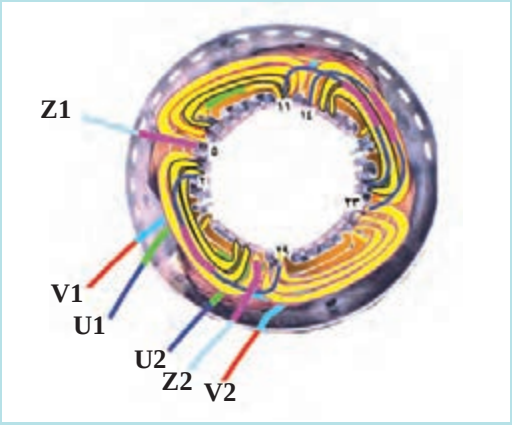
شکل ۵۳ــ کلاف‌گذاری راه‌انداز و تکمیل سیم‌پیچی

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.

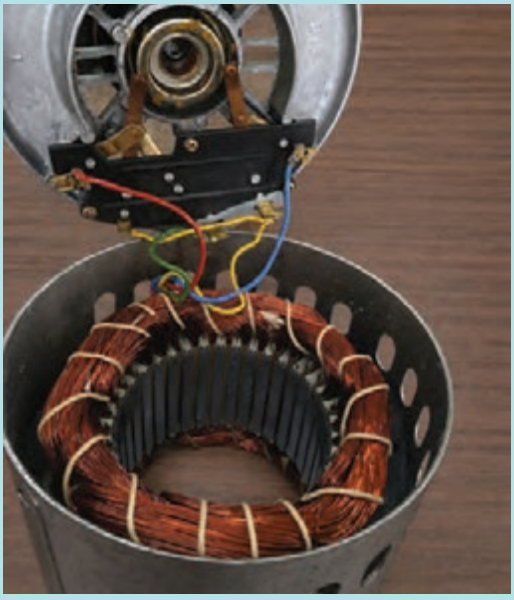
شکل ۵۴ سربندی الکتروموتور کولر را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در این شکل شش سر و ته از سه دسته سیم‌پیچ با اتصال به سیم‌افشان مشخص می‌باشد.



شکل ۵۴ــ سربندی سیم‌پیچ‌های موتور کولر

انتهای سه کلاف با نام‌های U2، V2 و Z2 به هم متصل کرده و پس از زدن سر سیم مناسب آن را به فیش (سر سیم Com ـ مشترک) اتصال دهید.

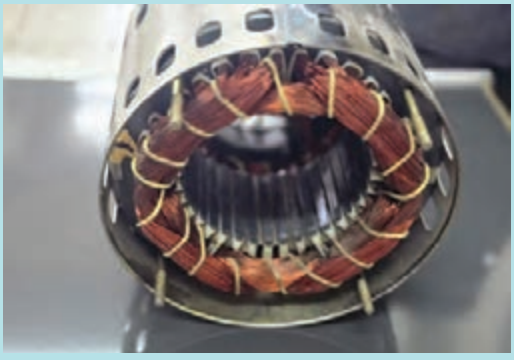
به همین ترتیب پس از سر سیم زدن به سیم‌های U1، V1 و Z1 به‌ترتیب U1 را به سر سیم Hi، V1 به سر سیم Lo و Z1 را به سرسیم راه‌انداز متصل کنید (شکل ۵۵).



شکل ۵۵ــ اتصال کلید تابع دور به سربندی موتور

۶ نواربندی (نخ پیچی)

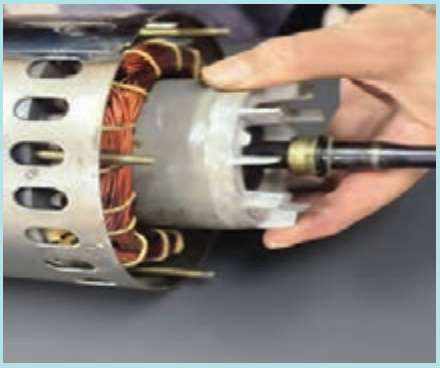
سیم‌پیچی را مطابق مطالب گفته شده در پودمان‌های قبل نواربندی نمایید.



شکل ۵۶ــ نواربندی موتور کولر

۷ـ جا زدن روتور

با راهنمایی مربی کارگاه، روتور مخصوص موتور کولر را در داخل استاتور جا زده و درپوش‌های موتور را ببندید.



شکل ۵۷ـ جازدن روتور

نکات ایمنی

قبل از اتصال الکتروموتور از عدم اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها مطمئن شوید.

۸ـ آزمایش موتور

با حضور مربی خود موتور را به شبکه برق اتصال داده و صحت عملکرد آن را بررسی نمایید.

پرسش

آیا با اتصال سیم از کند به تند (یا تعویض سرعت توسط کلید کولر)، تغییر سرعت (دور) قابل توجه است؟

توجه

تعویض دور از کند به تند (بدون کلید) زمانی انجام شود که جریان برق قطع است.

فعالیت

سرعت در حالت کند و تند را با روابط آموخته شده در درس‌های قبل به‌دست آورید.

خودآزمایی

۱ در موتور کولر آبی دو سرعته، 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	۷۴۱۲۱۳	حرفه:	تعمیرکاران‌برق‌صنعتی	کدپیمانه/پودمان	۷۴۱۲۱۳۰۱۵	**استاندارد عملکرد کار:** محاسبه و سیم‌پیچی الکتروموتورهای تک‌فاز دو سرعته (موتور کولر)	
کد وظیفه شغل	۷۴۱۲۱۳۰۱	وظیفه شغل:	سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	سطح صلاحیت	۳		
کد کار	۷۴۱۲۱۳۰۱۵۲	کار	سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز دو سرعته (موتور کولر)	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 موتورکولر	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	جازدن 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 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، اهم‌متر، 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 یاتاقان‌ها، آچار و پیچ‌گوشتی، چکش پلاستیکی، منبع تغذیه، آمپرمتر 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 ثبت‌شده،	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.		

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)	بلی ☐
	خیر ☐

توضیحات:

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ 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)

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

ـ کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲ـ 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.

ـ 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

ـ 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 فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش.

۲ کابل‌کشی و سیم پیچی ماشین های الکتریکی علی عراقی و دیگران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۴۰۴.

۳ تکنولوژی و کارگاه سیم پیچی ، سیامک فرشاد و دیگران ، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.