جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تعلیم و تربیت است

سیم پیچی موتورهای سه فاز

شاخه‌ی کاردانش (گروه تحصیلی برق)

رشته‌های مهارتی: ماشین‌های الکتریکی و ماشین‌های الکتریکی درجه (۱)

۶۰۷/۴

بودمانهای مهارتی شاخه‌ی کاردانش

بسم الله الرحمن الرحیم

سیم پیچی موتورهای سه‌فاز

شاخه‌ی: کاردانش

زمینه‌ی: صنعت

گروه تحصیلی: برق

زیر گروه: الکتروتکنیک

رشته‌های مهارتی: ماشین‌های الکتریکی و ماشین‌های الکتریکی درجه (۱)

شماره‌ی رشته‌های مهارتی: ۳۰۶ ـ ۱۰۱ـ۱۰ـ۱ و ۳۰۵ ـ ۱۰۱ـ۱۰ـ۱

کد رایانه‌ای رشته‌های مهارتی: ۹۳۷۶ و ۹۳۷۵

نام استاندارد مهارتی مبنا: تعمیر ماشین‌های الکتریکی درجه (۲)

کد استاندارد متولی: ۵۳/۴۸ ـ ۸ و ۷۵

شماره‌ی درس: نظری ۸۳۰۰/۵ و عملی ۸۳۰۱/۵

۶۲۱ عراقی، علی
/۴۶ سیم پیچی موتورهای سه‌فاز/مؤلف: علی عراقی. ـ تهران: شرکت صنایع آموزشی وابسته
س ۲۹۲ع/ به وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۸۲.
۱۳۸۲ ۱۱۶ص. :مصور. ـ (شاخه‌ی کاردانش؛ شماره‌ی درس نظری ۸۳۰۰/۵ و عملی ۸۳۰۱/۵)
متون درسی شاخه‌ی کاردانش، زمینه‌ی صنعت، گروه تحصیلی برق، زیر گروه الکترونکنیک، رشته‌های مهارتی ماشین‌های الکتریکی، ماشین‌های الکتریکی درجه (۱).
برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
۱. موتورهای برقی سه‌فاز ـ سیم پیچی. الف. عنوان.

۱۳۸۲

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز:

پیشنهادات و نظرات خود را درباره‌ی محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شماره‌ی ۴۸۷۴/۱۵ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب: سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز ـ ۶۰۷/۴

مؤلف: مهندس علی عراقی

ویراستار فنی: مهندس فریدون علومی

ویراستار ادبی: احمد پروجردی

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ: اداره‌ی کلّ چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

رسام: محمد سیاحی

عکاس: آتلیه عکاسی شرکت صنایع آموزشی

صفحه‌آرا: طرفه سبحانی

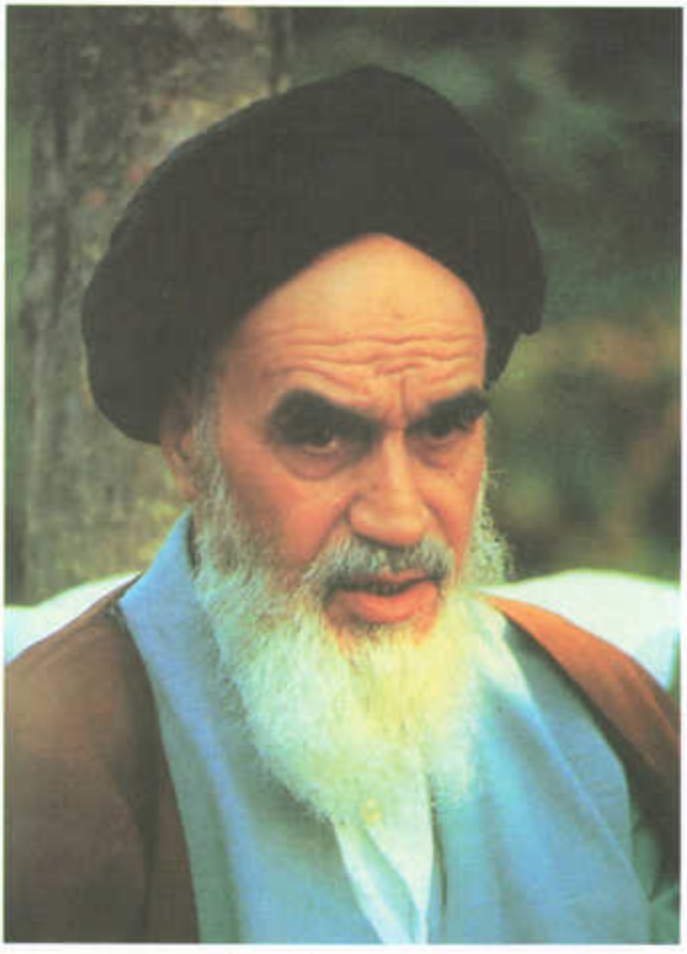
طراح جلد: طاهره حسن زاده

ناشر: شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش)

چاپخانه: آزمون

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اول ۱۳۸۲

شابک ۹-۱۲۵۵-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-1255-9



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید تا از نیروی انسانی، ایمانی خودتان، غافل نباشید و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشریف»

مقدمه‌ای بر چگونگی برنامه‌ریزی کتاب‌های پودمانی

برنامه‌ریزی تألیف «پودمان‌های مهارت» یا «کتاب‌های تخصصی شاخه‌ی کاردانش» بر مبنای استانداردهای کتاب «مجموعه برنامه‌های درسی رشته‌های مهارتی شاخه‌ی کاردانش، مجموعه ششم» صورت گرفته است. براین اساس ابتدا توانایی‌های هم‌خانواده (Harmonic Power) مورد مطالعه و بررسی قرارگرفته است. سپس مجموعه مهارت‌های هم‌خانواده به صورت واحدهای کار تحت عنوان (Unit) دسته‌بندی می‌شوند. در نهایت واحدهای کار هم خانواده با هم مجدداً دسته‌بندی شده و پودمان مهارتی (Module) را شکل می‌دهند.

دسته‌بندی «توانایی‌ها» و «واحدهای کار» توسط کمیسیون‌های تخصصی با یک نگرش علمی انجام شده است به گونه‌ای که یک سیستم پویا بر برنامه‌ریزی و تألیف پودمان‌های مهارت نظارت دائمی دارد.

به منظور آشنایی هر چه بیشتر مربیان، هنرآموزان و هنرجویان شاخه‌ی کاردانش و سایر علاقه‌مندان و دست‌اندرکاران آموزش‌های مهارتی با روش تدوین، «پودمان‌های مهارت»، توصیه می‌شود الگوهای ارائه شده در نمون برگ‌های شماره (۱)، (۲) و (۳) مورد بررسی قرار گیرد. در ارائه دسته‌بندی‌ها، زمان مورد نیاز برای آموزش آن‌ها نیز تعیین می‌گردد. با روش مذکور یک «پودمان» به عنوان کتاب درسی مورد تأیید وزارت آموزش و پرورش در «شاخه‌ی کاردانش» چاپ سپاری می‌شود.

به‌طور کلی هر استاندارد مهارت به تعدادی پودمان مهارت (M_1 و M_2 و ...) و هر پودمان نیز به تعدادی واحد کار (U_1 و U_2 و...) و هر واحد کار نیز به تعدادی توانایی ویژه (P_1 و P_2 و ...) تقسیم می‌شوند. نمون برگ شماره (۱) برای دسته‌بندی توانایی‌ها به‌کار می‌رود. در این نمون برگ مشاهده می‌کنیم که در هر واحد کار چه نوع توانایی‌هایی وجود دارد. در نمون برگ شماره (۲) واحدهای کار مرتبط با پودمان و در نمون برگ شماره (۳) اطلاعات کامل مربوط به هر پودمان درج شده است. بدیهی است هنرآموزان و هنرجویان ارجمند شاخه کاردانش و کلیه عزیزانی که در امر توسعه آموزش‌های مهارتی فعالیت دارند، می‌توانند ما را در غنای کیفی پودمان‌ها که برای توسعه آموزش‌های مهارتی تدوین شده است رهنمون و یاور باشند.

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های
فنی و حرفه‌ای و کاردانش

P=Power U= Unit M=Module

پیشگفتار

حمد و ستایش پروردگاری را که جای جای هستی را با آیات و جلوه‌های خویش بیاراست، تا صاحبان خرد در آن اندیشه کنند.

هنرآموزان گرامی و فراگیران عزیز:

کتابی که اینک پیش رو دارید، یکی از کتاب‌های درسی نظام جدید آموزشی در شاخه‌ی کاردانش، زمینه‌ی صنعت می‌باشد که به کوشش شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش) تألیف و چاپ شده است. این شرکت در سال ۱۳۵۴ با هدف طراحی، تولید و تأمین تجهیزات آموزشی، کمک آموزشی، آزمایشگاهی و کارگاهی برای تمام مقاطع تحصیلی (از پیش‌دبستانی تا دانشگاه) تأسیس شده است. مهم‌ترین رسالت شرکت، حمایت و پشتیبانی همه جانبه از آموزش کشور می‌باشد. از این‌رو از آغاز تأسیس تاکنون همواره با بهره‌گیری از آخرین دستاوردها و فناوری‌های کشورهای پیشرفته‌ی صنعتی اقدام به تولید بسیاری از تجهیزات آموزشی برای کلاس‌ها، آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌های مراکز آموزشی نموده است.

یکی دیگر از خدمات شرکت، همکاری با سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش برای تألیف و چاپ کتاب‌های درسی می‌باشد. در تألیف این کتاب پیشکسوتان و صاحب‌نظران آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و مهارتی در نهایت صمیمیت، شرکت را یاری داده‌اند تا کتابی آسان، روان و خودآموز تهیه و در اختیار فراگیران قرار داده شود. شیوه‌ی نگارش این کتاب منطبق با شیوه‌ی آموزش مهارت پودمانی (Modular) می‌باشد. این شیوه‌ی آموزش مهارت، هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای پیشرفته‌ی صنعتی در حال اجرا می‌باشد.

امید است مدیران محترم مراکز آموزشی با تمام توان در جهت اجرای هر چه بهتر این شیوه‌ی نوین آموزش مهارت همت گمارند تا بتوانیم به کلیه اهداف آموزشی کتاب جامعه عمل بپوشانیم. با دستیابی به این اهداف آموزشی است که فراگیران عزیز می‌توانند در زمره صنعتگران خلاق و کارآفرین کشور عزیزمان قرار گیرند.

شرکت صنایع آموزشی
واحد تحقیقات و طرح و برنامه

مقدمه

در مجموعه بودمان‌های مهارتی رشته برق، به اهمیت ماشین‌های الکتریکی پی برده و دریافتیم که قسمت اعظم محرک‌های مکانیکی در کارخانه‌های صنعتی، توسط موتورهای الکتریکی صورت می‌گیرد. این ماشین‌ها نقش بسیار مهمی در استمرار فعالیت کارخانه‌ها ایفا می‌کنند و به همین علت ضرورت دارد افرادی که با آن‌ها سر و کار دارند، از مهارت‌های بیشتری برخوردار باشند. در این مجموعه سعی شده است تا با فرمول‌ها و روابط علمی ساده، مسائل مرتبط با ماشین‌های الکتریکی مورد بررسی قرار گیرد.

موضوع‌های ارائه‌شده در این کتاب، در سه قسمت تنظیم شده‌اند. قسمت اول به دیاگرام‌های سیم‌بندی اختصاص دارد و در آن نقشه‌های سیم‌پیچی را در قالب دیاگرام گسترده و مدور، تشریح کرده‌ایم. در این قسمت، اصطلاحات مربوط به سیم‌بندی الکتروموتورها، محاسبات ساده موتورها و ارتباط بین این اصطلاحات با تعداد شیارها و تعداد قطب‌ها، بیان شده است. برای تفهیم بیشتر، به اندازه کافی کار عملی ارائه شده تا فراگیران با کشیدن نقشه‌های مختلف، مهارت کافی را در طرح و رسم دیاگرام‌ها کسب کنند.

در قسمت دوم، روش کلاف‌گذاری درون شیارها بیان شده است. اصول قراردادن کلاف‌ها در داخل شیارها، در انواع کلاف‌های مساوی و متحدالمرکز با سیم‌بندی‌های تک قطب و جفت قطب، تشریح شده و در نهایت چندین نمونه کار عملی ارائه شده است تا هنرجویان با انجام آن‌ها، مهارت مطلوب را کسب کنند.

در قسمت سوم، شیوه سربندی گروه کلاف‌ها بیان شده است. توصیه‌های مربوط به آزمایش ارتباط بین سرسیم‌ها با استفاده از اهم‌متر، بارها تکرار شده است. سربندی‌ها با شماره‌گذاری شیارهای استاتور و درنظرگرفتن نقشه اتصال گروه کلاف‌های هر فاز، انجام شده تا فراگیران ضمن کار، با نقشه‌خوانی بیشتر آشنا شوند و تهیه نقشه و رعایت دستورالعمل‌های موجود در آن را بیشتر رعایت کنند.

از آن‌جایی که مراحل اجرای کار و تنظیم موارد موجود در واحدهای کاری براساس دستورالعمل تصویب شده کارشناسی انجام شده، ممکن است نواقصی در مجموعه مشاهده شود که انتظار داریم مربیان و همکاران عزیز در صورت روبه‌روشدن با مواردی که نیاز به اصلاح دارند، نکات و روش‌های اصلاحی آن‌ها را به سازمان پژوهش برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش اطلاع دهند تا پس از بررسی و تأیید، در چاپ‌های بعد اعمال شود.

در پایان از اعضای کمیسیون هماهنگی دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و اعضای کمیسیون تخصصی کاردانش رشته الکترونکتیک، آقایان، مهندس سید محمود صمونی، مهندس فریدون علومی، مهندس امیرحسین ترکمانی، مهندس ناصر علی‌پور و مهندس شهرام خدادادی که در برنامه‌ریزی و تألیف این کتاب، بنده را راهنمایی کرده و موجب بهبود کیفی کتاب شده‌اند، سپاسگزاری می‌کنم.

مؤلف

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
واحد کار اوّل: توانایی ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی الکتروموتورهای یک‌طبقه یک‌سرعته سه‌فاز	۱
پیش آموزن (۱)	۲
۱ـ۱ـ میدان مغناطیسی استاتور و تعداد قطب‌ها	۳
۱ـ۲ـ ایجاد میدان دوار توسط جریان سه‌فاز	۶
۱ـ۳ـ اصطلاحات و روابط نقشه‌کشی سیم‌پیچی استاتور الکتروموتورها	۱۳
۱ـ۴ـ سیم‌بندی یک طبقه استاتور الکتروموتورها	۱۷
۱ـ۵ـ انواع سیم‌بندی از لحاظ شکل کلاف‌ها	۱۹
۱ـ۶ـ اصول محاسبه دیاگرام الکتروموتورهای آسنکرون سه‌فاز یک طبقه یک‌سرعته	۲۰
۱ـ۷ـ سیم‌بندی یک طبقه با گام کسری (سیم‌بندی به‌ازای قطب)	۳۳
۱ـ۸ـ کارهای عملی ۱	۳۷
آزمون پایانی (۱)	۵۵
واحد کار دوم: توانایی قراردادن کلاف در شیار استاتور	۵۷
۲ـ۱ـ قرار دادن کلاف در شیار استاتور	۵۸
۲ـ۲ـ قراردادن کاغذ پرشمان روی کلاف‌ها	۶۱
۲ـ۳ـ کارهای عملی ۲	۶۳
آزمون پایانی (۲)	۱۰۱
واحد کار سوم: سربندی سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز	۱۰۳
۳ـ۱ـ اصول سربندی کلاف‌ها در داخل استاتور	۱۰۴
۳ـ۲ـ کارهای عملی ۳	۱۱۰
آزمون پایانی (۳)	۱۱۵
پاسخ پیش‌آزمون	۱۱۵
منابع و مآخذ	۱۱۶

هدف کلی پودمان

محاسبه و ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی موتورهای یک طبقه سه‌فاز

شماره		عنوان توانایی	ساعات نظری	ساعات عملی	جمع
واحد کار	توانایی				
۱	۱۷	محاسبه و ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی الکتروموتورهای یک طبقه یک سرعته سه فاز	۲۰	۴۰	۶۰
۲	۲۳	قرار دادن کلاف در شیار استاتور	۲۰	۱۵۰	۱۷۰
۳	۲۶	سربندی سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه فاز	۱	۱	۲
جمع کل			۴۱	۱۹۱	۲۳۲

واحد کار اوّل

توانایی ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی الکتروموتورهای یک طبقه یک‌سرعته سه‌فاز

هدف کلی

محاسبه و ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی موتورهای یک‌طبقه سه‌فاز

هدف‌های رفتاری: از فراگیر، انتظار می‌رود با گذراندن این پیمانه بتواند:

۱ـ میدان مغناطیسی اطراف سیم جریان‌دار را شرح دهد.

۲ـ میدان دوار در سطح استاتور را شرح داده، چگونگی تشکیل آن را تشریح کند.

۳ـ دور رتور را محاسبه کند.

۴ـ روابط و فرمول‌های مربوط به نقشه‌کشی الکتریکی را بیان کند.

۵ـ محور قطبی و گام قطبی را تعریف کند.

۶ـ تعداد شیارهای موجود در هر قطب هر فاز را از طریق محاسبه به‌دست آورد.

۷ـ گام سیم‌بندی را تعریف کند و آن را از طریق محاسبه به‌دست آورد.

۸ـ زاویه الکتریکی شیارها راتعریف کند و آن‌را از طریق محاسبه به‌دست آورد.

۹ـ گام فازی را تعریف کند و آن را از طریق محاسبه به‌دست آورد.

۱۰ـ شروع فازها را با استفاده از گام فازی و زاویه الکتریکی مشخص کند.

۱۱ـ سیم‌بندی یک طبقه را شرح دهد.

۱۲ـ انواع سیم‌پیچی‌ها را از نظر نوع کلاف‌ها شرح دهد.

۱۳ـ سیم‌پیچی متحدالمرکز و کلاف مساوی را شرح دهد و موارد کاربرد آن‌ها را بیان کند.

۱۴ـ دیاگرام سیم‌بندی الکتروموتورهای سه‌فاز یک طبقه یک‌سرعته را به‌صورت زنجیری محاسبه و ترسیم کند.

۱۵ـ دیاگرام سیم‌بندی الکتروموتورهای سه‌فاز یک طبقه یک‌سرعته را به‌صورت حلقه‌ای محاسبه و ترسیم کند.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۲۰	۴۰	۶۰

پیش‌آزمون (۱)

۱ـ وضعیت میدان مغناطیسی استاتور موتورهای سه‌فاز چگونه است؟

۱ ـ با مقدار ثابت در حال گردش است.

۲ ـ با مقدار ثابت موقعیتی ثابت دارد.

۳ ـ با تغییرات سینوسی در حال گردش است.

۴ ـ با تغییرات نامشخص در حال گردش است.

۲ـ یک موتور سه‌فاز ۴ قطب با لغزش ۴ درصد در شبکه‌ای با فرکانس ۵۰ هرتز کار می‌کند. سرعت گردش رتور آن در هر دقیقه چند دور است؟

۱) ۱۵۰۰ ۲) ۱۴۴۰

۳) ۱۴۶۰ ۴) ۱۴۱۰

۳ـ ارتباط صحیح بین گام قطبی (Y_P) و گام کلاف (Y_Z) کدام است؟

۱) $Y_Z \leq Y_P$ ۲) $Y_Z \geq Y_P$

۳) $Y_Z = Y_P$ ۴) $Y_Z > Y_P$

۴ـ زاویه الکتریکی بین دو شیار متوالی در موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب، چند درجه الکتریکی است؟

۱) ۹۰ ۲) ۶۰

۳) ۴۵ ۴) ۳۰

۵ـ گام فازی (Y_{PH}) چند برابر گام قطبی (Y_P) است؟

۱) یک‌سوم ۲) یک ونیم

۳) دوسوم ۴) یک‌دوم

۶ـ در یک موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب، فاز U_1 از شیار شماره ۱ شروع می‌شود. شروع فاز W_1 از کدام شیار است؟

۱) ۷ ۲) ۱۳

۳) ۶ ۴) ۱۲

۷ـ کدام موتور الکتریکی قادر به تولید حوزه‌ی دوّار در سطح استاتور خود است؟

۱) سه فاز ۲) یک فاز

۳) دوفاز ۴) دو فاز و سه فاز

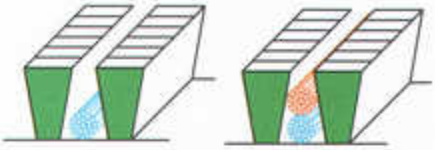
۸ـ گام کلاف یک موتور سه‌فاز ۲۴شیار ۲ قطب در حذف هارمونی سوم، کدام است؟

۱) ۱ـ۱۲ ۲) ۱ـ۱۱

۳) ۱ـ۱۰ ۴) ۱ـ۹

مقدمه

در سیم‌بندی یک طبقه الکتروموتورها، در هر شیار استاتور یک بازوی کلاف قرار می‌گیرد. اگر تعداد بازوها در هر شیار بیش از یک باشد، سیم‌بندی را چند طبقه می‌گویند. متداول‌ترین سیم‌بندی چند طبقه در موتورهای سه‌فاز، سیم‌بندی دو طبقه است که دو بازو در هر شیار قرار می‌گیرد (شکل ۱ـ۱).

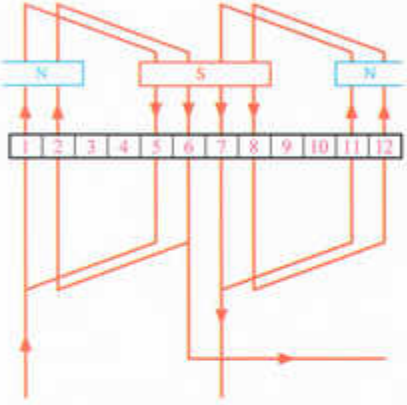


شکل ۱ـ۱ـ انواع سیم‌بندی

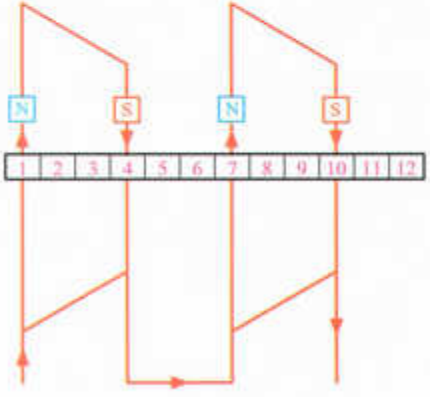
۱ـ۱ـ میدان مغناطیسی استاتور و تعداد قطب‌ها

میدان مغناطیسی استاتور با عبور جریان الکتریکی از سیم‌های داخل شیارها، تأمین می‌شود. تعداد قطب‌های مغناطیسی که در سطح استاتور تشکیل می‌شود، به عرض بازوهای کلاف و فاصله دو بازو از یکدیگر بستگی دارد به عبارت دیگر، چه اندازه از سطح استاتور را می‌پوشاند. اگر عرض دو بازوی یک کلاف تقریباً نصف سطح جانبی استاتور را پوشش دهد، در سطح استاتور دو قطب تشکیل می‌شود (شکل ۲ـ۱). اگر عرض دو بازو تقریباً یک چهارم سطح استاتور را بپوشاند، تعداد قطب‌های استاتور به چهار قطب می‌رسد (شکل ۳ـ۱). به این ترتیب، تعداد قطب‌ها با کاهش عرض بازوی کلاف‌ها زیاد می‌شود، به گونه‌ای که می‌توان گفت:

تعداد قطب‌های یک موتور با عرض دو بازوی یک کلاف نسبت عکس دارد.



شکل ۲ـ۱ـ عرض کلاف بیشتر، قطب کمتر



شکل ۳ـ۱ـ عرض کلاف کمتر، قطب بیشتر

۱ـ۱ـ۱ـ میدان مغناطیسی هادی جریان‌دار

ـ *آزمایش ارستد:* هرگاه سیم هادی الکتریکی را مطابق شکل ۴ـ۱ـ الف، از درون صفحه‌ای عایق عبور داده و در نزدیکی آن، عقربه‌ای مغناطیسی قرار دهیم، قطب N عقربه مغناطیسی در راستای میدان مغناطیسی زمین، به طرف شمال جهت‌گیری می‌کند.

با اتصال کلید K، عقربه مغناطیسی تغییر جهت داده و در راستای خاصی قرار می‌گیرد. از این تغییر وضعیت می‌توان نتیجه گرفت با عبور جریان الکتریکی از یک هادی الکتریکی، در اطراف آن میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. این میدان بر عقربه مغناطیسی اثر گذاشته و آن را در راستایی معین قرار می‌دهد (شکل ۴ـ۱ـ ب).

میدان مغناطیسی اطراف سیم جریان‌دار، خواصی به شرح زیر دارد:

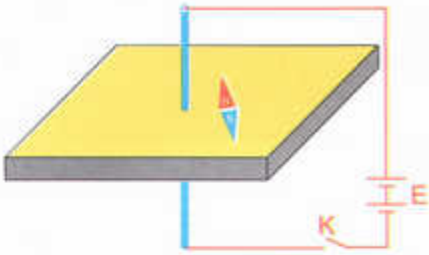
میدان مغناطیسی در هرنقطه ازاطراف سیم، کمیتی برداری است و بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد، مماس بوده و جهت آن همسو با خطوط میدان است.

ـ خطوط میدان، روی صفحه‌ای قرار دارند که بر محور سیم جریان‌دار عمود است.

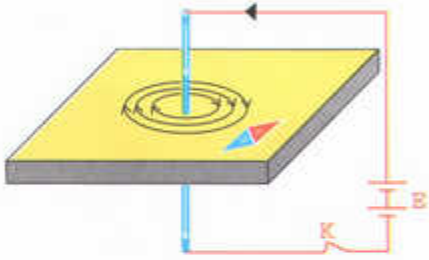
ـ خطوط میدان، در نزدیکی سیم متراکم‌تر از دیگر قسمت‌هاست. بنابراین، میدان در نزدیکی سیم قوی‌تر از دیگر قسمت‌های آن است.

ـ جهت خطوط میدان، با قاعده «**دست راست**» تعیین می‌شود.

اگر انگشت شست دست راست در جهت جریان باشد، چهار انگشت نیم‌بسته دست راست، جهت خطوط میدان اطراف سیم جریان‌دار را نشان خواهند داد (شکل ۵ـ۱).

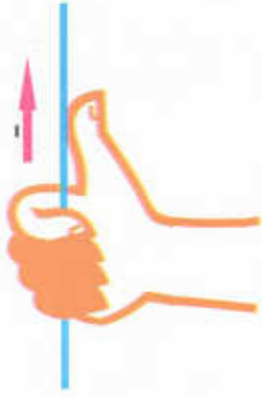


(الف)



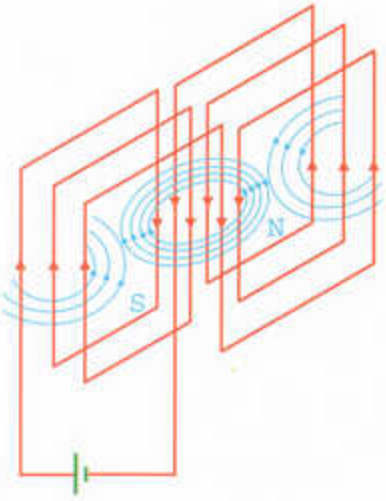
(ب)

شکل ۴ـ۱ـ آزمایش ارستد



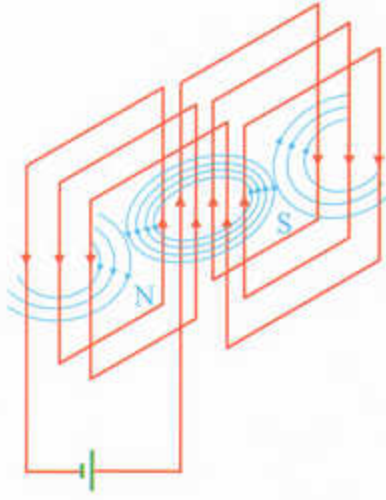
شکل ۵ـ۱ـ تعیین جهت میدان اطراف سیم راست

۲ـ۱ـ۱ـ قطب‌های ایجادشده در استاتور ماشین‌های الکتریکی: هادی‌های الکتریکی سطح استاتور، به‌صورت بازوهای سیم‌پیچ مسطح، سری‌شده و مجموعاً یک گروه کلاف سیم‌پیچی را تشکیل می‌دهند. در این وضعیت، میدان مغناطیسی هادی‌های هم‌جهت، جمع‌شده و میدان مغناطیسی قوی‌تری را در مرکز سیم‌پیچ به‌وجود می‌آورند. تقویت میدان مغناطیسی در سطح استاتور، باعث افزایش نیروی اعمال‌شده بر هادی‌های جریان‌دار رتور شده و با تقویت گشتاور موتور، قدرت آن افزایش می‌یابد (شکل ۶ـ۱).



شکل ۶ـ۱ـ ایجاد میدان قوی با سیم‌های جریان‌دار هم‌جهت

اگر جهت جریان الکتریکی در بازوهای سیم پیچ‌ها عوض شود، موقعیت قطب‌های مغناطیسی S و N عوض می‌شود (شکل ۷ـ۱).

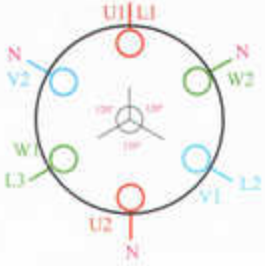


شکل ۷ـ۱ـ تعویض موقعیت قطب‌های NS با تغییر جهت جریان

۲ــ۱ــ ایجاد میدان دوار توسط جریان سه‌فاز

با توجه به این که اختلاف فاز ولتاژها بین خطوط در شبکه سه‌فاز، ۱۲۰ درجه الکتریکی است، سیم‌پیچ فازهای مربوطه در موتورهای سه‌فاز، با ۱۲۰ درجه الکتریکی نسبت به هم، در شیارهای استاتور قرار می‌گیرند. یک موتور سه‌فاز ۶ شیار را در نظر می‌گیریم و موقعیت تشکیل قطب‌ها را با توجه به مقادیر مختلف ωt در فاصله صفر تا ۳۶۰ درجه، در سطح استاتور بررسی می‌کنیم. در شکل‌های داده‌شده، جریان مربوط به ولتاژهای منفی را «خروجی» و جریان مربوط به ولتاژهای مثبت را «ورودی» در نظر می‌گیریم.

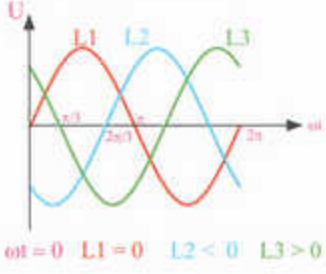
۲ ــ سرگروه کلاف‌های مربوط به سیم‌پیچ اول (U_1 و U_2) را با فاز L_1، سیم‌پیچ دوم (V_1 و V_2) را با L_2 و سیم‌پیچ سوم (W_1 و W_2) را با فاز L_3، تغذیه می‌کنیم (شکل ۸ــ۱ــ الف).

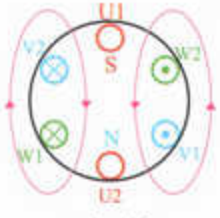


شکل ۸ ــ۱ــ الف ــ موتور سه‌فاز ۶ شیار

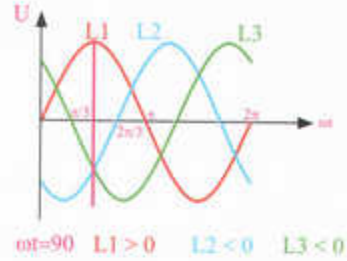
در موقعیت $\omega t = 0$، $L_1 = 0$، $L_2 < 0$ و $L_3 > 0$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸ــ۱ــ ب خواهد شد.

به علت صفربودن دامنه فاز L_1، در سیم‌پیچ اول جریانی وجود ندارد.

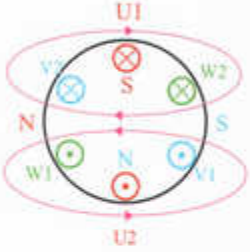




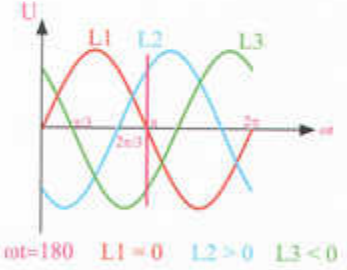
شکل ۸ ــ۱ــ ب



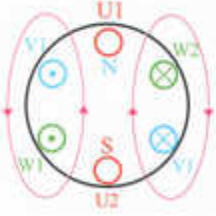
در موقعیت $L_1 > 0$، $L_2 < 0$ و $L_3 < 0$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸ــ۱ــ ج خواهد شد.



شکل ۸ــ۱ــ ج

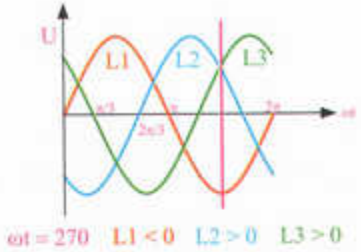


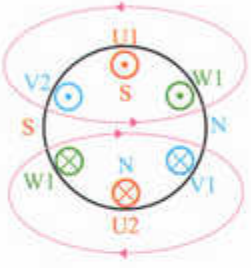
در موقعیت $L_1 = 0$، $L_2 > 0$ و $L_3 < 0$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸ــ۱ــ د خواهد شد.
به علت صفربودن دامنه فاز اول در سیم‌پیچ U_1، U_2، جریان صفر خواهد بود.



شکل ۸ــ۱ــ د

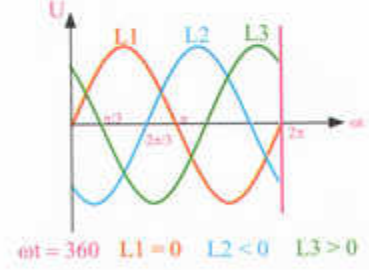
در موقعیت $L_1 < 0, L_2 > 0$ و $L_3 > 0$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸ــ۱ــ هـ خواهد شد.

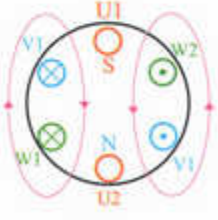




شکل ۸ــ۱ــ هـ

در موقعیت $L_1 = 0$، $L_2 < 0$ و $L_3 > 0$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸ــ۱ــ و خواهد شد.



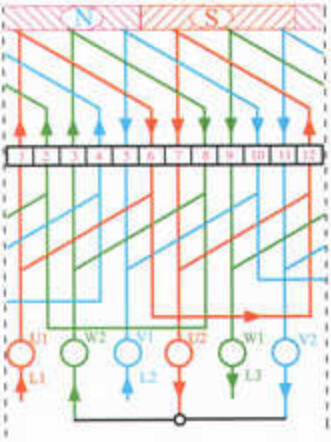


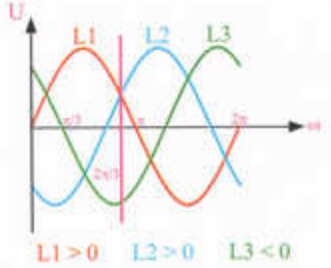
شکل ۸ــ۱ــ و

در بخش‌های مختلف شکل ۸ـ۱ مشاهده می‌شود که با تغییر متغیر ω از ۰ تا ۳۶۰ درجه، قطب‌های N و S نیز یک دور کامل سطح استاتور را می‌پیمایند (این خاصیت در موتورهای ۲ قطبی صادق است. درباره اثرات قطب‌ها بر سرعت گردش میدان، بحث خواهیم کرد). اگر زاویه پیموده‌شده در یک ثانیه برابر با $\omega = f \times 360$ درجه باشد، قطب‌ها در یک ثانیه f بار سطح استاتور را خواهند پیمود. یعنی، سرعت گردش قطب‌ها با f (فرکانس جریان متناوب) نسبت مستقیم دارد. بنابراین می‌توان گفت:

با تغییر ω، حوزه مغناطیسی دواری در سطح استاتور تشکیل می‌شود که سرعت گردش آن با فرکانس جریان متناوب، نسبت مستقیم دارد.

۱ـ۲ـ۱ـ ایجاد میدان دوار ۲قطبی توسط جریان متناوب سه‌فاز: یک موتور سه‌فاز ۱۲ شیار را در نظر می‌گیریم. برای هر فاز، دو کلاف را به‌گونه‌ای در نظر می‌گیریم که بازوی آن‌ها ۵ شیار از هم فاصله داشته باشند. سطح استاتور را به سه قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم و فاصله‌های به‌دست‌آمده بازوی کلاف‌های مربوط به فازها را درون شیارهای استاتور قرار می‌دهیم. در لحظه‌ای خاص از جریان متناوب سه‌فاز، مسیر جریان را درون بازوی کلاف‌ها تعقیب می‌کنیم. بازوهایی را که جهت جریان یکسانی دارند، دسته‌بندی می‌کنیم و هر مجموعه به‌دست‌آمده را به یک قطب اختصاص می‌دهیم (شکل ۹ـ۱).

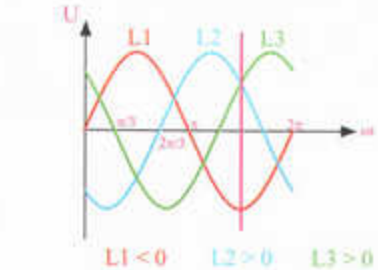


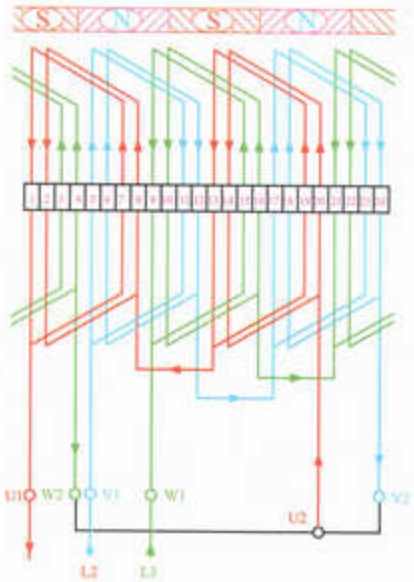


شکل ۹ـ۱ـ ایجاد در قطب در سطح استاتور

۲ـ۲ـ۱ـ ایجاد میدان دوار ۴قطبی توسط جریان متناوب سه‌فاز:

یک موتور ۲۴ شیار را در نظر می‌گیریم. گام کلاف‌ها را به اندازه یک چهارم سطح استاتور ($Y = \frac{۲۴}{۴} = ۶$) منظور می‌کنیم ومطابق شکل ۱۰ـ۱ برای یک لحظه از موقعیت فازها، مسیر جریان الکتریکی هر سه فاز را در داخل کلاف‌ها رسم کرده و تعداد قطب‌های تشکیل شده را با توجه به جهت جریان در بازوی کلاف‌ها، به‌دست می‌آوریم.





شکل ۱۰ـ۱

در شکل ۹ـ۱ دیدیم که گام کلاف تقریباً برابر نصف شیارها بوده و ۲ قطب در سطح استاتور تشکیل می‌شود. در شکل ۱۰ـ۱ با درنظرگرفتن گام کلاف برابر یک‌چهارم شیارها، در سطح استاتور ۴ قطب به وجود می‌آید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت:

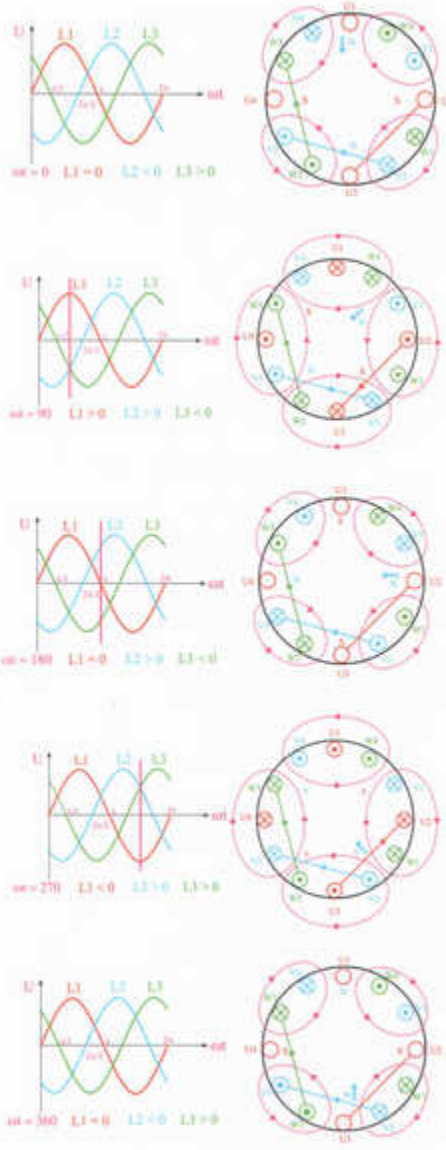
تعداد قطب‌های یک موتور به گام کلاف بستگی دارد هرقدر که گام کلاف کوچکتر باشد، تعداد شکل‌های تشکیل شده بیشتر است.

ـ تأثیر تعداد قطب‌ها بر سرعت گردش حوزه دوار:

در موتورهای ۲ قطب با تغییر زاویه الکتریکی جریان، به‌اندازه‌ی ۳۶۰ درجه میدان مغناطیسی یک بار استاتور را دور می‌زند. این موضوع را در موتورهای ۴ قطب دنبال می‌کنیم و جابه‌جایی قطب‌ها را در این نوع موتورها با تغییر ۳۶۰ درجه زاویه الکتریکی جریان‌ها، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در سطح استاتور، برای هر فاز دو کلاف (۴ موقعیت جریان) در نظر می‌گیریم و با توجه با تغییر ωt و جهت جریان‌ها و براساس قاعده دست راست، قطب‌ها را تشکیل می‌دهیم. با ۲ برابرشدن قطب‌ها، جابه‌جایی (سرعت گردش) میدان مغناطیسی نصف می‌شود (شکل ۱۱ـ۱). بنابراین:

سرعت گردش حوزه دوار با تعداد قطب‌ها، نسبت عکس دارد.



شکل ۱۱ـ۱ـ جابه‌جایی میدان مغناطیسی در موتور ۴ قطب

۳ـ۲ـ۱ـ محاسبه تعداد دور رتور: در بررسی ایجاد حوزه دوار، آموختیم که سرعت گردش میدان با فرکانس جریان متناوب، نسبت مستقیم و با تعداد قطب‌ها، نسبت عکس دارد. در صنعت، دور موتورها را در دقیقه بیان می‌کنند و روی پلاک موتورها، تعداد دور در دقیقه را به‌صورت R.P.M می‌نویسند(شکل ۱۲ـ ۱ـ الف). سرعت گردش حوزه دوار را «دور سنکرون» می‌گویند و آن را با N_s نشان می‌دهند که اندازه آن با توجه به مطالب گفته شده، برابر است با :

$$N_s = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P}$$

که در آن :

N_s = دور سنکرون (سرعت گردش حوزه دوار) در هر دقیقه

f = فرکانس جریان متناوب (هرتز Hz)

۲P = تعداد قطب‌های موتور

در موتورهای آسنکرون رتور قفسی، جریان میله‌های رتور از طریق القای مغناطیسی حوزه دوار استاتور، تأمین می‌شود. به همین دلیل می‌بایستی سرعت گردش رتور از سرعت سنکرون کمتر باشد تا میله‌های رتور، با قطع خطوط میدان و تغییر شار مواجه شده و در آن‌ها جریان القا شود. بنابراین در موتورهای القایی، دور رتور با دور سنکرون هماهنگ نیست و به همین دلیل به آن‌ها موتورهای آسنکرون (غیرهماهنگ) می‌گویند.

میزان عقب‌افتادگی دور رتور نسبت به دور سنکرون، به تعداد قطب‌ها، قدرت و بار موتور بستگی دارد. در موتورهای معمولی، میزان عقب‌افتادگی دور رتور از دور سنکرون بین ۴ تا ۱۰ درصد از دور سنکرون است. به عقب‌افتادگی دور رتور نسبت به دور سنکرون، «لغزش» یا «ضریب لنگی» می‌گویند و آن را با S نشان می‌دهند. در اغلب موارد، لغزش را برحسب درصد محاسبه و به‌صورت روبرو بیان می‌کنند :

$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times ۱۰۰ \quad \text{(درصد لغزش)}$$

که در آن N_r = دور رتور است.

بنابراین، سرعت رتور را می‌توان از رابطه روبرو به‌دست آورد :

$$N_r = N_s(1 - S)$$

پلاک موتور	
Style	Frame = B3
R.P.M=2850	F=50HZ
T C°	Hours
VOlts=220V/380V	COS ϕ=0.82
kw=2kw	Ph=3
Amp=10.9/6.22	Code

شکل ۱۲ـ۱ـ الف

مثال: یک موتور ۲ قطب در فرکانس ۵۰ هرتز شبکه کار با لغزش ۴ درصد کار می‌کند. مطلوب است:

۱ــ سرعت سنکرون در هر دقیقه

۲ــ دور رتور در هر دقیقه

حل:

$f = ۵۰\,Hz$ و $\%S = \%۴$

$$N_s = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P}$$

$$N_s = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۲} = ۳۰۰۰ \ R.P.M$$

$$N_r = N_s(۱ - S)$$

$$N_r = ۳۰۰۰ \times (۱ - ۰/۰۴) = ۲۸۸۰ \ R.P.M$$

مثال: سرعت گردش رتور یک موتور سه‌فاز ۴ قطب ۱۴۱۰ دور در دقیقه است. اگر فرکانس شبکه ۵۰ هرتز باشد، لغزش موتور چند درصد است؟

حل:

$N_r = ۱۴۱۰\,R.P.M, f = ۵۰\,Hz$

$$N_s = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P} = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۴} = ۱۵۰۰\,[R.P.M]$$

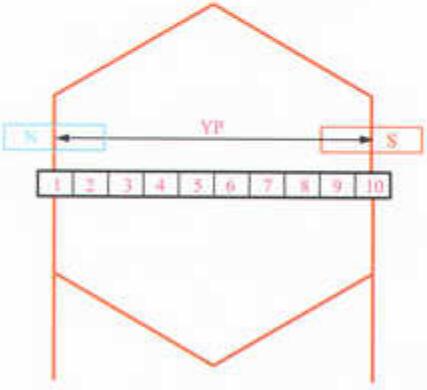
$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times ۱۰۰ = \frac{۱۵۰۰ - ۱۴۱۰}{۱۵۰۰} \times ۱۰۰ = \%۶$$

۳ــ۱ــ اصطلاحات و روابط نقشه‌کشی سیم‌پیچی استاتور الکتروموتورها

در سیم‌بندی استاتور الکتروموتورها، تعداد شیارهای استاتور را با Z نشان می‌دهند. تعداد شیارها در موتورهای سه‌فاز، اغلب مضربی از عدد ۶ است. بیشتر موتورهای سه‌فاز مورد استفاده در صنعت، به‌صورت $Z = ۲۴$، $Z = ۳۶$ و $Z = ۴۸$ شیار طراحی می‌شوند.

۱ــ۳ــ۱ــ گام قطبی (Y_P): گام قطبی تعداد شیارهایی از استاتور است که به‌وسیله یک قطب پوشش داده می‌شوند. گام قطبی را با Y_P نشان می‌دهیم (شکل ۱۲ــ۱ــب) و مقدار آن را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$Y_P = \frac{Z}{۲P}$$



شکل ۱۲ــ۱ــ ب ــ نمایش گام قطبی

که در آن:

Z = تعداد شیارها و ۲P = تعداد قطب‌های استاتور است.

به بیان دیگر، گام قطبی تعداد شیارهایی است که بین مراکز دو قطب غیرهمنام متوالی در استاتور قرار می‌گیرند.

مثال: گام قطبی الکتروموتور ۳۶شیار ۴ قطب را به‌دست آورید.

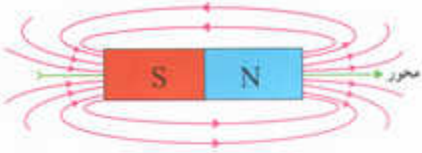
حل:

$$Z = ۳۶, ۲P = ۴$$

$$Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۳۶}{۴} = ۹$$

چون یکی از بازوهای کلاف در شیار شماره ۱ قرار می‌گیرد، بازوی بعدی آن در شیار ۱۰ = ۱+۹ قرار خواهد گرفت.

۲ـ۳ـ۱ـ محور قطبی: محور قطبی، خطی است که مراکز دو قطب S و N را در یک مغناطیس به هم وصل می‌کند. سوی محور قطبی از قطب S به طرف قطب N است (شکل ۱۳ـ۱ـ الف).



شکل ۱۳ـ۱ـ الف ـ نمایش محور مغناطیسی در مغناطیس دائم و پیچه

۳ـ۳ـ۱ـ تعداد شیارهای هر فاز در زیر هر قطب (q):

اگر تعداد شیارهای یک استاتور برابر با Z باشد، در موتورهای m فاز، به هر فاز $\frac{Z}{m}$ شیار خواهد رسید. هر فاز ۲P قطب تشکیل می‌دهد. بنابراین، تعداد شیارهای زیر هر قطب برای هر فاز از تقسیم $\frac{Z}{m}$ به تعداد قطب‌ها به‌دست می‌آید (شکل ۱۳ـ۱ـ ب).

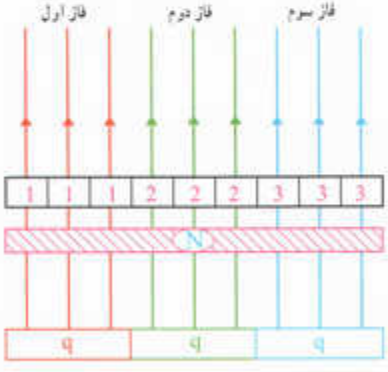
$$\boxed{q = \frac{Z}{۲P.m}}$$

مثال: استاتور یک موتور سه فاز ۲۴ شیار، ۴ قطب دارد. تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب را به‌دست آورید.

حل:

$$Z = ۲۴, m = ۳, ۲P = ۴$$

$$q = \frac{Z}{۲P.m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۳} = ۲$$



شکل ۱۳ـ۱ـ ب

$$q = \frac{Z}{2P.m} = \frac{24}{4\times 3} = 2$$

۴ـ۳ـ۱ـ زاویه الکتریکی بین شیارها: اختلاف زاویه الکتریکی هر شیار را از شیار مجاور آن، زاویه الکتریکی شیارها می‌نامند و آن را با α_{ez} نشان می‌دهند. α_{ez} از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\boxed{\alpha_{ez} = \frac{P\times 360}{Z}}$$

که در آن:

P= نصف قطب‌ها و Z = تعداد شیارهای استاتور است (شکل ۱۳ـ۱ـ ج).

۵ـ۳ـ۱ـ زاویه مکانیکی بین شیارها: از تقسیم ۳۶۰ درجه به تعداد شیارها، زاویه مکانیکی بین دو شیار به‌دست می‌آید. این زاویه را با α_{mz} نشان می‌دهند. زاویه مکانیکی بین شیارها از رابطه زیر به‌دست می‌آید (شکل ۱۳ـ۱ـ ج):

$$\boxed{\alpha_{mz} = \frac{360}{Z}}$$

از مقایسه روابط α_{ez} و α_{mz} می‌توان نتیجه گرفت:

$$\boxed{\alpha_{ez} = P\times\alpha_{mz}}$$

مثال: استاتور یک الکتروموتور سه فاز، ۳۶ شیار دارد. زاویه الکتریکی و زاویه مکانیکی شیارها را برای حالت‌های ۲، ۴ و ۶ قطب به‌دست آورید.

شکل ۱۳ـ۱ـ ج

حل:

$Z = 36, m = 3, 2P = 2, 4, 6$

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

$2P = 2 \Rightarrow P = 1$

$$\alpha_{ez} = \frac{1\times 360}{36} = 10^{\circ e} \quad \alpha_{mz} = \frac{360}{36} = 10^{\circ}$$

$2P = 4 \Rightarrow P = 2$

$$\alpha_{ez} = \frac{2\times 360}{36} = 20^{\circ e} \quad \alpha_{mz} = \frac{360}{36} = 10^{\circ}$$

$2P = 6 \Rightarrow P = 3$

$$\alpha_{ez} = \frac{3\times 360}{36} = 30^{\circ e} \quad \alpha_{mz} = \frac{360}{36} = 10^{\circ}$$

ملاحظه می‌شود α_{ez} با تعداد قطب متناسب است ولی α_{mz} مستقل از تعداد قطب است.

۶ـ۳ـ۱ـ گام سیم‌پندی: تعداد شیارهای موجود بین دو بازوی یک کلاف را گام سیم‌پندی می‌گویند و آن را با Y_Z نشان می‌دهند. اندازه Y_Z از رابطه روبرو به‌دست می‌آید:

$$Y_z = y_p(1-\frac{1}{n})$$

که در آن:

Y_P = گام قطبی

n = شماره هارمونی (در سیم‌پندی گام کسری درباره آن بحث خواهیم کرد) است.

۷ـ۳ـ۱ـ گام فازی: گام فازی، تعداد شیارهایی است که بین شروع دو فاز قرار دارند. گام فازی را با Y_{Ph} نشان می‌دهند. در موتورهای سه‌فاز، بین فازها ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز وجود دارد. از آن جا که یک گام قطبی ۱۸۰ درجه الکتریکی است، لذا در موتورهای سه‌فاز، گام فازی مساوی $\frac{۲}{۳}$ گام قطبی است.

$$Y_{Ph} = \frac{۲}{۳} Y_P$$

تعداد شیارهایی که در یک گام فازی قرار می‌گیرد، به زاویه الکتریکی شیارها α_{ez} بستگی دارد. تعداد شیارهای موجود در یک گام فازی، براساس رابطه روبرو قابل محاسبه است:

$$Y_{Ph} = \frac{۲}{۳} Y_P = \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}}$$

با توجه به گام فازی، می‌توان شیارهای شروع فازها را در یک موتور سه‌فاز مشخص کرد.

شیار شماره ۱ = شروع فاز

شیار شماره V_1 شروع فاز $= ۱ + Y_{Ph} = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}}$

شیار شماره W_1 شروع فاز $= ۱ + ۲Y_{Ph} = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}}$

مثال: با فرض کردن یک الکتروموتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب، معین کنید فازهای این الکتروموتور از کدام شیارهای استاتور شروع می‌شوند.

حل:

$$Z = ۳۶, ۲P = ۴, m = ۳$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z} = \frac{۲ \times ۳۶۰}{۳۶} = ۲۰$$

$$U_1 = ۱$$

$$V_1 = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۲۰} = ۷$$

$$W_1 = ۱ + \frac{۲۴۰}{۲۰} = ۱۳$$

مثال: فازهای الکتروموتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب، از کدام شیارها شروع می‌شوند.

حل:

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z} = \frac{۴ \times ۳۶۰}{۲۴} = ۳۰$$

$$U_1 = ۱$$

$$V_1 = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۳۰} = ۵$$

$$W_1 = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۲۴۰}{۳۰} = ۹$$

۴ــ۱ــ سیم‌بندی یک طبقه استاتور الکتروموتورها

در دروس گذشته آموختیم که اگر در هر شیار استاتور، یک بازو از کلاف‌های سیم‌پیچی قرار بگیرد، سیم‌پیچی را یک طبقه می‌نامند. سیم‌بندی یک طبقه موتورهای سه‌فاز به‌صورت زیر انجام می‌شود:

ــ سیم‌بندی یک طبقه با گام کامل

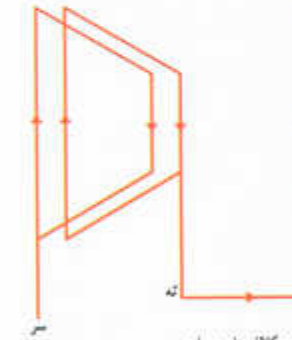
ــ سیم‌بندی یک طبقه با گام کسری

۱ــ۴ــ۱ــ سیم‌بندی یک طبقه با گام کامل:

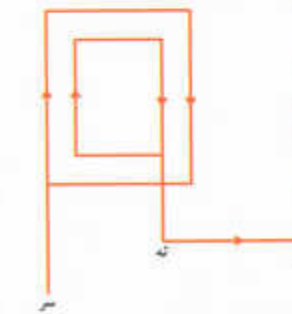
درسیم‌بندی یک طبقه با گام کامل، گام سیم‌پیچی با گام قطبی برابر است ($Y_y = Y_p$). این نوع سیم‌پیچی معمولاً به‌ازای زوج قطب انجام می‌شود.

در سیم‌پیچی به‌ازای زوج قطب، تعداد گروه کلاف‌های یک فاز، برابر با نصف قطب‌هاست. اگر تعداد گروه کلاف‌های یک فاز را با G نشان دهیم، در سیم‌پیچی به‌ازای زوج قطب، $G = P$ خواهد بود(P = تعداد نصف قطب‌ها).

در سیم‌پیچ‌های به‌ازای زوج قطب، اتصال گروه کلاف‌ها، اتصال نزدیک است. در اصطلاح موتور پیچ‌ها، اتصال گروه کلاف‌ها سر به ته و ته به سر است. بر همین اساس، در یک موتور ۴ قطب با دو گروه کلاف، اتصال کلاف به‌صورت قسمت‌های الف و ب شکل ۱۴ــ۱ خواهد بود.



الف ــ اتصال نزدیک در گروه کلاف‌های مساوی



ب ــ اتصال نزدیک در گروه کلاف‌های متحدالمرکز

شکل ۱۴ــ۱ــ اتصال نزدیک گروه کلاف‌ها ($G = P$)

۲ـ۴ـ۱ـ سیم‌پیچی یک طبقه با گام کسری: یکی از روش‌های متداول در سیم‌پیچی موتور یک طبقه، روش گام کسری است. این روش در مقایسه با روش گام کامل، دارای مزایایی به‌شرح زیر است:

۱ـ کاهش سیم مصرفی

۲ـ کاهش مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌های موتور و کاهش تلفات اهمی رتور

۳ـ افزایش بازده موتور

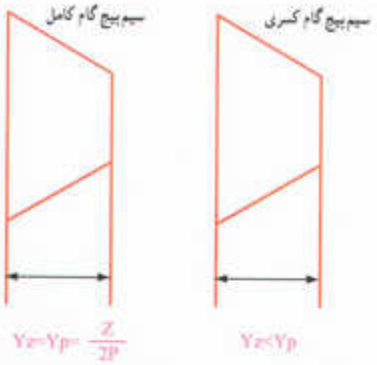
۴ـ کاهش لرزش‌های موتور

۵ـ افزایش عمر موتور

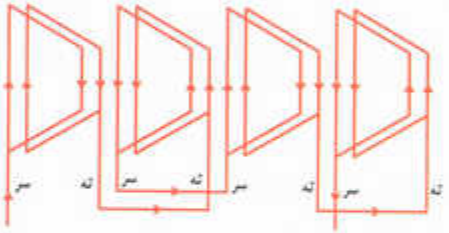
در شکل ۱۵ـ۱ سیم‌بندی گام کسری و گام کامل یک موتور با یکدیگر مقایسه شده است.

در سیم‌بندی گام کسری، بیشتر از سیم‌پیچی به‌ازای قطب استفاده می شود. به بیانی دیگر، تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز برابر با تعداد قطب‌هاست ($G = 2P$).

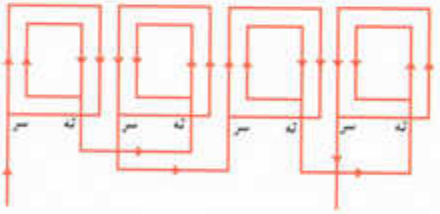
در سیم‌پیچی موتورها به‌ازای قطب، اتصال کلاف‌ها به یکدیگر از نوع اتصال دور (با فاصله) است. در اصطلاح موتورپیچ‌ها، کلاف‌های هر فاز با اتصال سر به سر و ته به ته با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. شکل ۱۶ـ۱ سیم‌بندی گام کسری را با کلاف‌های مساوی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که تعداد گروه کلاف‌ها با تعداد قطب‌ها برابرند. در شکل ۱۷ـ۱ سیم‌بندی به‌ازای قطب، به روش گام کسری با کلاف‌های متحدالمرکز مشاهده می‌شود.



شکل ۱۵ـ۱ـ مقایسه سیم‌پیچی گام کسری با سیم‌پیچ گام کامل



شکل ۱۶ـ۱ـ اتصال دور (با فاصله) در سیم‌پیچی کلاف مساوی $G = 2P$ (۴ قطب و ۴ گروه کلاف)

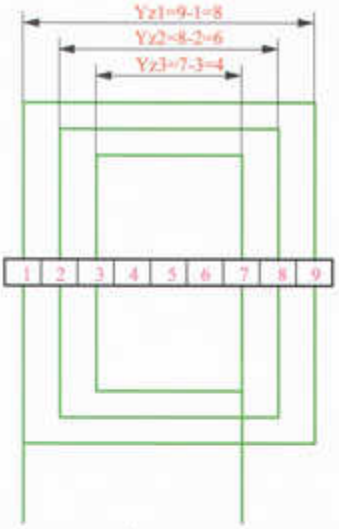


شکل ۱۷ـ۱ـ اتصال دور (با فاصله) در سیم‌پیچی کلاف متحدالمرکز $G = 2P$ (۴ قطب با ۴ گروه کلاف)

۵ـ۱ـ انواع سیم‌بندی از لحاظ شکل کلاف‌ها

سیم‌پیچی استاتور الکتروموتورها به ۲ صورت زیر انجام می‌شود:

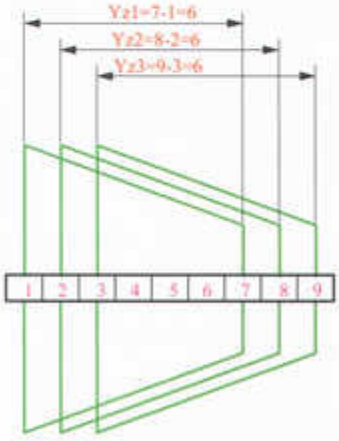
- سیم‌بندی متحدالمرکز
- سیم‌بندی گام مساوی (کلاف مساوی)



شکل ۱۸ـ۱ـ سیم‌بندی متحدالمرکز (گام کلاف‌ها برابر نیستند)

۱ـ۵ـ۱ـ سیم‌بندی متحدالمرکز: در سیم‌پیچی متحدالمرکز، گام کلاف‌ها در یک گروه از کلاف برابر نبوده و کلاف‌ها به‌گونه‌ای یکدیگر را در بر می‌گیرند که مراکزشان بر هم منطبق می‌شود. گام هر کلاف بیرونی به اندازه ۲ شیار از گام کلافی که درون و مجاور آن قرار گرفته، بیشتر است. این سیم‌بندی بیشتر در موتورهای تکفاز کاربرد دارد (شکل ۱۸ـ۱).

۲ـ۵ـ۱ـ سیم‌بندی کلاف مساوی: در سیم‌پیچی کلاف مساوی، گام تمام کلاف‌ها در مجموعه سیم‌بندی با هم برابر بوده و برای پیچیدن آن‌ها می‌توان از قالب هایی با اندازه مساوی استفاده کرد. در این نوع سیم‌پیچی سیم کمتری در مقایسه با سیم‌پیچی متحدالمرکز مصرف می‌شود و محاسبه تعداد دور هر کلاف، ساده‌تر است. در سیم‌بندی کلاف مساوی، کلاف‌های فازهای متفاوت از روی یکدیگر عبور کرده و آن‌ها را باید نسبت به هم عایق کرد (شکل ۱۹ـ۱).



شکل ۱۹ـ۱ـ سیم‌بندی کلاف مساوی (گام کلاف‌ها برابر هستند)

۶ــ۱ــ اصول محاسبه دیاگرام الکتروموتورهای آسنکرون سه‌فاز یک طبقه یک سرعته

دیاگرام‌های سیم‌بندی الکتروموتورها را در ۴ مرحله زیر محاسبه می‌کنیم :

۱. محاسبات مربوط به رسم دیاگرام

۲. تشکیل جدول سیم‌بندی

۳. رسم دیاگرام

۴. سربندی و تشکیل قطب‌های سیم‌پیچی

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

شکل ۲۰ــ۱ــ تشکیل جدول سیم‌بندی

۱ــ۶ــ۱ــ محاسبات سیم‌بندی: در این مرحله، با استفاده از روابطی که گفته شد، گام قطبی، گام کلاف، زاویه الکتریکی شیارها، تعداد شیارهای هرفاز در زیر هر قطب و شماره شیارهای شروع فازها را تعیین می‌کنیم.

۲ــ۶ــ۱ــ تشکیل جدول سیم‌بندی: جدول سیم‌بندی (شکل ۲۰ــ۱) موقعیت U_1 ، V_1 ، W_1 ، U_2 ، V_2 و W_2 را در شیارهای استاتور نشان می‌دهد.

در تشکیل این جدول به تعداد قطب‌های موتور ردیف و به تعداد فازها، ستون باز می‌کنیم. اگر یک موتور سه فاز، ۴ قطب داشته باشد، قسمت اول جدول سیم‌بندی آن مطابق شکل ۲۰ــ۱ ترسیم می‌شود.

برای تکمیل جدول، $q = \frac{Z}{2p.m}$ را محاسبه می‌کنیم.

فرض می‌کنیم تعداد شیارهای استاتور برای جدول رسم شده، ۳۶ عدد باشد. سپس مقدار q را به‌دست می‌آوریم.

$$q = \frac{Z}{2p.m} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$$

هر ستون مربوط به هر فاز را در جدول شکل ۲۰ــ۱ به q قسمت تقسیم می‌کنیم (شکل ۲۱ــ۱).

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

شکل ۲۱ــ۱ــ تقسیم ستون‌های هر فاز به q قسمت

شیارهای شروع فازها را با محاسبه به‌دست می‌آوریم. در ابتدای هر فاز، در ردیف اول می‌نویسیم و به اندازه q شماره‌های متوالی آن‌ها را در جدول (شکل ۲۲ـ۱) منظور می‌کنیم. برای درج مشخصات در جدول (شکل ۲۱ـ۱) شیارهای شروع فازها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$Z = ۳۶ \ , \ ۲P = ۴ \ , \ m = ۳$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z} = \frac{۲ \times ۳۶۰}{۳۶} = ۲۰$$

$$U_۱ \text{ شروع فاز } \rightarrow ۱$$

$$V_۱ \text{ شروع فاز } \rightarrow ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha ez} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۲۰} = ۷$$

$$W_۱ \text{ شروع فاز } \rightarrow ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha ez} = ۱ + \frac{۲۴۰}{۲۰} = ۱۳$$

ردیف‌های بعدی جدول را با افزودن یک گام قطبی به شماره‌های هم‌ستون ردیف بالا، تکمیل می‌کنیم.

گام قطبی موتوری با مشخصات جدول (شکل ۲۳ـ۱) را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد و جدول را کامل کرد.

$$Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۳۶}{۴} = ۹$$

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1 2 3		7 8 9		13 14 15	

شکل ۲۲ـ۱ـ تعیین شیارهای شروع فازها

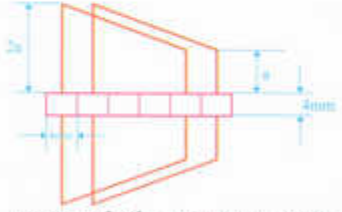
2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1 2 3		7 8 9		13 14 15	
$Y_P \rightarrow$	10 11 12		16 17 19		22 23 24	
	19 20 21		25 26 27		31 32 33	
	28 29 30		34 35 36		4 5 6	

شکل ۲۳ـ۱ـ افزودن گام قطبی به ستون‌های جدول و تکمیل آن

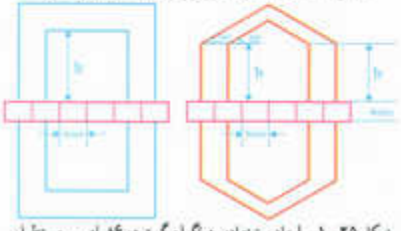
۳ـ۶ـ۱ـ رسم دیاگرام سیم‌بندی: دیاگرام سیم‌بندی را با روش‌های مختلفی رسم می‌کنند. در دیاگرام‌های گسترده، استاتور را برش داده و دیاگرام را به‌صورت مسطح رسم می‌کنند. در دیاگرام‌های مسطح، بازوهای کلاف‌ها را به‌صورت ذوزنقه (شکل ۲۴ـ۱) مستطیل یا ۶ضلعی (شکل ۲۵ـ۱) رسم می‌کنند.

در دیاگرام‌های مدور، برش عرضی استاتور را به‌صورت دایره‌ای درنظر می‌گیرند و با استفاده از دوایر اطراف استاتور سیم‌بندی را رسم می‌کنند.

به علت وجود خطوط بیشتر در دیاگرام سیم‌بندی، تعقیب سیم‌بندی کاری مشکل است. برای آسان کردن تعقیب سیم‌بندی، معمولاً در ترسیم دیاگرام سیم‌بندی، مشخصات خطوط هر فازها را با رنگ جداگانه رسم می‌کنند.

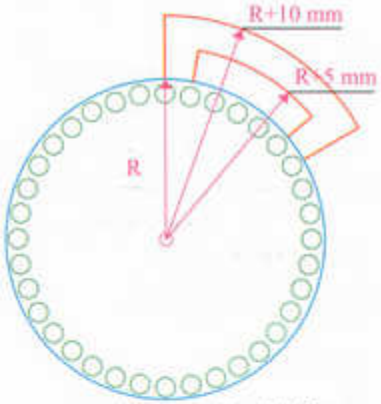


شکل ۲۴ـ۱ـ ابعاد پیشنهادی دیاگرام گسترده ذوزنقه‌ای



شکل ۲۵ـ۱ـ ابعاد پیشنهادی دیاگرام گسترده ۶ضلعی و مستطیل

در رسم دیاگرام‌ها، رعایت اندازه‌های مندرج در شکل‌های ۲۴ـ۱ و ۲۵ـ۱ توصیه می‌شود.

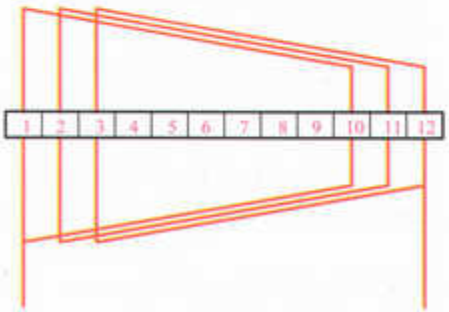


شکل ۲۶ـ۱ـ ابعاد پیشنهادی دیاگرام مدور

جدول شکل ۲۳ـ۱ را درنظر می‌گیریم. با توجه به هدایت سیم‌ها در داخل شیارها، ۲ نوع سیم‌بندی کلاف مساوی و متحدالمرکز امکان‌پذیر است. اگر مطابق جدول شکل ۲۷ـ۱ بازوی کلاف‌های سیم‌پیچ U_1 و U_2 را از ۱ به ۱۰، ۲ به ۱۱، ۳ به ۱۲، ۱۹ به ۲۸، ۲۰ به ۲۹ و ۲۱ به ۳۰ هدایت کنیم، گام تمامی کلاف‌ها در سیم‌پیچی، مساوی خواهد شد. شکل ۲۸ـ۱ـ الف هدایت یک گروه کلاف از سیم‌پیچ U_1 و U_2 را نشان می‌دهد.

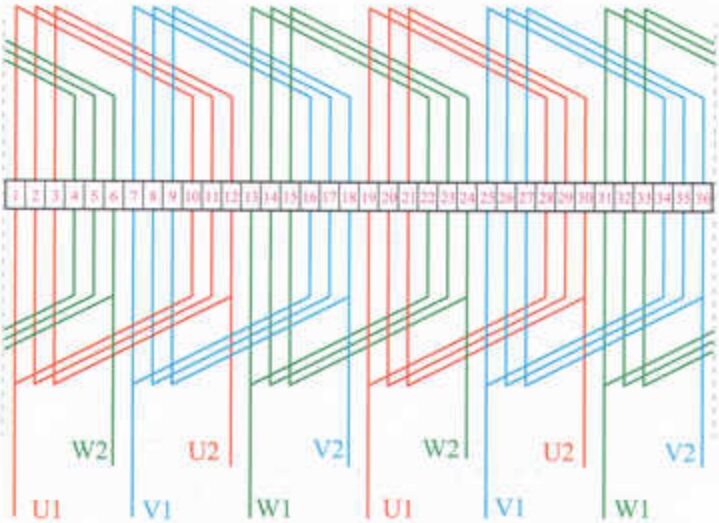
2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1	2	3	7	8	9	13	14	15
	10	11	12	16	17	19	22	23	24
	19	20	21	25	26	27	31	32	33
	28	29	30	34	35	36	4	5	6

شکل ۲۷ـ۱



الف ـ یک گروه کلاف

با توجه به قسمت الف شکل ۲۸ـ۱ محل قرار گرفتن بازوها در شیارهای استاتور مطابق قسمت ب شکل ۲۸ـ۱ خواهد بود.



ب ـ تمام کلاف‌ها

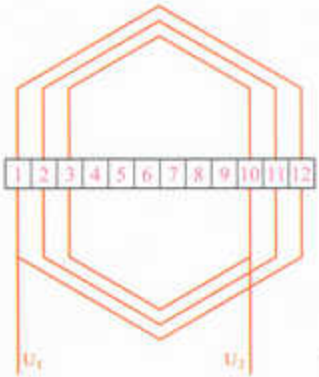
شکل ۲۸ـ۱ـ دیاگرام سیم‌بندی کلاف مساوی

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1 2 3		7 8 9		13 14 15	
	10 11 12		16 17 19		22 23 24	
	19 20 21		25 26 27		31 32 33	
	28 29 30		34 35 36		4 5 6	

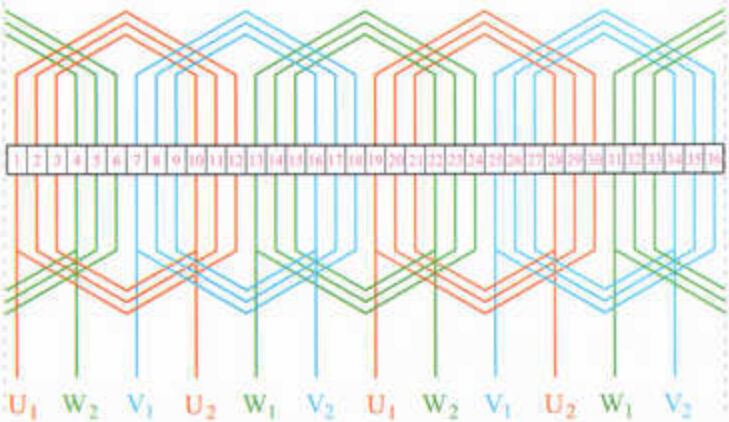
شکل ۲۹ـ۱

اگر مطابق جدول شکل ۲۹ـ۱ بازوی کلاف‌های سیم‌پیچ U_1 و U_2 را از ۱ به ۱۲، ۲ به ۱۱، ۳ به ۱۰، ۱۹ به ۳۰، ۲۰ به ۲۹ و ۲۱ به ۲۸ هدایت کنیم، گام کلاف‌ها در سیم‌پیچی مساوی نبوده، ولی مرکز هر گروه کلاف یکی می‌شود و در واقع سیم‌پیچی متحدالمرکز خواهیم داشت. شکل ۳۰ـ ۱ ـ الف یک گروه کلاف از سیم‌پیچ U_1 و U_2 در سیم‌بندی متحدالمرکز را نشان می‌دهد.

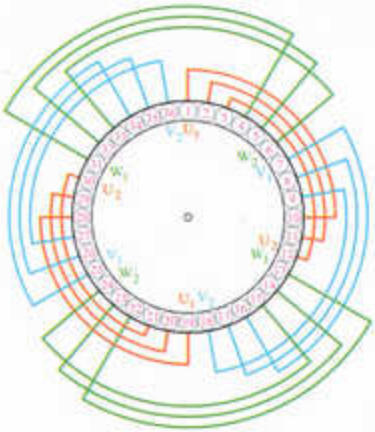
با درنظر گرفتن جدول شکل ۲۹ـ۱ موقعیت بازوی کلاف‌ها در هر سه فاز مطابق با شکل ۳۰ـ۱ـ ب خواهد شد.



شکل ۳۰ـ۱ـ الف ـ یک گروه کلاف



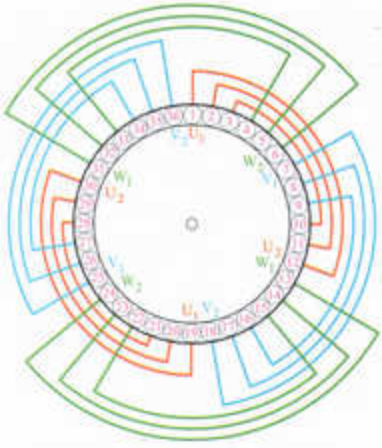
شکل ۳۰ـ۱ـ ب ـ تمام کلاف‌های دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز



موقعیت بازوهای کلاف‌ها در داخل شیارها را می‌توان به‌صورت دیاگرام مدور نشان داد. در شکل ۳۱ـ۱ دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف مساوی مربوط به شکل ۲۸ـ۱ مشاهده می‌شود.

شکل ۳۱ـ۱ـ دیاگرام مدور کلاف مساوی

دیاگرام مدور سیم‌پیچی کلاف متحدالمرکز مربوط به شکل ۳۰ـ۱ به‌صورت شکل ۳۲ـ۱ رسم می‌شود.

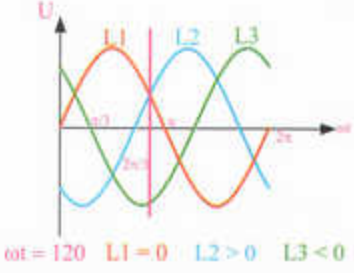


شکل ۳۲ـ۱ـ دیاگرام مدور کلاف متحدالمرکز

۴ـ۶ـ۱ـ سربندی و تشکیل قطب‌ها: برای سربندی گروه کلاف‌های هر فاز، به تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز مراجعه می‌کنیم و اگر G = P باشد، از اتصال تزدیک استفاده می‌کنیم. در این مثال، برای ۴ قطب در هر فاز، ۲ گروه کلاف وجود دارد. بنابراین تعداد گروه کلاف‌ها برابر با نصف تعداد قطب‌هاست و اتصال گروه کلاف‌ها از نوع تزدیک است (G = P).

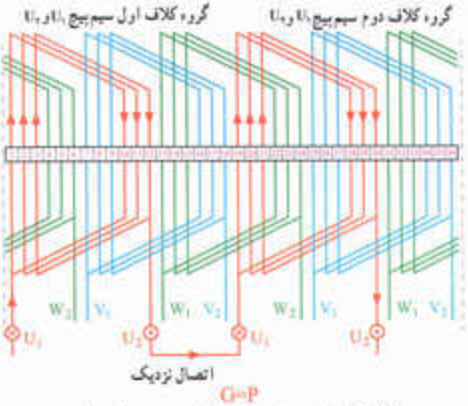
برای قطب‌سازی، معمولاً یک لحظه از منحنی سه‌فاز را که تغذیه‌کننده موتور است، درنظر می‌گیرند و با توجه به موقعیت فازها، جریان‌های مثبت را ورودی (درونسو) با علامت ⊗ و جریان‌های منفی را خروجی (برونسو) با علامت ⊙ منظور می‌کنیم.

فرض می‌کنیم در موقعیت $\omega t = ۱۲۰^\circ$ ، منحنی سه فاز قرار گرفته‌ایم که فاز L_1 و L_3 در نیم‌سیکل مثبت قرار گرفته و جریان‌های درونسو تولید می‌کنند و فاز L_2 نیز در نیم‌سیکل منفی قرار دارد و جریان برونسو برقرار می‌کند (شکل ۳۳ـ۱).



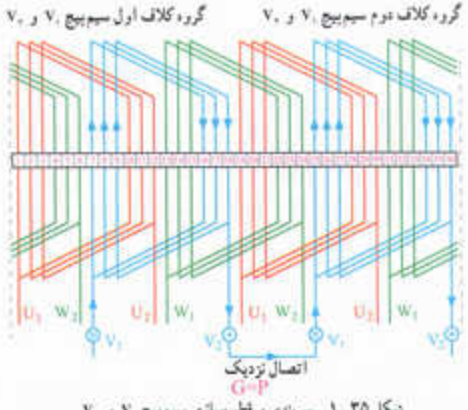
شکل ۳۳ـ۱

سربندی گروه کلاف‌های سیم‌پیچ U_1 و U_2 با اتصال نزدیک در سیم‌بندی کلاف مساوی، مطابق شکل ۳۴ـ۱ است. مشاهده می‌شود که انتهای گروه کلاف اول سیم‌پیچ U_1 و U_2 که از شیار ۱۲ خارج شده است، به ابتدای گروه کلاف دوم این سیم‌پیچ که از شیار شماره ۱۹ وارد می‌شود، وصل شده است. در واقع، اتصال نه به سر صورت گرفته که آن را اتصال نزدیک می‌نامیم.



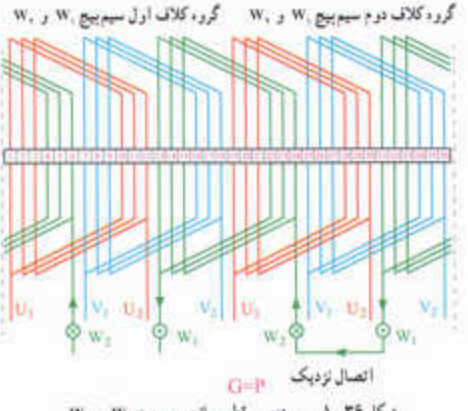
شکل ۳۴ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی سیم‌پیچ U_1 و U_2

سربندی گروه کلاف‌های سیم‌پیچ V_1 و V_2 به‌صورت شکل ۳۵ـ۱ انجام می‌شود. گروه اول، از شیار ۷ وارد شده، از شیار ۱۹ خارج می‌شوند و در شیار ۲۵ به ابتدای گروه کلاف دوم سیم‌پیچ V_1 و V_2 وصل می‌شوند. در نهایت ورودی سیم‌پیچ V_1 و V_2 از شیار ۷ شروع شده و خروجی آن از شیار ۳۶ بیرون می‌آید.



شکل ۳۵ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی سیم‌پیچ V_1 و V_2

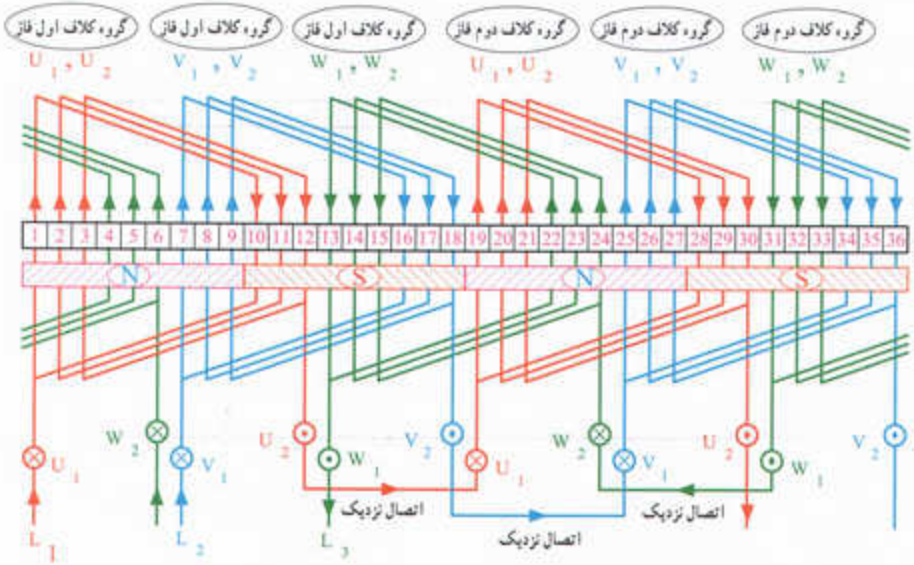
سربندی گروه کلاف‌های سیم‌پیچ W_1 و W_2 به‌صورت شکل ۳۶ـ۱ انجام می‌شود. گروه اول از شیار ۱۳ وارد شده از شیار ۲۴ خارج می‌شود و در شیار ۳۳ به ابتدای گروه کلاف دوم سرپیچ W_1 و W_2 وصل می‌شود. در نهایت، ورودی سیم‌پیچ W_1 و W_2 از شیار ۱۳ شروع شده و خروجی آن از شیار ۶ بیرون می‌آید.



شکل ۳۶ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی سیم‌پیچ W_1 و W_2

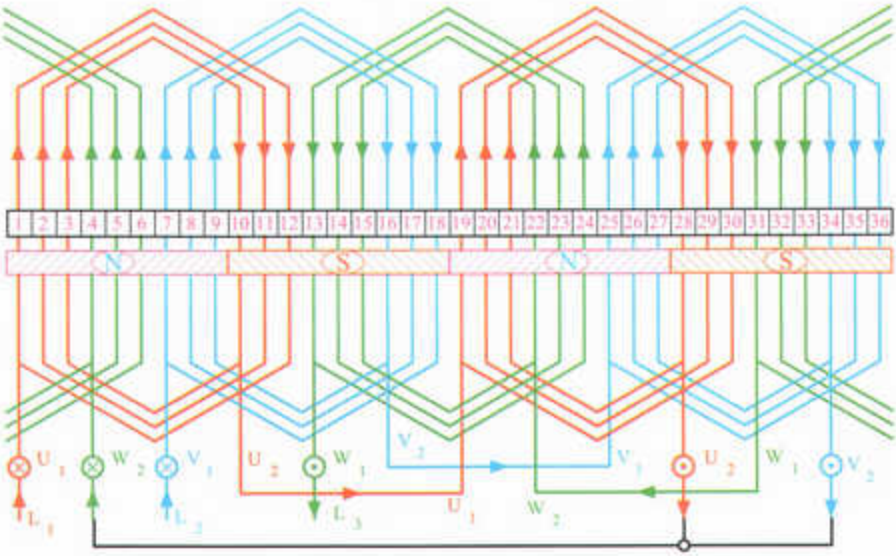
در شکل ۳۷ـ۱ سربندی کامل سیم‌پیچی موتور به‌صورت کلاف مساوی نشان داده شده است. در این شکل، ارتباط گروه کلاف‌های سه فاز در یک‌جا نشان داده است. ورودی برق سه فاز L_1, L_2, L_3 به U_1, V_1, W_1 متصل شده است. در این شکل، موقعیت $L_3 < 0$ ، $L_2 > 0$ و $L_1 > 0$ است و از آن‌جا که جهت جریان بازوها در شیارها ۱ تا ۹ یکی است یک قطب را می‌سازند به این ترتیب، بازوهای شیارهای ۱۰ تا ۱۸ و ۱۹ تا ۲۷ و ۲۸ تا ۳۶ نیز در تشکیل قطب‌ها شرکت می‌کنند و در مجموع ۴ قطب در سطح استاتور ایجاد می‌شود که ۲ برابر تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز است.

نکته: هنگام سیم‌بندی به گروههای کلاف توجه کنید

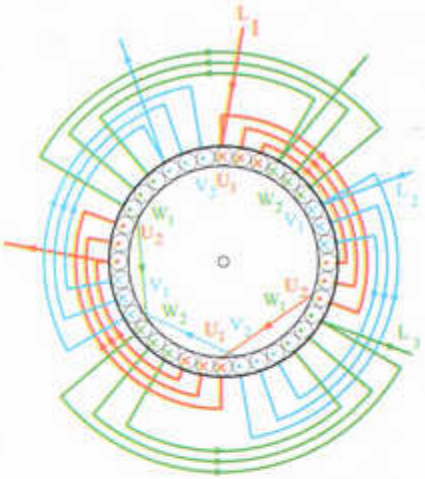


شکل ۳۷ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی کامل سه‌فاز یک موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ‌های گام مساوی

شکل ۳۸ـ۱ سربندی و قطب‌سازی کامل موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب با اتصال نزدیک به روش ترسیم ۶ضلعی را با سیم‌پیچی کلاف متحدالمرکز نشان می‌دهد. در این شکل، بازوهای موجود در شیارهای ۱ تا ۹ قطب N ، ۱۰ تا ۱۸ قطب S ، ۱۹ تا ۲۷ قطب N و شیارهای ۲۷ تا ۳۶ قطب S را تشکیل می‌دهند. در مجموع، ۴ قطب در سطح استاتور تشکیل می‌شود.

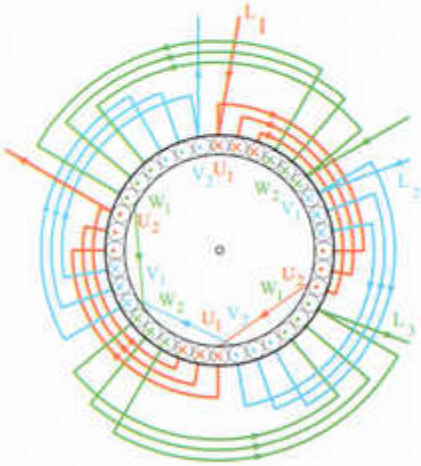


شکل ۳۸ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی کامل سه‌فاز یک موتور ۴ قطب ۳۶ شیار با سیم‌پیچ‌های متحدالمرکز (گام ناقساری)



شکل ۳۹ـ۱

شکل ۳۹ـ۱ دیاگرام کامل سیم‌بندی موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب را با اتصال نزدیک به روش دیاگرام مدور کلاف مساوی نشان می‌دهد. جریان ورودی یا درونسو با علامت ⊗ و جریان‌های برونسو با علامت ⊙ نشان داده شده است.



شکل ۴۰ـ۱

شکل ۴۰ـ۱ دیاگرام کامل سیم‌بندی موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب را با اتصال نزدیک به روش دیاگرام مدور با کلاف متحدالمرکز نشان می‌دهد.

مثال: موتوری سه فاز ۲۴ شیار و ۴ قطب مفروض است. دیاگرام سیم‌بندی این موتور را برای حالت‌های کلاف مساوی ۶ضلعی و متحدالمرکز مدور رسم کنید.

حل:

ـ محاسبات $Z=۲۴\ ,\ m=۳\ ,\ ۲P=۴$

$$Y_P=\frac{Z}{۲P}=\frac{۲۴}{۴}=۶\ ,\ q=\frac{Z}{۲P.m}=\frac{۲۴}{۴\times ۳}=۲$$

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

شروع فاز $U_۱=۱$

شروع فاز $V_۱=۱+\frac{۱۲۰}{۳۰}=۵$

شروع فاز $W_۱=۱+\frac{۲۴۰}{۳۰}=۹$

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1	2	5	6	9	10
	7	8	11	12	15	16
	13	14	17	18	21	22
	19	20	23	24	3	4

(الف)

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1	2	5	6	9	10
	7	8	11	12	15	16
	13	14	17	18	21	22
	19	20	23	24	3	4

(ب)

تشکیل جدول

چون $q=۲$ است، هر فاز دو ستون خواهد داشت و چون $Y_P=۶$ است هر ردیف از ردیف بالایی ۶ شیار فاصله دارد.

جدول الف (شکل ۴۱ـ۱) ارتباط گروه کلاف‌های فاز $U_۱$ و $6U_۲$ جدول ب شکل ۴۱ـ۱ ارتباط گروه کلاف‌های فاز $V_۱$ و $V_۲$ و جدول ج شکل ۴۱ـ۱ ارتباط گروه کلاف‌های فاز $W_۱$ و $W_۲$ را نشان می‌دهد.

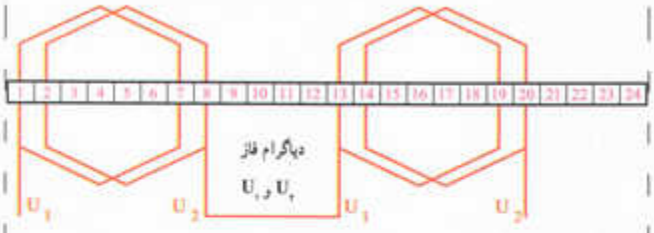
2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1	2	5	6	9	10
	7	8	11	12	15	16
	13	14	17	18	21	22
	19	20	23	24	3	4

(ج)

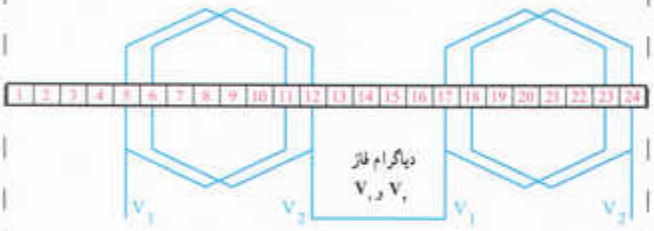
شکل ۴۱ـ۱

رسم دیاگرام سیم‌پیچی

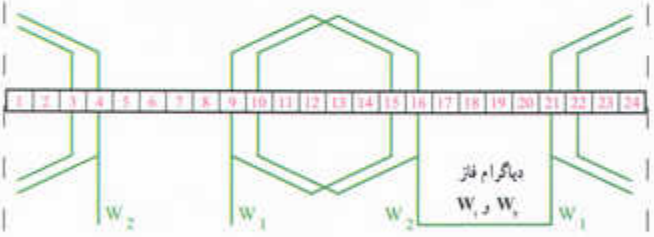
دیاگرام فازها، به تنهایی و یکجا در قسمت الف تا د شکل ۴۲ـ۱ نشان داده شده است.



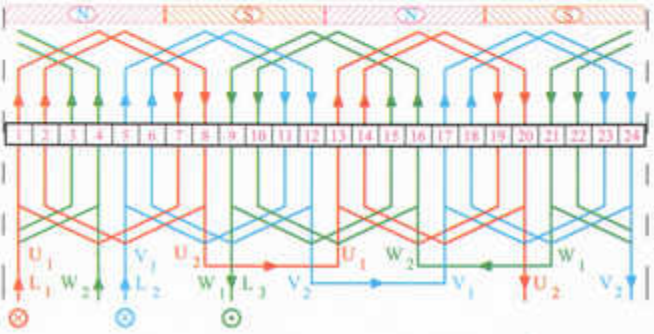
الف ـ دیاگرام سیم‌پیچ U_1 و U_2 (فاز اول)



ب ـ دیاگرام سیم‌پیچ V_1 و V_2 (فاز دوم)



ج ـ دیاگرام سیم‌پیچ W_1 و W_2 (فاز سوم)



د ـ دیاگرام کامل موتور سه فاز ۲۴ شیار یک طبقه با سیم‌پیچی کلاف مساوی با ترسیم ۶ قطبی

شکل ۴۲ـ۱

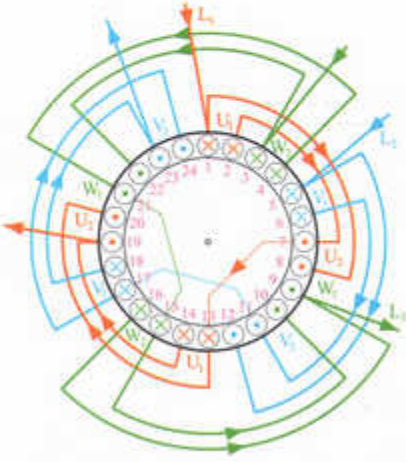
رسم دیاگرام مدور متحدالمرکز

اگر هدایت بازوی کلاف‌ها را درفاز U_1 و U_2، از ۱ به ۸، ۲ به ۷، ۱۳ به ۲۰ و ۱۴ به ۱۹ و در فازهای بعدی مطابق جدول شکل ۴۳ـ۱ انجام دهیم، سیم‌بندی به‌صورت متحدالمرکز انجام می شود.

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1	2	5	6	9	10
	7	8	11	12	15	16
	13	14	17	18	21	22
	19	20	23	24	3	4

شکل ۴۳ـ۱ـ جدول سیم‌پیچی موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب متحدالمرکز

دیاگرام مدور سیم‌بندی متحدالمرکز به‌صورت شکل ۴۴ـ۱ ترسیم می‌شود.



شکل ۴۴ـ۱ـ دیاگرام مدور موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب متحدالمرکز

۷ـ۱ـ سیم‌بندی یک طبقه با گام کسری (سیم‌بندی به ازای قطب)

سیم‌بندی به ازای قطب، تعداد گروه کلاف‌ها برابر تعداد قطب‌هاست. در این نوع سیم‌بندی، گرچه گام سیم‌بندی کسری بوده و مقدار کسری گام، به اندازه $\frac{q}{2}$ است، اما هدف اصلی توزیع سیم‌پیچ مربوط به هر فاز در سطح استاتور است تا بهتر تهویه شود. این نوع سیم‌بندی، بیشتر مزایای سیم‌بندی گام کسری را دارد. از این نوع سیم‌بندی بیشتر در موتورهای ۲ قطب و qهای زوج استفاده می‌شود. طراحی با q های فرد، خارج از بحث ماست. به این طریق، گام سیم‌بندی کوتاه شده و فرم آن شکیل‌تر می‌شود و از تلفات اهمی بیشتر، جلوگیری می‌شود. مراحل رسم دیاگرام نظیر مراحل سیم‌بندی به ازای جفت قطب‌هاست.

مثال: دیاگرام سیم‌بندی الکتروموتور ۲۴ شیار ۲ قطب سه فاز را به ازای قطب طرح و رسم کنید.

محاسبات:

$$Z=24\ ,\ 2P=2\ ,\ m=3$$

$$Y_Z=\frac{Z}{2P}=\frac{24}{2}=12$$

$$\alpha_{ez}=\frac{P\times 360}{Z}=\frac{1\times 360}{24}=15^\circ$$

$$q=\frac{Z}{2P.m}=\frac{24}{2\times 3}=4$$

شروع فاز $U_1=1$

شروع فاز $V_1=1+\frac{120}{\alpha_{ez}}=1+\frac{120}{15}=9$

شروع فاز $W_1=1+\frac{240}{\alpha_{ez}}=1+\frac{120}{15}=17$

تشکیل جدول:

به تعداد فازها، ستون و به تعداد قطب‌ها، ردیف باز می‌کنیم.

2m / 2P	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

هر ستون را به دو ستون فرعی تقسیم می‌کنیم.

2m / 2P	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

هر ستون فرعی را به $\frac{q}{2}$ ستون کوچک تقسیم می‌کنیم.

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

$\frac{q}{2}=2$

در ستون فرعی سمت چپ هر فاز، از شروع فازها به تعداد $\frac{q}{2}$ عدد متوالی می‌نویسیم.

2m / 2P	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1 ;2		9 ;10		17;18	

کسری گام، به اندازه $\frac{q}{2}=\frac{4}{2}=2$ شیار خواهد بود.

بنابراین، می‌توان نوشت:

گام سیم‌پیچی: $Y_Z = Y_P - \frac{q}{2} = 12 - 2 = 10$

گام قطبی: $Y_P = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{2} = 12$

برای تکمیل جدول، ستون فرعی سمت راست هر فاز را به کمک گام سیم‌پیچی و سطرهای فرعی هر فاز را با گام قطبی تکمیل می‌کنیم. مثلاً، برای فاز U_1 و U_2 می‌توانیم به ترتیب زیر عمل کنیم:

سطر فرعی سمت چپ:
- ستون اول: $1+12=13$
- ستون دوم: $2+12=14$

ستون فرعی سمت راست سطر دوم:
- ستون اول: $1+10=11$
- ستون دوم: $2+10=12$

به همین ترتیب می‌توان جداول را برای تمام سیم‌پیچ‌ها تکمیل کرد. محل بازوهای سیم‌پیچ‌های U_1 و U_2، V_1 و V_2 و W_1 و W_2 در جداول الف تا ج شکل ۴۵ـ۱ به‌طور کامل نشان داده شده است.

m / 2p	U_1		U_2	
	1	2	23	24
	13	14	11	12

الف ــ هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز U_1 و U_2

m / 2p	V_1		V_2	
	9	10	7	8
	21	22	19	20

ب ــ هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز V_1 و V_2

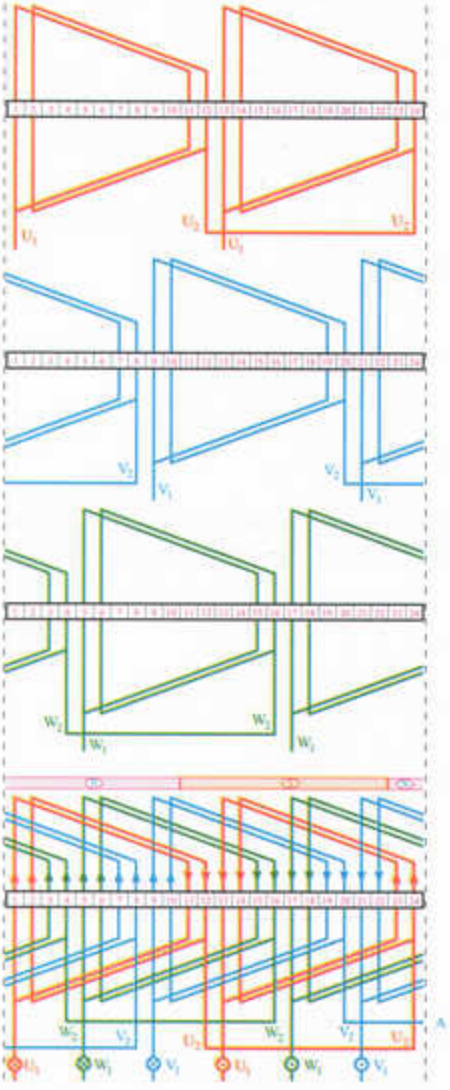
m / 2p	W_1		W_2	
	17	18	15	16
	5	6	3	4

ج ــ هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز W_1 و W_2

شکل ۴۵ـ۱

رسم دیاگرام سیم‌بندی

در شکل ۴۶ـ۱ دیاگرام سیم‌بندی کلاف مساوی این موتور، به روش دوزنقه‌ای رسم شده است. در این شکل ابتدا کلاف‌های مربوط به هر فاز به‌طور جداگانه و سپس کلاف‌های هر سه فاز همراه با قطب‌بندی به‌طور کامل رسم شده است.



الف ــ کلاف‌های فاز اول

ب ــ کلاف‌های فاز دوم

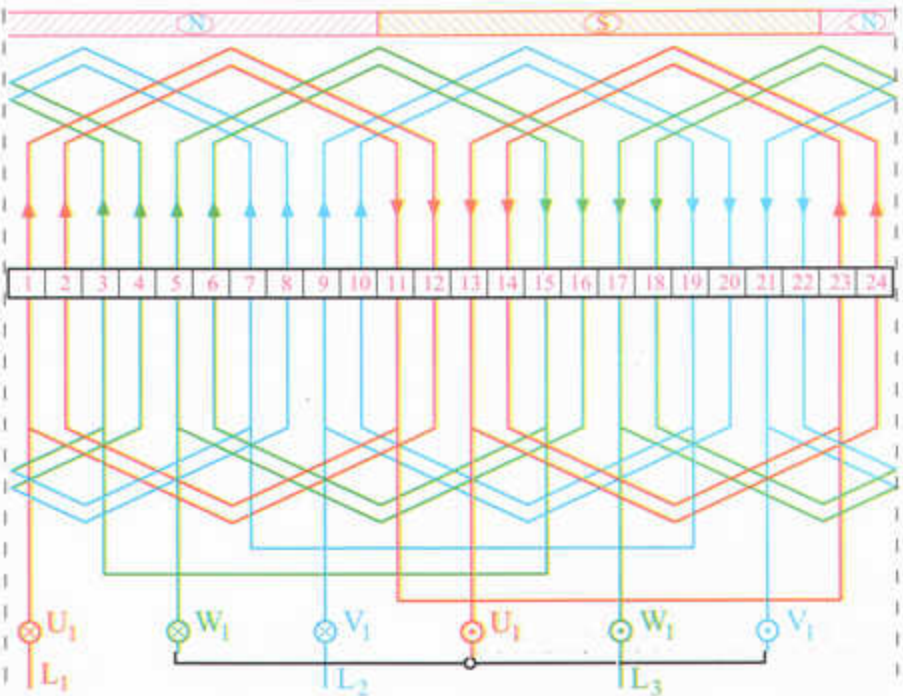
ج ــ کلاف‌های فاز سوم

د ــ سیم‌بندی کامل موتور

شکل ۴۶ـ۱ــ دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز ۲۴ شیار یک طبقه ۲ قطب به ازای قطب اتصال دور

برای تعیین قطبها، لحظه‌ای درنظر گرفته شده که در آن $L_1 > ۰$ ، $L_2 > ۰$ و $L_3 < ۰$ است.

سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار ۲ قطب را می‌توان به‌صورت متحدالمرکز نیز انجام داد. شکل ۴۷ـ۱ دیاگرام سیم‌بندی این موتور را به‌صورت متحدالمرکز نشان می‌دهد. کلاف‌ها به شکل ۶ ضلعی رسم شده‌اند. عملکرد این موتور با موتور دارای سیم‌بندی کلاف مساوی شکل ۴۷ـ۱ تفاوتی ندارد.



شکل ۴۷ـ۱ـ دیاگرام سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار ۲ قطب به ازای قطب متحدالمرکز به روش ترسیم ۶ضلعی

۸ــ۱ــ کارهای عملی۱

۱ــ ۸ــ۱ــ کار عملی ۱

زمان: ۱۰ ساعت (زمان اختصاص داده شده برای انجام تمرین‌های اضافی و کسب مهارت بیشتر است)

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه‌فاز یک طبقه یک سرعته

نکات ایمنی: روشنایی مناسب را روی میز کار فراهم کنید (شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس مناسب است.) از میز و صندلی استاندارد نقشه‌کشی استفاده کنید.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱. کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)
۲. کاغذ A سفید یا شطرنجی (یک برگ)
۳. خط‌کش Cm ۳۰ یک عدد
۴. مداد در چهار رنگ
۵. مدادتراش و پاک‌کن یک عدد
۶. پرگار یک عدد
۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی هرکدام یک عدد
۸. گونیا یک عدد
۹. نقاله یک عدد
۱۰. میزکار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۸ قطب را به‌صورت یک طبقه به ازای جفت قطب (G = P) محاسبه و رسم کنید.

مراحل کار

۱. مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید. $Z = ۲۴$، $m = ۳$، $G = P = ۴$

۲. گام قطبی را به‌دست آورید.

$$Y_P = \frac{Z}{۲P}$$

۳. زاویه الکتریکی را به‌دست آورید.

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z}$$

۴. تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب را تعیین کنید.

محل رسم کار عملی

محل رسم کار عملی

$$q = \frac{Z}{۲p.m}$$

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

$$U_۱ = ۱$$

$$V_۱ = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}}$$

$$W_۱ = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}}$$

۶. جدولی تشکیل دهید که سه ستون و ۸ ردیف داشته باشد.

۷. شماره‌های شروع هر فاز را در جدول بنویسید.

۸. ردیف‌های بعدی را با افزودن یک گام قطبی به مقدار بالاتر خود کامل کنید.

۹. ۲۴ خانه به ابعاد ۰/۷×۱Cm در کنار هم رسم کنید.

۱۰. دیاگرام فاز U_2 و U_1 را رسم کرده و سریندی آن را انجام دهید.

محل رسم کار عملی

۱۱. دیاگرام فاز V_2 و V_1 را در کنار فاز L_2 و U_1 کامل کنید.

۱۲. دیاگرام فاز W_2 و W_1 را در کنار فازهای U_2 و U_1 و V_2 و V_1 رسم کنید. فازها را در موقعیت $L_2 < 0$، $L_2 > 0$ و $L_1 > 0$ قرار دهید. دیاگرام را تکمیل کنید و قطب‌های آن را مشخص کنید.

۲ــ ۸ــ۱ــ کار عملی ۲

زمان: ۱۰ ساعت

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه‌فاز یک طبقه یک سرعته

نکات ایمنی: روشنایی مناسب را روی میز کار فراهم کنید (شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس مناسب است.) از میز و صندلی استاندارد نقشه‌کشی استفاده کنید.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱. کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)
۲. کاغذ A4 سفید با شطرنجی (یک برگ)
۳. خط‌کش Cm ۳۰ یک عدد
۴. مداد در چهار رنگ
۵. مدادتراش و پاک‌کن یک عدد
۶. پرگار یک عدد
۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هرکدام یک عدد
۸. گونیا یک عدد
۹. نقاله یک عدد
۱۰. میزکار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۶ قطب را به‌صورت یک طبقه به ازای جفت قطب (G = P) محاسبه و رسم کنید.

مراحل کار

۱. مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید.

محل محاسبات

۲. گام قطبی را به‌دست آورید.

۳. زاویه الکتریکی را به‌دست آورید.

۴. تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب را تعیین کنید.

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

۶. جدولی تشکیل دهید که سه ستون و ۶ ردیف داشته باشد.

۷. هر ستون را به اندازه ۲ = q ستون فرعی تقسیم کنید.

۸. با توجه به شروع فازها و گام قطبی، جدول سیم‌بندی را کامل کنید.

۹. سیم‌بندی را از نوع کلاف متحدالمرکز با روش ۶ضلعی درنظر بگیرید. هدایت بازوها را در شیارهای هر فاز مشخص کنید.

۱۰. در طول ورق A4 ، ۳۶ خانه ۷×۱۰mm درنظر بگیرید و دو خط برش در انتهای آن‌ها رسم کنید.

محل رسم کار عملی

محل رسم کار عملی

۱۱. دیاگرام فاز U_2 و U_1 را رسم کنید. با توجه به موقعیت $L_1 > 0$، جهت جریان در بازوهای کلاف‌ها را مشخص کنید.

۱۲. دیاگرام فاز V_2 و V_1 را در کنار فاز U_2 و U_1 رسم کنید و با توجه به موقعیت $L_2 > 0$، جهت جریان بازوهای فاز V_2 و V_1 را مشخص کنید.

۱۳. دیاگرام فاز W_2 و W_1 را در کنار ۲ فاز دیگر رسم کنید. مسیر جریان‌های فاز W_2 و W_1 را در موقعیت $L_3 < 0$ تعیین کنید. با توجه به جهت جریان‌های یکسان در بازوهای مجاور قطب‌سازی را انجام دهید.

محل محاسبات

۳ـ ۸ـ۱ـ کار عملی ۳

زمان: ۱۰ ساعت

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه‌فاز یک طبقه یک سرعته

نکات ایمنی: روشنایی مناسب را روی میز کار فراهم کنید (شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس مناسب است.) از میز و صندلی استاندارد نقشه‌کشی استفاده کنید.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱. کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)
۲. کاغذ A4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)
۳. خط‌کش Cm ۳۰ یک عدد
۴. مداد در چهار رنگ
۵. مدادتراش و پاک‌کن یک عدد
۶. پرگار یک عدد
۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هرکدام یک عدد
۸. گونیا یک عدد
۹. نقاله یک عدد
۱۰. میزکار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب را به‌صورت یک طبقه به ازای قطب (G = ۲P) محاسبه و رسم کنید.

مراحل کار

۱. مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید.
۲. گام قطبی را به‌دست آورید.

محل محاسبات و رسم کار عملی

۳. زاویه الکتریکی را به‌دست آورید.

۴. تعداد شیارهای زیر هر قطب هر فاز را تعیین کنید.

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

۶. جدولی تشکیل دهید که ۳ ستون و ۴ ردیف داشته باشد.

۷. هر ستون را به $q = ۲$ ستون فرعی و هر ستون فرعی را به $\frac{q}{۲} = ۱$ ستون کوچک تقسیم کنید.

محل رسم کار عملی

۸. در هر ردیف، در ستون‌های سمت چپ شیار شروع فاز درنظر بگیرید و $\frac{q}{2}=1$ عدد متوالی را درجدول بنویسید.

۹. بقیه ستون‌های سمت چپ هر فاز را با فاصله یک گام قطبی کامل کنید.

۱۰. ستون‌های سمت راست هر فاز را با گام سیم‌بندی $Y_c = Y_p - \frac{q}{2} = 6 - 1 = 5$ کامل کنید.

۱۱. در طول کاغذ A4 ، ۲۴ خانه رسم کنید به‌طوری که ۷۵ درصد از طول کاغذ را پوشش دهند.

محل رسم کار عملی

۱۲. دیاگرام فاز U_2 و U_1 را رسم کنید. با توجه به موقعیت $I_w > 0$، جهت جریان در بازوهای کلاف‌ها را مشخص کنید.

۱۳. دیاگرام فاز V_2 و V_1 را در کنار فاز U_2 و U_1 رسم کنید. با توجه به موقعیت $I_w > 0$، جهت جریان بازوهای فاز V_2 و V_1 را مشخص کنید.

محل رسم کار عملی

۱۴. دیاگرام فاز W_2 و W_1 را در کنار ۲ فاز دیگر رسم کنید. مسیر جریان‌های فاز W_2 و W_1 را در موقعیت $L_u > 0$ تعیین کنید. با توجه به جهت جریان‌های یکسان در بازوهای مجاور، قطب‌سازی را انجام دهید.

۱۵. دیاگرام مدور موتور سه‌فاز ۴ قطب ۲۴ شیار به ازای قطب را رسم کنید. براساس موقعیت $L_u > 0$ و $L_v > 0$ و $L_w > 0$ مسیر جریان‌ها را تعیین کرده و قطب‌های سیم‌بندی را مشخص کنید.

محل محاسبات

۴ـ۸ـ۱ـ کار عملی ۴

زمان: ۱۰ ساعت

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز یک طبقه یک سرعته

نکات ایمنی: روشنایی مناسب را روی میز کار فراهم کنید (شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس مناسب است). از میز و صندلی استاندارد نقشه‌کشی استفاده کنید.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱ـ کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)

۲ـ کاغذ A_4 سفید با شطرنجی (یک برگ)

۳ـ خط‌کش ۳۰cm یک عدد

۴ـ مداد در چهار رنگ

۵ـ مداد تراش و پاک‌کن یک عدد

۶ـ پرگار یک عدد

۷ـ شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هرکدام یک عدد

۸ـ گونیا یک عدد

۹ـ نقاله یک عدد

۱۰ـ میز کار یک عدد.

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب را به صورت یک طبقه به ازای قطب ($G = 2P$) محاسبه و رسم کنید.

مراحل کار

۱ـ مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید.

۲ـ گام قطبی را به‌دست آورید.

محل رسم کار عملی

۳ـ زاویه الکتریکی را به دست آورید.

۴ـ تعداد شیارهای زیرقطب هرفاز را تعیین کنید.

۵ـ شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

محل رسم کار عملی

۶ـ جدولی تشکیل دهید که ۳ ستون و ۶ ردیف داشته باشد.

۷ـ هر ستون را به $q = ۲$ ستون فرعی تقسیم کرده و هر ستون فرعی را به $\frac{q}{۲} = ۱$ ستون کوچک تقسیم کنید.

۸ـ در هر ردیف، در ستون‌های سمت چپ شیار شروع هر فاز در نظر بگیرید و $\frac{q}{۲} = ۱$ عدد متوالی را در جدول بنویسید.

محل رسم کار عملی

۹ــ بقیه ستون‌های سمت چپ هر فاز را با فاصله یک گام قطبی کامل کنید.

۱۰ــ ستون‌های سمت راست هر فاز را با گام سیم‌بندی $Y_Z = Y_p - \frac{q}{2} = 6 - 1 = 5$ کامل کنید.

۱۱ــ در طول کاغذ A_4، ۳۶ خانه رسم کنید به طوری که ۷۵ درصد از طول کاغذ را پوشش دهد.

محل رسم کار عملی

۱۲ـ دیاگرام سیم‌بندی فاز U_1 ، U_2 را رسم کرده و مسیر جریان را براساس $I_u > 0$ مشخص کنید.

۱۳ـ دیاگرام سیم‌بندی فاز V_1 ، V_2 را در کنار فاز U_2 ، U_1 رسم کنید. براساس $I_v > 0$ ، مسیر جریان را در فاز V_2 ، V_1 مشخص کنید.

۱۴ـ دیاگرام سیم‌بندی فاز W_1 ، W_2 را رسم کرده و
قطب بندی موتور را کامل کنید.

محل رسم کار عملی

آزمون پایانی (۱)

۱ــ چگونه می‌توان تعداد طبقات سیم‌بندی استاتور یک الکتروموتور را تشخیص داد؟

۲ــ قاعده «دست راست» در زمینه تعیین جهت خطوط میدان مغناطیسی اطراف یک سیم راست جریان‌دار را بیان کنید.

۳ــ جریان برق متناوب سه فاز، چگونه در سطح استاتور حوزه دوار مغناطیسی ایجاد می‌کند.

۴ــ ارتباط سرعت حوزه دوار مغناطیسی در سطح استاتور با فرکانس جریان متناوب و تعداد قطب‌های موتور چگونه است؟

۵ــ از چه طریقی می‌توان در استاتور یک موتور سه فاز، میدان‌های ۲ قطبی، ۴ قطبی و ۶ قطبی ایجاد کرد؟

۶ــ سرعت گردش یک موتور ۶ قطب که با فرکانس ۵۰ هرتز و با لغزش ۸ درصد کار می‌کند چند دور در دقیقه است؟

۷ــ اصطلاحات: گام قطبی، محور قطبی، گام سیم‌بندی، زاویه الکتریکی شیارها را تعریف کرده و رابطه آن‌ها را بنویسید.

۸ــ تعداد شیارهای زیر هر قطب هر فاز یک الکتروموتور ۲۸ شیار سه فاز ۴ قطب را به‌دست آورید.

۹ــ زاویه الکتریکی شیارهای پرسش شماره ۸ را به‌دست آورید.

۱۰ــ رابطه گام قطبی با گام سیم‌بندی در موتورهای الکتریکی دارای سیم‌بندی گام کامل و گام کسری را بیان کنید.

۱۱ــ شماره شروع فازهای یک موتور سه فاز ۲۸ شیار ۶ قطب را مشخص کنید.

۱۲ــ موارد کاربرد سیم‌بندی کلاف متساوی و کلاف متحدالمرکز را در موتورهای الکتریکی بیان کنید.

۱۳ــ سیم‌بندی به ازای جفت قطب و به ازای قطب را شرح دهید.

۱۴ــ اتصال کلاف‌های هر فاز در سیم‌بندی به ازای قطب و به ازای جفت قطب، چگونه است؟

۱۵ــ مزایا و کمبودهای سیم‌بندی گام کسری را بیان کنید.

۱۶ــ مراحل ترسیم دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتورالکتریکی را بیان کنید.

۱۷ــ دیاگرام سیم بندی استاتور یک موتور ۳۶ شیار ۶ قطب سه فاز را به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.

۱۸ــ دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۲۸ شیار ۴ قطب سه فاز را به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.

۱۹ــ دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۲۸ شیار ۸ قطب سه فاز را به ازای قطب، طرح و رسم کنید.

۲۰ــ گام قطبی از تقسیم ..... بر ..... به‌دست می‌آید.

۲۱ــ دور یک موتور ۴ قطب با لغزش ۴ درصد در یک دقیقه کدام است؟

الف) ۱۵۰۰ ب) ۱۴۶۰ ج) ۱۱۴۰ د) ۱۴۴۰

۲۲ـ زاویه الکتریکی بین شیارهای یک موتور ۶ قطب، ۳۰ درجه است. زاویه مکانیکی بین شیارهای آن چند درجه است؟

الف) ۲۰ ب) ۱۰ ج) ۶۰ د) ۹۰

۲۳ـ لغزش در موتورهای آسنکرون، کوچک‌تر از ..... و در موتورهای سنکرون، برابر با ..... است.

واحدکار دوم

توانایی قراردادن کلاف در شیار استاتور

هدف کلی

قراردادن کلاف‌ها در شیارها و تکمیل سیم‌بندی استاتور موتورهای سه فاز یک طبقه یک سرعته

هدف‌های رفتاری: از فراگیر، انتظار می‌رود با گذراندن این پیمانه، بتواند:

۱ـ کلاف‌ها را مرتب و صاف کند.

۲ـ سرهای خروجی کلاف‌ها را به سوی جعبه اتصال موتور، هدایت کند.

۳ـ از ساییده شدن سیم‌ها به بدنه موتور، جلوگیری کند.

۴ـ بازوهای کلاف‌ها را با توجه به نقشه موتور، در داخل شیارها قراردهد.

۵ـ روی بازوها را با کاغذ «پرشمان» بپوشاند تا سیم‌ها از شیارها بیرون نزنند.

۶ـ سیم‌بندی کلاف مساوی را برای الکتروموتور سه‌فاز یک طبقه یک سرعته انجام دهد.

۷ـ سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز را برای الکتروموتور سه فاز یک طبقه یک سرعته انجام دهد.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۲۰	۱۵۰	۱۷۰

۱ـ۲ـ قراردادن کلاف در شیار استاتور

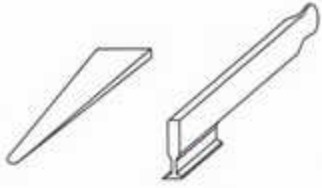
پس از عایق کاری شیارهای استاتور، پیچیدن کلاف‌ها توسط دستگاه کلاف پیچ و آماده‌سازی کلاف‌ها، بازوی‌های آن‌ها را درون شیارهای استاتور قرار می‌دهند.

این مرحله از اجرای سیم‌بندی موتورها حائز اهمیت بوده و عمده‌ترین مرحله سیم‌بندی است. قراردادن سر کلاف‌ها در شیار استاتور ظرافت خاصی دارد و باید با دقت و حوصله زیادی اجرا شود. موتور پیچ‌ها، با تمرین زیاد و رعایت اصول فنی، مهارت سیم‌پیچی را در این مرحله کسب می‌کنند.

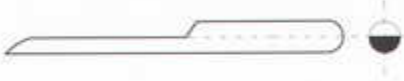
دهانه شیارهای استاتور به دلیل مسایل فنی، به مراتب از ضخامت بازوی کلاف‌ها کم‌عرض‌تر است. بنابراین، ممکن نیست بتوان بازوهای کلاف‌ها را یکجا درون شیارها قرار داد. در این مورد، با توجه به عرض دهانه شیارها باید سیم‌های بازوی هر کلاف را به گروه‌های چندتایی تقسیم کرده و آن‌ها را در میان دو انگشت شست و سبابه قرارداد و با حرکت لغزشی انگشتان، سیم‌ها را به درون شیار هدایت کرد.

در هدایت سیم‌ها به داخل شیارها باید سیم‌ها را به‌طور منظم روی هم چید. هیچ‌گونه فضای خالی نباید بین‌آن‌ها وجود داشته باشد سیم‌ها نباید به صورت مورب یا ضربدری درون شیارها قرار گیرند، زیرا فضای کافی برای هدایت بقیه سیم‌ها باقی نخواهد ماند. در مواقعی که فضای کافی برای سیم‌ها وجود ندارد، معمولاً سیم‌های درون شیار را با کاردک‌های مخصوص قیبری، جابه‌جا کرده و آن‌ها را روی هم فشار می‌دهند تا فضای لازم برای بقیه سیم‌ها فراهم شود.

نمونه‌ای از کاردک‌های مورد استفاده را در شکل ۱ـ۲ مشاهده می‌کنید. هنگام استفاده از این کاردک‌ها می‌بایستی دقت کرد تا آسیبی به لاک روی سیم‌های مسی وارد نیاید.



ابزار کاهش فضای بین سیم‌ها



وسیله هدایت سیم‌ها به داخل شیارها

وسیله صاف کردن سیم‌ها در داخل شیار و از بین بردن فضای مرده در شیارها

شکل ۱ـ۲ـ نمونه‌هایی از کاردک‌های قیبری کاهش فضای بین سیم‌ها

حالت قرارگرفتن انگشتان دست‌ها و مراحل مختلف استفاده از انگشتان شست و سبابه، در شکل ۲ـ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲ـ۲ـ حالت انگشتان شست و سبابه در کلاف‌گذاری

کلاف‌ها، مطابق قسمت اول شکل ۳ـ۲ بین انگشتان قرار می‌گیرند. سیم‌ها را مطابق قسمت ب شکل ۳ـ۲ مرتب کرده و آن‌ها را به شیارها هدایت کنید. به این ترتیب، از مورب قرارگرفتن سیم‌ها بر روی هم جلوگیری شده و از فضای داخل شیار، به‌طور کامل استفاده می‌شود.

(الف)

(ب)

شکل ۳ـ۲

قبل از قراردادن بازوی کلاف‌ها در داخل شیارها، لازم است کلاف‌ها را در سمتی از استاتور قراردهید که محل مخصوص هدایت سیم‌ها به جعبه اتصالات (تخته کلم) در آن سمت قرار دارد (شکل ۴ـ۲).

شکل ۴ـ۲ـ محل عبور سر سیم‌ها به جعبه اتصالات (تخته کلم)

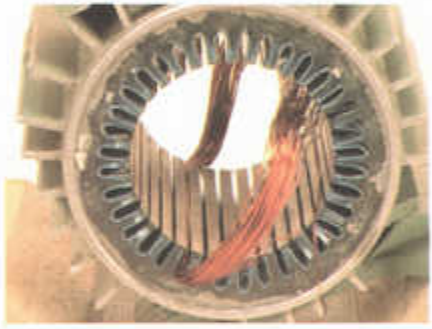
کلاف‌ها به منظور قراردادن بازوهای کلاف‌ها در داخل شیارهای استاتور، مطابق شکل ۵ـ۲ در مقابل استاتور قرار می‌گیرند.

شکل ۵ـ۲ـ موقعیت کلاف‌ها در مقابل استاتور، قبل از جاگذاری آن‌ها در داخل استاتور

یکی از پیچک‌های گروه کلاف موردنظر را انتخاب کرده و آن را مطابق شکل ۶ـ۲ درون شیارهای استاتور قرار می‌دهیم.

شکل ۶ـ۲ـ موقعیت انگشتان تست و سیاهه در جای‌گذاری کلاف‌ها در داخل شیار استاتور

تمام سیم‌های مربوط به یک بازوی هر پیچک را با حوصله زیاد و به‌طور مرتب در داخل شیار قرار می‌دهیم (شکل ۷ـ۲).



شکل ۷ـ۲ـ قرارگرفتن یک بازو در داخل یک شیار

۲ـ۲ـ قراردادن کاغذ پرشمان روی کلاف‌ها

پس از استقرار سیم‌ها در داخل شیارها، لازم است روی آن‌ها را با کاغذ پرسیان (پرشمان) بپوشانید تا از شیار بیرون نیایند. کاغذ پرسیان را ابتدا به صورت ناودانی فرم می‌دهیم و در داخل شیار قرار می‌دهیم (شکل ۸ـ۲).

شکل نادرست کاغذ پرشمان　　شکل صحیح کاغذ پرشمان

شکل ۸ـ۲ـ انتخاب شکل صحیح کاغذ پرشمان

کاغذ پرشمان برای جلوگیری از بیرون‌آمدن سیم‌ها، روی بازوها را در داخل شیار می‌پوشاند (شکل ۹ـ۲).

شکل ۹ـ۲ـ پوشاندن روی بازوها توسط کاغذ پرشمان

طول کاغذ پرشمان را ۵ میلی‌متر بیشتر از اندازه طول شیار در نظر بگیرید تا پس از جاگذاری آن در داخل شیار به منظور روکش بازو، طرفین شیار را حدود ۲ تا ۲/۵ میلی‌متر بیشتر از طول شیار پوشش دهد (شکل ۱۰ـ۲).

شکل ۱۰ـ۲ـ طول کاغذ پرشمان از هر طرف شیار حدود ۲ تا ۲/۵ میلی‌متر بیشتر است.

موقعیت کلاف در داخل شیار، از استقرار کامل آن، در شکل ۱۱ـ۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۱ـ۲ـ استقرار کامل یک کلاف در داخل شیارهای استاتور

۳ـ۲ـ کارهای عملی ۲

۱ـ۳ـ۲ـ کار عملی ۱

هدف: قراردادن کلاف‌ها در داخل شیارها

زمان: ۲۴ ساعت

نکات ایمنی: محیط کار را از خرده سیم و کاغذ پاک کنید. بدنه استاتور را کاملاً از چربی و گردوخاک پاک کنید. از روشنایی مناسب در روی میز کار استفاده کنید از میز کار و صندلی استاندارد مناسب استفاده کنید تا هیچ‌گونه فشاری بر کمر و پاهایتان وارد نشود.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱ـ استاتور نگهدار یک عدد

۲ـ کاردک چوبی یک عدد

۳ـ کاردک فیبری یک عدد

۴ـ استاتور ۳۶ شیار سه فاز عایق‌کاری شده یک عدد (شکل ۱۲ـ۲)

۵ـ شش گروه کلاف سه‌تایی آماده با گام‌های مساوی ۱ به ۱۰

۶ـ قیچی کاغذبر یک عدد

۷ـ کاغذ پرشمان ۰/۲۰ به حد کافی

مراحل انجام کار

۱ـ پوسته موتور را روی نگهدارنده استاتور قرار دهید.

۲ـ یکی از شیارها را به عنوان شیار شروع سیم‌بندی در نظر بگیرید و آن را با شماره ۱ علامت‌گذاری کنید.

۳ـ جهت گردش برای جاگذاری کلاف‌ها را به‌دلخواه انتخاب کنید (شکل ۱۳ـ۲).

شکل ۱۲ـ۲ـ پوسته موتور سه فاز ۳۶ شیار

شکل ۱۳ـ۲ـ انتخاب شیار شروع و مسیر کلاف‌گذاری

۴ــ یک گروه کلاف سه‌تایی در طرف استاتور که سر سیم‌ها از آن طرف به جعبه اتصال هدایت می‌شوند، قرار دهید (شکل ۱۴ــ۲).

شکل ۱۴ــ۲ــ تعیین محل قرارگرفتن کلاف‌ها

۵ــ بازوی اول کلاف شماره یک را در شیار شروع سیم‌بندی قرار دهید (شکل ۱۵ــ۲).

شکل ۱۵ــ۲ــ قراردادن بازوی شماره یک در شیار شماره ۱

۶ــ کاغذ پرشمان را به اندازه‌ای مناسب ببرید و روی بازو را با آن بپوشانید (شکل ۱۶ــ۲).

شکل ۱۶ــ۲ــ پوشاندن روی بازو با کاغذ پرشمان

۷ــ پس از قراردادن بازوی دوم کلاف شماره یک، پیشانی‌های آن را در جهت سیم‌پیچی خم کنید تا جای کافی برای بازوهای بعدی فراهم شده و براحتی در داخل شیارها قرار بگیرند. این عمل را برای همه کلاف‌ها پس از جازدن آن‌ها اجرا می‌کنیم (شکل‌های ۱۷ــ۲).

شکل (۱۷ــ۲ــ الف) نحوه خم‌کردن پیشانی کلاف را نشان می‌دهد.

شکل ۱۷ــ۲ــ الف

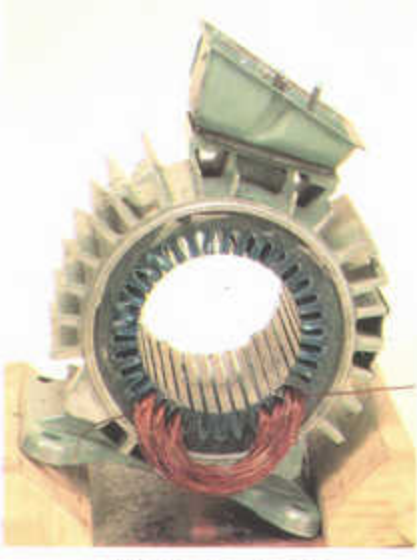
شکل (۱۷ــ۲ــ ب) پیشانی کلاف پس از خم شدن .

شکل ۱۷ــ۲ــ ب

۸ــ دوبازوی گروه کلاف اول را مطابق کلاف اول قراردهید. توجه کنید که ورود و خروج هر کلاف مثل کلاف اول باشد. به این ترتیب انتهای گروه کلاف اول از شیار شماره ۱۲ بیرون خواهد آمد (شکل ۱۸ــ۲).

شکل ۱۸ــ۲ــ قرارگرفتن گروه کلاف شماره یک در داخل شیارها

۹ــ سه شیار را خالی رها کنید تا محل شروع گروه کلاف دوم مشخص شود. شیار شماره ۷، محل قرارگرفتن گروه کلاف دوم است (شکل ۱۹ــ۲).

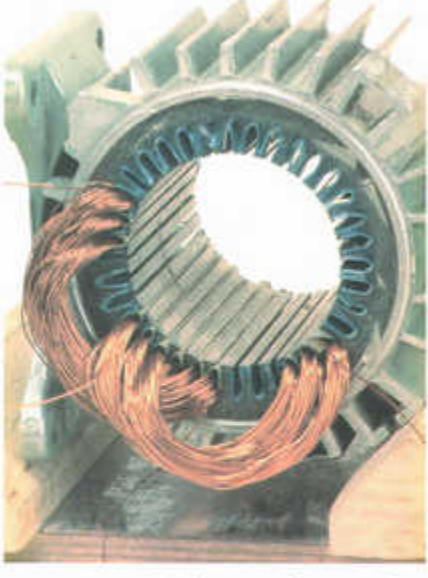


شکل ۱۹ــ۲ــ محل شروع گروه کلاف دوم

۱۰ــ اولین کلاف مربوط به گروه کلاف دوم را در شیار شماره ۷ قرار دهید (شکل ۲۰ــ۲).

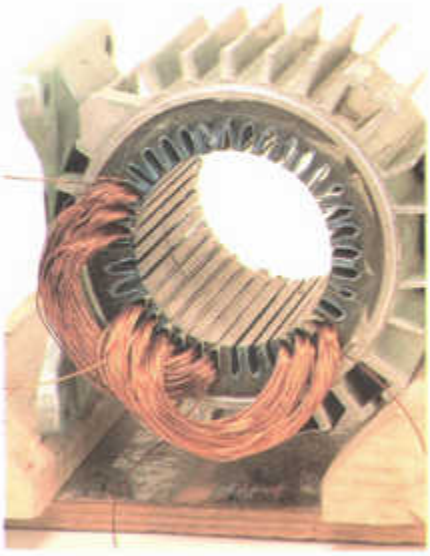
شکل ۲۰ــ۲ــ قراردادن اولین کلاف گروه کلاف دوم

۱۱ــ دو کلاف دیگر گروه کلاف دوم را در داخل شیارها قراردهید (شکل ۲۱ــ۲).



شکل ۲۱ــ۲ــ قرارگرفتن بازوهای گروه کلاف دوم در داخل شیارها

۱۲ــ اولین کلاف گروه کلاف سوم را در شیار شماره ۱۳ قرار دهید (شکل ۲۲ــ۲).



شکل ۲۲ــ۲ــ شروع گروه کلاف سوم از شیار شماره ۱۳

۱۳ــ گروه کلاف سوم را در شیارهای مربوطه قرار دهید (شکل ۲۳ــ۲).

شکل ۲۳ــ۲ــ قرار گرفتن گروه کلاف سوم

۱۴ــ گروه کلاف چهارم را از شیار شماره ۱۹ شروع کنید و سه بازوی آن را به طوری متوالی در شیارهای ۱۹، ۲۰ و ۲۱ قرار دهید (شکل ۲۴ــ۲).

شکل ۲۴ــ۲ــ قرارگرفتن گروه کلاف شماره چهار

۱۵ــ گروه کلاف پنجم را از شیار شماره ۲۵ شروع کنید و بازوهای آن را به‌طور متوالی در شیارهای ۲۵، ۲۶ و ۲۷ قرار دهید (شکل ۲۵ــ۲).

شکل ۲۵ــ۲ــ قرارگرفتن گروه کلاف شماره پنج

۱۶ـ قبل از قراردادن گروه کلاف شماره ۶، بازوهای موجود در شیارهای ۱، ۲ و ۳ را بیرون آورده و آن‌ها را به‌طرف بالا خم کنید (شکل ۲۶ـ۲).

شکل ۲۶ـ۲ـ الف

شکل ۲۶ ـ ۲ـ الف موقعیت بازوهای موجود در شیارهای ۱و۲و۳ را نشان می‌دهد.

شکل ۲۶ـ۲ـ ب

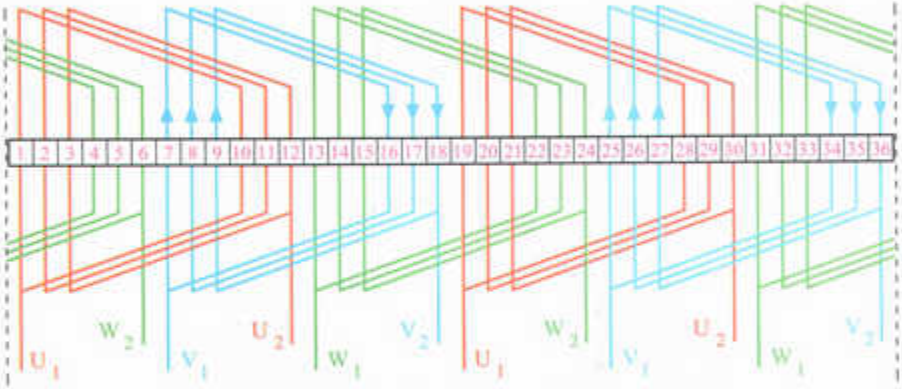
در شکل ۲۶ ـ ۲ـ ب بازوهائی که از شیارهای ۱و۲و۳ بیرون آورده شده‌اند را نشان می‌دهد.

۱۷ــ گروه کلاف ششم را از شیار ۳۱ شروع کنید و بازوهای آن را به طور متوالی در شیارهای ۳۱، ۳۲ و ۳۳ قرار دهید و بازوهای ۱، ۲ و ۳ را به جای خود برگردانید (شکل ۲۷ــ۲).

شکل ۲۷ــ۲ــ جازدن گروه کلاف ششم

تمرین

کلاف‌های گذاشته شده در کار عملی شماره ۱ در قسمت ۱ـ۸ـ۱ مربوط به سیم‌پیچی موتور سه فاز ۳۶ شیار ۴ قطب به ازای جفت قطب است. ابتدا شیارهای استاتور را شماره‌گذاری کنید و کلاف‌های مربوط به هر فاز را که در داخل شیارها قرار گرفته است، با شماره‌های موجود در شکل ۲۸ـ۲ مقایسه کنید. اگر تفاوت‌هایی با شیارهای استاتور مشاهده گردید، علت تفاوت‌ها را بیان کنید.



شکل ۲۸ـ۲ـ سیم‌بندی یک طبقه استاتور ۳۶ شیار

۲ـ۳ـ۲ـ کار عملی ۲

هدف: قراردادن کلاف‌ها در داخل شیارها

زمان: ۲۴ ساعت

نکات ایمنی: محیط کار را از خرده سیم و کاغذ پاک کنید. بدنه استاتور را کاملاً از چربی و گرد و خاک پاک کنید. از روشنایی مناسب در روی میز کار استفاده کنید. از میز کار و صندلی استاندارد مناسب استفاده کنید تا هیچ‌گونه فشار بر کمر و پاها وارد نشود.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱ـ استاتور نگهدار یک عدد

۲ـ کاردک چوبی یک عدد

۳ـ کاردک فیبری یک عدد

۴ـ استاتور ۳۶ شیار سه فاز عایق‌کاری شده یک عدد

۵ـ ۱۸ کلاف‌های آماده با گام‌های سیم‌بندی ۱ به ۶

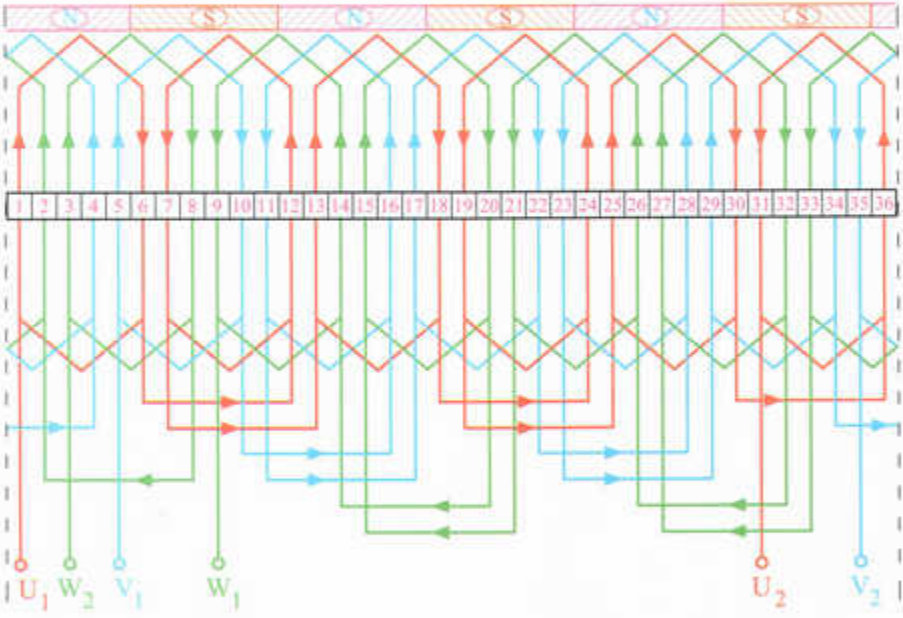
۶ـ قیچی کاغذبر یک عدد

۷ـ کاغذ پرشمان ۰/۲۰ به حد کافی

موضوع: قراردادن کلاف‌ها در داخل شیارهای یک موتور ۳۶ شیار ۶ قطب در سیم‌بندی به ازای قطب.

مراحل انجام کار

۱ـ ۱۸ کلاف براساس قسمت ۲۹ـ۲ الف در نظر بگیرید.



شکل ۲۹ـ۲ـ الف ـ دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه به ازای قطب (G = ۲۴)

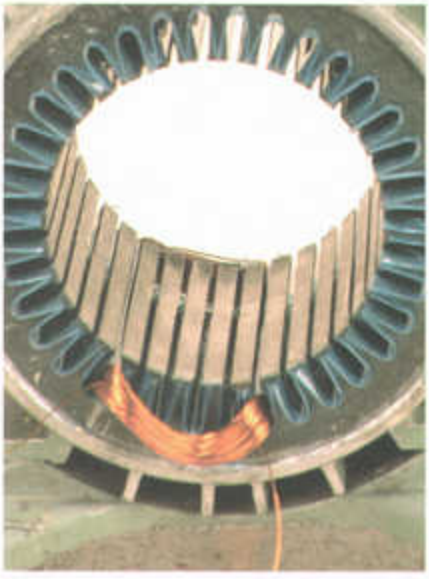
۲ـ استاتور موتور را روی نگهدارنده استاتور قرار دهید.
۳ـ یکی از شیارها را به عنوان شیار شماره ۱ در نظر بگیرید.
۴ـ جهت گردش برای جاگذاری کلاف‌ها را انتخاب کنید (شکل ۲۹ـ۲ـ ب).

شکل ۲۹ ـ ۲ ـ ب ـ انتخاب شیار شروع سیم‌بندی

۵ـ بازوی اول کلاف شماره یک را در داخل شیار شماره ۱ قرار دهید. و روی آن را با کاغذ پرشمان بپوشانید.
۶ـ بازوی دوم آن را با توجه به گام سیم‌بندی ۱ به ۶ در شیار شماره ۶ قرار دهید. روی آن را با کاغذ پرشمان بپوشانید (شکل ۲۹ـ۲ـ ج).

شکل ۲۹ ـ ۲ ـ ج ـ قراردادن کلاف شماره ۱

۷ـ کلاف شماره یک را فرم دهید تا برای بازوهای بقیه کلاف‌ها جا باز شود (شکل ۳۰ـ۲).



شکل ۳۰ـ۲

۸ـ کلاف‌های دوم را با فاصله یک شیار، در شیارهای ۳ و ۸ قرار دهید (شکل ۳۱ـ۲).

شکل ۳۱ـ۲ـ موقعیت کلاف دوم

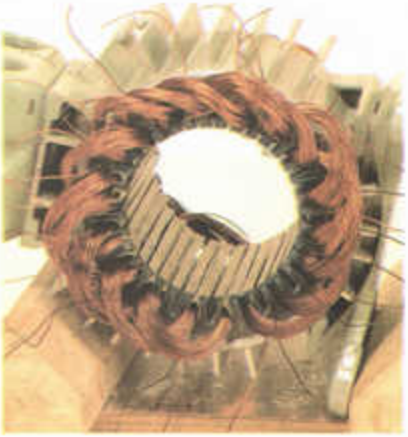
۹ــ کلاف شماره ۳ را به فاصله یک شیار از کلاف دوم، در شیارهای ۵ و ۱۰ قرار دهید (شکل ۳۲ــ۲).

شکل ۳۲ــ۲ــ موقعیت کلاف سوم

۱۰ــ کلاف شماره ۴ را به فاصله یک شیار از کلاف شماره ۳، در شیارهای ۷ و ۱۲ قرار دهید (شکل ۳۳ــ۲).

شکل ۳۳ــ۲ــ موقعیت کلاف شماره ۴

۱۱ـ بقیه کلاف‌ها را به ترتیب و به فاصله یک شیار از ماقبل خود تا کلاف شماره ۱۶ در شیارهای مربوطه قرار دهید (شکل ۳۴ـ۲).



شکل ۳۴ـ۲ـ موقعیت کلاف‌ها از کلاف شماره ۱ تا کلاف شماره ۱۶

۱۲ـ قبل از قراردادن کلاف شماره ۱۷، هر دو بازوی موجود در شیار ۱ و ۳ را از شیارهای مربوطه خارج کرده و به سمت بالا خم کنید (شکل ۳۵ـ۲).

(الف)

(ب)

شکل ۳۵ـ۲ـ بیرون آوردن بازوهای ۱ و ۳ از شیارهای مربوطه

۱۳ـ کلاف شماره ۱۷ را در شیارهای مربوطه قرار دهید (شکل ۳۶ـ۲).

شکل ۳۶ـ۲ـ موقعیت کلاف شماره ۱۷

۱۴ـ کلاف شماره ۱۸ را در شیارهای مربوطه قراردهید (شکل ۳۷ـ۲).

شکل ۳۷ـ۲ـ موقعیت کلاف شماره ۱۸

۱۵ـ بازوی شماره ۱ را به شیار شماره ۱ برگردانید (شکل ۳۸ـ۲).

(الف)

شکل (۳۸ ـ۲ـ الف) بازوی شماره۱
قبل از برگردانیدن آن به شیار شماره۱

(ب)

شکل (۳۸ـ۲ـب) بازوی شماره ۱پس از برگردانیدن آن
به داخل شیار شماره ۱

شکل ۳۸ـ۲ـ هدایت بازوی شیار شماره ۱ به مکان اولیه

۱۶ـ بازوی شماره ۳ را به شیار شماره ۳ برگردانید. به این ترتیب، تمام کلاف‌ها در شیارهای مربوطه مستقر می‌شوند (شکل ۳۹ـ۲).

(الف)

شکل (۳۹ـ۲ـالف) بازوی شماره ۳ را قبل از برگردانیدن آن به شیار ۳ نشان می‌دهد

(ب)

شکل (۳۹ـ۲ـب) بازوی شماره ۳را پس ازقرارگرفتن آن در شیار شماره ۳ نشان می‌دهد.

شکل ۳۹ـ۲ـ برگرداندن بازوی شماره ۳ به شیار شماره ۳ و گذاشتن کامل کلاف‌ها در داخل شیارها

با توجه به دستورهای ارائه شده در کارهای عملی شماره ۱ و ۲، کارهای عملی شماره ۳ تا ۶ را انجام دهید. توصیه می‌شود ابتدا اطلاعات کلی سیم‌پیچی را در هر مورد به‌دست آورید. سپس اقدام به کلاف‌گذاری در داخل شیارها کنید. مثلاً:

محاسبات لازم را انجام دهید.

ـ نقشه موتور را تهیه کنید.

ـ با توجه به گام کلاف، قالب مناسب تهیه کنید.

ـ پس از تأیید اطلاعات توسط مربی کارگاه، تعداد کلاف‌های مورد نیاز را آماده کنید.

ـ شیارهای استاتور را از نظر عایق‌بندی کنترل کنید و در صورت تشخیص عایق نامناسب، آن را با عایق خوب تعویض کنید.

ـ با حوصله‌ی زیاد کلاف‌ها را در داخل شیارها قرار دهید.

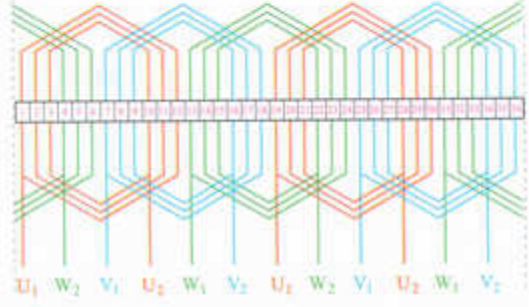
۳ـ۳ـ۲ـ کار عملی شماره ۳

زمان: ۲۴ ساعت

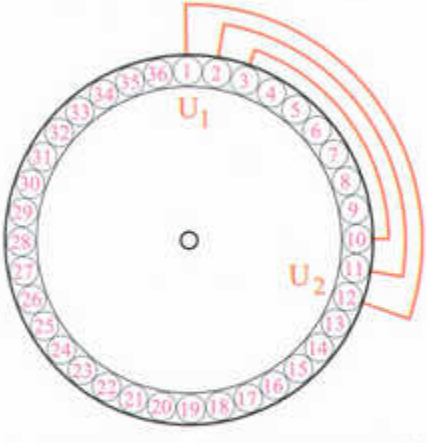
موضوع: سیم‌بندی موتور ۳۶ شیار سه فاز ۴ قطب با سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب.

مراحل انجام کار

۱ـ شکل ۴۰ـ۲ را درنظر بگیرید. ۶ گروه کلاف سه‌تایی متحدالمرکز تهیه کنید و با توجه به شکل ۴۱ـ۲ کلاف‌ها را مطابق شکل‌های داده شده، ابتدا کلاف کوچک و بعد کلاف متوسط و سپس کلاف بزرگ را در شیارها قرار دهید (شکل ۴۱ـ۲).

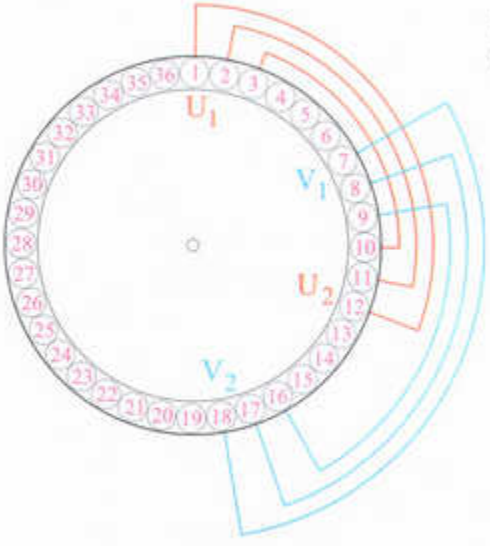


شکل ۴۰ـ۲



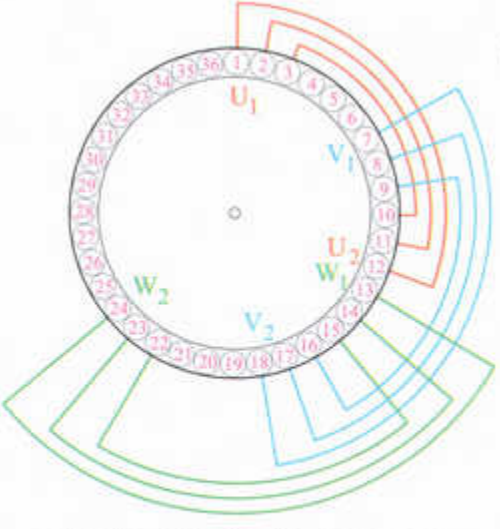
شکل ۴۱ـ۲ـ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۱ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۲ـ سه شیار خالی را رها کنید و گروه کلاف دوم را در داخل شیارها قرار دهید و گروه کلاف دوم را در شیارهای ۹ـ۱۶، ۸ـ۱۷ و ۷ـ۱۸ قرار دهید (شکل ۴۲ـ۲).



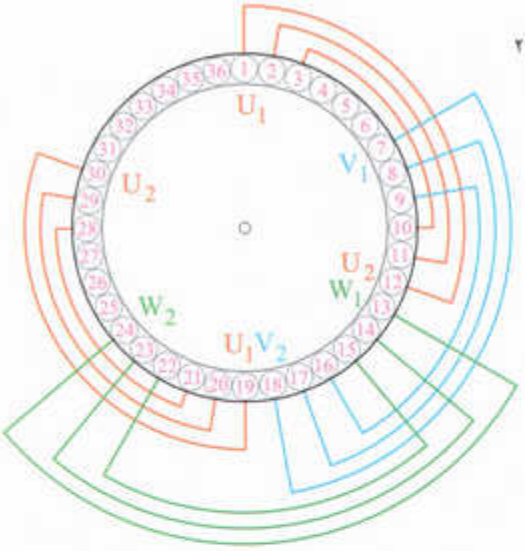
شکل ۴۲ـ۲ـ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۲ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۳ـ گروه کلاف شماره ۳ را در شیارهای ۱۵ـ۲۲، ۱۴ـ۲۳ و ۱۳ـ۲۴ قرار دهید (شکل ۴۳ـ۲).



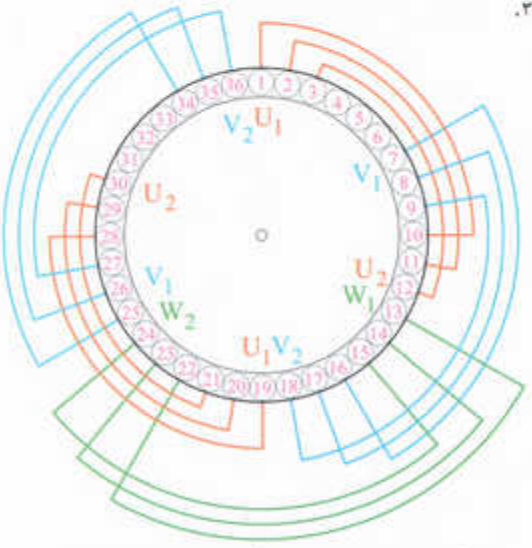
شکل ۴۳ـ۲ـ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۳ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۴ـ گروه کلاف شماره ۴ را در شیارهای ۲۱ـ۲۸، ۲۰ـ۲۹ و ۱۹ـ۳۰ قرار دهید (شکل ۴۴ـ۲).



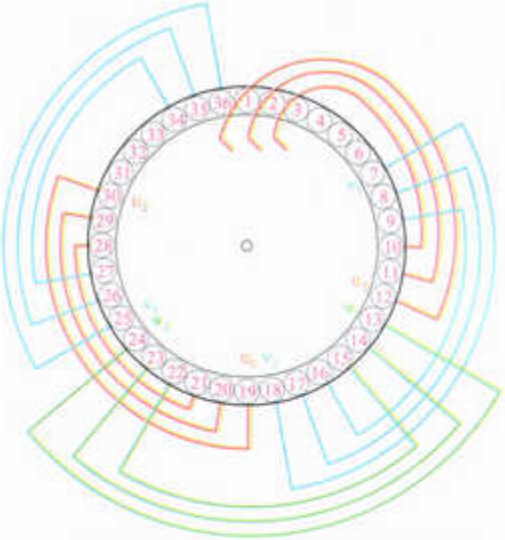
شکل ۴۴ـ۲ـ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۴ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۵ـ گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۲۷ـ۳۴، ۲۶ـ۳۵ و ۲۵ـ۳۶ قرار دهید (شکل ۴۵ـ۲).



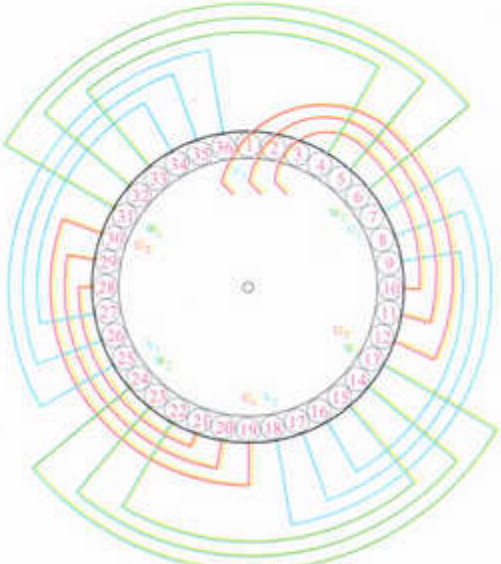
شکل ۴۵ـ۲ـ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۵ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۶ــ بازوهای ۱، ۲ و ۳ از گروه کلاف شماره ۱ را از شیارهای ۳، ۲ و ۱ خارج کنید تا بازوهای زیرین گروه کلاف شماره ۶ در شیارها ۴، ۵ و ۶ قرار گیرند (شکل ۴۶ــ۲).



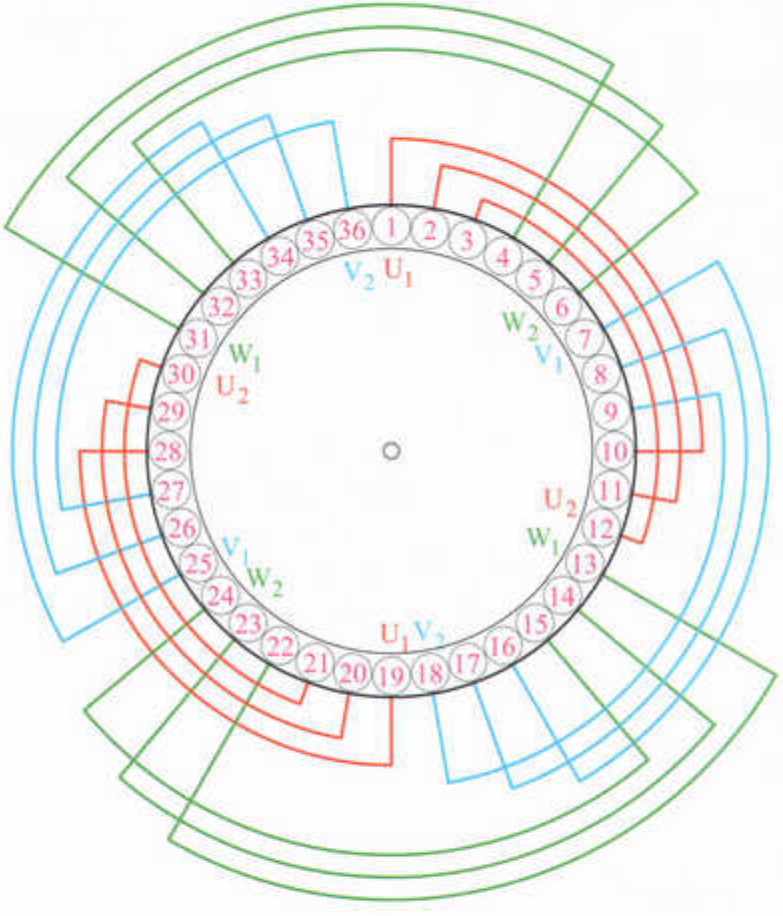
شکل ۴۶ــ۲ــ خارج کردن بازوهای گروه کلاف شماره ۱ از شیارهای مربوطه به منظور قرار دادن گروه کلاف شماره ۶

۷ــ گروه کلاف شماره ۶ را در شیارها ۳۳ــ۴، ۳۲ــ۵ و ۳۱ــ۶ قرار دهید (شکل ۴۷ــ۲).



شکل ۴۷ــ۲ــ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۶ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۸ـ بازوهای ۱، ۲ و ۳ مربوط به گروه کلاف شماره ۱ را به شیارهای ۳، ۲ و ۱ برگردانید (شکل ۴۸ـ۲).



شکل ۴۸ـ۲ـ قرار دادن بازوهای ۱، ۲ و ۳ در شیارهای مربوطه و تکمیل سیم‌بندی

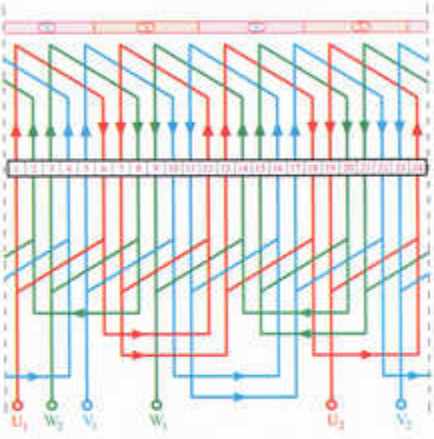
۴ـ۳ـ۲ـ کار عملی ۴

زمان: ۲۴ ساعت

موضوع: سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار سه فاز ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب.

مراحل انجام کار

۱ـ شکل ۴۹ـ۲ را درنظر بگیرید و ۱۲ کلاف با گام ۱ به ۶ تهیه کنید.

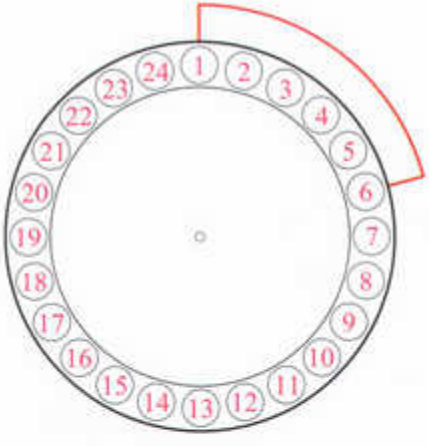


شکل ۴۹ـ۲

۲ـ یک شیار به‌عنوان شیار آغاز سیم‌بندی درنظر بگیرید.

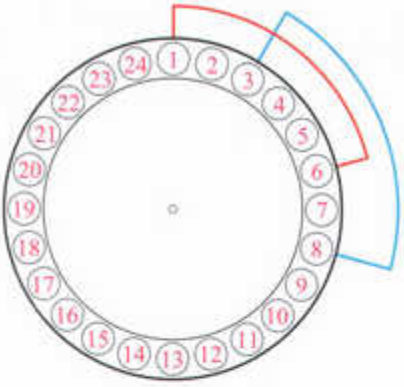
۳ـ جهت گردش برای سیم‌بندی را درنظر بگیرید.

۴ـ کلاف شماره ۱ را جاگذاری کنید (شکل ۵۰ـ۲).



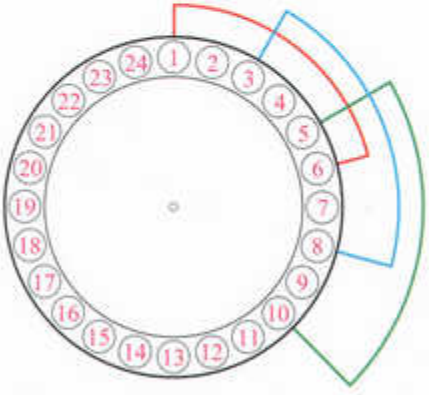
شکل ۵۰ـ۲ـ محل قرار گرفتن کلاف شماره یک در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۵ـ شیار شماره ۲ را رها کنید و کلاف دوم را در شیارهای ۳ و ۸ قرار دهید (شکل ۵۱ـ۲).



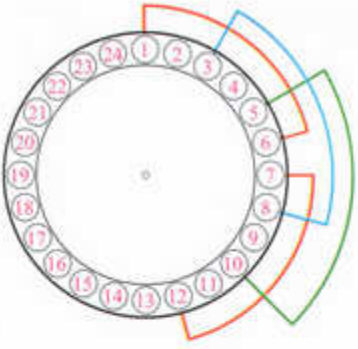
شکل ۵۱ـ۲ـ محل قرار گرفتن سومین کلاف، در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۶ـ شیار شماره ۲ را رها کنید و کلاف سوم را در شیارهای ۵ و ۱۰ قرار دهید (شکل ۵۲ـ۲).



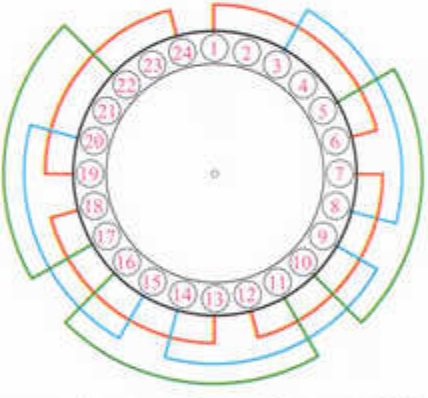
شکل ۵۲ـ۲ـ محل قرار گرفتن درمین کلاف، در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۷ـ به همین ترتیب، کلاف‌های چهارتا نهم را در شیارهای ۷ـ۱۲، ۹ـ۱۴، ۱۱ـ۱۶، ۱۳ـ۱۸، ۱۵ـ۲۰ و ۱۷ـ۲۲ قرار دهید (شکل‌های ۵۳ و ۵۴ـ۲).



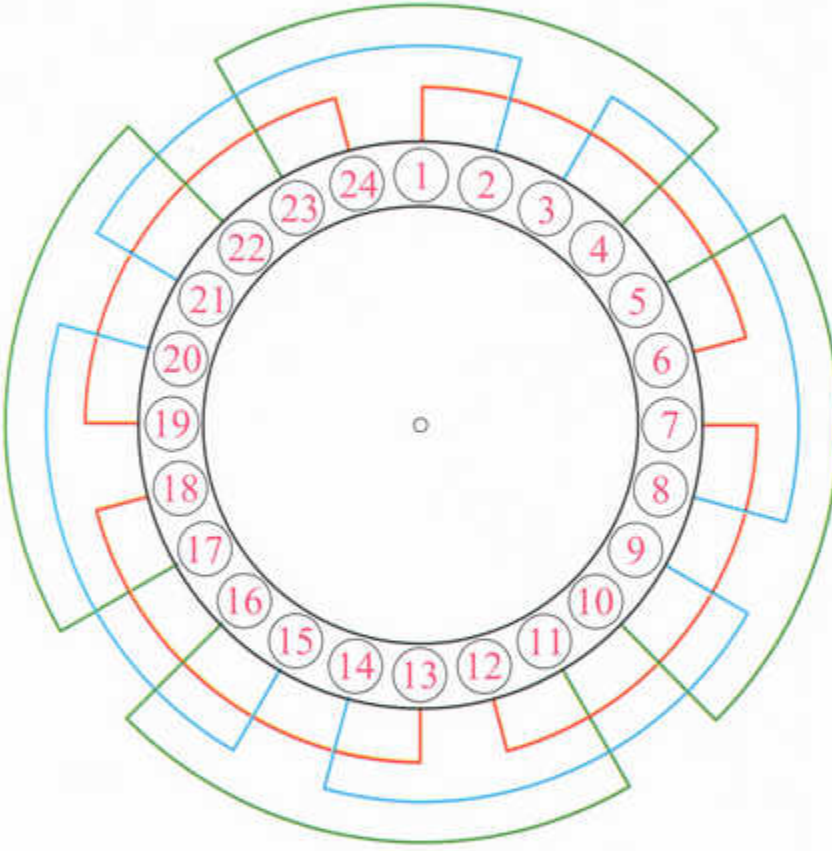
شکل ۵۳ـ۲ـ محل قرار گرفتن چهارمین کلاف، در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۸ـ کلاف دهم را مطابق شکل ۵۴ـ۲ در شیارهای ۱۹ـ۲۴ قرار دهید.



شکل ۵۴ـ۲ـ محل قرار گرفتن دهمین کلاف، در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۹ــ بازوهای موجود در شیارهای ۱ و ۳ را از شیارهای مربوطه خارج کنید. کلاف‌های ۱۱ و ۱۲ را در جای خود قرار دهید و بازوهای خارج شده از شیارهای ۱ و ۳ را به جایگاه خود برگردانید (شکل ۵۵ــ۲).



شکل ۵۵ــ۲ــ بازوهای ۱ و ۳ را به‌جای اصلی برگردانده و کلاف‌گذاری در داخل شیارها کامل می‌شود.

۵ـ۳ـ۲ـ کار عملی ۵

زمان: ۲۴ ساعت

موضوع: سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار سه فاز ۲ قطب با سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب.

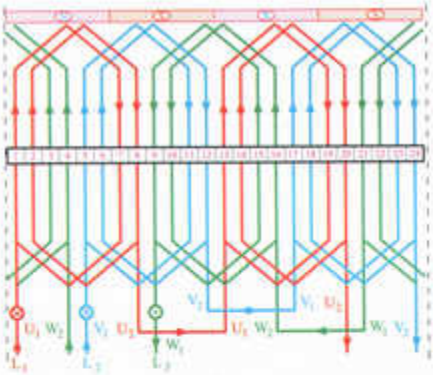
مراحل انجام کار

۱ـ شکل ۵۶ـ۲ را درنظر بگیرید و ۶ گروه کلاف با گام‌های ۱ به ۸ و ۲ به ۷ تهیه کنید.

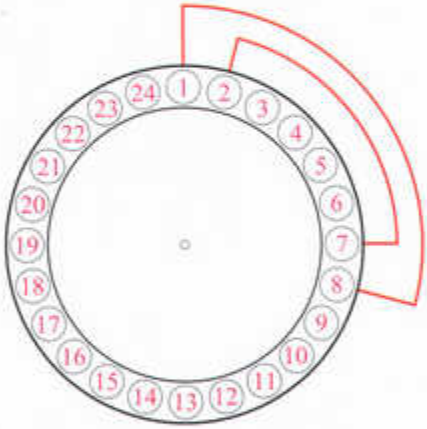
۲ـ شیاری را به‌عنوان شیار آغاز سیم‌بندی درنظر بگیرید.

۳ـ جهت گردش برای سیم‌بندی را درنظر بگیرید.

۴ـ گروه کلاف شماره ۱ را جاگذاری کنید. ابتدا کلاف ۲ به ۷ سپس کلاف ۱ به ۸ را در شیارهای استاتور قرار دهید (شکل ۵۷ـ۲).

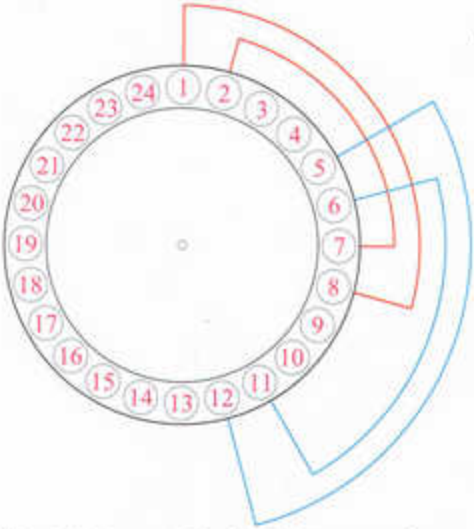


شکل ۵۶ـ۲



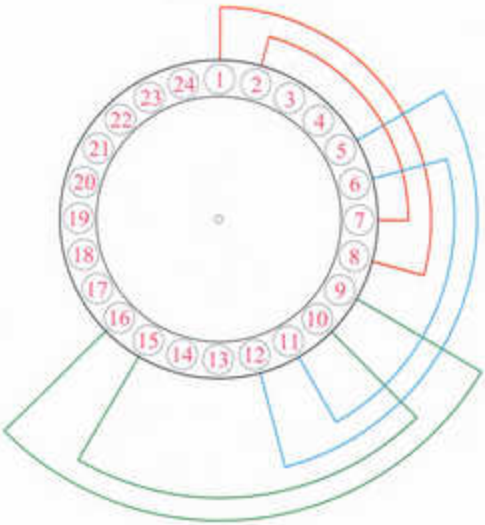
شکل ۵۷ـ۲ـ محل قرار گرفتن گروه کلاف اول در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۲ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۵ـ شیارهای ۳ و ۴ را رها کنید و گروه کلاف شماره ۲ را در شیارهای ۵ـ۶ و ۱۱ـ۱۲ قرار دهید (شکل ۵۸ـ۲).



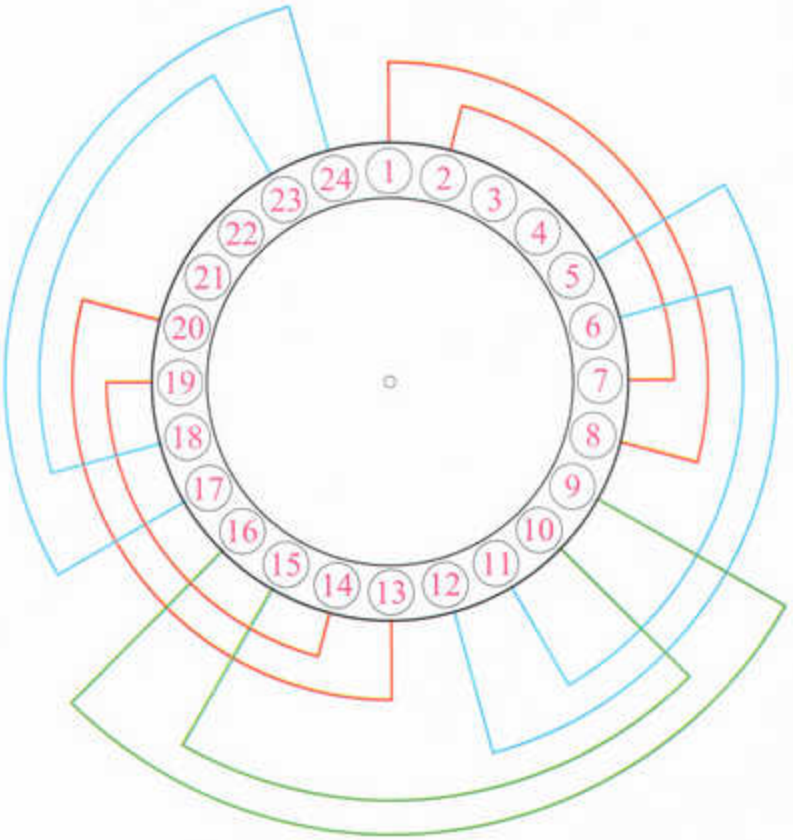
شکل ۵۸ـ۲ـ محل قرار گرفتن گروه کلاف دوم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۶ـ گروه کلاف شماره ۳ را در شیارهای ۹ـ۱۰ و ۱۵ـ۱۶ قرار دهید (شکل ۵۹ـ۲).



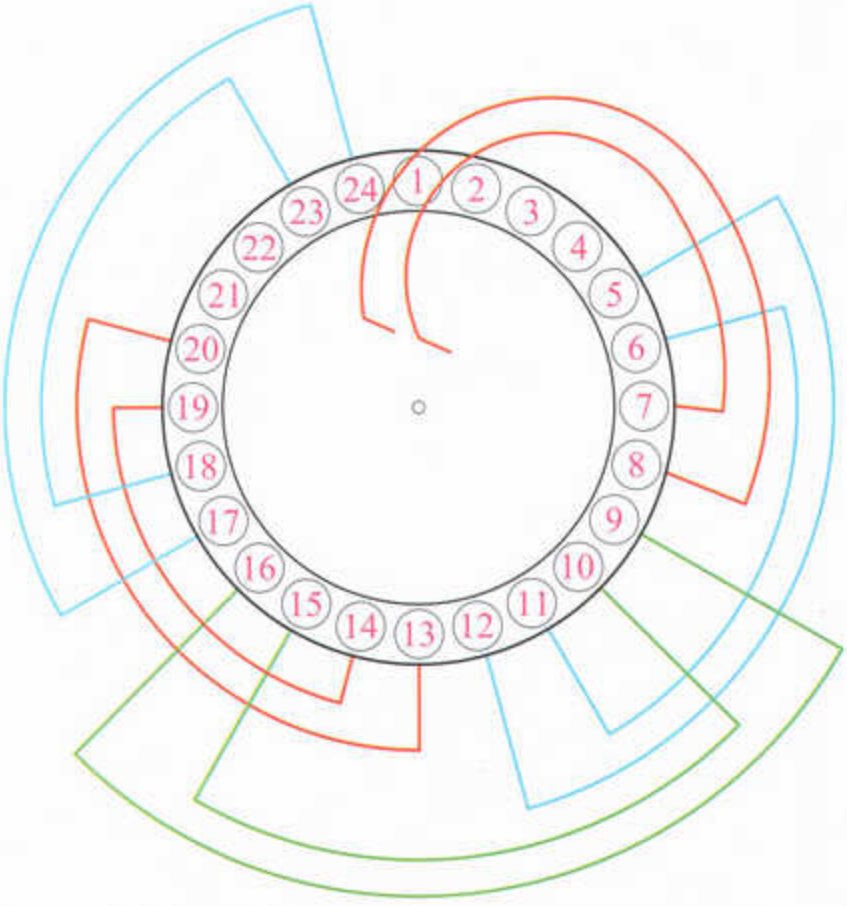
شکل ۵۹ـ۲ـ محل قرار گرفتن گروه کلاف سوم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۷ـ گروه کلاف شماره ۴ را در شیارهای ۱۳ـ۱۴ و ۱۹ـ۲۰ و گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۱۷ـ۱۸ و ۲۳ـ۲۴ قرار دهید (شکل ۶۰ـ۲).



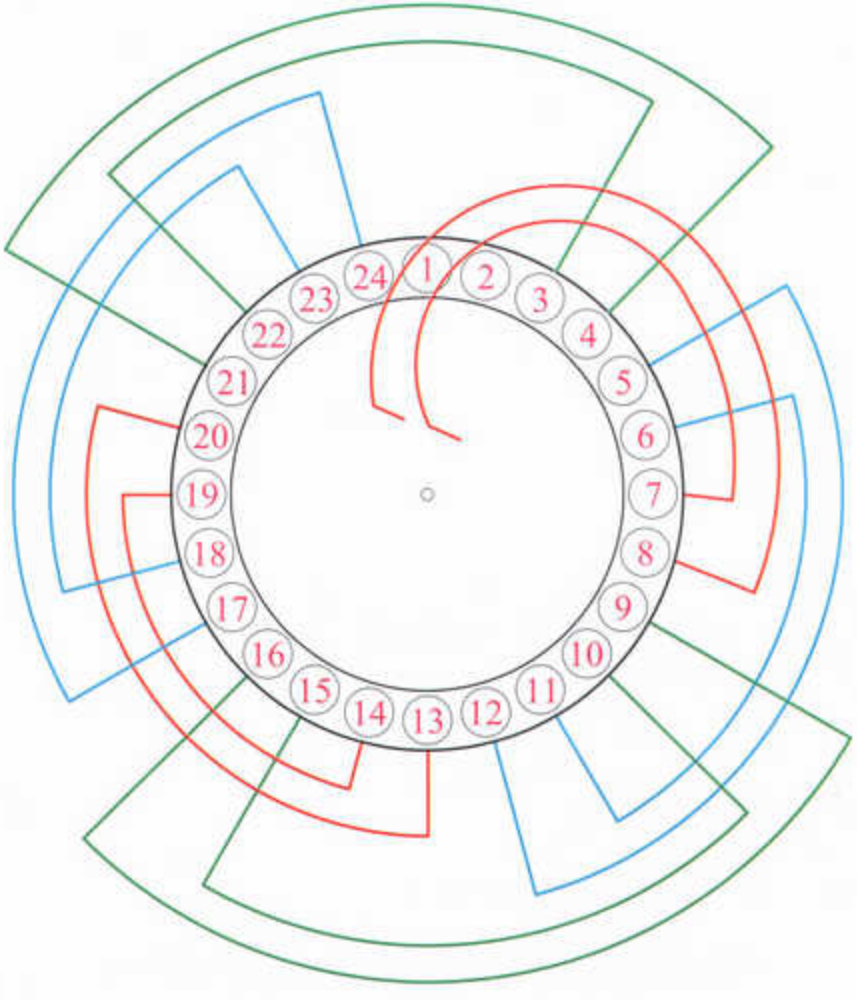
شکل ۶۰ـ۲ـ محل قرار گرفتن گروه کلاف پنجم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۸ـ بازوهای ۱ و ۲ از گروه کلاف شماره ۱ را از شیارهای ۱ و ۲ خارج کنید. تا بتوانید بازوهای برگشتی گروه کلاف ششم را که زیر بازوی شروع اول قرار می‌گیرند، جاگذاری کنید (شکل ۶۱ـ۲).



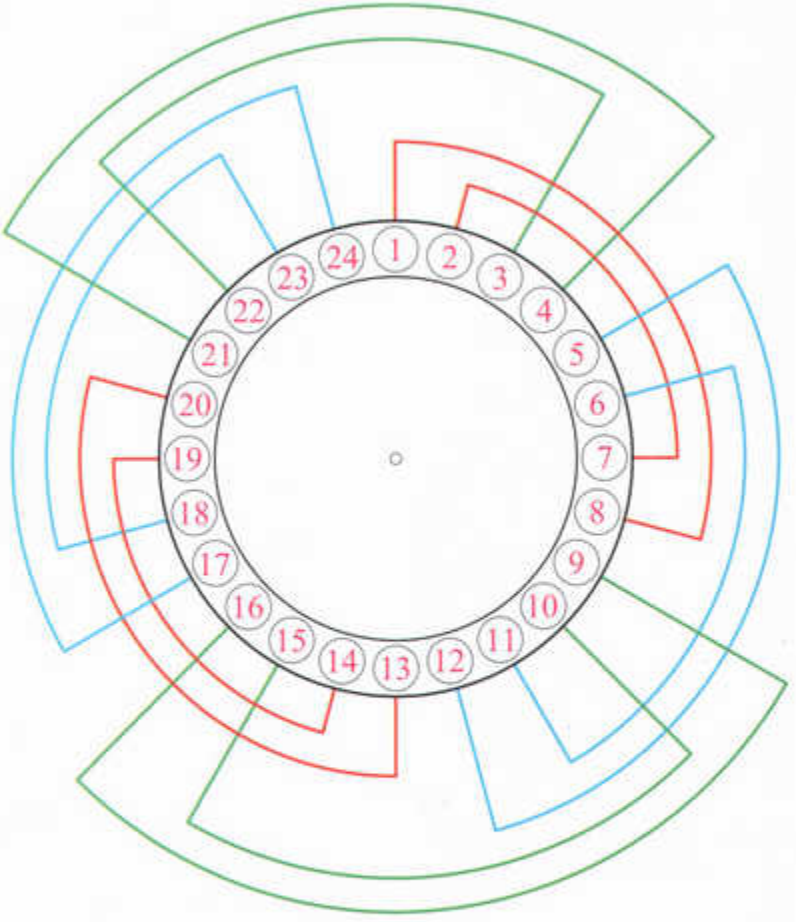
شکل ۶۱ـ۲ـ خارج کردن بازوهای ۱ و ۲ از شیارهای ۱ و ۲ به منظور قرار دادن بازوهای گروه کلاف شماره ۶

۹ـ گروه کلاف شماره ۶ را در شیارهای ۲۱ـ۲۲ و ۳ـ۴ قرار دهید (شکل ۶۲ـ۲).



شکل ۶۲ـ۲ـ محل قرار گرفتن گروه کلاف ششم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۱۰ـ بازوهای ۱ و ۲ گروه کلاف شماره ۱ را به‌جای اصلی برگردانید (شکل ۶۳ـ۲).



شکل ۶۳ـ۲ـ برگردانیدن بازوهای ۱ و ۲ به شیارهای مربوطه و تکمیل کلاف‌گذاری در شیارهای استاتور

۶ـ۳ـ۲ـ کار عملی ۶

زمان: ۲۴ ساعت

موضوع: سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار سه فاز ۲ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب.

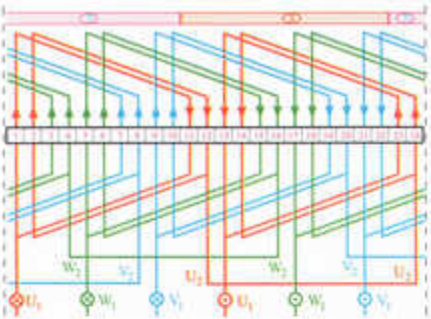
مراحل انجام کار

۱ـ شکل ۶۴ـ۲ را درنظر بگیرید و ۶ گروه کلاف با گام مساوی ۱ به ۱۱ تهیه کنید.

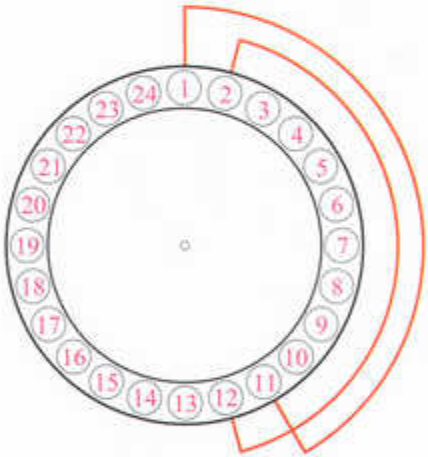
۲ـ شیاری را به‌عنوان شیار آغاز سیم‌بندی درنظر بگیرید.

۳ـ جهت گردش برای سیم‌بندی را درنظر بگیرید.

۴ـ بازوهای گروه کلاف شماره ۱ـ۲ و ۱۱ـ۱۲ را جاگذاری کنید (شکل ۶۵ـ۲).

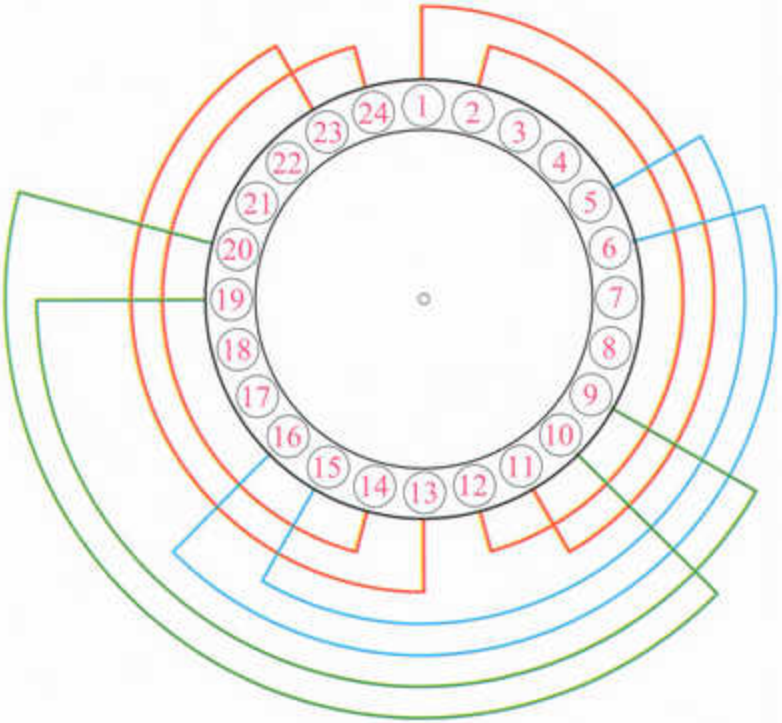


شکل ۶۴ـ۲



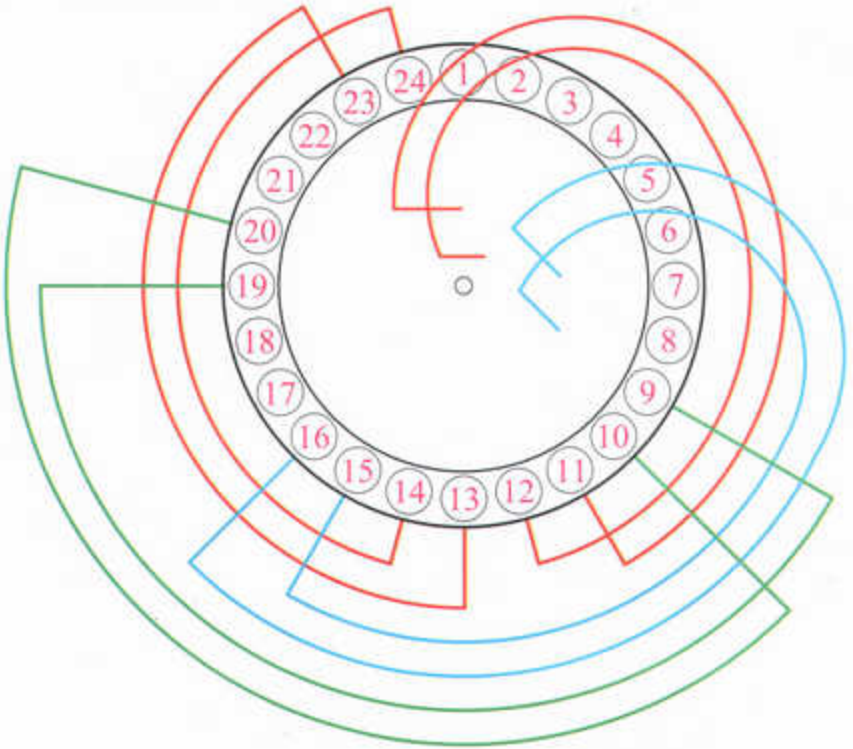
شکل ۶۵ـ۲ـ محل قرار دادن گروه کلاف شماره یک در سیم‌بندی موتور سه فاز ۲ قطب ۲۴ شیار با سیم‌بندی به‌ازای قطب

۵ـ شیارهای ۳ و ۴ را رها کنید و گروه کلاف دوم را در شیارهای ۵ـ۶ و ۱۵ـ۱۶ قرار دهید. به همین ترتیب، شیارهای ۷ و ۸ را رها کنید و گروه کلاف سوم را در شیارهای ۹ـ۱۰ و ۱۹ـ۲۰ قرار دهید. سپس گروه کلاف چهارم را در شیارهای ۱۳ـ۱۴ و ۲۳ـ۲۴ قرار دهید (شکل ۶۶ـ۲).



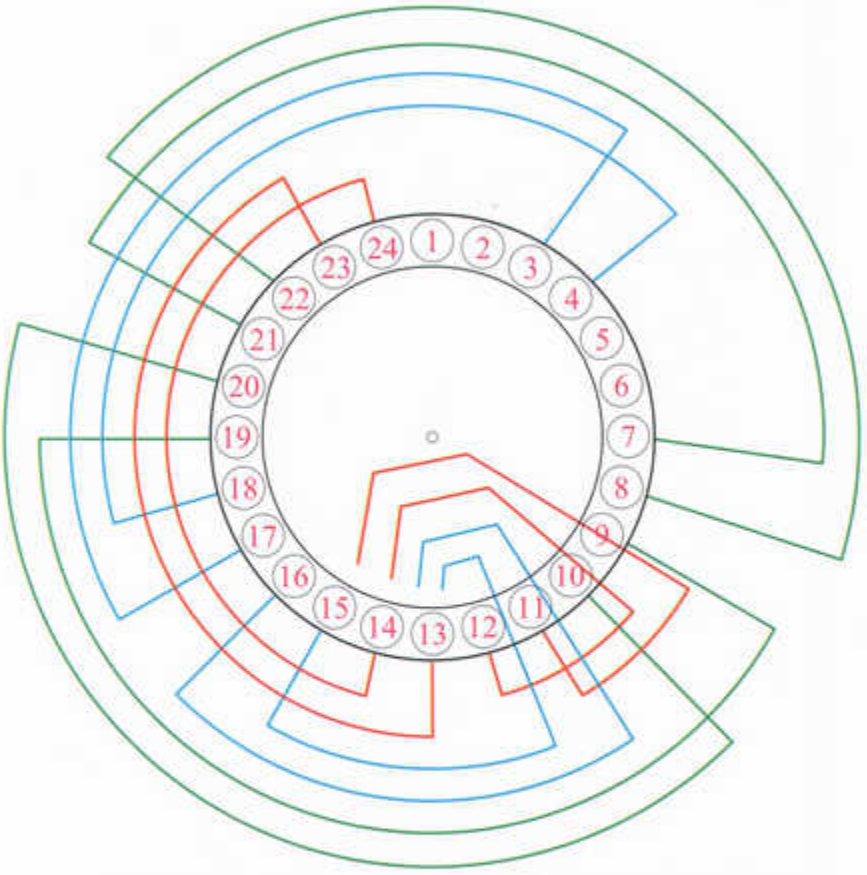
شکل ۶۶ـ۲ـ محل قرار دادن گروه کلاف شماره چهار در سیم‌بندی موتور سه فاز ۲ قطب ۲۴ شیار با سیم‌بندی به‌ازای قطب

۶ــ بازوهای ۱ و ۲ و ۵ و ۶ را خارج کنید تا بتوانید بازوهای برگشتی گروه کلاف‌های شماره ۵ و ۶ را در شیارهای مربوطه قرار دهید (شکل ۶۷ــ۲).



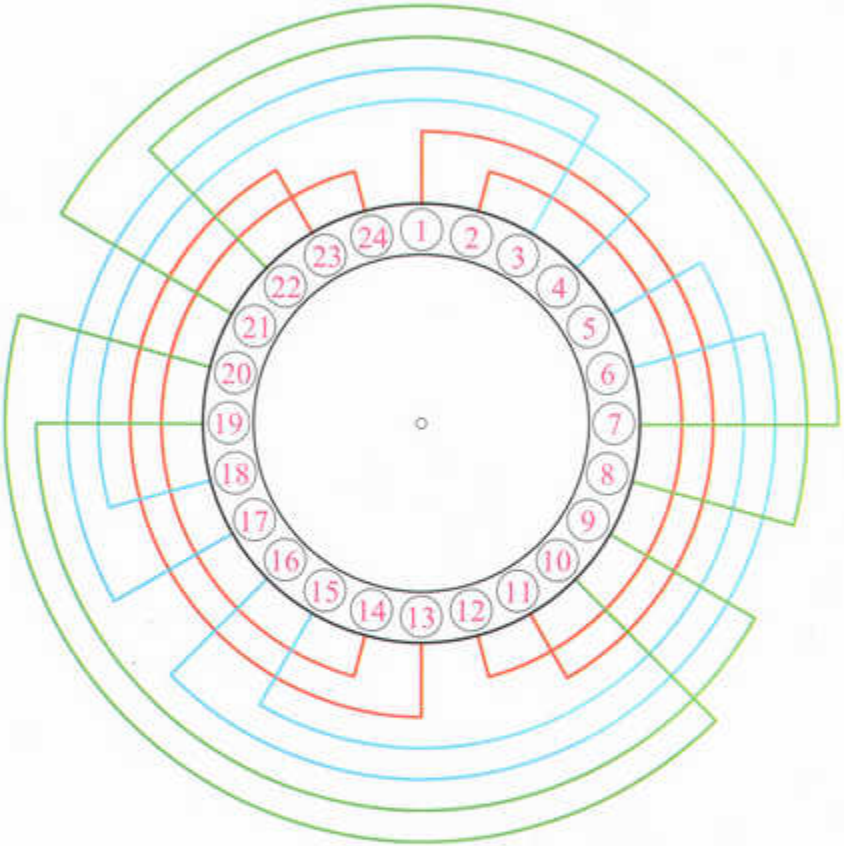
شکل ۶۷ــ۲ــ خارج کردن بازوهای ۱ و ۲ و ۵ و ۶ از شیارهای مربوطه به منظور قرار دادن گروه کلاف شماره ۵ و ۶

۷ـ گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۱۷ـ۱۸ و ۲ـ۴ قرار دهید. گروه کلاف شماره ۶ را در شیارهای ۲۱ـ۲۲ و ۸ـ۷ قرار دهید (شکل ۶۸ـ۲).



شکل ۶۸ـ۲ـ قرار دادن گروه کلاف شماره ۶

۸ــ بازوهای ۲ و ۱ گروه کلاف شماره ۱ و بازوهای ۵ و ۶ گروه کلاف شماره ۲ را به‌جای خود برگردانید. به این ترتیب سیم‌بندی کامل می‌شود (شکل ۶۹ــ۲).



شکل ۶۹ــ۲ــ برگردانیدن بازوهای گروه کلاف‌های شماره ۱ و ۲ به‌جای اولیه و تکمیل کلاف‌گذاری در داخل شیارهای موتور ۲۴ شیار ۲ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب

آزمون پایانی (۲)

۱ـ به چه دلیل، قبل از جاگذاری کلاف در داخل شیار لازم است کلاف‌ها را مرتب و صاف کرد؟

۲ـ اقدامات لازم برای جلوگیری از ساییده شدن سیم‌ها به بدنه استاتور و اتصال آن‌ها به بدنه، را بیان کنید.

۳ـ اگر روی بازوها را پس از جاگذاری آن‌ها در داخل شیارها با کاغذ پرسپان پوشانده نشود، چه عواقبی در پی خواهد داشت؟

۴ـ نکات ایمنی در هنگام کلاف‌گذاری در داخل شیارها را بیان کنید.

۵ـ ابزار لازم برای کلاف‌گذاری در داخل شیارها را نام ببرید.

۶ـ مراحل کلاف‌گذاری در داخل شیارها را نام ببرید.

۷ـ **کار عملی:** یک الکتروموتور سه فاز ۳۶ شیار را در اختیار بگیرید و مراحل مختلف کلاف‌گذاری این موتور را برای سیم‌بندی ۲ قطب به‌ازای سیم‌بندی $G = 2P$ انجام داده و کلاف‌ها را در داخل شیارها قرار دهید.

واحد کار سوم

سربندی سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه فاز

هدف کلی

اتصال گروه کلاف‌ها در هر فاز

هدف‌های رفتاری: از فراگیر، انتظار می‌رود با گذراندن این پیمانه، بتواند:

۱ـ با اهم‌متر، سر گروه کلاف‌ها را پیدا کند.

۲ـ با استفاده از نقشه موتورها، اتصال گروه کلاف‌ها را در هر فاز الکتروموتورهای سه فاز یک سرعته انجام دهد.

۳ـ ابتدا و انتهای فازها را با U_1, U_2 و V_1, V_2 و W_1, W_2 برچسب بزند.

۴ـ سرهای هر فاز را به سیم‌افشان اتصال دهد و با برچسب مربوطه به تخته کلم هدایت کند.

۵ـ سرهای مربوط به هر فاز را در تخته کلم، به ترمینال‌های مربوطه هدایت کرده و اتصال دهد.

۶ـ دو سر هر فاز را با اهم‌متر آزمایش کند و از اتصال تمامی گروه کلاف‌ها در هر فاز، اطمینان حاصل کند.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۴	۱۶	۲۰

۱ــ۳ــ اصول سربندی کلاف‌ها در داخل استاتور

پس از قرار دادن کلاف‌ها در داخل شیارها، لازم است گروه کلاف‌های مربوط به هر فاز موتور، ارتباط الکتریکی داشته باشند. ارتباط گروه کلاف‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که میدان‌های حاصل از جریان کلاف‌های مجاور، هم‌جهت بوده و در سطح استاتور ۲P قطب تشکیل دهند. بنابراین، در سربندی کلاف‌ها لازم است دقت بیشتری شود زیرا یک اتصال غلط موجب می‌شود حوزه دوار به‌طور صحیح در سطح استاتور تشکیل نشود. در این‌گونه مواقع، یا رتور قفل کرده و به گردش درنمی‌آید و یا در صورت چرخش رتور، جریان زیادی از شبکه توسط موتور الکتریکی دریافت می‌شود که امکان دارد در زمان کوتاه، سیم‌های استاتور را از بین ببرد.

(الف)

در سربندی کلاف‌ها با توجه به نقشه موتور، یکی از کلاف‌ها را به‌عنوان شیار شماره یک درنظر می‌گیریم و آن را با U_1 برچسب می‌زنیم و انتهای گروه کلاف مربوطه را از طریق نقشه پیدا می‌کنیم و لاک سرسیم آن را برمی‌داریم و برای اطمینان، دو سر آن را با اهم‌متر آزمایش می‌کنیم. برای این منظور، سر لاک‌برداری شده U_1 را با انتهای کلاف انتخاب شده به ترمینال‌های اهم‌متر هدایت می‌کنیم. اگر اهم‌متر مقاومت ناچیزی نشان دهد انتخاب سر و ته گروه کلاف صحیح است. در صورت نمایش مقاومت زیاد توسط اهم‌متر، باید ته کلاف را با سیم‌های مجاور تعویض کرده و آزمایش‌های لازم را انجام داد تا ته کلاف مشخص شود. به این ترتیب، سر و ته گروه کلاف‌های مربوط به هر فاز را از طریق نقشه و اهم‌متر مشخص کرده و طبق نقشه سربندی می‌کنیم (شکل ۱ــ۳).

(ب)

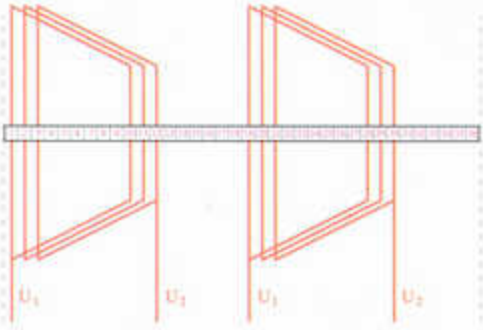
شکل ۱ــ۳ــ سر و ته یک گروه کلاف مقاومت ناچیزی نشان می‌دهد.

در سربندی کلاف‌ها اگر $G = P$ باشد، اتصال گروه کلاف‌ها اتصال نزدیک است، یعنی ته هر گروه کلاف به سر گروه کلاف بعدی در ان فاز متصل می‌شود.

در سربندی کلاف‌ها اگر $G = 2P$ باشد، اتصال گروه کلاف‌ها اتصال دور است، یعنی ته هر گروه کلاف به ته گروه کلاف بعدی و سر تمام گروه کلاف‌ها به هم متصل می‌شوند.

برای سربندی گروه کلاف‌ها، ابتدا نقشه گسترده یا دیاگرام مدور موتور را درنظر بگیرید و براساس شماره‌های نقشه، شیارهای استاتور را شماره‌بندی کنید. سرسیم‌های گروه کلاف‌ها را در سیم‌پیچ‌ها، مطابق نقشه پیدا کنید. پس از اطمینان از ابتدا و انتهای گروه کلاف‌ها، به اندازه مناسب از سرسیم‌ها جدا کرده و از سر آن‌ها به اندازه ۱/۵ سانتی‌متر لاک‌برداری کنید. مطابق نقشه، از سرسیم‌هایی که باید به هم متصل شوند، «وارنیش» بگذرانید. از هر سیم با اندازه یک سانتی‌متر بر روی سیم دیگر، به‌طور مرتب بپیچید. پس از لحیم‌کاری و آزمایش اتصال دو سر دو گروه کلاف، اتصال گروه کلاف‌های بعدی را ادامه دهید. مثلاً اتصال گروه کلاف‌های مربوط به فاز U_1 و U_2 در موتور ۳۶ شیار سه فاز ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب، در مراحل زیر انجام می‌شود:

۱ـ نقشه دیاگرام گسترده یا مدور سیم‌پیچی مربوط به فاز U_1 و U_2 را تهیه کنید (شکل ۲ـ۳).



شکل ۲ـ۳ـ نقشه فاز ۱ موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی به‌ازای قطب

۲ـ شیارهای استاتور را شماره‌گذاری کنید (شکل ۳ـ۳).

شکل ۳ـ۳ـ شماره‌گذاری استاتور کلاف‌گذاری شده

۳ـ ابتدا و انتهای گروه کلاف شماره ۱ فاز U_1 و U_2 را که سرهای آن از شیار ۱ و ۱۲ خارج شده‌اند، با اهم‌متر آزمایش کنید.

۴ـ سرسیم‌هایی را که از شیارهای ۱۹ و ۳۰ خارج می‌شوند، با اهم‌متر آزمایش کنید. این سیم‌ها باید به هم ارتباط داشته باشند (شکل ۴ـ۳).

شکل ۴ـ۳ـ آزمایش ارتباط کلاف‌های گروه کلاف شماره ۱

۵ـ سرهای خروجی از شیارهای ۱۲ و ۱۹ را به اندازهٔ کافی و به‌گونه‌ای ببرید که پس از اتصال به هم، سیم اضافی در سطح استاتور وجود نداشته باشد.

۶ـ سرسیم‌ها را از وارنیش‌های مورد نیاز عبور دهید (شکل ۵ـ۳).

الف

شکل (۵ ـ ۳ـ الف) ـ قرار دادن وارنیش با قطر کم روی سیم

ب

شکل (۵ ـ ۳ـ ب) ـ عبور دادن وارنیش با قطر بیشتر روی وارنیش قطر کمتر

شکل ۵ـ۳ـ عبور دادن سیم‌ها از داخل وارنیش

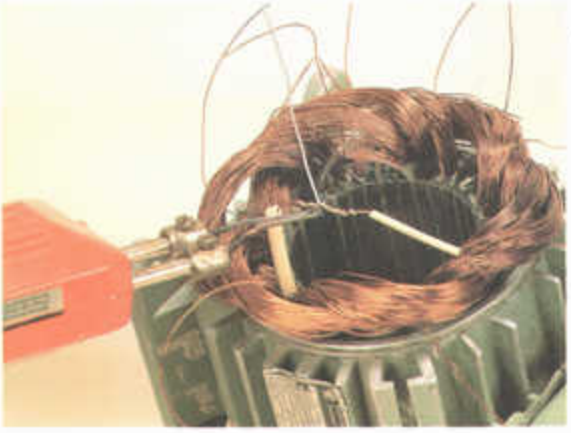
شکل ۶ـ۳ـ سرسیم‌ها را به اندازه ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر لاک‌برداری کنید.

۷ـ سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۲ و ۱۹ را پس از کوتاه کردن، به اندازه ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر لاک‌برداری کنید (شکل ۶ـ۳).

شکل ۷ـ۳ـ سیم‌ها را به هم گره زده و به اندازه یک سانتی‌متر روی هم بتابانید.

۸ـ سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۲ و ۱۹ را روی هم قرار داده و هرکدام را به اندازه یک سانتی‌متر روی دیگری بتابانید (شکل ۷ـ۳).

محل اتصال را لحیم کنید (شکل ۸ـ۳).



شکل ۸ـ۳ـ محل اتصال دو سیم را لحیم کنید.

۹ـ وارنیش‌های با قطر کمتر را از طریق هر دو سیم به محل لحیم شده انتقال دهید تا کاملاً آن را پوشش دهد (شکل ۹ـ۳).

شکل ۹ـ۳ـ هدایت وارنیش‌ها به محل لحیم شده

۱۰ـ وارنیش با مقطع زیاد را روی دو وارنیش با قطر کمتر بکشید (شکل ۱۰ـ۳).

شکل ۱۰ـ۳

شکل ۱۱ـ۳ـ اتصال سیم‌افشان به ابتدا و انتهای فاز و برچسب زدن آن

۱۱ـ پس از سربندی، به منظور اطمینان از اتصال بین دو گروه کلاف، سرسیم‌هایی را که از شیارهای ۱ و ۳۰ خارج شده‌اند، لاک‌برداری کرده و ارتباط آن‌ها را با اهم‌متر آزمایش کنید.

۱۲ـ سرسیمی را که از شیار شماره ۱ بیرون آمده است، به اندازه کافی کوتاه کرده و پس از لاک‌برداری، آن را به سیم‌افشان اتصال دهید و محل اتصال را لحیم‌کاری کرده و با وارنیش مناسب بپوشانید. به سیم‌افشان برچسب U بزنید (شکل ۱۱ـ۳).

۱۳ـ سیم خروجی از شیار شماره ۳۰ را با سیم‌افشان اتصال داده و پس از لحیم‌کاری و گذاشتن وارنیش، برچسب U_2 بزنید (شکل ۱۲ـ۳).

شکل ۱۲ـ۳

۲ـ۳ـ کارهای عملی ۳

کار عملی ۱

هدف: سربندی سیم‌پیچی الکتروموتورها

نکات ایمنی: از روشنایی مناسب در روی میز کار استفاده کنید. از میز کار و صندلی استاندار مناسب استفاده کنید تا هیچ‌گونه فشاری بر کمر و پاهای‌تان وارد نشود.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱ـ نگهدارنده استاتور یک عدد

۲ـ استاتور ۳۶ شیار کلاف‌گذاری شده در کار عملی شماره ۲ واحد کار دوم (شکل ۳۹ـ۲) یک عدد

۳ـ اهم‌متر یک عدد

۴ـ وارنیش مناسب مقطع سیم

۵ـ هویه برقی یک عدد

۶ـ روغن و سیم لحیم به حد کافی

۷ـ سیم افشان مناسب در سه رنگ به حد کافی

موضوع: سربندی سیم‌پیچی الکتروموتور سه فازشش قطب ۳۶ شیار به‌ازای قطب

مراحل انجام کار

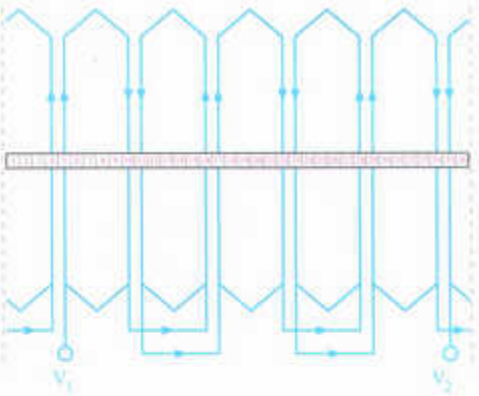
۱ـ استاتور را روی نگهدارنده استاتور قرار داده و شیارها را شماره‌گذاری کنید (شکل ۱۳ـ۳).

شکل ۱۳ـ۳ـ شماره‌گذاری شیارها

۶ـ براساس نقشه اتصال گروه کلاف‌های فاز V_1 و V_2، سیم‌های خروجی از شیارهای ۵ـ۱۰، ۱۶ـ۱۱، ۱۷ـ۲۲، ۲۳ـ۲۸، ۲۹ـ۳۴ و ۳۵ـ۴ را با اهم‌متر آزمایش کنید و از اتصال آن‌ها به یک‌دیگر خاطرجمع شوید. سپس سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۰ را به ۱۶، ۱۱ را به ۱۷، ۲۲ را به ۲۸، ۲۳ را به ۲۹ و ۳۴ را به ۴ اتصال دهید.

به سیم خروجی از شیار شماره ۵ سیم‌افشان اتصال داده و برچسب V_1 بزنید. سیم خروجی از شیار ۳۵ را به سیم‌افشان اتصال داده و برچسب V_2 بزنید (شکل ۱۶ـ۳).

شکل (۱۶ـ۳ـالف) نقشه اتصال سرسیم‌ها به یکدیگر را نشان می‌دهد.



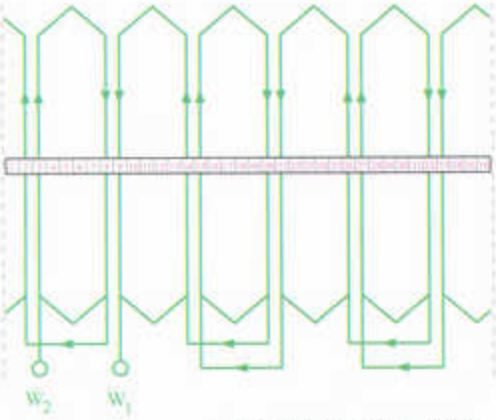
شکل ۱۶ـ۳ـالف

شکل ۱۶ـ۳ـ نقشه اتصالی فاز V_1 و V_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب

شکل ۱۶ـ۳ـ ب

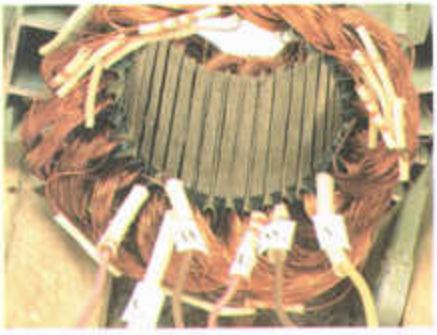
۷ـ براساس نقشه اتصال گروه کلاف‌های فاز W_1 و W_2 سیم‌های خروجی از شیارهای ۹ـ۱۴، ۲۰ـ۱۵، ۲۶ـ۲۱، ۲۷ـ۳۲، ۳۳ـ۲ و ۳ـ۸ را با اهم‌متر آزمایش کنید و از اتصال آن‌ها به یکدیگر خاطرجمع شوید. سپس سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۴ را به ۲۰، ۱۵ را به ۲۱، ۲۶ را به ۳۲، ۲۷ را به ۳۳ و ۲ را به ۸ اتصال دهید.

سیم خروجی از شیار شماره ۹ را با سیم‌افشان اتصال داده و برچسب W_1 بزنید. سیم خروجی از شیار ۳ را به سیم‌افشان اتصال داده و برچسب W_2 بزنید (شکل ۱۷ـ۳).



شکل ۱۷ـ۳ـ الف ـ نقشه اتصال سرسیم ها

شکل ۱۷ـ۳ـ نقشه اتصالی فاز W_1 و W_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب



شکل ۱۷ـ۳ـ ب

۸ـ سیم‌های لحیم شده را مرتب کرده و روی کلاف‌ها بخوابانید. سپس سیم‌های افشان را از کوتاه‌ترین مسیر به جعبه اتصال موتور هدایت کنید (شکل ۱۸ـ۳).

شکل ۱۸ـ۳ـ هدایت سیم‌های افشان به جعبه اتصال موتور

آزمون پایانی (۳)

۱ــ چه لزومی دارد سرسیم گروه کلاف‌ها را قبل از سیم‌بندی با اهم‌متر آزمایش کنیم؟

۲ــ اگر براساس نقشه، وقتی که سرسیم‌ها را با اهم‌متر آزمایش می‌کنیم، سیم‌ها به هم راه ندهند، اشکال کار در کجا است؟ اقدام بعدی برای یافتن سرسیم‌های گروه کلاف را بیان کنید.

۳ــ برای چه منظور در سربندی گروه کلاف‌های یک فاز از نقشه اتصالی هر فاز موتور استفاده می‌کنند؟ آیا امکان دارد که بدون دسترسی به نقشه سربندی، گروه کلاف‌های هر فاز را به یکدیگر اتصال داد؟

۴ــ به چه مناسبت، شیارهای داخل استاتور را در هنگام قرار دادن کلاف‌ها در داخل شیارها، شماره‌گذاری می‌کنند؟

۵ــ چرا محل اتصال گروه کلاف‌ها را لحیم‌کاری کرده و محل لحیم‌کاری را با وارنیش می‌پوشانند؟

۶ــ علت استفاده از وارنیش با مقطع زیاد بر روی وارنیش‌های با مقطع کم را بیان کنید.

۷ــ چرا در انتهای سربندی هر فاز، ابتدا و انتهای سیم‌ها را برچسب می‌زنند؟

۸ــ استفاده از سیم‌های افشان در ابتدا و انتهای هر فاز چه محاسنی دارد؟

۹ــ آیا پس از سربندی گروه کلاف، آزمایش سرهای ابتدا و انتهای هر فاز با اهم‌متر ضرورت دارد؟ دلیل خود را بیان کنید.

۱۰ــ **کار عملی:** یک موتور ۳۶ شیار ۲ قطب با سیم‌بندی یک طبقه $G=2P$ را در اختیار بگیرید. پس از شماره‌گذاری و آزمایش سر گروه کلاف‌ها، آن را سربندی کنید. سر فازها را به سیم افشان اتصال دهید و سرسیم‌های هر فاز را برچسب زده و از کوتاه‌ترین مسیر به جعبه اتصال هدایت کنید.

۱۱ــ **کار عملی:** استاتور کلاف‌گذاری شده شکل ۲۸ــ۲ را در اختیار بگیرید و سربندی آن را کامل کنید.

۱۲ــ در سربندی گروه کلاف‌ها سعی می‌شود اتصال گروه کلاف‌ها به‌گونه‌ای باشد تا بازوهای..... در قطب‌سازی پلاریته..... داشته باشند.

۱۳ــ در سربندی با سیم‌پیچی به‌ازای قطب اتصال گروه کلاف‌ها هر فاز، اتصال..... و در سیم‌پیچی به‌ازای جفت قطب، اتصال گروه کلاف‌ها اتصال..... است.

پاسخ پیش‌آزمون

پاسخ واحد کار اول	
شماره تست	گزینه صحیح
۱	۱
۲	۳
۳	۱
۴	۴
۵	۳
۶	۴
۷	۴
۸	۳

منابع و مآخذ

۱ـ «محاسبه و سیم‌پیچی موتورهای القایی سه فاز»، مؤلفین : علی عراقی ـ محمد حیدری، زنده‌یاد مرحوم علی رحیمیان‌پرور ـ احمد معیری، انتشارات سیم لاکی، فارس.

۲ـ «محاسبه و سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی (تئوری و عملی)»، مؤلف : دکتر حسین رحمتی‌زاده، انتشارات نیلوفر.

۳ـ مجموعه جزوات آموزشی موتورپیچی دانشگاه شهید رجایی تهران، مؤلفین : علی عراقی و علی رحیمیان‌پرور، انتشارات دانشگاه شهید رجایی.

فهرست رشته های مهارتی که می‌توانند از کتاب سیم‌پیچی موتورهای سه فاز استفاده نمایند.

ردیف	نام رشته‌ی مهارتی	شماره‌ی رشته‌ی مهارتی	کد رایانه‌ای رشته‌ی مهارتی	نام استاندارد مهارتی مبنا	کد استاندارد مهارتی متولی
۱	ماشین‌های الکتریکی	۶ـ۳ـ۱۰۱ـ۱۰ـ۱	۹۳۷۶	تعمیر ماشین‌های الکتریکی درجه(۲)	۵۳/۴۸ ـ ۸ و ۷۵
۲	ماشین‌های الکتریکی درجه(۱)	۳۰۵ـ۱۰۱ـ۱۰ـ۱	۹۳۷۵		
۳		ـ۱۰ـ۱			
۴		ـ۱۰ـ۱			
۵		ـ۱۰ـ۱			

شابک ۹-۱۲۵۵-۰۵-۹۶۴
ISBN 964-05-1255-9

قیمت در تمام کشور ۶۳۰۰ ریال

۱۳۸۲