

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سیم پیچی الکترو موتورهای سه فاز

شاخه: کاردانش

زمینه: صنعت

گروه تحصیلی: برق

زیر گروه: الکتروتکنیک

رشته های مهارتی: ماشین های الکتریکی

شماره رشته های مهارتی: ۳۲۲ - ۱۰۱ - ۱۰ - ۱

کد رایانه ای رشته های مهارتی: ۹۹۶۳

نام استاندارد مهارتی مبنا: تعمیر ماشین های الکتریکی درجه (۲)

کد استاندارد متولی: ۵۳/۴۷/۲/۴ - ۸

شماره درس: نظری ۹۹۴۴ و عملی ۹۹۴۵

عراقی، علی	۶۲۱
سیم پیچی الکترو موتورهای سه فاز/مؤلف: علی عراقی. - تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب های	۴۶/
درسی ایران، ۱۳۹۴.	س ۴۹۴ع/
۱۱۶ص. :مصور. - (شاخه کاردانش؛ شماره درس نظری ۹۹۴۴ و عملی ۹۹۴۵)	۱۳۹۴
متون درسی شاخه کاردانش، زمینه صنعت، گروه تحصیلی برق، زیرگروه الکتروتکنیک،	
رشته های مهارتی ماشین های الکتریکی.	
برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش.	
۱. موتورهای برقی سه فاز - سیم پیچی. الف. عنوان.	

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز :

پیشنهادهای و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و
حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

info@tvoccd.sch.ir

پیام نگار (ایمیل)

www.tvoccd.sch.ir

وبگاه (وبسایت)

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب : سیم پیچی الکترو موتورهای سه فاز - ۶۰۷/۴

مؤلف : علی عراقی

ویراستار فنی : فریدون علومی

ویراستار ادبی : احمد بروجردی

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

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

تلفن : ۸۸۸۳۱۱۶۱ - ۹، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وبسایت : www.chap.sch.ir

رسام : محمد سیاحی

عکاس : آتلیه عکاسی شرکت صنایع آموزشی

صفحه‌آرا : طرّفه سهانی

طراح جلد : طاهره حسن زاده

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

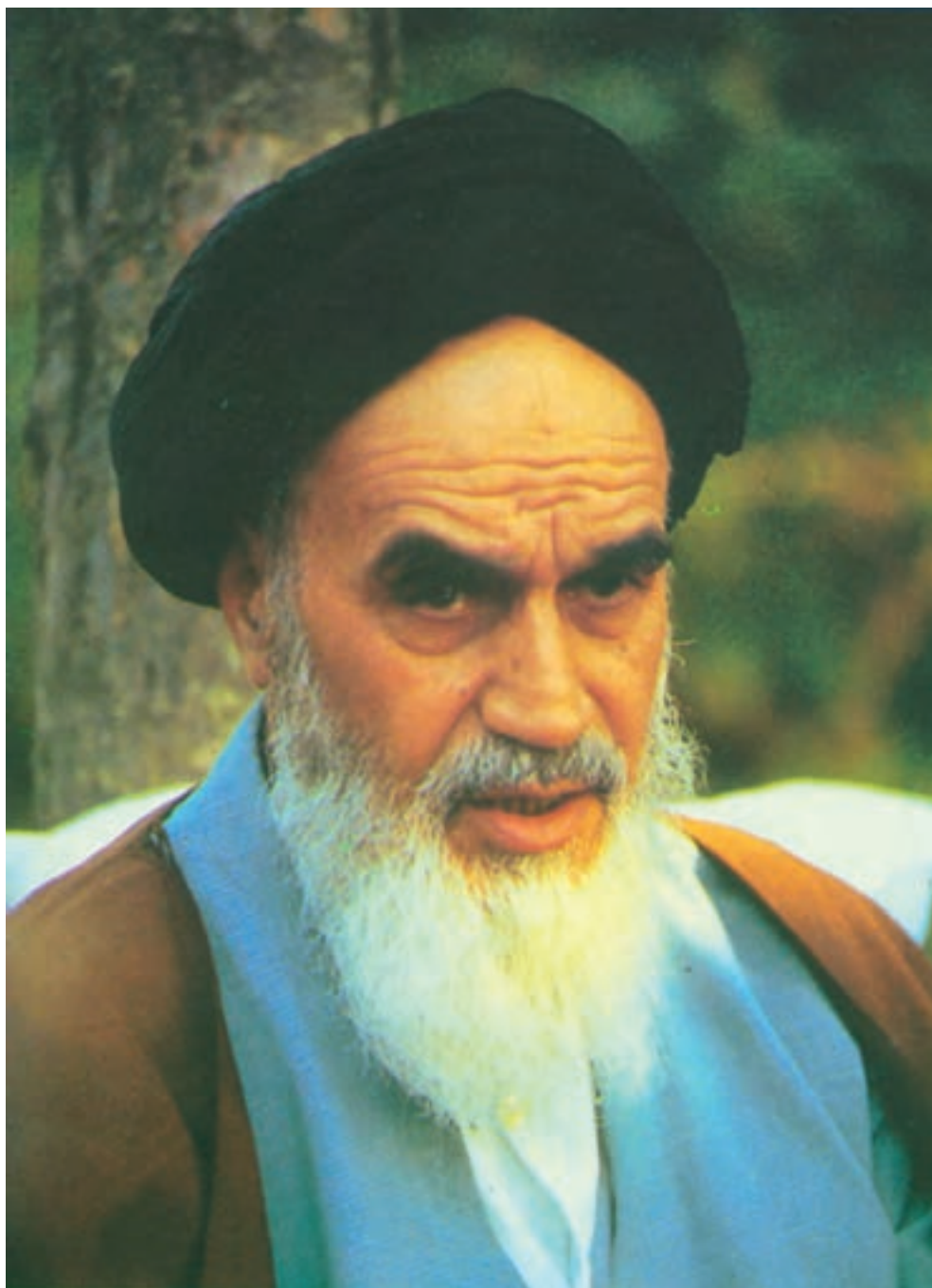
تلفن : ۴۴۹۸۵۱۶۱ - ۵، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۳۷۵۱۵ - ۱۳۹

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

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ هفتم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۹۶۴-۵-۱۲۵۵-۹ ISBN 964-05-1255-9



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آید و احتیاجات
کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید
و از اتکای به اجانب پرهیزید.
امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

مقدمه ای بر چگونگی برنامه‌ریزی کتاب‌های پودمانی

برنامه‌ریزی تألیف «پودمان‌های مهارت» یا «کتاب‌های تخصصی شاخهٔ کاردانش» بر مبنای استانداردهای «مجموعه برنامه‌های درسی رشته‌های مهارتی شاخهٔ کاردانش، مجموعهٔ هشتم» صورت گرفته است. براین اساس ابتدا توانایی‌های هم‌خانواده (Power Harmonic) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. سپس مجموعه مهارت‌های هم‌خانواده به صورت واحدهای کار تحت عنوان (Unit) دسته‌بندی می‌شوند. در نهایت واحدهای کار هم‌خانواده 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.

با روش مذکور یک «پودمان» به عنوان کتاب درسی مورد تأیید وزارت آموزش و پرورش در «شاخهٔ 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. به‌طوری که هنرجویان در پایان آموزش واحدهای کار (مجموع توانایی‌های استاندارد مربوطه) و کلیه پودمان‌های هر استاندارد، تسلط و مهارت کافی در بخش نظری و عملی را به گونه‌ای کسب خواهند نمود که آمادگی کامل را برای شرکت در آزمون جامع نهایی جهت دریافت گواهینامه مهارت به‌دست آورند. بدیهی است هنرآموزان و هنرجویان ارجمند شاخهٔ 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

پیشگفتار

حمد و ستایش پروردگاری را که 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 شاخهٔ کاردانش، زمینهٔ 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 پیش دبستانی تا دانشگاه) تأسیس شده است. مهم‌ترین رسالت شرکت، حمایت و پشتیبانی همه‌جانبه از آموزش کشور می‌باشد. از این‌رو از آغاز تأسیس تاکنون همواره با بهره‌گیری از آخرین دستاوردها و فناوری‌های کشورهای پیشرفتهٔ 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. شیوهٔ نگارش این کتاب منطبق با شیوهٔ آموزش مهارت پودمانی (Modular) می‌باشد. این شیوهٔ آموزش مهارت، هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای پیشرفتهٔ صنعتی در حال اجرا می‌باشد.

امید است مدیران محترم مراکز آموزشی با تمام توان در جهت اجرای هر چه بهتر این شیوهٔ نوین آموزش مهارت همت گمارند تا بتوانیم به کلیه اهداف آموزشی کتاب جامهٔ 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 پودمان‌های 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 سروکار 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 ارائه شده 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 در نظر گرفتن 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 روبه‌رو شدن با مواردی که نیاز به اصلاح دارند، نکات و روش‌های اصلاحی آن‌ها را به سازمان پژوهش و 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 الکتروتکنیک، آقایان، مهندس سید محمود صموتی، 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 اول : توانایی ترسیم دیاگرام های سیم بندی الکتروموتورهای یک طبقه یک سرعته سه فاز	۱
پیش آموزن (۱).....	۲
۱-۱- میدان مغناطیسی استاتور و تعداد قطب ها.....	۳
۱-۲- ایجاد میدان دوار توسط جریان سه فاز.....	۶
۱-۳- اصطلاحات و روابط نقشه کشی سیم پیچی استاتور الکتروموتورها.....	۱۳
۱-۴- سیم بندی یک طبقه استاتور الکتروموتورها.....	۱۷
۱-۵- انواع سیم بندی از لحاظ شکل کلاف ها.....	۱۹
۱-۶- اصول محاسبه دیاگرام الکتروموتورهای آسنکرون سه فاز یک طبقه یک سرعته.....	۲۰
۱-۷- سیم بندی یک طبقه با گام کسری (سیم بندی به ازای قطب).....	۳۳
۱-۸- کارهای عملی ۱.....	۳۷
آزمون پایانی (۱).....	۵۵
واحد کار دوم : توانایی قرار دادن کلاف در شیار استاتور.....	۵۷
۲-۱- قرار دادن کلاف در شیار استاتور.....	۵۸
۲-۲- قرار دادن کاغذ پرشمان روی کلاف ها.....	۶۱
۲-۳- کارهای عملی ۲.....	۶۳
آزمون پایانی (۲).....	۱۰۱
واحد کار سوم : سربندی سیم پیچی الکتروموتورهای سه فاز.....	۱۰۳
۳-۱- اصول سربندی کلاف ها در داخل استاتور.....	۱۰۴
۳-۲- کارهای عملی ۳.....	۱۱۰
آزمون پایانی (۳).....	۱۱۵
پاسخ پیش آزمون.....	۱۱۵
منابع و مآخذ.....	۱۱۶

هدف کلی پودمان

محاسبه و ترسیم دیاگرام های سیم بندی موتورهای یک طبقه سه فاز

شماره		عنوان توانایی	ساعات نظری	ساعات عملی	جمع
واحد کار	توانایی				
۱	۱۷	محاسبه و ترسیم دیاگرام های سیم بندی الکتروموتورهای یک طبقه یک سرعت سه فاز	۲۰	۴۰	۶۰
۲	۲۳	قرار دادن کلاف در شیار استاتور	۲۰	۱۵۰	۱۷۰
۳	۲۶	سربندی سیم پیچی الکتروموتورهای سه فاز	۱	۱	۲
جمع کل			۴۱	۱۹۱	۲۳۲

واحد کار اول

توانایی ترسیم دیاگرام های سیم بندی الکتروموتورهای یک طبقه یک سرعت سه فاز

هدف کلی
محاسبه و ترسیم دیاگرام های سیم بندی موتورهای یک طبقه سه فاز

- هدف های رفتاری: از فراگیر، انتظار می رود با گذراندن این پیمانه بتواند :
- ۱- میدان مغناطیسی اطراف سیم جریان دار را شرح دهد.
 - ۲- میدان دوار در سطح استاتور را شرح داده، چگونگی تشکیل آن را تشریح کند.
 - ۳- دور رتور را محاسبه کند.
 - ۴- روابط و فرمول های مربوط به نقشه کشی الکتریکی را بیان کند.
 - ۵- محور قطبی و گام قطبی را تعریف کند.
 - ۶- تعداد شیارهای موجود در هر قطب هر فاز را از طریق محاسبه به دست آورد.
 - ۷- گام سیم بندی را تعریف کند و آن را از طریق محاسبه به دست آورد.
 - ۸- زاویه الکتریکی شیارها را تعریف کند و آن را از طریق محاسبه به دست آورد.
 - ۹- گام فازی را تعریف کند و آن را از طریق محاسبه به دست آورد.
 - ۱۰- شروع فازها را با استفاده از گام فازی و زاویه الکتریکی مشخص کند.
 - ۱۱- سیم بندی یک طبقه را شرح دهد.
 - ۱۲- انواع سیم پیچی ها را از نظر نوع کلاف ها شرح دهد.
 - ۱۳- سیم پیچی متحدالمرکز و کلاف مساوی را شرح دهد و موارد کاربرد آن ها را بیان کند.
 - ۱۴- دیاگرام سیم بندی الکتروموتورهای سه فاز یک طبقه یک سرعت را به صورت زنجیری محاسبه و ترسیم کند.
 - ۱۵- دیاگرام سیم بندی الکتروموتورهای سه فاز یک طبقه یک سرعت را به صورت حلقه ای محاسبه و ترسیم کند.



ساعات آموزش

نظری	عملی	جمع
۲۰	۴۰	۶۰

پیش‌آزمون (۱)

۱- وضعیت میدان مغناطیسی استاتور موتورهای سه‌فاز چگونه است؟

۱- با مقدار ثابت در حال گردش است.

۲- با مقدار ثابت موقعیتی ثابت دارد.

۳- با تغییرات سینوسی در حال گردش است.

۴- با تغییرات نامشخص در حال گردش است.

۲- 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؟

۱۵۰۰ (۱) ۱۴۴۰ (۲)

۱۴۶۰ (۳) ۱۴۱۰ (۴)

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

$Y_Z \leq Y_P$ (۱) $Y_Z \geq Y_P$ (۲)

$Y_Z = Y_P$ (۳) $Y_Z > Y_P$ (۴)

۴- زاویه الکتریکی بین دو شیار متوالی در موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۶ قطب، چند درجه الکتریکی است؟

۹۰ (۱) ۶۰ (۲)

۴۵ (۳) ۳۰ (۴)

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

یک‌سوم (۱) یک‌ونیم (۲)

دوسوم (۳) یک‌دوم (۴)

۶- 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؟

۷ (۱) ۱۳ (۲)

۶ (۳) ۱۲ (۴)

۷- کدام موتور الکتریکی قادر به تولید حوزه‌ی دوآر در سطح استاتور خود است؟

سه‌فاز (۱) یک‌فاز (۲)

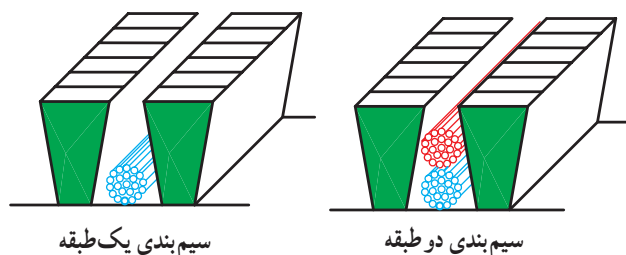
دوفاز (۳) دو‌فاز و سه‌فاز (۴)

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

۱-۱۲ (۱) ۱-۱۱ (۲)

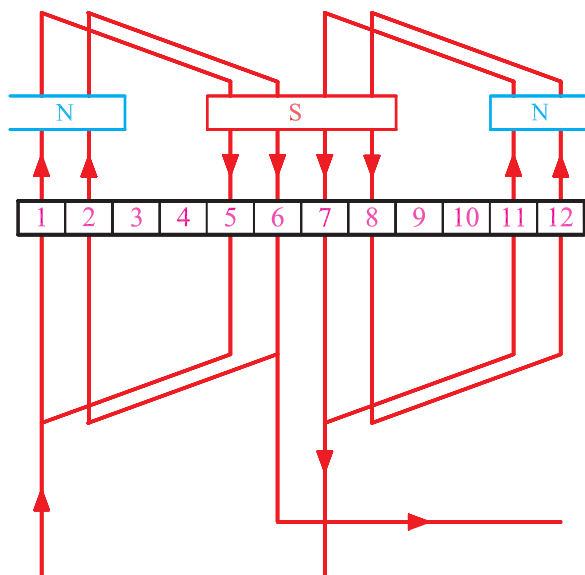
۱-۱۰ (۳) ۱-۹ (۴)

مقدمه

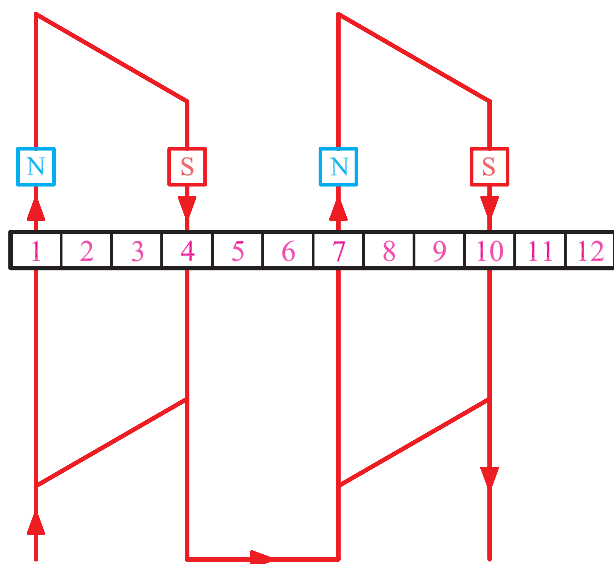


شکل ۱-۱- انواع سیم بندی

در سیم بندی یک طبقه الکتروموتورها، در هر شیار استاتور یک بازوی کلاف قرار می گیرد. اگر تعداد بازوها در هر شیار بیش از یک باشد، سیم بندی را چند طبقه می گویند. متداول ترین سیم بندی چند طبقه در موتورهای سه فاز، سیم بندی دو طبقه است که دو بازو در هر شیار قرار می گیرد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۲- عرض کلاف بیشتر، قطب کمتر



شکل ۱-۳- عرض کلاف کمتر، قطب بیشتر

۱-۱- میدان مغناطیسی استاتور و تعداد قطبها

میدان مغناطیسی استاتور با عبور جریان الکتریکی از سیم های داخل شیارها، تأمین می شود. تعداد قطب های مغناطیسی که در سطح استاتور تشکیل می شود، به عرض بازوهای کلاف و فاصله دو بازو از یکدیگر بستگی دارد به عبارت دیگر، چه اندازه از سطح استاتور را می پوشاند. اگر عرض دو بازوی یک کلاف تقریباً نصف سطح جانبی استاتور را پوشش دهد، در سطح استاتور دو قطب تشکیل می شود (شکل ۱-۲). اگر عرض دو بازو تقریباً یک چهارم سطح استاتور را بپوشاند، تعداد قطب های استاتور به چهار قطب می رسد (شکل ۱-۳). به این ترتیب، تعداد قطب ها با کاهش عرض بازوی کلاف ها زیاد می شود، به گونه ای که می توان گفت:

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

۱-۱-۱- میدان مغناطیسی هادی جریان دار

— آزمایش ارستد: هرگاه سیم هادی الکتریکی را مطابق شکل ۱-۴ 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 جهت گیری 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 ۱-۴ ب).

میدان مغناطیسی اطراف سیم جریان دار، خواصی به شرح زیر دارد:

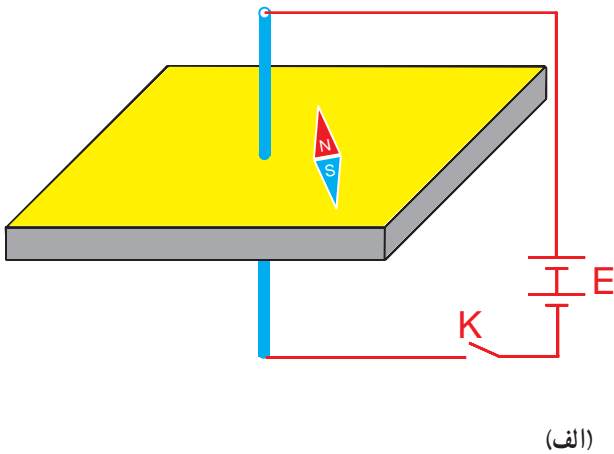
میدان مغناطیسی در هر نقطه از اطراف سیم، کمیتی برداری است و بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد، مماس بوده و جهت آن همسو با خطوط میدان است.

— خطوط میدان، روی صفحه‌ای قرار دارند که بر محور سیم جریان دار عمود است.

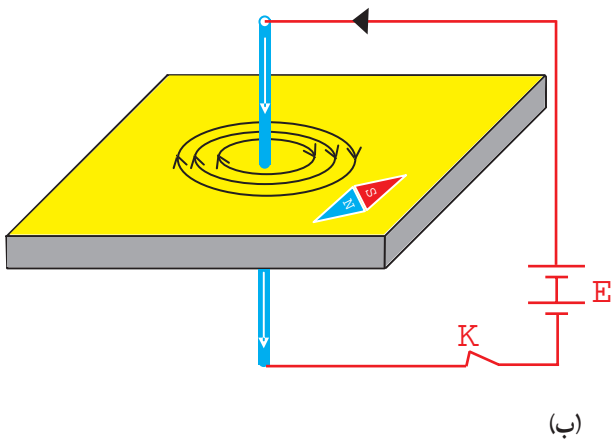
— خطوط میدان، در نزدیکی سیم متراکم‌تر از دیگر قسمت‌هاست. بنابراین، میدان در نزدیکی سیم قوی‌تر از دیگر قسمت‌های آن است.

— 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 جریان دار را نشان خواهند داد (شکل ۱-۵).

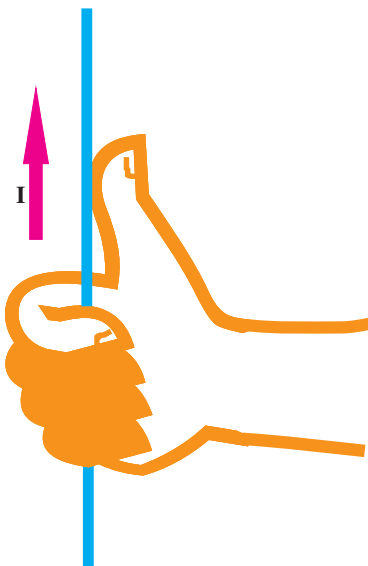


(الف)



(ب)

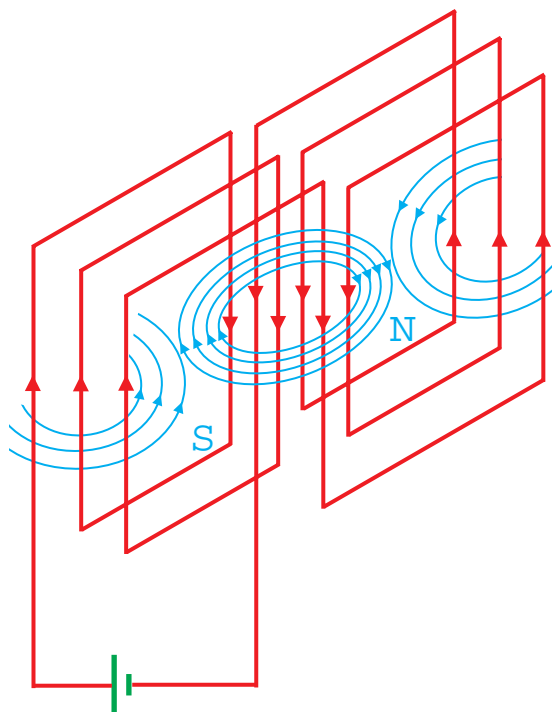
شکل ۱-۴ — آزمایش ارستد



شکل ۱-۵ — تعیین جهت میدان اطراف سیم راست

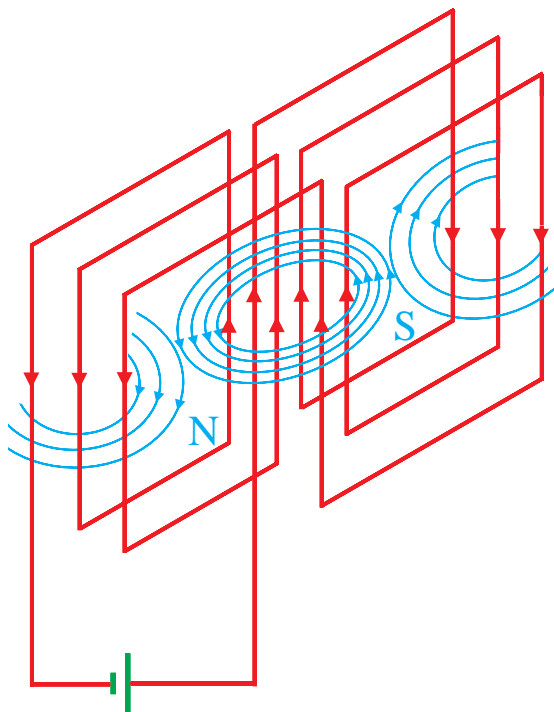
۲-۱-۱- قطب‌های ایجادشده در استاتور

ماشین‌های الکتریکی: هادی‌های الکتریکی سطح استاتور، به صورت بازوهای سیم پیچ مسطح، سری شده و مجموعاً یک گروه کلاف سیم پیچی را تشکیل می‌دهند. در این وضعیت، میدان مغناطیسی هادی‌های هم جهت، جمع شده و میدان مغناطیسی قوی‌تری را در مرکز سیم پیچ به وجود می‌آورند. تقویت میدان مغناطیسی در سطح استاتور، باعث افزایش نیروی اعمال شده بر هادی‌های جریان دار رتور شده و با تقویت گشتاور موتور، قدرت آن افزایش می‌یابد (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶ ایجاد میدان قوی با سیم‌های جریان دار هم جهت

اگر جهت جریان الکتریکی در بازوهای سیم پیچ‌ها عوض شود، موقعیت قطب‌های مغناطیسی S و N عوض می‌شود (شکل ۱-۷).

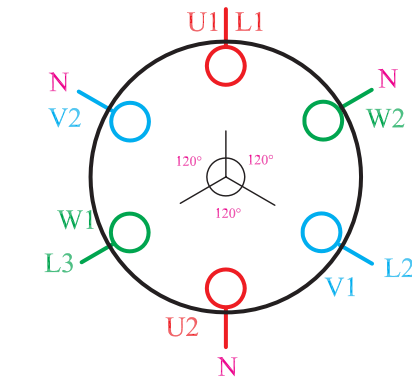


شکل ۱-۷ تعویض موقعیت قطب‌های NS با تغییر جهت جریان

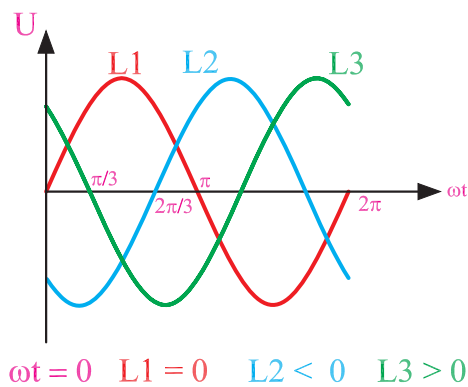
۲-۱- ایجاد میدان دوار توسط جریان سه فاز

با توجه به این که اختلاف فاز ولتاژها بین خطوط در شبکه سه فاز، 120° درجه الکتریکی است، سیم پیچ فازهای مربوطه در موتورهای سه فاز، با 120° درجه الکتریکی نسبت به هم، در شیارهای استاتور قرار می گیرند. یک موتور سه فاز ۶ شیار را در نظر می گیریم و موقعیت تشکیل قطب ها را با توجه به مقادیر مختلف ωt در فاصله صفر تا 36° درجه، در سطح استاتور بررسی می کنیم. در شکل های داده شده، جریان مربوط به ولتاژهای منفی را «خروجی» و جریان مربوط به ولتاژهای مثبت را «ورودی» در نظر می گیریم.

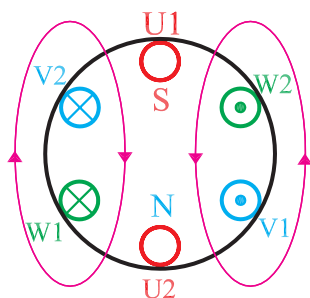
۲ سرگروه کلاف های مربوط به سیم پیچ اول (U_1 و U_2) را با فاز L_1 ، سیم پیچ دوم (V_1 و V_2) را با L_2 و سیم پیچ سوم (W_1 و W_2) را با فاز L_3 ، تغذیه می کنیم (شکل ۸-۱-الف).



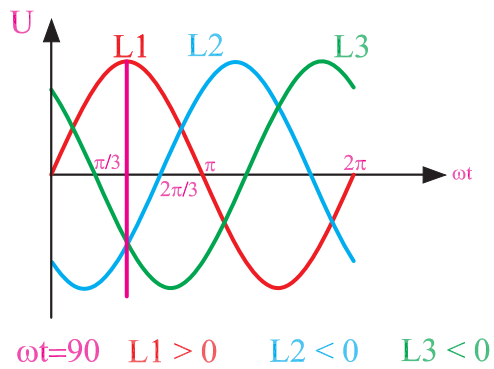
شکل ۸-۱-الف - موتور سه فاز ۶ شیار



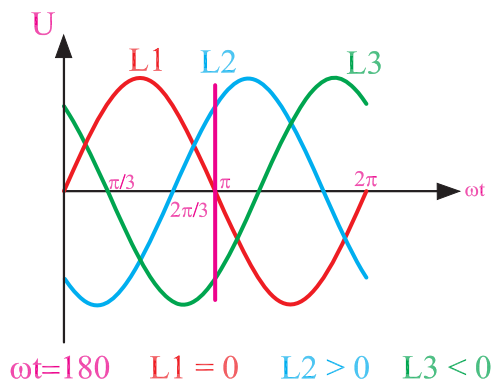
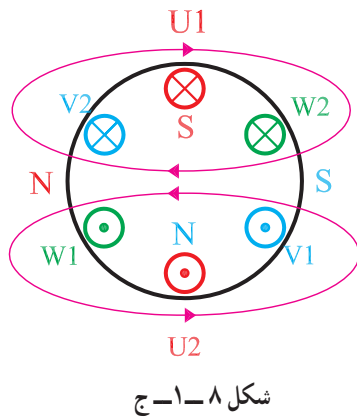
در موقعیت $L_1 = 0$ ، $L_2 < 0$ و $L_3 > 0$ فازها، قطب سازی و جهت جریان در کلاف ها، مطابق شکل ۸-۱-ب خواهد شد. به علت صفر بودن دامنه فاز L_1 ، در سیم پیچ اول جریانی وجود ندارد.



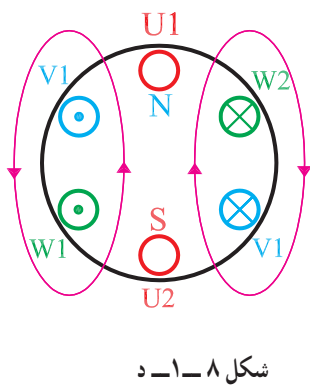
شکل ۸-۱-ب

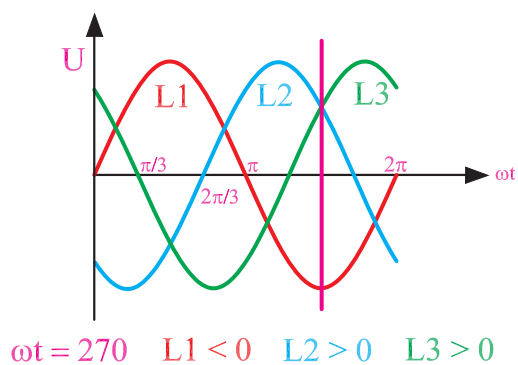


در موقعیت $L_1 > 0, L_2 < 0, L_3 < 0$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸-۱-ج خواهد شد.

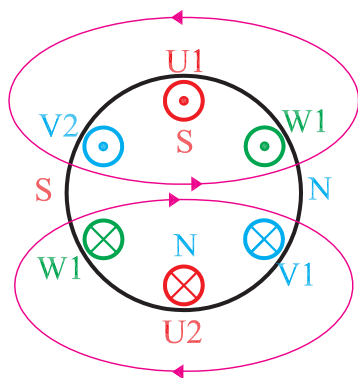


در موقعیت $L_1 = 0, L_2 > 0, L_3 < 0$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸-۱-د خواهد شد. به علت صفر بودن دامنه فاز اول در سیم پیچ U_1 ، جریان صفر خواهد بود.

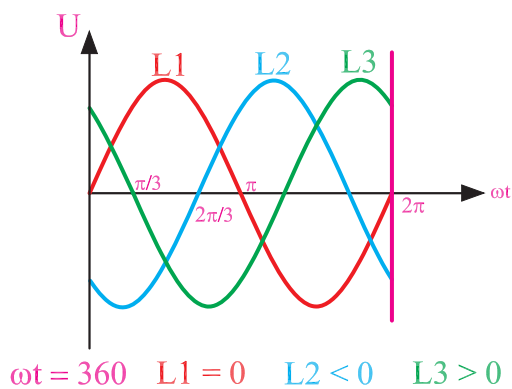




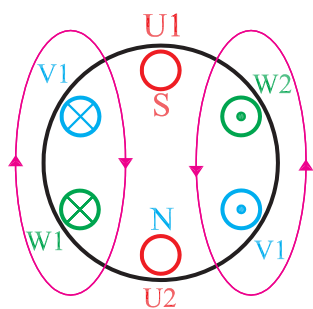
در موقعیت $L_1 < 0, L_2 > 0, L_3 > 0$ و فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸-۱-ه خواهد شد.



شکل ۸-۱-ه



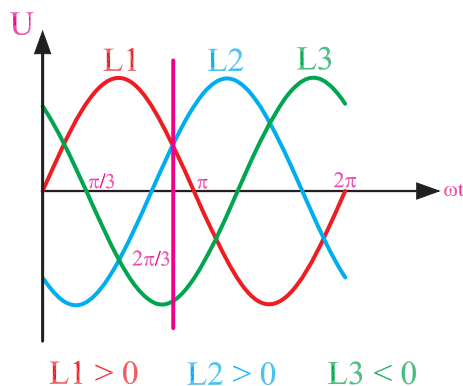
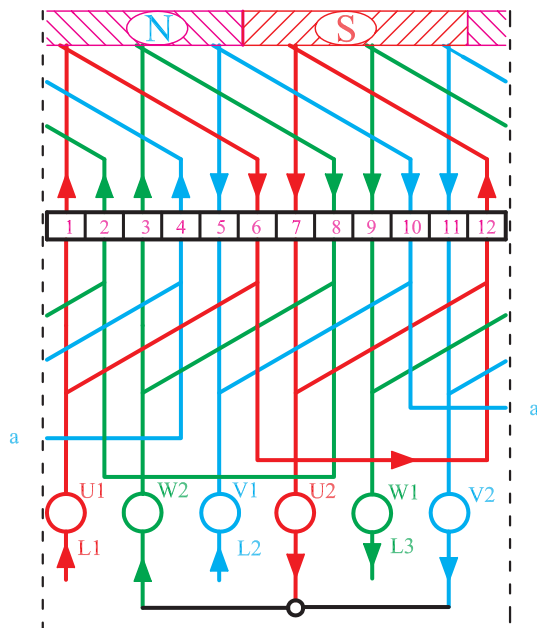
در موقعیت $L_1 = 0, L_2 < 0, L_3 > 0$ و فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸-۱-و خواهد شد.



شکل ۸-۱-و

در بخش‌های مختلف شکل ۸-۱ مشاهده می‌شود که با تغییر متغیر ωt از 0° تا 360° 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 $\omega t = f \times 360^\circ$ 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 ωt ، حوزه مغناطیسی دواری در سطح استاتور تشکیل می‌شود که سرعت گردش آن با فرکانس جریان متناوب، نسبت مستقیم دارد.



شکل ۹-۱ ایجاد دو قطب در سطح استاتور

۱-۲-۱ ایجاد میدان دوار ۲ قطبی توسط جریان

متناوب سه فاز: یک موتور سه فاز ۱۲ شیار را در نظر می‌گیریم. برای هر فاز، دو کلاف را به گونه‌ای در نظر می‌گیریم که بازوی آن‌ها ۵ شیار از هم فاصله داشته باشد. سطح استاتور را به سه قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم و فاصله‌های به دست آمده بازوی کلاف‌های مربوط به فازها را درون شیارهای استاتور قرار می‌دهیم. در لحظه‌ای خاص از جریان متناوب سه فاز، مسیر جریان را درون بازوی کلاف‌ها تعقیب می‌کنیم. بازوهایی را که جهت جریان یکسانی دارند، دسته‌بندی می‌کنیم و هر مجموعه به دست آمده را به یک قطب اختصاص می‌دهیم (شکل ۹-۱).

۲-۱-۱ ایجاد میدان دوار ۴ قطبی توسط جریان

متناوب سه فاز: یک موتور ۲۴ شیار را در نظر می‌گیریم. گام

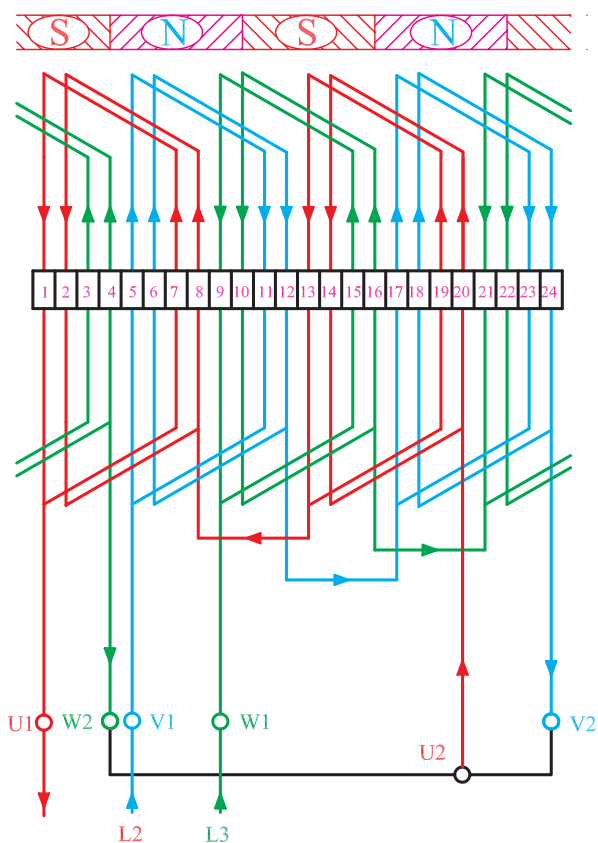
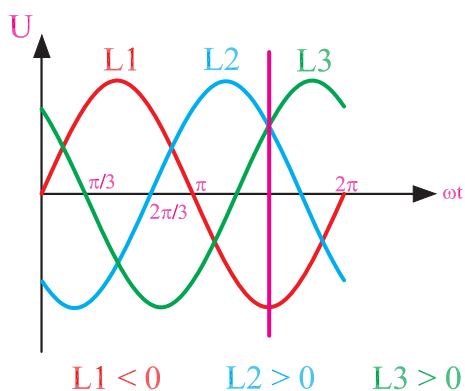
کلاف‌ها را به اندازه یک چهارم سطح استاتور ($Y = \frac{24}{4} = 6$)

منظور می‌کنیم و مطابق شکل ۱-۱۰ برای یک لحظه از موقعیت

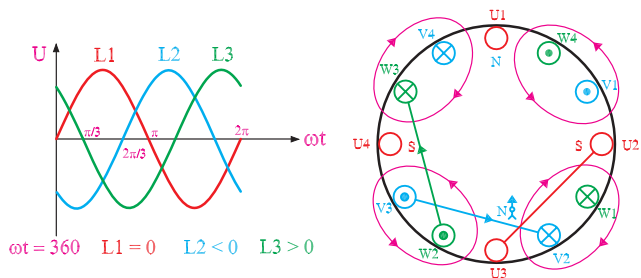
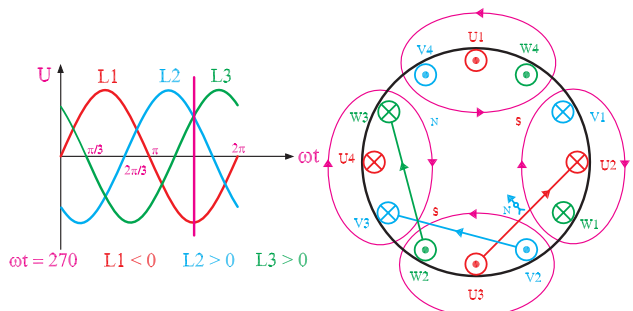
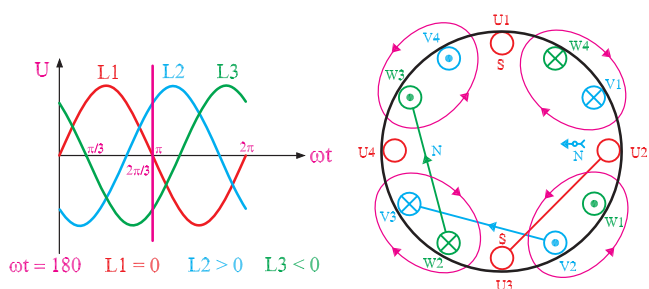
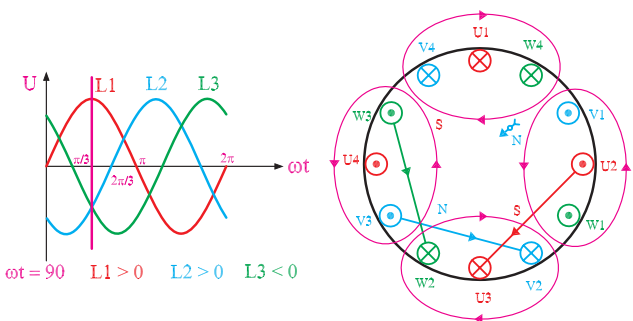
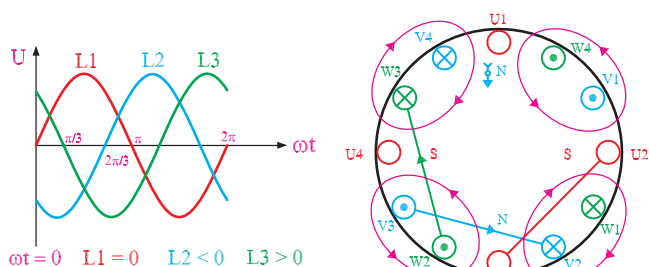
فازها، مسیر جریان الکتریکی هر سه فاز را در داخل کلاف‌ها

رسم کرده و تعداد قطب‌های تشکیل شده را با توجه به جهت

جریان در بازوی کلاف‌ها، به دست می‌آوریم.



شکل ۱-۱۰



شکل ۱۱-۱- جابه‌جایی میدان مغناطیسی در موتور ۴ قطب

در شکل ۹-۱ دیدیم که گام کلاف تقریباً برابر نصف شیارها بوده و ۲ قطب در سطح استاتور تشکیل می‌شود. در شکل ۱۰-۱ با در نظر گرفتن گام کلاف برابر یک چهارم شیارها، در سطح استاتور ۴ قطب به وجود می‌آید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت:

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

— تأثیر تعداد قطب‌ها بر سرعت گردش حوزه دوار:

در موتورهای ۲ قطب با تغییر زاویه الکتریکی جریان، به اندازه‌ی 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 به تغییر ωt و جهت جریان‌ها و براساس قاعده دست راست، قطب‌ها را تشکیل می‌دهیم. با ۲ برابر شدن قطب‌ها، جابه‌جایی (سرعت گردش) میدان مغناطیسی نصف می‌شود (شکل ۱۱-۱). بنابراین:

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

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 ۱۲-۱ الف

۳-۲-۱ 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 موتورهای را در دقیقه بیان می‌کنند و روی پلاک موتورهای، تعداد دور در دقیقه را به صورت R.P.M می‌نویسند (شکل ۱۲-۱ 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:

$$N_s = \frac{f \times 120}{2P}$$

که در آن:

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

دقیقه

f = فرکانس جریان متناوب (هرتز Hz)

$2P$ = 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 به صورت روبرو بیان می‌کنند:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \quad (\text{درصد لغزش})$$

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

که در آن N_r = دور رتور است.

بنابراین، سرعت رتور را می‌توان از رابطه روبرو به دست

آورد:

حل:

$$f = 50 \text{ Hz} \text{ و } \%S = \%4$$

$$N_s = \frac{f \times 120}{2P}$$

$$N_r = \frac{50 \times 120}{2} = 3000 \text{ R.P.M}$$

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

$$N_r = 3000 (1 - 0.04) = 2880 \text{ R.P.M}$$

مثال: یک موتور ۲ قطب در فرکانس ۵۰ هرتز شبکه

کار با لغزش ۴ درصد کار می کند. مطلوب است:

۱- سرعت سنکرون در هر دقیقه

۲- دور رتور در هر دقیقه

مثال: سرعت گردش رتور یک موتور سه فاز ۴ قطب

۱۴۱۰ دور در دقیقه است. اگر فرکانس شبکه ۵۰ هرتز باشد،

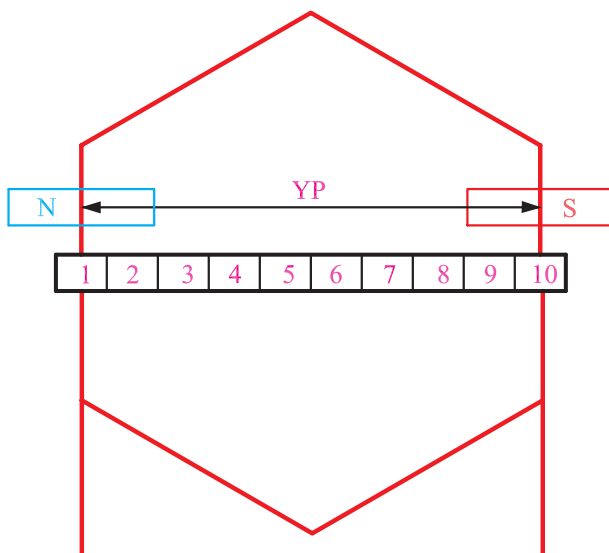
لغزش موتور چند درصد است؟

حل:

$$N_r = 1410 \text{ R.P.M}, f = 50 \text{ Hz}$$

$$N_s = \frac{f \times 120}{2P} = \frac{50 \times 120}{400} = 1500 \text{ [R.P.M]}$$

$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 = \frac{1500 - 1410}{1500} \times 100 = \%6$$



شکل ۱۲-۱-ب- نمایش گام قطبی

۳-۱- اصطلاحات و روابط نقشه کشی سیم پیچی استاتور الکتروموتورها

در سیم بندی استاتور الکتروموتورها، تعداد شیارهای

استاتور را با Z نشان می دهند. تعداد شیارها در موتورهای سه فاز،

اغلب مضربی از عدد ۶ است. بیشتر موتورهای سه فاز مورد

استفاده در صنعت، به صورت $Z = 24$ ، $Z = 36$ و $Z = 48$

شیار طراحی می شوند.

۳-۱-۱- گام قطبی (Y_p): گام قطبی تعداد

شیارهایی از استاتور است که به وسیله یک قطب پوشش داده

می شوند. گام قطبی را با Y_p نشان می دهیم (شکل ۱۲-۱-ب) و

مقدار آن را از رابطه زیر محاسبه می کنیم:

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

که در آن :

$Z =$ تعداد شیارها و $2P =$ 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 ۳۶ شیار ۴ قطب را

به‌دست آورید.

$$Z = 36, 2P = 4$$

حل:

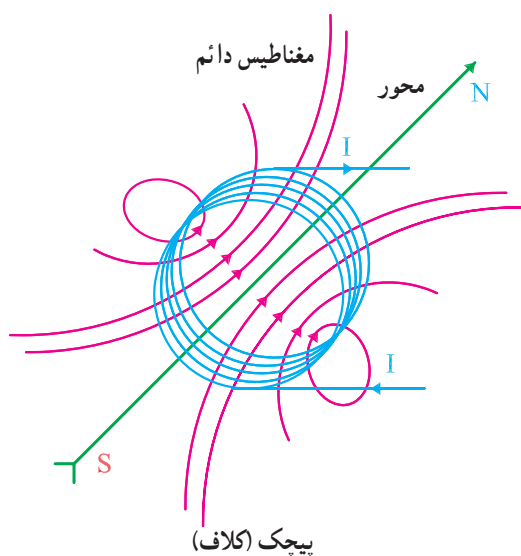
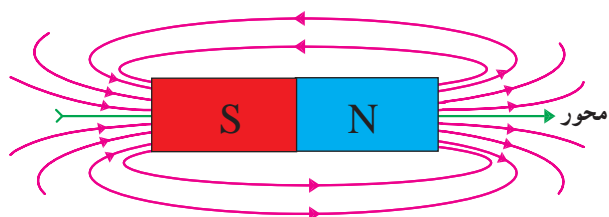
$$Y_P = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9$$

چون یکی از بازوهای کلاف در شیار شماره ۱ قرار

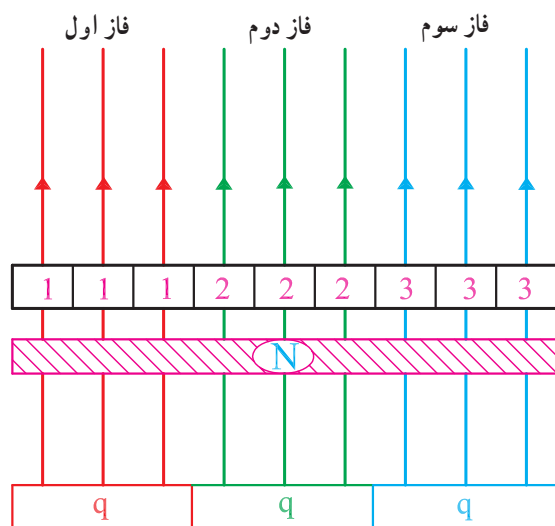
می‌گیرد، بازوی بعدی آن در شیار $1 + 9 = 10$ قرار خواهد گرفت.

۲-۳-۱- 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 ۱-۱۳ الف).



شکل ۱-۱۳ الف - نمایش محور مغناطیسی در مغناطیس دائم و پیچ



شکل ۱-۱۳ ب

۳-۳-۱- 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 ۱-۱۳ ب).

$$q = \frac{Z}{2P \cdot m}$$

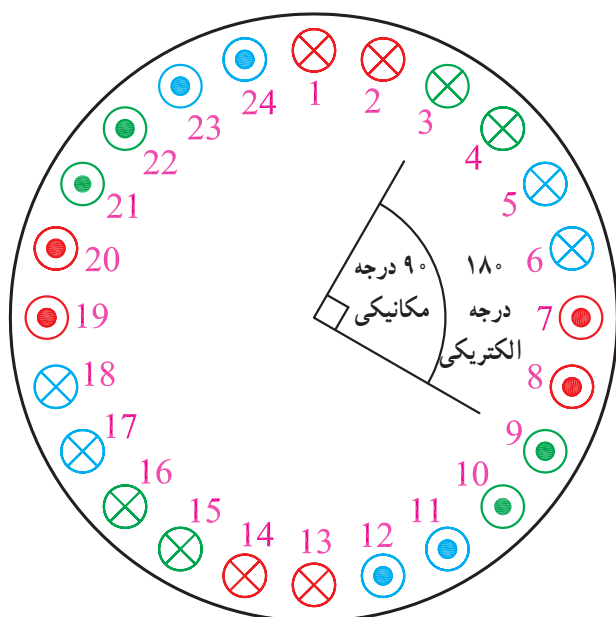
مثال: استاتور یک موتور سه فاز ۲۴ شیار، ۴ قطب

دارد. تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب را به‌دست آورید.

حل:

$$Z = 24, m = 3, 2P = 4$$

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



شکل ۱۳-۱ ج

۴-۳-۱- زاویه الکتریکی بین شیاریها: اختلاف

زاویه الکتریکی هر شیار را از شیار مجاور آن، زاویه الکتریکی شیاریها می نامند و آن را با α_{ez} نشان می دهند. از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z}$$

که در آن:

P = نصف قطبها و Z = تعداد شیاریهای استاتور

است (شکل ۱۳-۱ ج).

۵-۳-۱- زاویه مکانیکی بین شیاریها: از تقسیم

36° درجه به تعداد شیاریها، زاویه مکانیکی بین دو شیار به دست می آید. این زاویه را با α_{mz} نشان می دهند. زاویه مکانیکی بین شیاریها از رابطه زیر به دست می آید (شکل ۱۳-۱ ج):

$$\alpha_{mz} = \frac{36^\circ}{Z}$$

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

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

مثال: استاتور یک الکتروموتور سه فاز، ۳۶ شیار دارد.

زاویه الکتریکی و زاویه مکانیکی شیاریها را برای حالت های ۲، ۴ و ۶ قطب به دست آورید.

حل:

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

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z}$$

$$2P = 2 \Rightarrow P = 1$$

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

$$2P = 4 \Rightarrow P = 2$$

$$\alpha_{ez} = \frac{2 \times 36^\circ}{36} = 2^\circ \quad \alpha_{mz} = \frac{36^\circ}{36} = 1^\circ$$

$$2P = 6 \Rightarrow P = 3$$

$$\alpha_{ez} = \frac{3 \times 36^\circ}{36} = 3^\circ \quad \alpha_{mz} = \frac{36^\circ}{36} = 1^\circ$$

ملاحظه می شود α_{ez} با تعداد قطب متناسب است ولی

α_{mz} مستقل از تعداد قطب است.

۶-۳-۱- گام سیم‌بندی: تعداد شیارهای موجود بین

دو بازوی یک کلاف را گام سیم‌بندی می‌گویند و آن را با Y_Z نشان می‌دهند. اندازه Y_Z از رابطه روبرو به دست می‌آید:

$$Y_Z = y_p \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

که در آن:

$$Y_p = \text{گام قطبی}$$

$$n = \text{شماره هارمونی (در سیم‌بندی گام کسری درباره آن}$$

بحث خواهیم کرد) است.

۷-۳-۱- گام فازی: گام فازی، تعداد شیارهایی است

که بین شروع دو فاز قرار دارند. گام فازی را با Y_{Ph} نشان

می‌دهند. در موتورهای سه فاز، بین فازها 120° درجه الکتریکی

اختلاف فاز وجود دارد. از آن جا که یک گام قطبی 180°

درجه الکتریکی است، لذا در موتورهای سه فاز، گام فازی مساوی

$$\frac{2}{3} \text{ گام قطبی است.}$$

$$Y_{Ph} = \frac{2}{3} Y_p$$

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:

$$Y_{Ph} = \frac{2}{3} Y_p = \frac{120^\circ}{\alpha_{ez}}$$

با توجه به گام فازی، می‌توان شیارهای شروع فازها را در

یک موتور سه فاز مشخص کرد.

شیار شماره ۱ = شروع فاز

$$\text{شیار شماره } V_1 = 1 + Y_{Ph} = 1 + \frac{120^\circ}{\alpha_{ez}}$$

$$\text{شیار شماره } W_1 = 1 + 2Y_{Ph} = 1 + \frac{240^\circ}{\alpha_{ez}}$$

حل:

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

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

مثال: با فرض کردن یک الکتروموتور سه فاز ۳۶ شیار ۴

قطب، معین کنید فازهای این الکتروموتور از کدام شیارهای

استاتور شروع می‌شوند.

$$U_1 = 1$$

$$V_1 = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{12^\circ}{2^\circ} = 7$$

$$W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{2^\circ} = 13$$

حل:

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{2 \times 36^\circ}{24} = 3^\circ$$

$$U_1 = 1$$

$$V_1 = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{12^\circ}{3^\circ} = 5$$

$$W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{24^\circ}{3^\circ} = 9$$

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

۴-۱- سیم‌بندی یک طبقه استاتور الکتروموتورها

در دروس گذشته آموختیم که اگر در هر شیار استاتور، یک بازو از کلاف‌های سیم‌پیچی قرار بگیرد، سیم‌پیچی رایک طبقه می‌نامند. سیم‌بندی یک طبقه موتورهای سه فاز به صورت زیر انجام می‌شود:

– سیم‌بندی یک طبقه با گام کامل

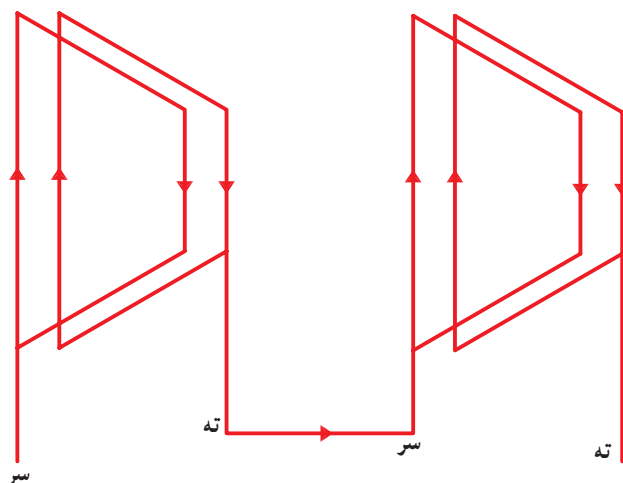
– سیم‌بندی یک طبقه با گام کسری

۴-۱-۱ سیم‌بندی یک طبقه با گام کامل:

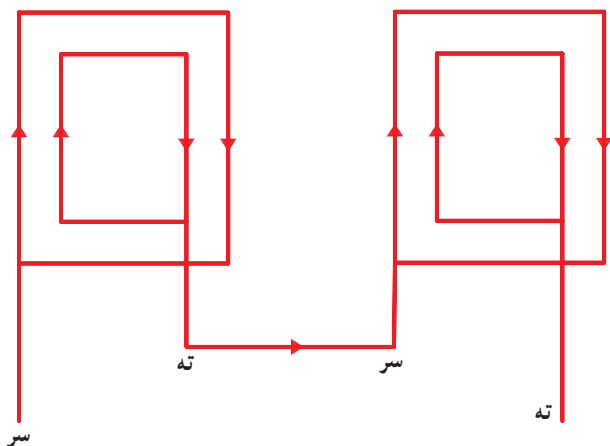
در سیم‌بندی یک طبقه با گام کامل، گام سیم‌پیچی با گام قطبی برابر است $(Y_Z = Y_P)$. این نوع سیم‌پیچی معمولاً به ازای زوج قطب انجام می‌شود.

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

در سیم‌پیج‌های به ازای 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 به صورت قسمت‌های الف و ب شکل ۱۴-۱ خواهد بود.

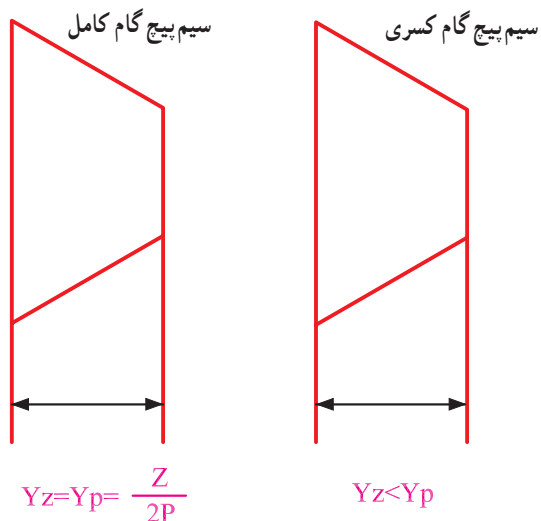


الف – اتصال نزدیک در گروه کلاف‌های مساوی

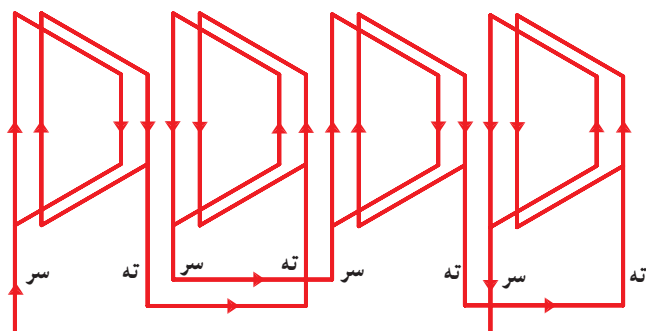


ب – اتصال نزدیک در گروه کلاف‌های متحدالمرکز

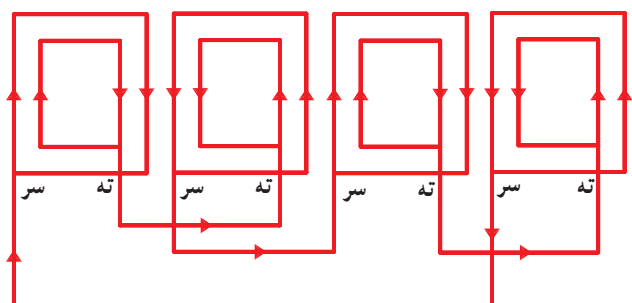
شکل ۱۴-۱ – اتصال نزدیک گروه کلاف‌ها ($G = P$)



شکل ۱-۱۵ — مقایسه سیم پیچی گام کسری با سیم پیچ گام کامل



شکل ۱-۱۶ — اتصال دور (با فاصله) در سیم پیچی کلاف مساوی $G = 2P$ (۴ قطب و ۴ گروه کلاف)



شکل ۱-۱۷ — اتصال دور (با فاصله) در سیم پیچی کلاف متحدالمرکز $G = 2P$ (۴ قطب با ۴ گروه کلاف)

۲-۴-۱ — سیم پیچی یک طبقه با گام کسری: یکی

از روش های متداول در سیم پیچی موتور یک طبقه، روش گام کسری است. این روش در مقایسه با روش گام کامل، دارای مزایایی به شرح زیر است:

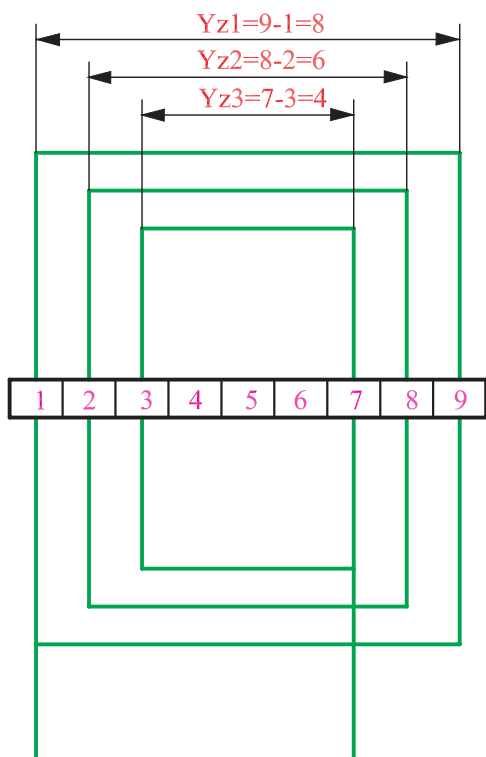
- ۱- کاهش سیم مصرفی
 - ۲- کاهش مقاومت اهمی سیم پیچ های موتور و کاهش تلفات اهمی رتور
 - ۳- افزایش بازده موتور
 - ۴- کاهش لرزش های موتور
 - ۵- افزایش عمر موتور
- در شکل ۱-۱۵ سیم بندی گام کسری و گام کامل یک موتور با یکدیگر مقایسه شده است.

در سیم بندی گام کسری، بیشتر از سیم پیچی به ازای قطب استفاده می شود. به بیانی دیگر، تعداد گروه کلاف ها در هر فاز برابر با تعداد قطب هاست ($G = 2P$).

در سیم پیچی موتور ها به ازای قطب، اتصال کلاف ها به یکدیگر از نوع اتصال دور (با فاصله) است. در اصطلاح موتور پیچ ها، کلاف های هر فاز با اتصال سر به سر و ته به ته با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند. شکل ۱-۱۶ سیم بندی گام کسری را با کلاف های مساوی نشان می دهد. ملاحظه می شود که تعداد گروه کلاف ها با تعداد قطب ها برابرند. در شکل ۱-۱۷ سیم بندی به ازای قطب، به روش گام کسری با کلاف های متحدالمرکز مشاهده می شود.

۱-۵-۱ انواع سیم‌بندی از لحاظ شکل کلاف‌ها
سیم‌پیچی استاتور الکتروموتورها به ۲ صورت زیر انجام می‌شود:

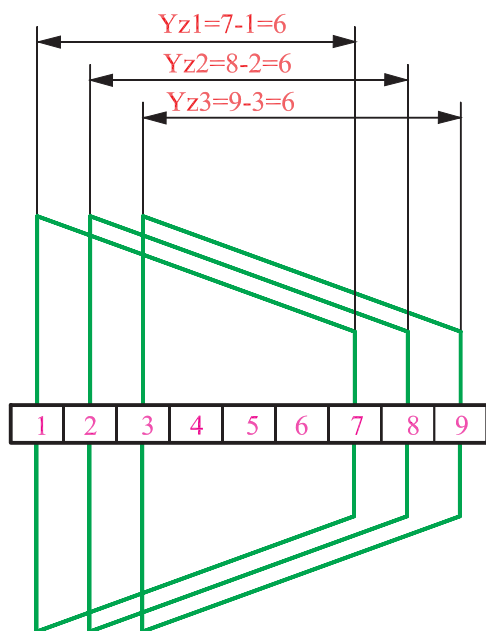
- سیم‌بندی متحد‌المركز
- سیم‌بندی گام مساوی (کلاف مساوی)



شکل ۱-۱۸ - سیم‌بندی متحد‌المركز (گام کلاف‌ها برابر نیستند)

۱-۵-۱-۱ سیم‌بندی متحد‌المركز: در سیم‌پیچی متحد‌المركز، گام کلاف‌ها در یک گروه از کلاف برابر نبوده و کلاف‌ها به گونه‌ای 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 ۱-۱۸).

۱-۵-۲ سیم‌بندی کلاف مساوی: در سیم‌پیچی کلاف مساوی، گام تمام کلاف‌ها در مجموعه سیم‌بندی با هم برابر بوده و برای پیچیدن آن‌ها می‌توان از قالب‌هایی با اندازه مساوی استفاده کرد. در این نوع سیم‌پیچی سیم کمتری در مقایسه با سیم‌پیچی متحد‌المركز 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 ۱-۱۹).



شکل ۱-۱۹ - سیم‌بندی کلاف مساوی (گام کلاف‌ها برابر هستند)

۱-۶ اصول محاسبه دیاگرام الکتروموتورهای آسنکرون سه فاز یک طبقه یک سرعت

دیاگرام های سیم بندی الکتروموتورها را در ۴ مرحله زیر

محاسبه می کنیم :

۱. محاسبات مربوط به رسم دیاگرام

۲. تشکیل جدول سیم بندی

۳. رسم دیاگرام

۴. سربندی و تشکیل قطب های سیم پیچی

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2p \end{smallmatrix}$	U_1 U_2	V_1 V_2	W_1 W_2

شکل ۱-۲۰ تشکیل جدول سیم بندی

۱-۶-۱ محاسبات سیم بندی: در این مرحله، با

استفاده از روابطی که گفته شد، گام قطبی، گام کلاف، زاویه الکتریکی شیارها، تعداد شیارهای هر فاز در زیر هر قطب و شماره شیارهای شروع فازها را تعیین می کنیم.

۱-۶-۲ تشکیل جدول سیم بندی: جدول سیم بندی

(شکل ۱-۲۰) موقعیت U_1 ، V_1 ، W_1 ، U_2 ، V_2 و W_2 را در شیارهای استاتور نشان می دهد.

در تشکیل این جدول به تعداد قطب های موتور ردیف و به تعداد فازها، ستون باز می کنیم. اگر یک موتور سه فاز، ۴ قطب داشته باشد، قسمت اول جدول سیم بندی آن مطابق شکل ۱-۲۰ ترسیم می شود.

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2p \end{smallmatrix}$	U_1 U_2	V_1 V_2	W_1 W_2

شکل ۱-۲۱ تقسیم ستون های هر فاز به q قسمت

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

فرض می کنیم تعداد شیارهای استاتور برای جدول رسم شده، ۳۶ عدد باشد. سپس مقدار q را به دست می آوریم.

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

هر ستون مربوط به هر فاز را در جدول شکل ۱-۲۰ به q

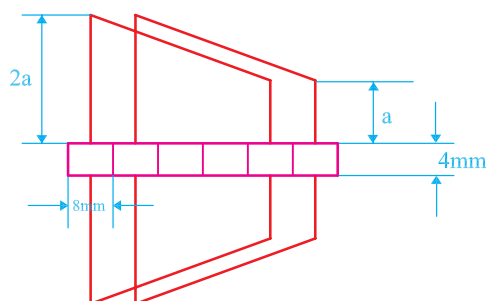
قسمت تقسیم می کنیم (شکل ۱-۲۱).

$\frac{2m}{2p}$	$U_1 \quad U_2$			$V_1 \quad V_2$			$W_1 \quad W_2$		
	1	2	3	7	8	9	13	14	15

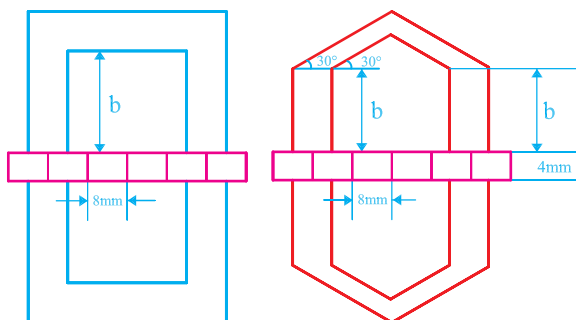
شکل ۱-۲۲- تعیین شیارهای شروع فازها

$\frac{2m}{2p}$	$U_1 \quad U_2$			$V_1 \quad V_2$			$W_1 \quad W_2$		
	1	2	3	7	8	9	13	14	15
$Y_p=9$	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 ۱-۲۳- افزودن گام قطبی به ستونهای جدول و تکمیل آن



شکل ۱-۲۴- ابعاد پیشنهادی دیاگرام گسترده دوزنقه‌ای



شکل ۱-۲۵- ابعاد پیشنهادی دیاگرام گسترده ۶ ضلعی و مستطیل

شیارهای شروع فازها را با محاسبه به دست می آوریم. در ابتدای هر فاز، در ردیف اول می نویسیم و به اندازه q شماره های متوالی آنها را در جدول (شکل ۱-۲۲) منظور می کنیم. برای درج مشخصات در جدول (شکل ۱-۲۱) شیارهای شروع فازها به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$Z = 36, \quad 2P = 4, \quad m = 3$$

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

$$U_1 \rightarrow \text{شروع فاز } 1$$

$$V_1 \rightarrow 1 + \frac{120}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{120}{2} = 7$$

$$W_1 \rightarrow 1 + \frac{240}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{240}{2} = 13$$

ردیف های بعدی جدول را با افزودن یک گام قطبی به شماره های هم ستون ردیف بالا، تکمیل می کنیم.

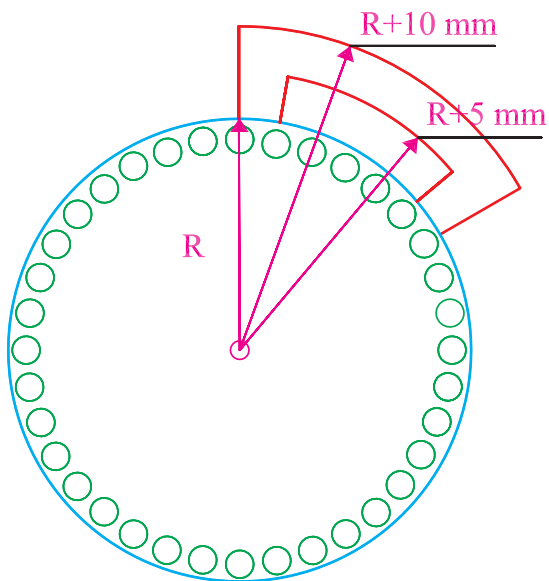
گام قطبی موتوری با مشخصات جدول (شکل ۱-۲۳) را می توان از رابطه زیر به دست آورد و جدول را کامل کرد.

$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9$$

۳-۶-۱- رسم دیاگرام سیم بندی: دیاگرام سیم بندی

را با روش های مختلفی رسم می کنند. در دیاگرام های گسترده، استاتور را برش داده و دیاگرام را به صورت مسطح رسم می کنند. در دیاگرام های مسطح، بازوهای کلاف ها را به صورت دوزنقه (شکل ۱-۲۴) مستطیل یا ۶ ضلعی (شکل ۱-۲۵) رسم می کنند. در دیاگرام های مدور، برش عرضی استاتور را به صورت دایره ای در نظر می گیرند و با استفاده از دوائر اطراف استاتور سیم بندی را رسم می کنند.

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



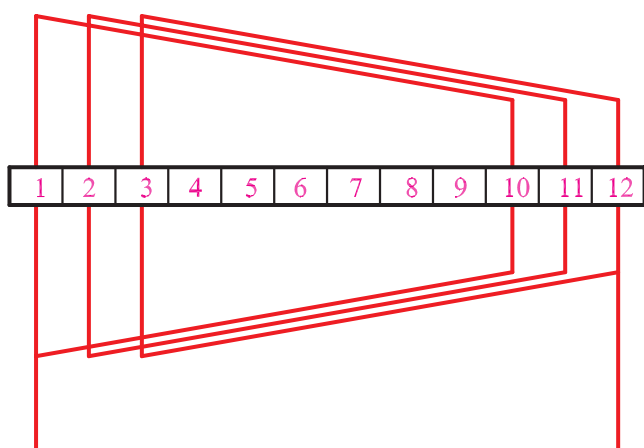
شکل ۱-۲۶ ابعاد پیشنهادی دیاگرام مدور

در رسم دیاگرام‌ها، رعایت اندازه‌های مندرج در شکل‌های ۱-۲۴ و ۱-۲۵ توصیه می‌شود.

$\frac{2m}{2p}$	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

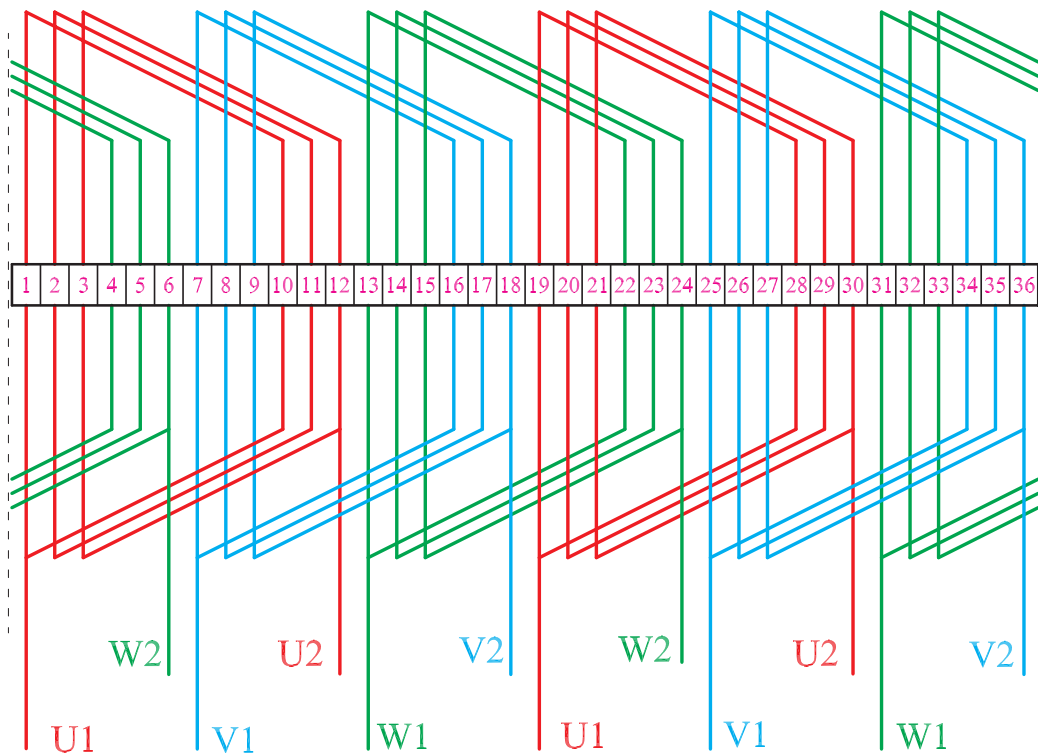
شکل ۱-۲۷

جدول شکل ۱-۲۳ را در نظر می‌گیریم. با توجه به هدایت سیم‌ها در داخل شیارها، ۲ نوع سیم‌بندی کلاف مساوی و متحدالمرکز امکان‌پذیر است. اگر مطابق جدول شکل ۱-۲۷ 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 ۱-۲۸ الف هدایت یک گروه کلاف از سیم‌پیچ U_1 و U_2 را نشان می‌دهد.



الف - یک گروه کلاف

با توجه به قسمت الف شکل ۲۸-۱ محل قرار گرفتن بازوها در شیارهای استاتور مطابق قسمت ب شکل ۲۸-۱ خواهد بود.



ب- تمام کلاف‌ها

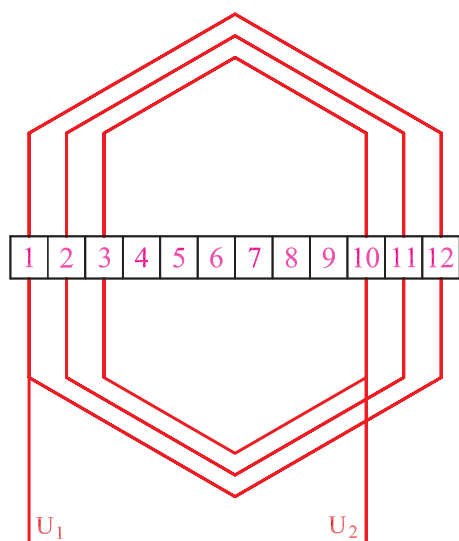
شکل ۲۸-۱- دیاگرام سیم‌بندی کلاف مساوی

<div><div>2m</div><div>2p</div></div>	<div>U₁ U₂</div>	<div>V₁ V₂</div>	<div>W₁ W₂</div>
	<div><div><div>1</div><div>2</div><div>3</div></div><div><div>10</div><div>11</div><div>12</div></div></div>	<div><div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div><div><div>16</div><div>17</div><div>19</div></div></div>	<div><div><div>13</div><div>14</div><div>15</div></div><div><div>22</div><div>23</div><div>24</div></div></div>
	<div><div><div>19</div><div>20</div><div>21</div></div><div><div>28</div><div>29</div><div>30</div></div></div>	<div><div><div>25</div><div>26</div><div>27</div></div><div><div>34</div><div>35</div><div>36</div></div></div>	<div><div><div>31</div><div>32</div><div>33</div></div><div><div>4</div><div>5</div><div>6</div></div></div>

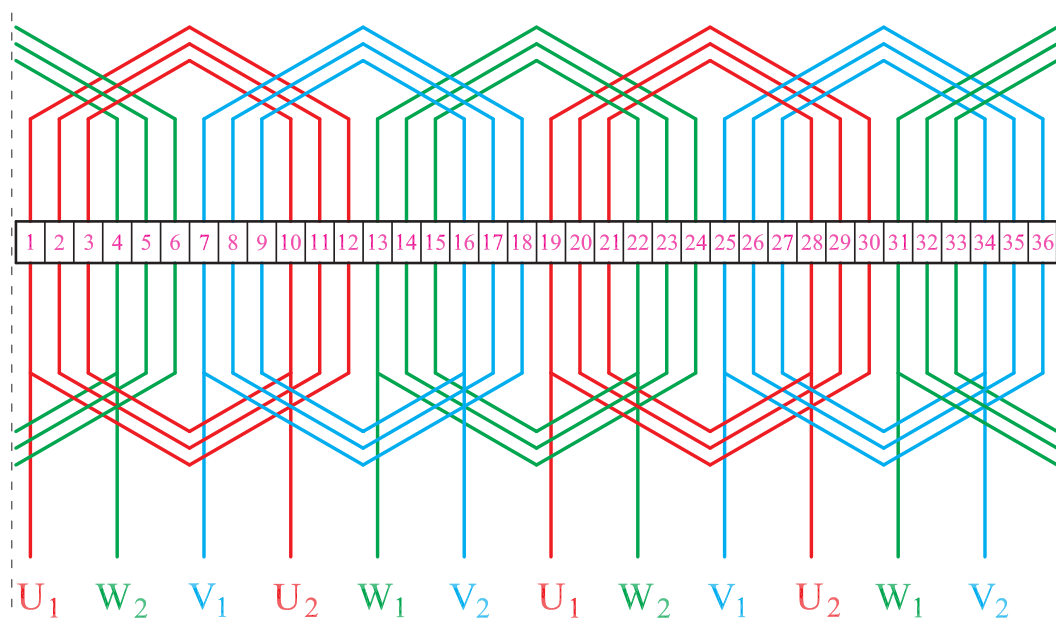
شکل ۲۹-۱

اگر مطابق جدول شکل ۲۹-۱ بازوی کلاف‌های سیم‌پیچ U_1 و U_2 را از ۱ به ۲، ۱۱ به ۳، ۱۰ به ۱۹، ۳۰ به 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 ۳۰-۱ الف یک گروه کلاف از سیم‌پیچ U_1 و U_2 در سیم‌بندی متحدالمرکز را نشان می‌دهد.

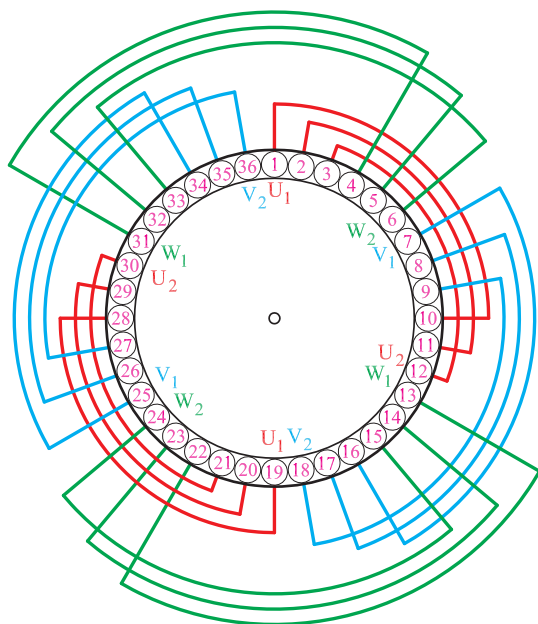
با در نظر گرفتن جدول شکل ۱-۲۹ موقعیت بازوی کلاف‌ها در هر سه فاز مطابق با شکل ۱-۳۰- ب خواهد شد.



شکل ۱-۳۰- الف - یک گروه کلاف



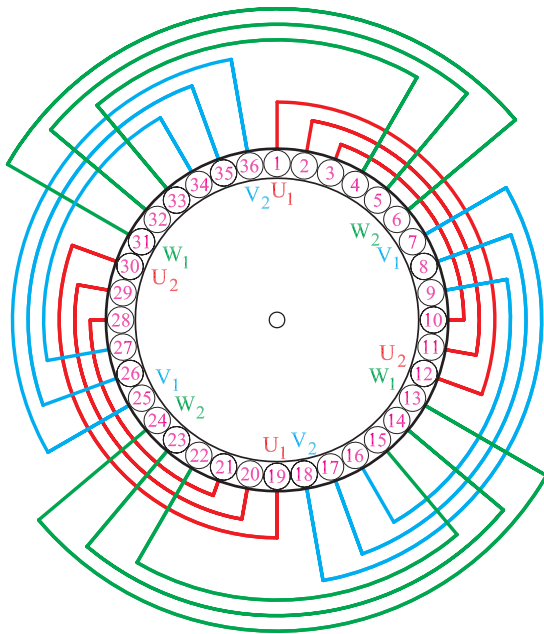
شکل ۱-۳۰- ب - تمام کلاف‌های دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز



موقعیت بازوهای کلاف‌ها در داخل شیارها را می‌توان به صورت دیاگرام مدور نشان داد. در شکل ۱-۳۱ دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف مساوی مربوط به شکل ۱-۲۸ مشاهده می‌شود.

شکل ۱-۳۱- دیاگرام مدور کلاف مساوی

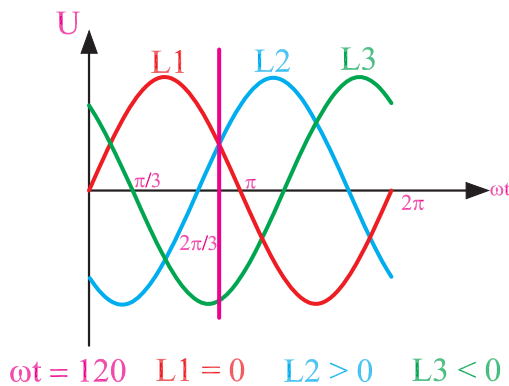
دیاگرام مدور سیم پیچی کلاف متحدالمرکز مربوط به شکل ۱-۳۰ به صورت شکل ۱-۳۲ رسم می شود.



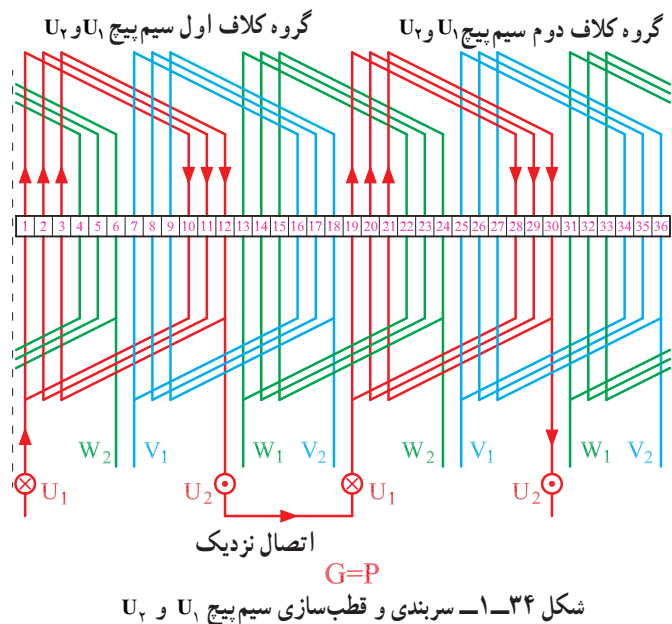
شکل ۱-۳۲- دیاگرام مدور کلاف متحدالمرکز

۴-۶-۱- سربندی و تشکیل قطبها: برای سربندی گروه کلافهای هر فاز، به تعداد گروه کلافها در هر فاز مراجعه می کنیم و اگر $G = P$ باشد، از اتصال نزدیک استفاده می کنیم. 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 نزدیک است ($G = P$).

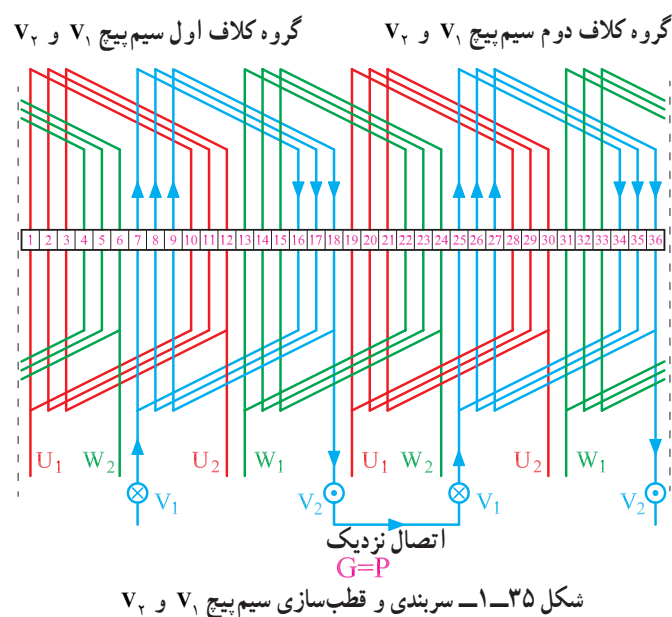
برای قطب سازی، معمولاً یک لحظه از منحنی سه فاز را که تغذیه کننده موتور است، در نظر می گیرند و با توجه به موقعیت فازها، جریانهای مثبت را ورودی (درونسو) با علامت \otimes و جریانهای منفی را خروجی (برونسو) با علامت \odot منظور می کنیم. فرض می کنیم در موقعیت $\omega t = 120^\circ$ ، منحنی سه فاز قرار گرفته ایم که فاز L_1 و L_2 در نیم سیکل مثبت قرار گرفته و جریانهای درونسو تولید می کنند و فاز L_3 نیز در نیم سیکل منفی قرار دارد و جریان برونسو برقرار می کند (شکل ۱-۳۳).



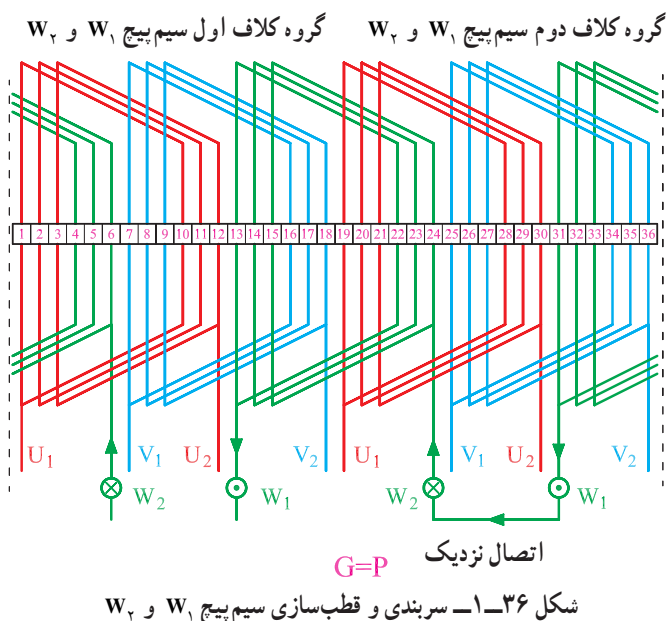
شکل ۱-۳۳



سربندی گروه کلاف‌های سیم پیچ U_1 و U_2 با اتصال نزدیک در سیم‌بندی کلاف مساوی، مطابق شکل ۱-۳۴ است. مشاهده می‌شود که انتهای گروه کلاف اول سیم پیچ U_1 و U_2 که از شیار ۱۲ خارج شده است، به ابتدای گروه کلاف دوم این سیم پیچ که از شیار شماره ۱۹ وارد می‌شود، وصل شده است. در واقع، اتصال ته به سر صورت گرفته که آن را اتصال نزدیک می‌نامیم.



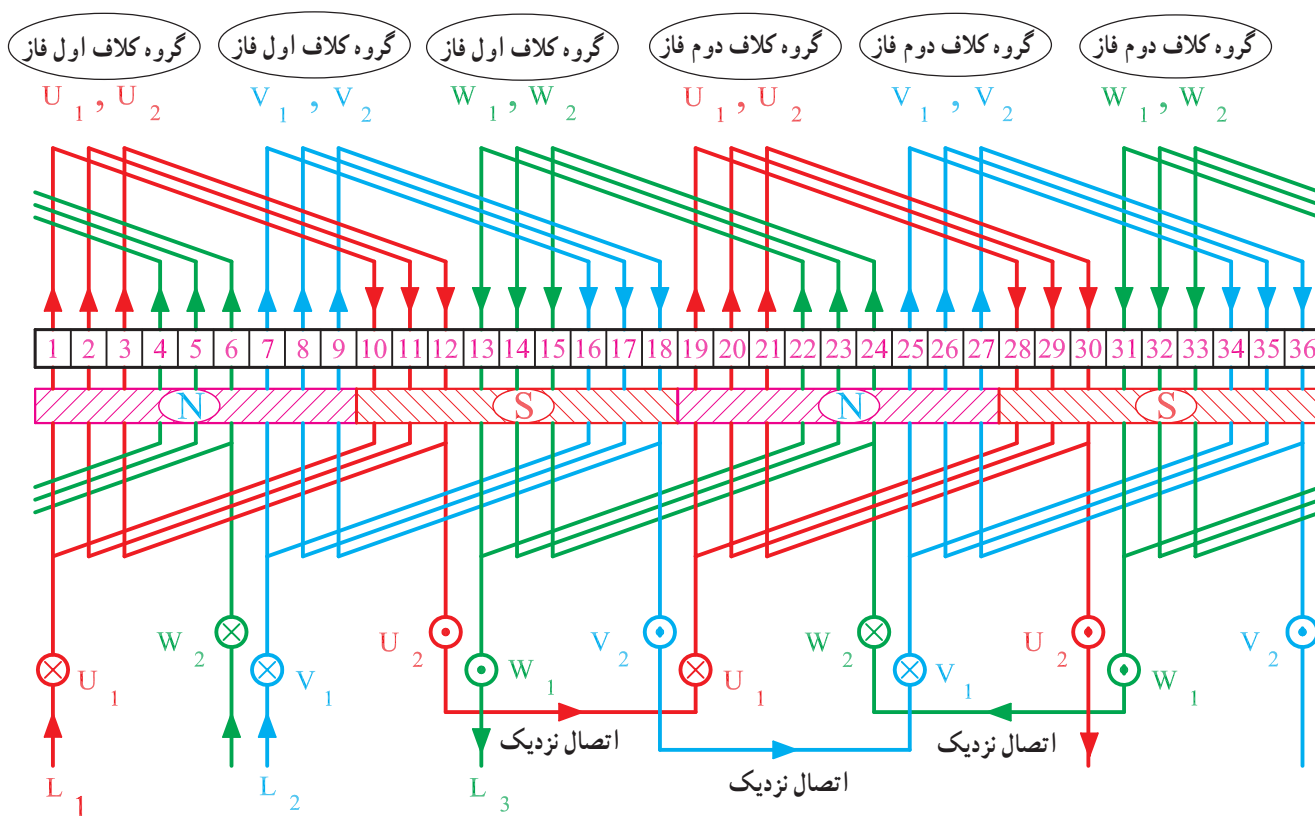
سربندی گروه کلاف‌های سیم پیچ V_1 و V_2 به صورت شکل ۱-۳۵ انجام می‌شود. گروه اول، از شیار ۷ وارد شده، از شیار ۱۹ خارج می‌شوند و در شیار ۲۵ به ابتدای گروه کلاف دوم سیم پیچ V_1 و V_2 وصل می‌شوند. در نهایت ورودی سیم پیچ V_1 و V_2 از شیار ۷ شروع شده و خروجی آن از شیار ۳۶ بیرون می‌آید.



سربندی گروه کلاف‌های سیم پیچ W_1 و W_2 به صورت شکل ۱-۳۶ انجام می‌شود. گروه اول از شیار ۱۳ وارد شده از شیار ۲۴ خارج می‌شود و در شیار ۳۳ به ابتدای گروه کلاف دوم سیم پیچ W_1 و W_2 وصل می‌شود. در نهایت، ورودی سیم پیچ W_1 و W_2 از شیار ۱۳ شروع شده و خروجی آن از شیار ۶ بیرون می‌آید.

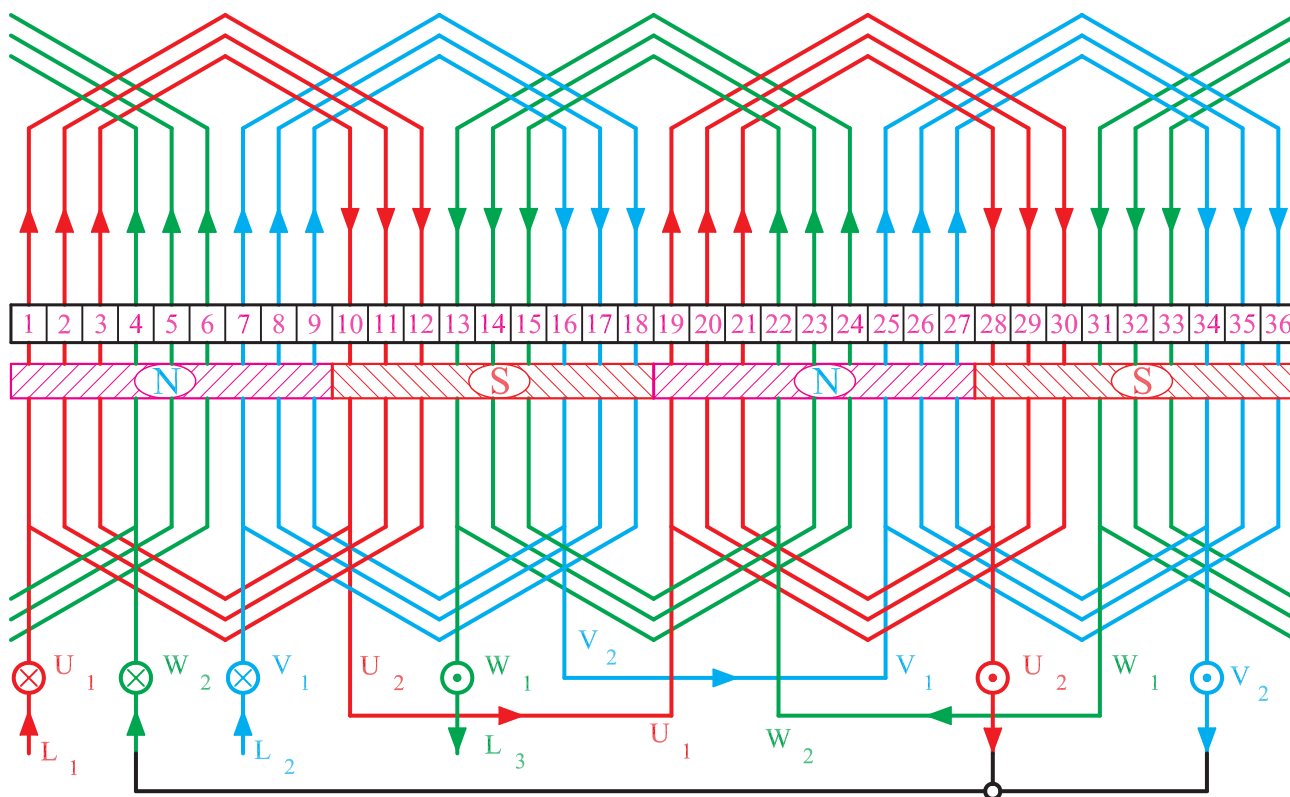
در شکل ۱-۳۷ سربندی کامل سیم‌پیچی موتور به صورت کلاف مساوی نشان داده شده است. در این شکل، ارتباط گروه کلاف‌های سه فاز در یک جا نشان داده است. ورودی برق سه فاز L_1, L_2, L_3 به U_1, V_1, W_1 متصل شده است. در این شکل، موقعیت $L_1 > 0$ و $L_2 > 0$ ، $L_3 < 0$ به این ترتیب، بازوهای شیارهای ۱ تا ۹ یکی است 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

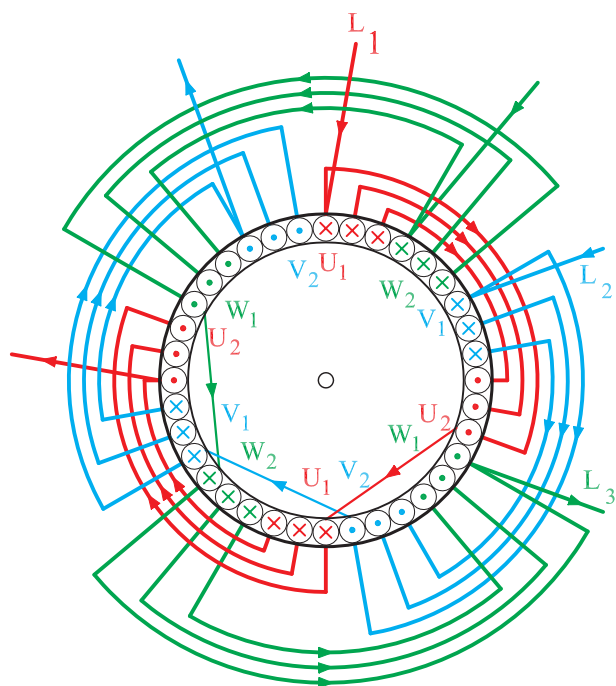


شکل ۱-۳۷- سربندی و قطب‌سازی کامل سه‌فاز یک موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ‌های گام مساوی

شکل ۳۸-۱ سربندی و قطب‌سازی کامل موتور سه فاز
 ۳۶ شیار ۴ قطب با اتصال نزدیک به روش ترسیم ۶ ضلعی 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.

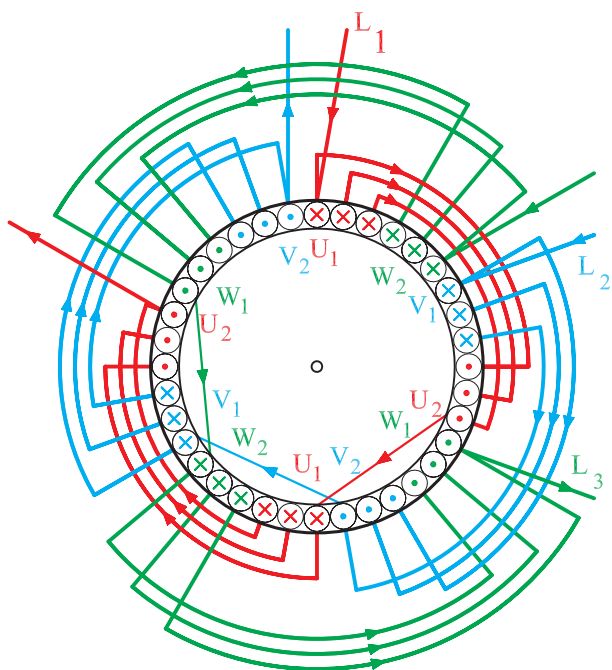


شکل ۳۸-۱ سربندی و قطب‌سازی کامل سه فاز یک موتور ۴ قطب ۳۶ شیار با سیم‌پیچ‌های متحد‌المرکز (گام نامساوی)



شکل ۱-۳۹

شکل ۱-۳۹ 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 \otimes و
جریان‌های برونسو با علامت \odot نشان داده شده است.



شکل ۱-۴۰

شکل ۱-۴۰ 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
 ۶ ضلعی و متحد‌المركز مدور رسم کنید.

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2p \end{smallmatrix}$	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)

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2p \end{smallmatrix}$	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)

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2p \end{smallmatrix}$	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 ۱-۴۱

حل:

محاسبات $Z=24$, $m=3$, $2P=4$

$$Y_P = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{4} = 6 \text{ , } q = \frac{Z}{2P.m} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{2 \times 36^\circ}{24} = 3^\circ$$

$$U_1 = 1 \text{ شروع فاز}$$

$$V_1 = 1 + \frac{12^\circ}{3^\circ} = 5 \text{ شروع فاز}$$

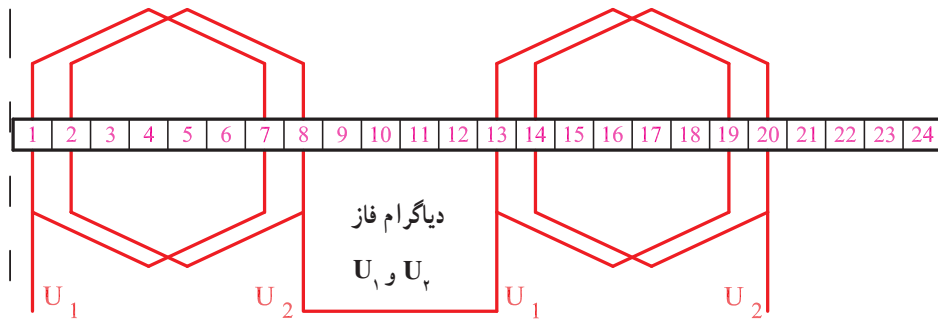
$$W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{3^\circ} = 9 \text{ شروع فاز}$$

تشکیل جدول

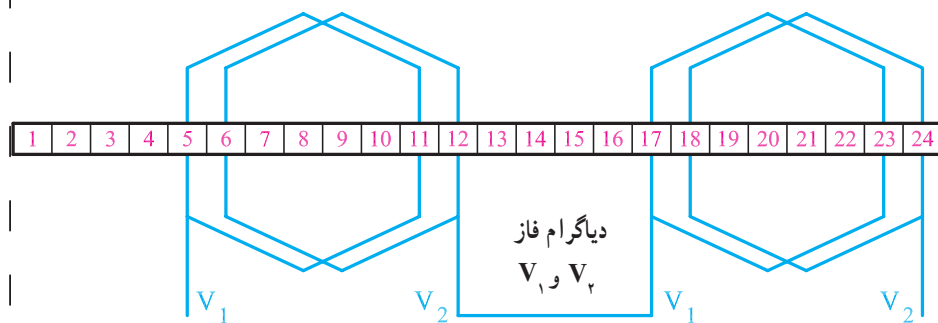
چون $q=2$ است، هر فاز دو ستون خواهد داشت و
 چون $Y_P=6$ است هر ردیف از ردیف بالایی ۶ شیار فاصله
 دارد.

جدول الف (شکل ۱-۴۱) ارتباط گروه کلاف‌های فاز
 U_1 و U_2 و 6 جدول ب شکل ۱-۴۱ ارتباط گروه کلاف‌های فاز
 V_1 و V_2 و جدول ج شکل ۱-۴۱ ارتباط گروه کلاف‌های فاز
 W_1 و W_2 را نشان می‌دهد.

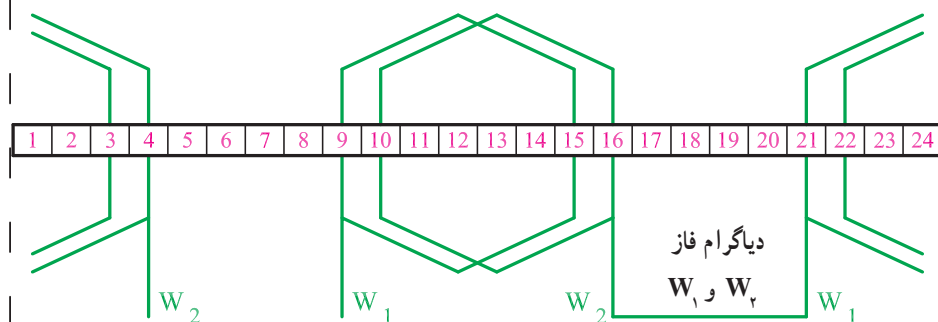
رسم دیاگرام سیم پیچی
 دیاگرام فازها، به تنهایی و یکجا در قسمت الف تا د شکل
 ۱-۴۲ نشان داده شده است.



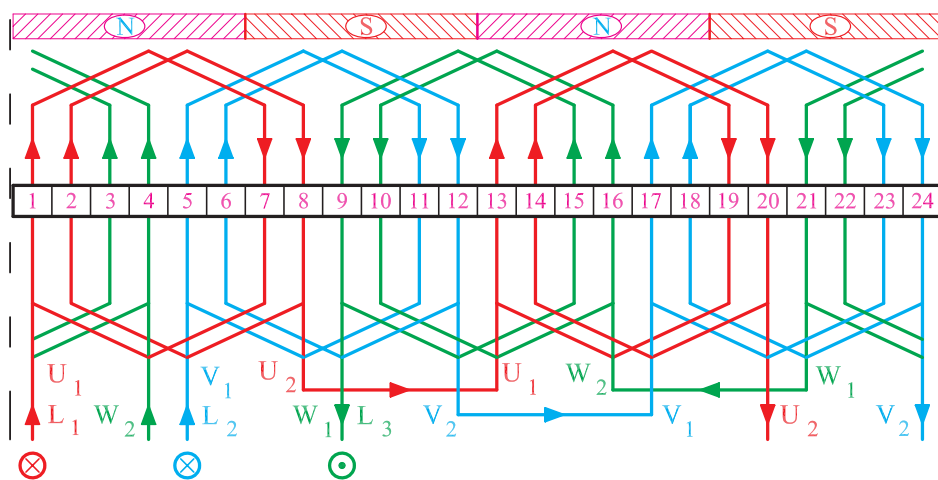
الف- دیاگرام سیم پیچ U_1 و U_2
 (فاز اول)



ب- دیاگرام سیم پیچ V_1 و V_2 (فاز دوم)



ج- دیاگرام سیم پیچ W_1 و W_2 (فاز سوم)



د- دیاگرام کامل موتور سه فاز ۲۴ شیار
 یک طبقه با سیم پیچی کلاف مساوی با
 ترسیم ۶ ضلعی

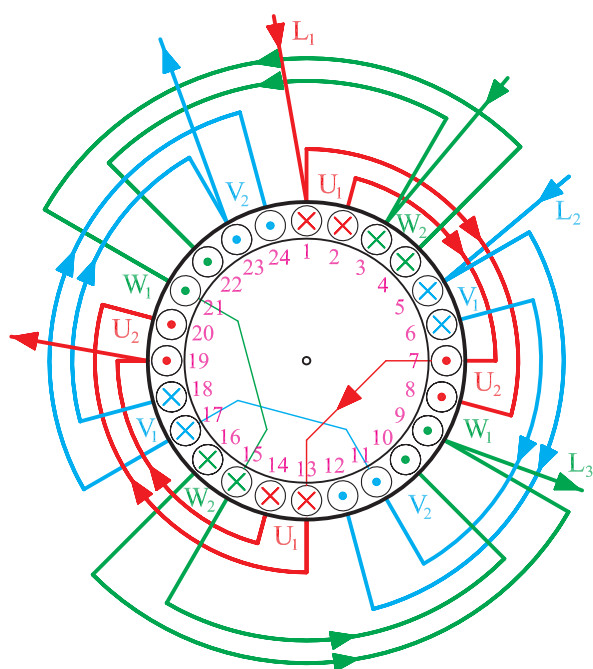
شکل ۱-۴۲

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2p \end{smallmatrix}$	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

رسم دیاگرام مدور متحدالمركز

اگر هدایت بازوی کلاف‌ها را در فاز U_1 و U_2 ، از ۱ به ۸، ۲ به ۷، ۱۳ به ۶ و ۲۰ به ۱۴ و در فازهای بعدی مطابق جدول شکل ۱-۴۳ انجام دهیم، سیم‌بندی به صورت متحدالمركز انجام می‌شود.

شکل ۱-۴۳- جدول سیم‌پیچی موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب متحدالمركز



دیاگرام مدور سیم‌بندی متحدالمركز به صورت شکل ۱-۴۴

ترسیم می‌شود.

شکل ۱-۴۴- دیاگرام مدور موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب متحدالمركز

۷-۱- 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 $\frac{q}{p}$ 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 q های زوج استفاده می‌شود. طراحی با q های فرد، خارج از بحث ماست. به این طریق، گام سیم‌بندی کوتاه شده و فرم آن شکل‌تر می‌شود و از تلفات اهمی بیشتر، جلوگیری می‌شود. مراحل رسم دیاگرام نظیر مراحل سیم‌بندی به ازای جفت قطب‌هاست.

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2P \end{smallmatrix}$	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

هر ستون را به دو ستون فرعی تقسیم می‌کنیم.

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2P \end{smallmatrix}$	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

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

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2P \end{smallmatrix}$	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 $\frac{q}{p}$ عدد متوالی می‌نویسیم.

$\begin{smallmatrix} 2m \\ 2P \end{smallmatrix}$	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1 2		9 10		17 18	

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

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

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

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{1 \times 36^\circ}{24} = 1.5^\circ$$

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

$$U_1 = 1 \text{ شروع فاز}$$

$$V_1 = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{12^\circ}{1.5} = 9 \text{ شروع فاز}$$

$$W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{24^\circ}{1.5} = 17 \text{ شروع فاز}$$

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

بنابراین، می‌توان نوشت:

$$Y_Z = Y_P - \frac{q}{p} = 12 - 2 = 10 \quad \text{گام سیم‌بندی:}$$

$$Y_P = \frac{Z}{p_P} = \frac{24}{2} = 12 \quad \text{گام قطبی:}$$

برای تکمیل جدول، ستون فرعی سمت راست هر فاز را به

کمک گام سیم‌بندی 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:

$\begin{smallmatrix} m \\ 2P \end{smallmatrix}$	U_1	U_2
	1 2	23 24
	13 14	11 12

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

$\begin{smallmatrix} m \\ 2P \end{smallmatrix}$	V_1	V_2
	9 10	7 8
	21 22	19 20

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

$\begin{smallmatrix} m \\ 2P \end{smallmatrix}$	W_1	W_2
	17 18	15 16
	5 6	3 4

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

شکل ۱-۴۵

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ستون اول} \quad 1+12=13 \\ \text{ستون دوم} \quad 2+12=14 \end{array} \right. \quad \text{سطر فرعی سمت چپ}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ستون اول} \quad 1+10=11 \\ \text{ستون دوم} \quad 2+10=12 \end{array} \right. \quad \text{ستون فرعی سمت راست سطر دوم}$$

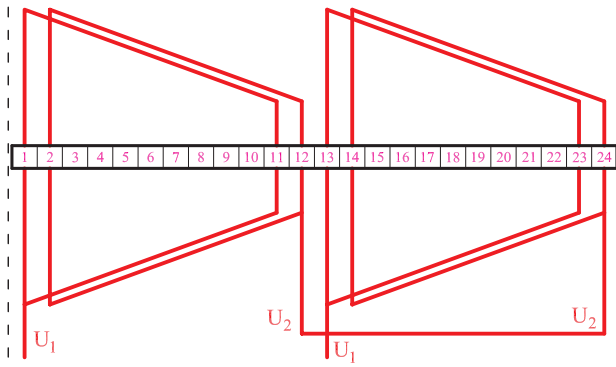
به همین ترتیب می‌توان جداول را برای تمام سیم‌پیچ‌ها تکمیل

کرد. محل بازوهای سیم‌پیچ‌های U_1 و U_2 ، V_1 و V_2 ، W_1 و W_2 در جداول الف تا ج شکل ۱-۴۵ به‌طور کامل نشان داده شده است.

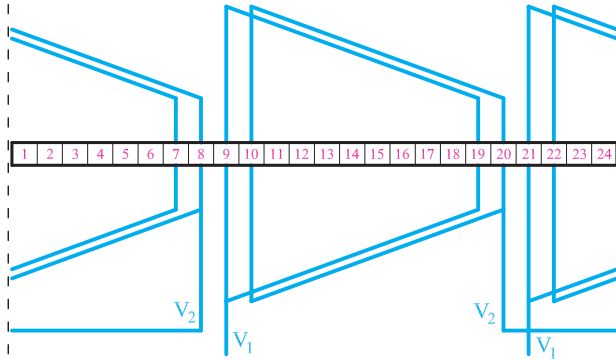
رسم دیاگرام سیم‌بندی

در شکل ۱-۴۶ دیاگرام سیم‌بندی کلاف مساوی این موتور، به روش ذوزنقه‌ای 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.

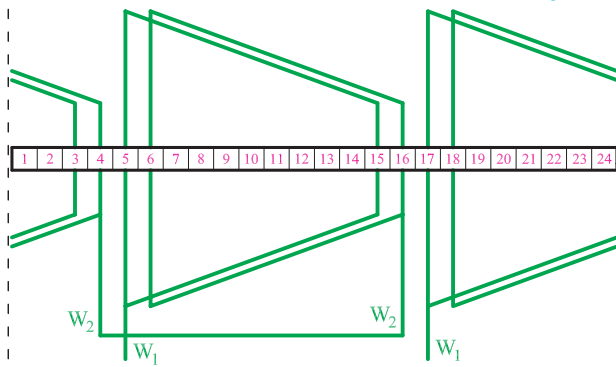
الف - کلاف‌های فاز اول



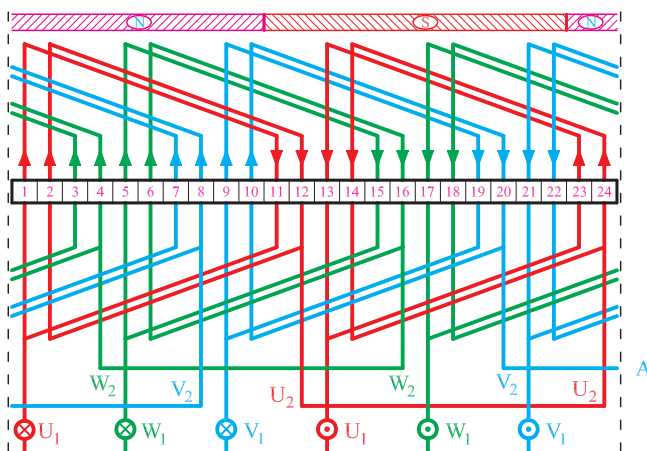
ب - کلاف‌های فاز دوم



ج - کلاف‌های فاز سوم



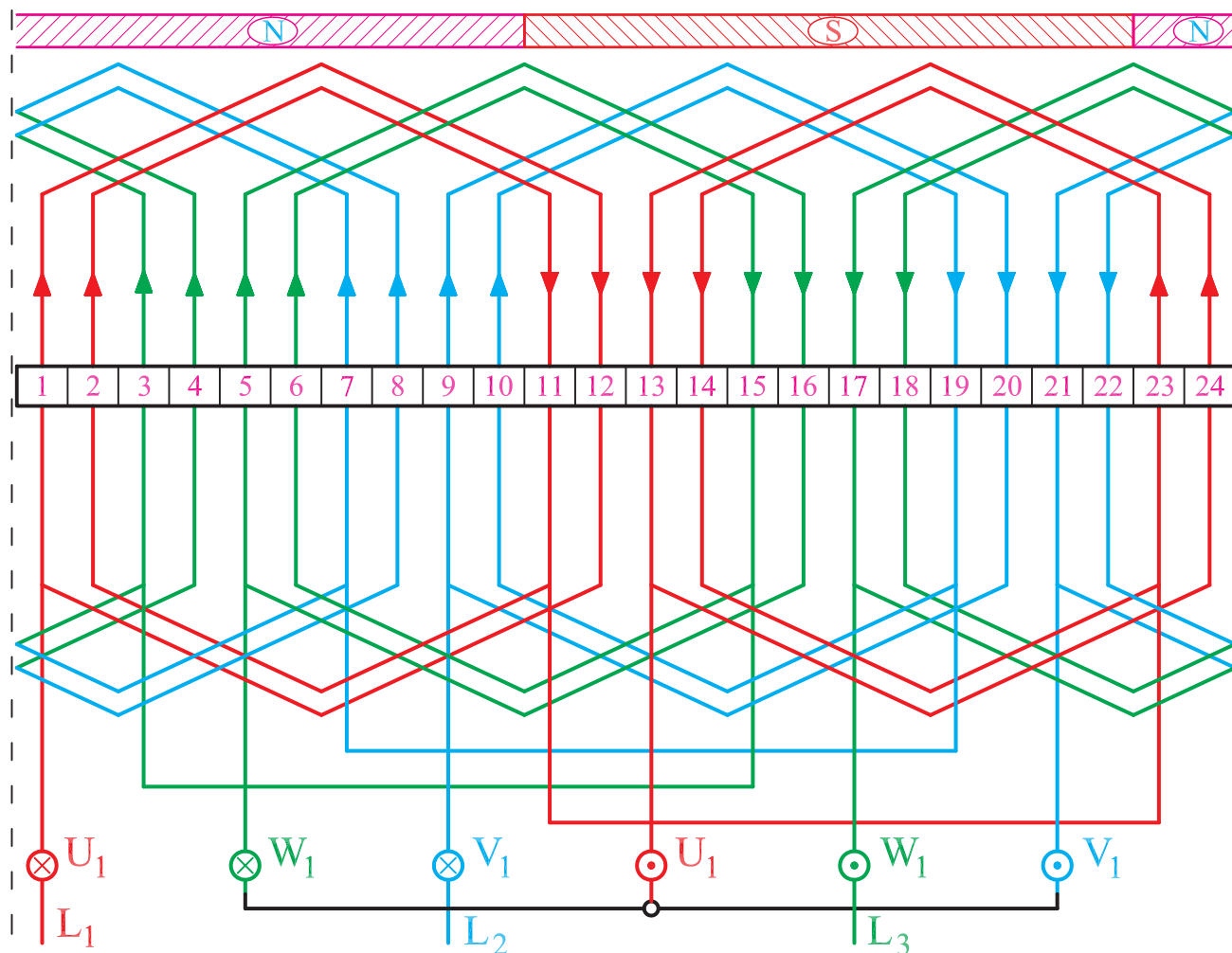
د - سیم‌بندی کامل موتور



شکل ۱-۴۶ - دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز ۲۴ شیار یک طبقه ۲ قطب به ازای قطب اتصال دور

برای تعیین قطبها، لحظه‌ای در نظر گرفته شده که در آن $L_1 > 0$ ، $L_2 > 0$ و $L_3 < 0$ است.

سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار ۲ قطب را می‌توان به صورت متحدالمرکز نیز انجام داد. شکل ۱-۴۷ دیاگرام سیم‌بندی این موتور را به صورت متحدالمرکز نشان می‌دهد. کلاف‌ها به شکل ۶ ضلعی رسم شده‌اند. عملکرد این موتور با موتور دارای سیم‌بندی کلاف مساوی شکل ۱-۴۷ تفاوتی ندارد.



شکل ۱-۴۷- دیاگرام سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار ۲ قطب به ازای قطب متحدالمرکز به روش ترسیم ۶ ضلعی

۸-۱- کارهای عملی ۱

۱-۸-۱- 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 ۳۰ Cm یک عدد
۴. مداد در چهار رنگ
۵. مدادتراش و پاک‌کن یک عدد
۶. پرگار یک عدد
۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی هر کدام یک عدد

۸. گونیا یک عدد

۹. نقاله یک عدد

۱۰. میزکار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۸ قطب را به صورت 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. $Z = ۲p = m = G = P$
۲. گام قطبی را به دست آورید.

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

۳. زاویه الکتریکی را به دست آورید.

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z}$$

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

$$q = \frac{Z}{\gamma_{p.m}}$$

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

$$U_1 = 1$$

$$V_1 = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{ez}}$$

$$W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{\alpha_{ez}}$$

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 $7 \times 1 \text{ Cm}$ در کنار هم رسم کنید.

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

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 $L_3 < 0^\circ$ ، $L_2 > 0^\circ$ و $L_1 > 0^\circ$ قرار دهید. دیاگرام را تکمیل کنید و قطب‌های آن را مشخص کنید.

۲-۸-۱- کار عملی ۲

زمان: ۱۰ ساعت

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز

یک طبقه یک سرعت

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 ۳۰ Cm یک عدد

۴. مداد در چهار رنگ

۵. مدادتراش و پاک‌کن یک عدد

۶. پرگار یک عدد

۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هر کدام یک عدد

۸. گونیا یک عدد

۹. نقاله یک عدد

۱۰. میزکار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب

را به صورت 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.

۲. گام قطبی را به دست آورید.

۳. زاویه الکتریکی را به دست 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 $q = 2$ 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 ۶ ضلعی در نظر بگیرید. هدایت بازوها را در شیارهای هر فاز مشخص کنید.

۱۰. در طول ورق A4، ۳۶ خانه $7 \times 10 \text{ mm}$ در نظر بگیرید و دو خط برش در انتهای آن‌ها رسم کنید.

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

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

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

۳-۸-۱- کار عملی ۳

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

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

۲. کاغذ A4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)

۳. خط‌کش ۳۰ Cm یک عدد

۴. مداد در چهار رنگ

۵. مدادتراش و پاک‌کن یک عدد

۶. پرگار یک عدد

۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هر کدام یک عدد

۸. گونیا یک عدد

۹. نقاله یک عدد

۱۰. میزکار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب

را به صورت یک طبقه به ازای قطب ($G = 2P$) 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 به دست آورید.

۳. زاویه الکتریکی را به دست 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.

۸. در هر ردیف، در ستون‌های سمت چپ شیار شروع فاز

در نظر بگیرید و $\frac{q}{p} = 1$ عدد متوالی را در جدول 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

$$Y_z = Y_p - \frac{q}{p} = 6 - 1 = 5 \text{ کامل کنید.}$$

۱۱. در طول کاغذ A4، ۲۴ خانه رسم کنید به طوری که

۷۵ درصد از طول کاغذ را پوشش دهند.

محل رسم کار عملی

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

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

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 $L_3 < 0^\circ$ تعیین کنید. با توجه به جهت جریان‌های یکسان در بازوهای مجاور، قطب‌سازی را انجام دهید.

۱۵. دیاگرام مدور موتور سه فاز ۴ قطب ۲۴ شیار به ازای قطب را رسم کنید. براساس موقعیت $L_2 < 0^\circ$ و $L_2 > 0^\circ$ و $L_1 > 0^\circ$ مسیر جریان‌ها را تعیین کرده و قطب‌های سیم‌بندی را مشخص کنید.

۴-۸-۱- 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

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

۲- کاغذ A_4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)

۳- خط‌کش ۳۰cm یک عدد

۴- مداد در چهار رنگ

۵- مداد تراش و پاک‌کن یک عدد

۶- پرگار یک عدد

۷- شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هر کدام یک عدد

۸- گونیا یک عدد

۹- نقاله یک عدد

۱۰- 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

۱- مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده

و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید.

۲- گام قطبی را به دست آورید.

محل رسم کار عملی

۳- زاویه الکتریکی را به دست آورید.

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

۵- شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

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

۷- هر ستون را به $q = 2$ ستون فرعی تقسیم کرده و هر ستون فرعی را به $\frac{q}{2} = 1$ ستون کوچک تقسیم کنید.

۸- در هر ردیف، در ستون‌های سمت چپ شمار شروع هر فاز در نظر بگیرید و $\frac{q}{2} = 1$ عدد متوالی را در جدول بنویسید.

محل رسم کار عملی

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 کامل کنید.
$$Y_Z = Y_p - \frac{q}{p} = 6 - 1 = 5$$

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

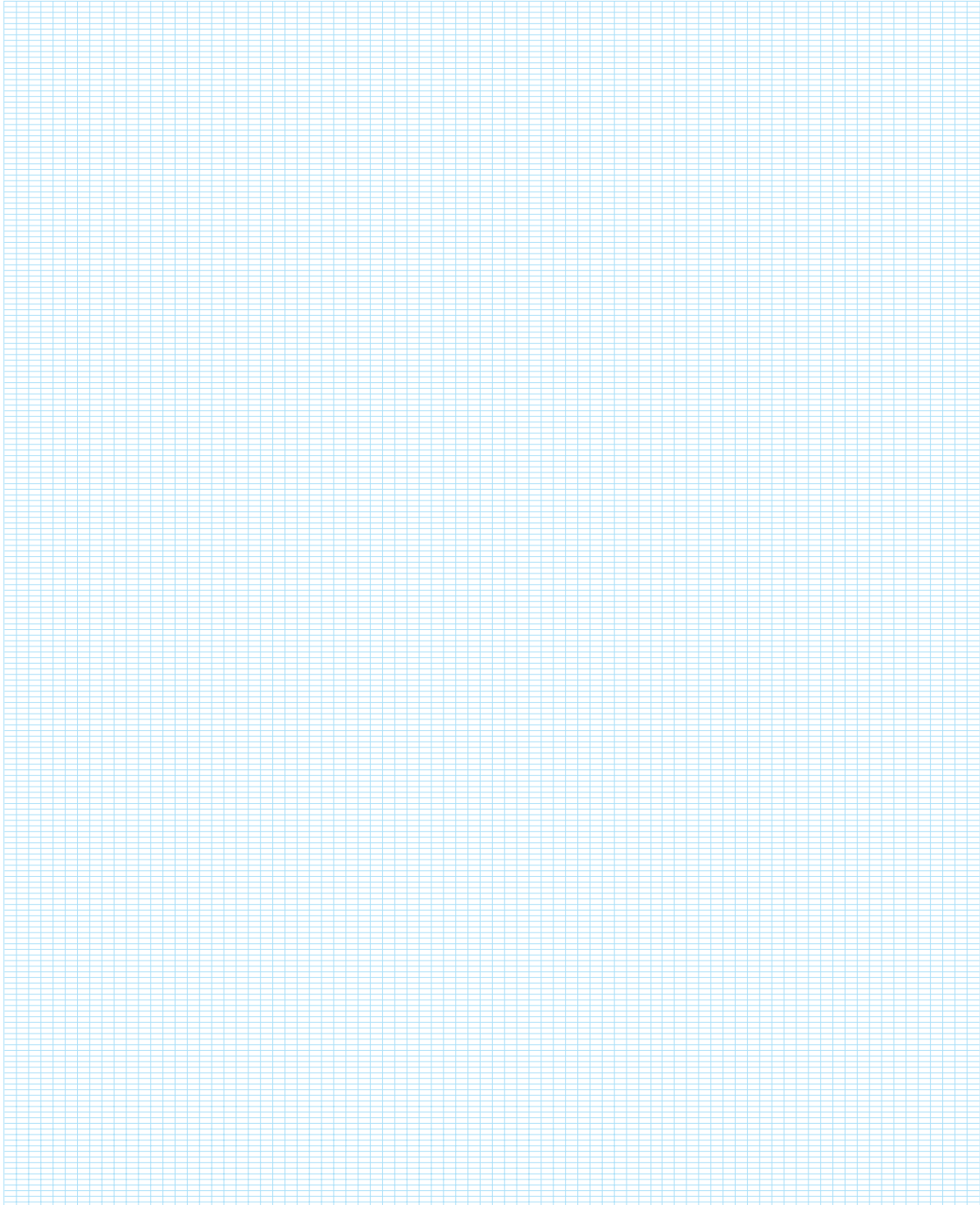
محل رسم کار عملی

۱۲- دیاگرام سیم‌بندی فاز U_1 ، U_2 را رسم کرده و مسیر جریان را براساس $L_1 > 0$ مشخص کنید.

۱۳- دیاگرام سیم‌بندی فاز V_1 ، V_2 را در کنار فاز U_2 ، U_1 رسم کنید. براساس $L_2 > 0$ ، مسیر جریان را در فاز V_2 ، V_1 مشخص کنید.

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

محل رسم کار عملی



آزمون پایانی (۱)

- ۱- چگونه می‌توان تعداد طبقات سیم‌بندی استاتور یک الکتروموتور را تشخیص داد؟
- ۲- قاعده «دست راست» در زمینه تعیین جهت خطوط میدان مغناطیسی اطراف یک سیم راست جریان‌دار را بیان کنید.
- ۳- جریان برق متناوب سه فاز، چگونه در سطح استاتور حوزه دوار مغناطیسی ایجاد می‌کند.
- ۴- ارتباط سرعت حوزه دوار مغناطیسی در سطح استاتور با فرکانس جریان متناوب و تعداد قطب‌های موتور چگونه است؟
- ۵- از چه طریقی می‌توان در استاتور یک موتور سه فاز، میدان‌های ۲ قطبی، ۴ قطبی و ۶ قطبی ایجاد کرد؟
- ۶- سرعت گردش یک موتور ۶ قطب که با فرکانس ۵۰ هرتز و با لغزش ۸ درصد کار می‌کند چند دور در دقیقه است؟
- ۷- اصطلاحات: گام قطبی، محور قطبی، گام سیم‌بندی، زاویه الکتریکی شیارها را تعریف کرده و رابطه آن‌ها را بنویسید.
- ۸- تعداد شیارهای زیر هر قطب هر فاز یک الکتروموتور ۴۸ شیار سه فاز ۴ قطب را به‌دست آورید.
- ۹- زاویه الکتریکی شیارهای پرسش شماره ۸ را به‌دست آورید.
- ۱۰- رابطه گام قطبی با گام سیم‌بندی در موتورهای الکتریکی دارای سیم‌بندی گام کامل و گام کسری را بیان کنید.
- ۱۱- شماره شروع فازهای یک موتور سه فاز ۴۸ شیار ۶ قطب را مشخص کنید.
- ۱۲- موارد کاربرد سیم‌بندی کلاف مساوی و کلاف متحدالمرکز را در موتورهای الکتریکی بیان کنید.
- ۱۳- سیم‌بندی به ازای جفت قطب و به ازای قطب را شرح دهید.
- ۱۴- اتصال کلاف‌های هر فاز در سیم‌بندی به ازای قطب و به ازای جفت قطب، چگونه است؟
- ۱۵- مزایا و کمبودهای سیم‌بندی گام کسری را بیان کنید.
- ۱۶- مراحل ترسیم دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور الکتریکی را بیان کنید.
- ۱۷- دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۳۶ شیار ۶ قطب سه فاز را به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.
- ۱۸- دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۴۸ شیار ۴ قطب سه فاز را به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.
- ۱۹- دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۴۸ شیار ۸ قطب سه فاز را به ازای قطب، طرح و رسم کنید.
- ۲۰- گام قطبی از تقسیم بر به‌دست می‌آید.
- ۲۱- دور یک موتور ۴ قطب با لغزش ۴ درصد در یک دقیقه کدام است؟
الف) ۱۵۰۰ (ب) ۱۴۶۰ (ج) ۱۱۴۰ (د) ۱۴۴۰



۲۲- زاویه الکتریکی بین شیارهای یک موتور ۶ قطب، 30° درجه است. زاویه مکانیکی بین شیارهای آن چند درجه است؟

(د) 90°

(ج) 60°

(ب) 10°

(الف) 20°

۲۳- لغزش در موتورهای آسنکرون، کوچک تر 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:

- ۱- کلاف‌ها را مرتب و صاف کند.
- ۲- سرهای خروجی کلاف‌ها را به سوی جعبه اتصال موتور، هدایت کند.
- ۳- از ساییده شدن سیم‌ها به بدنه موتور، جلوگیری کند.
- ۴- بازوهای کلاف‌ها را با توجه به نقشه موتور، در داخل شیارها قرار دهد.
- ۵- روی بازوها را با کاغذ «پریشان» بپوشاند تا سیم‌ها از شیارها بیرون نزنند.
- ۶- سیم‌بندی کلاف مساوی را برای الکتروموتور سه فاز یک طبقه یک سرعته انجام دهد.
- ۷- سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز را برای الکتروموتور سه فاز یک طبقه یک سرعته انجام دهد.



ساعات آموزش

نظری	عملی	جمع
۲۰	۱۵۰	۱۷۰

۲-۱- قرار دادن کلاف در شیار استاتور

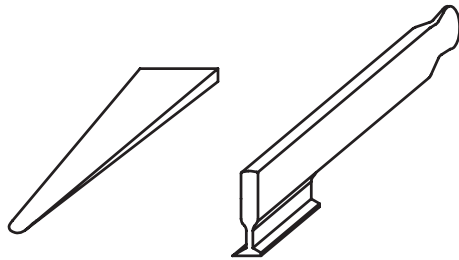
پس از عایق کاری شیارهای استاتور، پیچیدن کلاف‌ها توسط دستگاه کلاف پیچ و آماده‌سازی کلاف‌ها، بازوی‌های آن‌ها را درون شیارهای استاتور قرار می‌دهند.

این مرحله از اجرای سیم‌بندی موتورها حائز اهمیت بوده و عمده‌ترین مرحله سیم‌بندی است. قرار دادن سرکلاف‌ها 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.

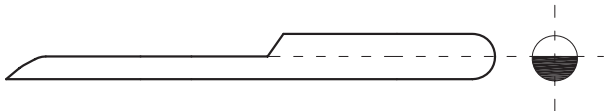
دهانه شیارهای استاتور به دلیل مسایل فنی، به مراتب از ضخامت بازوی کلاف‌ها کم‌عرض‌تر است. بنابراین، ممکن نیست بتوان بازوهای کلاف‌ها را یکجا درون شیارها قرار داد. در این مورد، با توجه به عرض دهانه شیارها باید سیم‌های بازوی هرکلاف را به گروه‌های چندتایی تقسیم کرده و آن‌ها را در میان دو انگشت شست و سبابه قرار داد 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 بین آن‌ها 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 فیبری، 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 ۲-۱ 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 ۲-۱- نمونه‌هایی از کاردک‌های فیبری کاهش فضای بین سیم‌ها

حالت قرار گرفتن انگشتان دست‌ها و مراحل مختلف استفاده از انگشتان شست و سبابه، در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- حالت انگشتان شست و سبابه در کلاف‌گذاری

کلاف‌ها، مطابق قسمت الف شکل ۲-۳ بین انگشتان قرار می‌گیرند. سیم‌ها را مطابق قسمت ب شکل ۲-۳ مرتب کرده و آن‌ها را به شیارها هدایت کنید. به این ترتیب، از مورب قرار گرفتن سیم‌ها بر روی هم جلوگیری شده و از فضای داخل شیار، به‌طور کامل استفاده می‌شود.



(الف)



(ب)

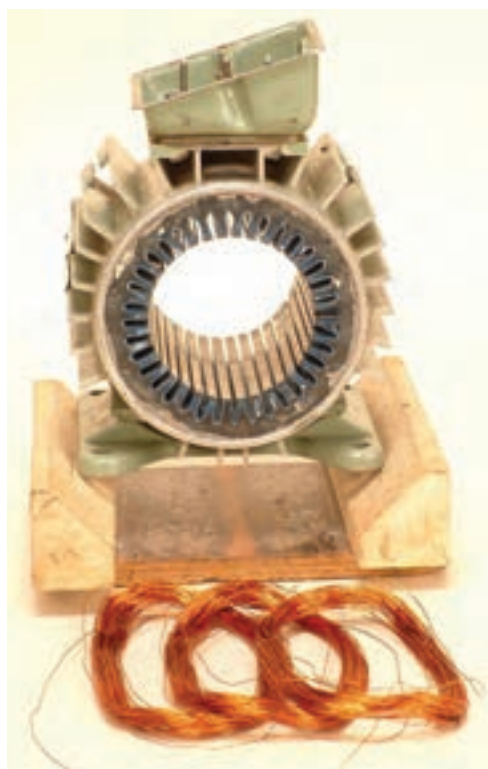
شکل ۲-۳



قبل از قراردادن بازوی کلاف‌ها در داخل شیارها، لازم است کلاف‌ها را در سمتی از استاتور قرار دهید که محل مخصوص هدایت سیم‌ها به جعبه اتصالات (تخته کلم) در آن سمت قرار دارد (شکل ۲-۴).

شکل ۲-۴- محل عبور سر سیم‌ها به جعبه اتصالات (تخته کلم)

کلاف‌ها به منظور قراردادن بازوهای کلاف‌ها در داخل شیارهای استاتور، مطابق شکل ۲-۵ در مقابل استاتور قرار می‌گیرند.



شکل ۲-۵- موقعیت کلاف‌ها در مقابل استاتور، قبل از جاگذاری آن‌ها در داخل استاتور



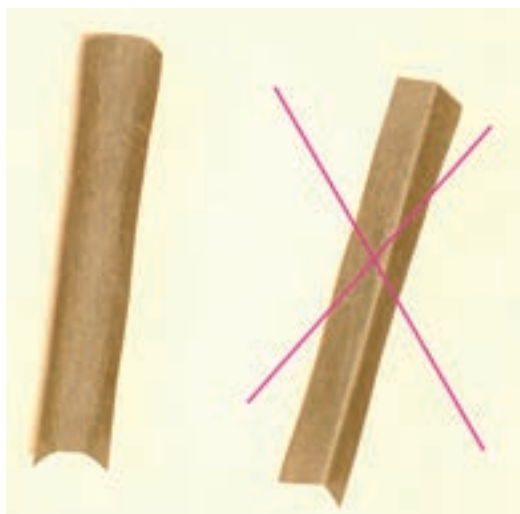
یکی از پیچک‌های گروه کلاف موردنظر را انتخاب کرده و آن را مطابق شکل ۲-۶ درون شیارهای استاتور قرار می‌دهیم.

شکل ۲-۶- موقعیت انگشتان شست و سبابه 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 ۲-۷).

شکل ۲-۷- قرارگرفتن یک بازو در داخل یک شیار

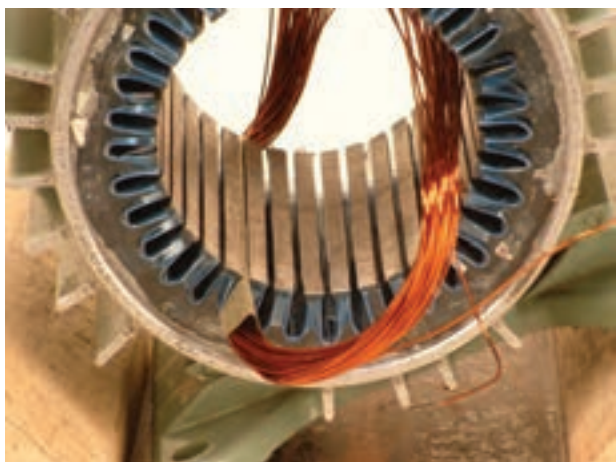


شکل نادرست کاغذ پرشمان شکل صحیح کاغذ پرشمان

۲-۲- قرار دادن کاغذ پرشمان روی کلاف‌ها

پس از استقرار سیم‌ها در داخل شیارها، لازم است روی آن‌ها را با کاغذ پرسپان (پرشمان) بپوشانید تا از شیار بیرون نیایند. کاغذ پرسپان را ابتدا به صورت ناودانی فرم می‌دهیم و در داخل شیار قرار می‌دهیم (شکل ۲-۸).

شکل ۲-۸- انتخاب شکل صحیح کاغذ پرشمان



کاغذ پرشمان برای جلوگیری از بیرون آمدن سیم‌ها، روی بازوها را در داخل شیار می‌پوشاند (شکل ۲-۹).

شکل ۲-۹- 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 ۲-۱۰).

شکل ۲-۱۰- 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 ۲-۱۱ نشان داده شده است.

شکل ۲-۱۱- استقرار کامل یک کلاف در داخل شیارهای استاتور

۲-۳- کارهای عملی ۲

۲-۳-۱- 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 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 فشاری بر کمر و پاهایتان وارد نشود.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱- استاتور نگهدار یک عدد

۲- کاردک چوبی یک عدد

۳- کاردک فیبری یک عدد

۴- استاتور ۳۶ شیار سه فاز عایق کاری شده یک عدد

(شکل ۲-۱۲)

۵- شش گروه کلاف سه‌تایی آماده با گام‌های مساوی

۱ به ۱۰

۶- قیچی کاغذبر یک عدد

۷- کاغذ پرشمان ۲۰/۰ به حد کافی

مراحل انجام کار

۱- پوسته موتور را روی نگهدارنده استاتور قرار دهید.

۲- یکی از شیارها را به عنوان شیار شروع سیم‌بندی در

نظر بگیرید و آن را با شماره ۱ علامت‌گذاری کنید.

۳- جهت گردش برای جاگذاری کلاف‌ها را به دلخواه

انتخاب کنید (شکل ۲-۱۳).



شکل ۲-۱۲- پوسته موتور سه فاز ۳۶ شیار



شکل ۲-۱۳- انتخاب شیار شروع و مسیر کلاف‌گذاری



شکل ۱۴-۲ تعیین محل قرار گرفتن کلاف‌ها

۴- یک گروه کلاف سه‌تایی در طرف استاتور که سرسیم‌ها از آن طرف به جعبه اتصال هدایت می‌شوند، قرار دهید (شکل ۱۴-۲).



شکل ۱۵-۲ قراردادن بازوی شماره یک در شیار شماره ۱

۵- بازوی اول کلاف شماره یک را در شیار شروع سیم‌بندی قرار دهید (شکل ۱۵-۲).



۶- کاغذ پرشمان را به اندازه‌ای مناسب ببرید و روی بازو را با آن بپوشانید (شکل ۲-۱۶).

شکل ۲-۱۶- پوشاندن روی بازو با کاغذ پرشمان



۷- پس از قراردادن بازوی دوم کلاف شماره یک، پیشانی‌های آن را در جهت سیم پیچی 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 ۲-۱۷).

شکل (الف ۲-۱۷) نحوه خم کردن پیشانی کلاف را نشان می‌دهد.

شکل ۲-۱۷- الف



شکل (ب ۲-۱۷) پیشانی کلاف پس از خم شدن .

شکل ۲-۱۷- ب



۸- دوبازوی گروه کلاف اول را مطابق کلاف اول قرار دهید. 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 ۱۸-۲).

شکل ۱۸-۲- قرار گرفتن گروه کلاف شماره یک در داخل شیارها



۹- سه شیار را خالی رها کنید تا محل شروع گروه کلاف دوم مشخص شود. شیار شماره ۷، محل قرار گرفتن گروه کلاف دوم است (شکل ۱۹-۲).

شکل ۱۹-۲- محل شروع گروه کلاف دوم

۱۰- اولین کلاف مربوط به گروه کلاف دوم را در شیار شماره ۷ قرار دهید (شکل ۲۰-۲).



شکل ۲۰-۲- قراردادن اولین کلاف گروه کلاف دوم

۱۱- دو کلاف دیگر گروه کلاف دوم را در داخل شیارها قرار دهید (شکل ۲۱-۲).



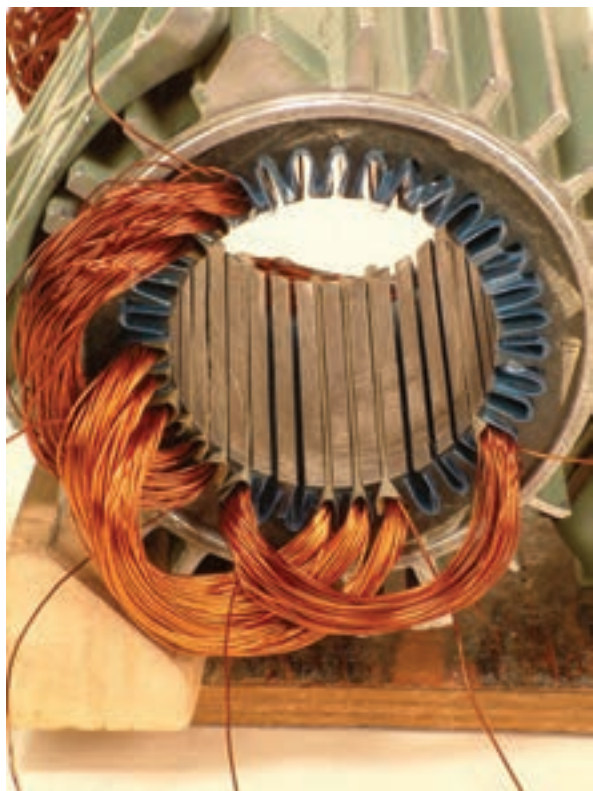
شکل ۲۱-۲- قرارگرفتن بازوهای گروه کلاف دوم در داخل شیارها

۱۲- اولین کلاف گروه کلاف سوم را در شیار شماره ۱۳
قرار دهید (شکل ۲-۲۲).



شکل ۲-۲۲- شروع گروه کلاف سوم از شیار شماره ۱۳

۱۳- گروه کلاف سوم را در شیارهای مربوطه قرار دهید
(شکل ۲-۲۳).



شکل ۲-۲۳- قرار گرفتن گروه کلاف سوم

۱۴- 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 ۲-۲۴).



شکل ۲-۲۴- قرار گرفتن گروه کلاف شماره چهار

۱۵- گروه کلاف پنجم را از شیار شماره ۲۵ شروع کنید و بازوهای آن را به طور متوالی در شیارهای ۲۵، ۲۶ و ۲۷ قرار دهید (شکل ۲-۲۵).



شکل ۲-۲۵- قرار گرفتن گروه کلاف شماره پنج



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

شکل ۲-۲۶ الف موقعیت بازوهای موجود در شیارهای ۱ و ۲ را نشان می دهد.

شکل ۲-۲۶- الف



در شکل ۲-۲۶ ب بازوهای که از شیارهای ۱ و ۲ بیرون آورده شده اند را نشان می دهد.

شکل ۲-۲۶- ب

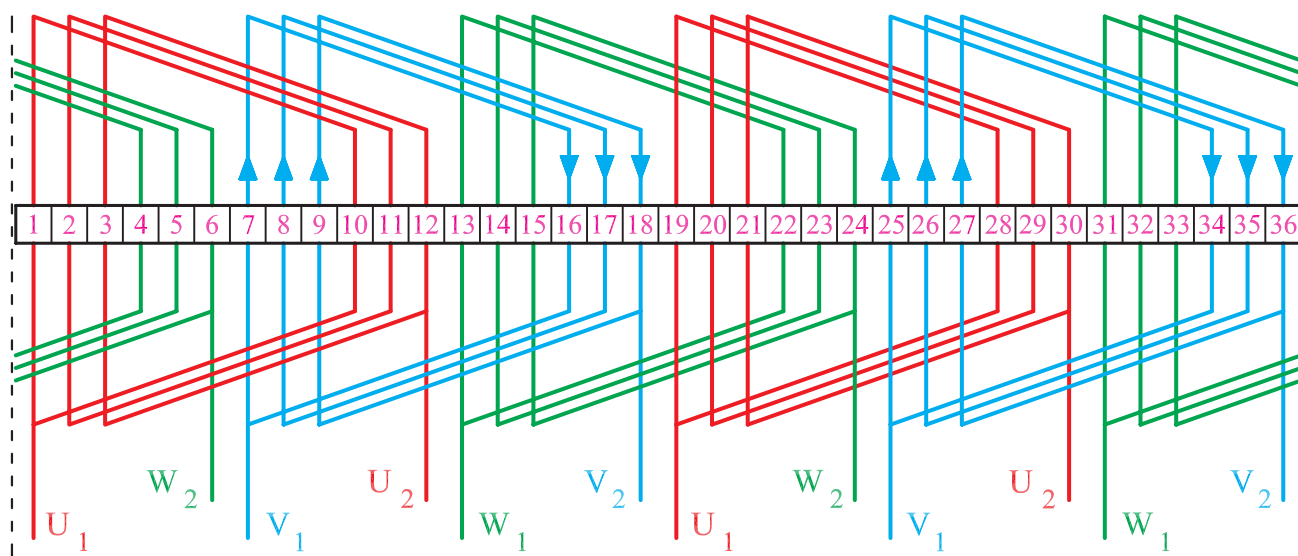
۱۷- گروه کلاف ششم را از شیار ۳۱ شروع کنید و بازوهای آن را به طور متوالی در شیارهای ۳۱، ۳۲ و ۳۳ قرار دهید و بازوهای ۱، ۲ و ۳ را به جای خود برگردانید (شکل ۲۷-۲).



شکل ۲۷-۲- جازدن گروه کلاف ششم

تمرین

کلاف‌های گذاشته شده در کار عملی شماره ۱ در قسمت ۱-۸-۱ 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 ۲۸-۲ مقایسه کنید. اگر تفاوت‌هایی با شیارهای استاتور مشاهده کردید، علت تفاوت‌ها را بیان کنید.



شکل ۲۸-۲ سیم‌بندی یک طبقه استاتور ۳۶ شیار

۲-۳-۲ کار عملی ۲

هدف: قراردادن کلاف‌ها در داخل شیارها

زمان: ۲۴ ساعت

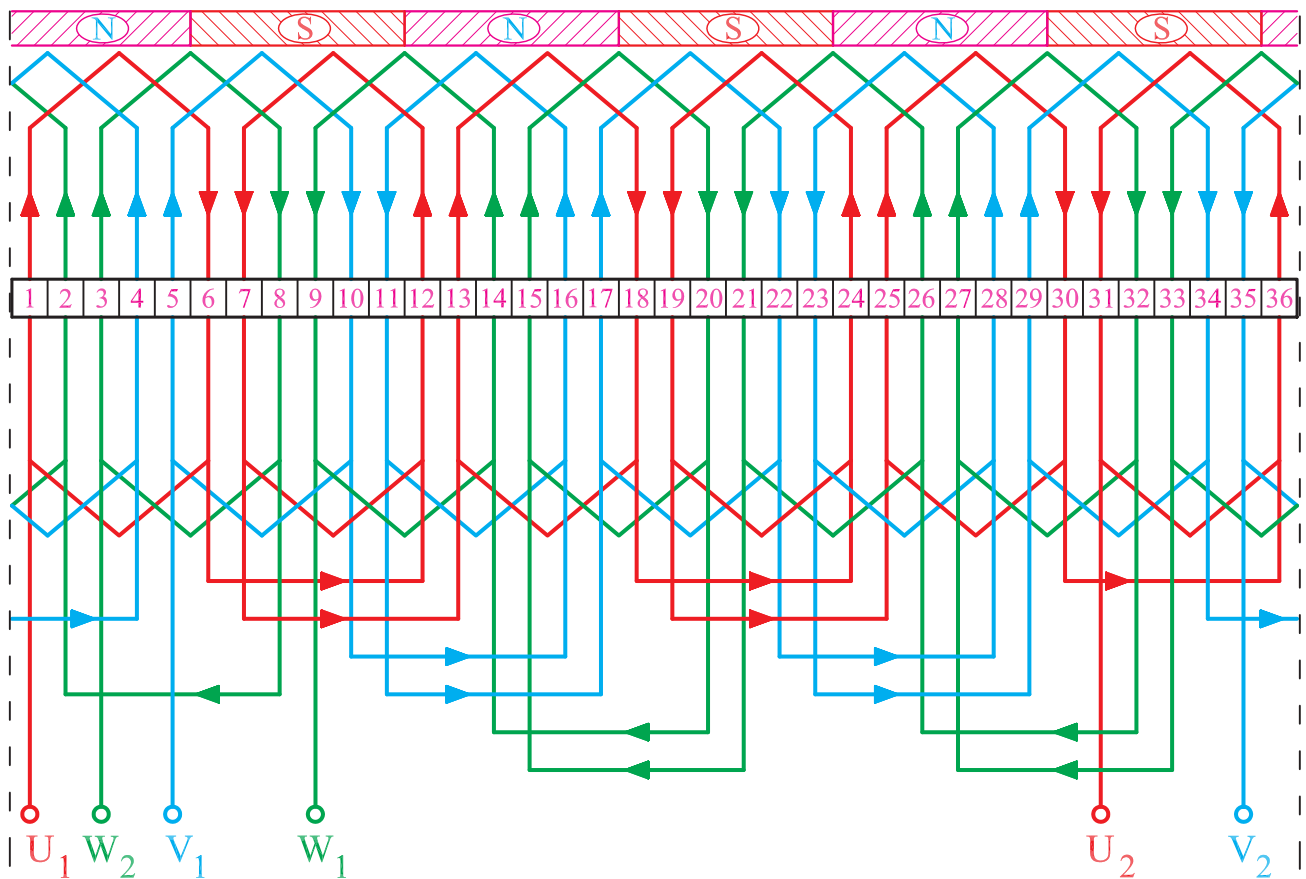
نکات ایمنی: محیط کار را از خرده سیم و کاغذ پاک کنید. بدنه استاتور را کاملاً از چربی و گرد و خاک پاک کنید. از روشنایی مناسب در روی میز کار استفاده کنید. از میز کار و صندلی استاندارد مناسب استفاده کنید تا هیچ‌گونه فشار بر کمر و پاها وارد نشود.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱- استاتور نگهدار یک عدد

۲- کاردک چوبی یک عدد

- ۳- کاردک فیبری یک عدد
 - ۴- استاتور ۳۶ شیار سه فاز عایق کاری شده یک عدد
 - ۵- ۱۸ کلاف‌های آماده با گام‌های سیم‌بندی ۱ به ۶
 - ۶- قیچی کاغذبر یک عدد
 - ۷- کاغذ پرشمان 20° به حد کافی
- موضوع: قراردادن کلاف‌ها در داخل شیارهای یک
 موتور ۳۶ شیار ۶ قطب در سیم‌بندی به ازای قطب.
- مراحل انجام کار
- ۱- ۱۸ کلاف براساس قسمت ۲۹-۲ الف در نظر بگیرید.



شکل ۲۹-۲ الف - دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه به ازای قطب ($G = 2P$)



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

شکل ۲۹-۲-ب - انتخاب شیار شروع سیم‌بندی



- ۵- بازوی اول کلاف شماره یک را در داخل شیار شماره ۱ قرار دهید. و روی آن را با کاغذ پریشان بپوشانید.
- ۶- بازوی دوم آن را با توجه به گام سیم‌بندی ۱ به ۶ در شیار شماره ۶ قرار دهید. روی آن را با کاغذ پریشان بپوشانید (شکل ۲۹-۲-ج).

شکل ۲۹-۲-ج - قراردادن کلاف شماره ۱



۷- کلاف شماره یک را فرم دهید تا برای بازوهای بقیه کلاف‌ها جا باز شود (شکل ۲-۳۰).

شکل ۲-۳۰



۸- کلاف‌های دوم را با فاصله یک شیار، در شیارهای ۳ و ۸ قرار دهید (شکل ۲-۳۱).

شکل ۲-۳۱- موقعیت کلاف دوم

۹- کلاف شماره ۳ را به فاصله یک شیار از کلاف دوم،
در شیارهای ۵ و ۱۰ قرار دهید (شکل ۲-۳۲).



شکل ۲-۳۲- موقعیت کلاف سوم

۱۰- کلاف شماره ۴ را به فاصله یک شیار از کلاف شماره
۳، در شیارهای ۷ و ۱۲ قرار دهید (شکل ۲-۳۳).



شکل ۲-۳۳- موقعیت کلاف شماره ۴



۱۱- بقیه کلاف‌ها را به ترتیب و به فاصله یک شیار از
ما قبل خود تا کلاف شماره ۱۶ در شیارهای مربوطه قرار دهید
(شکل ۲-۳۴).

شکل ۲-۳۴- موقعیت کلاف‌ها از کلاف شماره ۱ تا کلاف شماره ۱۶



۱۲- 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 ۲-۳۵).

(الف)



(ب)

شکل ۲-۳۵- بیرون آوردن بازوهای ۱ و ۳ از شیارهای مربوطه



۱۳- کلاف شماره ۱۷ را در شیارهای مربوطه قرار دهید
(شکل ۲-۳۶).

شکل ۲-۳۶- موقعیت کلاف شماره ۱۷



۱۴- کلاف شماره ۱۸ را در شیارهای مربوطه قرارد دهید
(شکل ۲-۳۷).

شکل ۲-۳۷- موقعیت کلاف شماره ۱۸

۱۵- بازوی شماره ۱ را به شیار شماره ۱ برگردانید (شکل ۲-۳۸).



(الف)

شکل (۲-۳۸-الف) بازوی شماره ۱
قبل از برگردانیدن آن به شیار شماره ۱



(ب)

شکل (۲-۳۸-ب) بازوی شماره ۱ پس از برگردانیدن آن
به داخل شیار شماره ۱

شکل ۲-۳۸- هدایت بازوی شیار شماره ۱ به مکان اولیه

۱۶- بازوی شماره ۳ را به شیار شماره ۳ برگردانید. به این ترتیب، تمام کلاف‌ها در شیارهای مربوطه مستقر می‌شوند (شکل ۲-۳۹).



(الف)

شکل (۲-۳۹-الف) بازوی شماره ۳ را قبل از برگردانیدن آن به شیار ۳ نشان می‌دهد.



(ب)

شکل (۲-۳۹-ب) بازوی شماره ۳ را پس از قرار گرفتن آن در شیار شماره ۳ نشان می‌دهد.

شکل ۲-۳۹- 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 به دست آورید. سپس اقدام به کلاف‌گذاری در داخل شیارها کنید. مثلاً:

محاسبات لازم را انجام دهید.

– نقشه موتور را تهیه کنید.

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

– پس از تأیید اطلاعات توسط مربی کارگاه، تعداد

کلاف‌های مورد نیاز را آماده کنید.

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

– با حوصله‌ی زیاد کلاف‌ها را در داخل شیارها قرار

دهید.

۳-۲-۳ کار عملی شماره ۳

زمان: ۲۴ ساعت

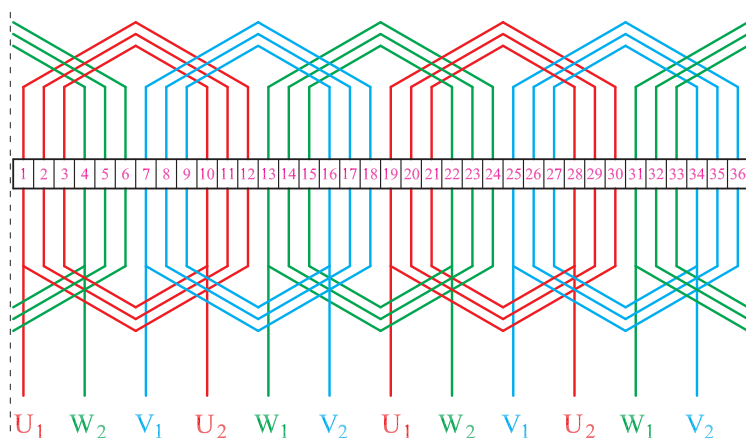
موضوع: سیم‌بندی موتور ۳۶ شیار سه فاز ۴ قطب با

سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب.

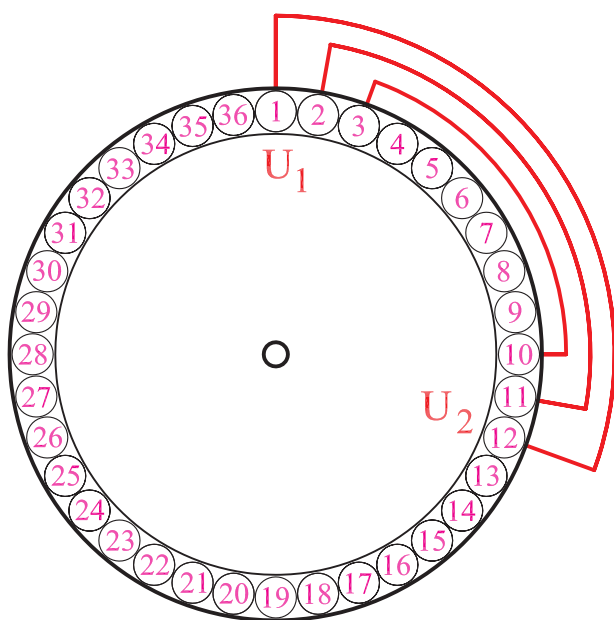
مراحل انجام کار

۱- شکل ۲-۴۰ را در نظر بگیرید. ۶ گروه کلاف سه‌تایی

متحدالمرکز تهیه کنید و با توجه به شکل ۲-۴۱ کلاف‌ها را مطابق شکل‌های داده شده، ابتدا کلاف کوچک و بعد کلاف متوسط و سپس کلاف بزرگ را در شیارها قرار دهید (شکل ۲-۴۱).

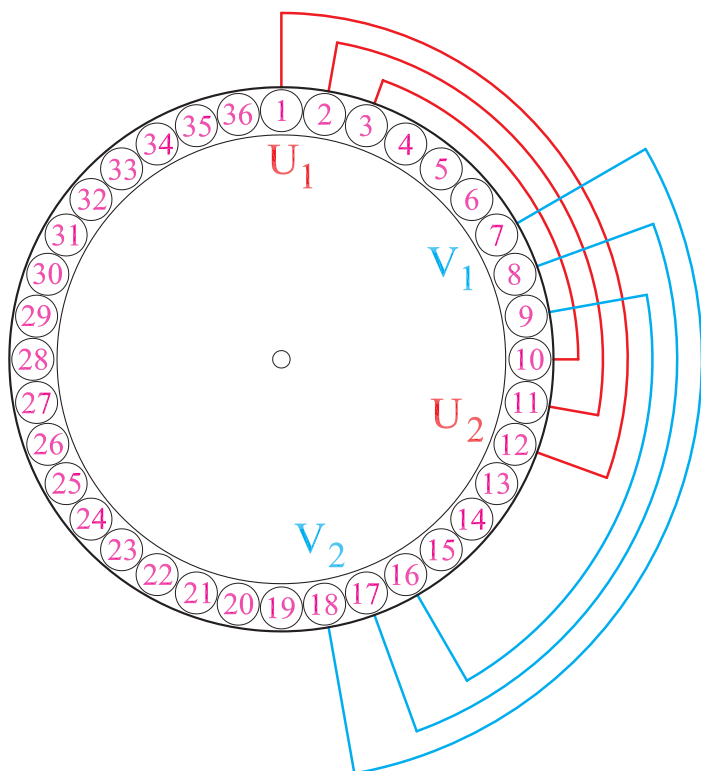


شکل ۲-۴۰



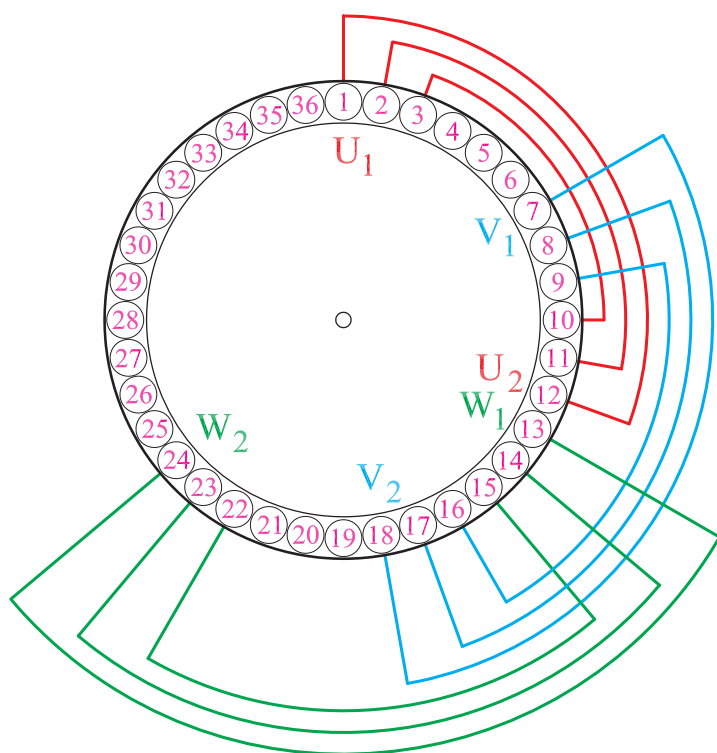
شکل ۲-۴۱ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۱ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۲- سه شیار خالی را رها کنید و گروه کلاف دوم را در داخل شیارها قرار دهید و گروه کلاف دوم را در شیارهای ۹-۱۶، ۸-۱۷ و ۷-۱۸ قرار دهید (شکل ۲-۴۲).



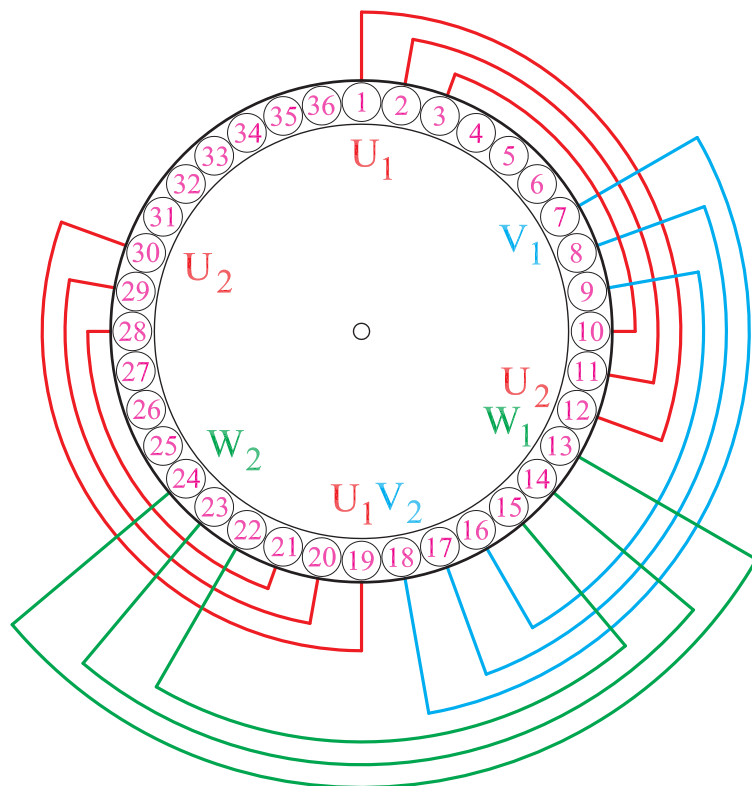
شکل ۲-۴۲- قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۲ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۳- گروه کلاف شماره ۳ را در شیارهای ۱۴-۲۳، ۱۵-۲۲ و ۱۳-۲۴ قرار دهید (شکل ۲-۴۳).



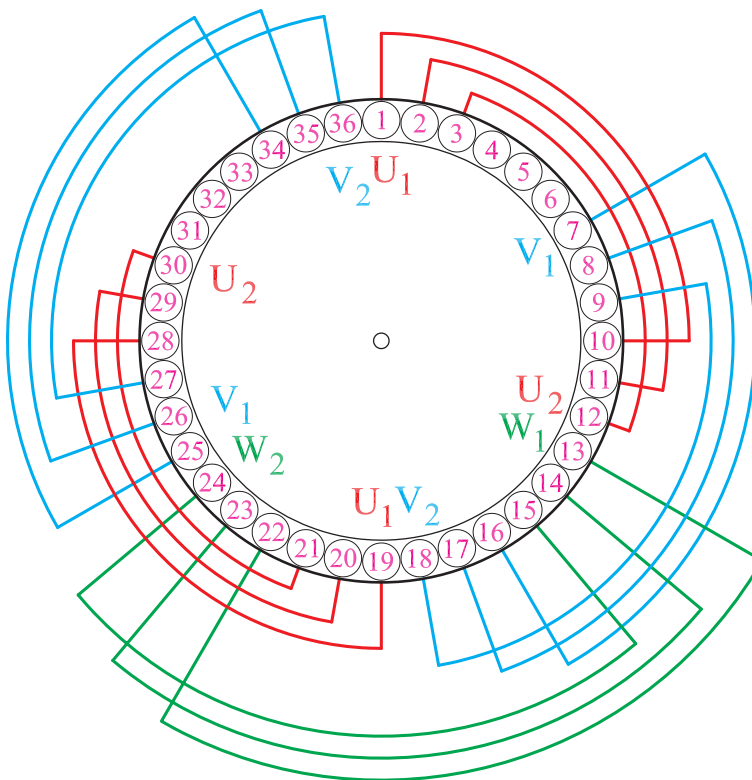
شکل ۲-۴۳- قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۳ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۴- گروه کلاف شماره ۴ را در شیارهای ۲۱-۲۸، ۲۰-۲۹ و ۱۹-۳۰ قرار دهید (شکل ۲-۴۴).



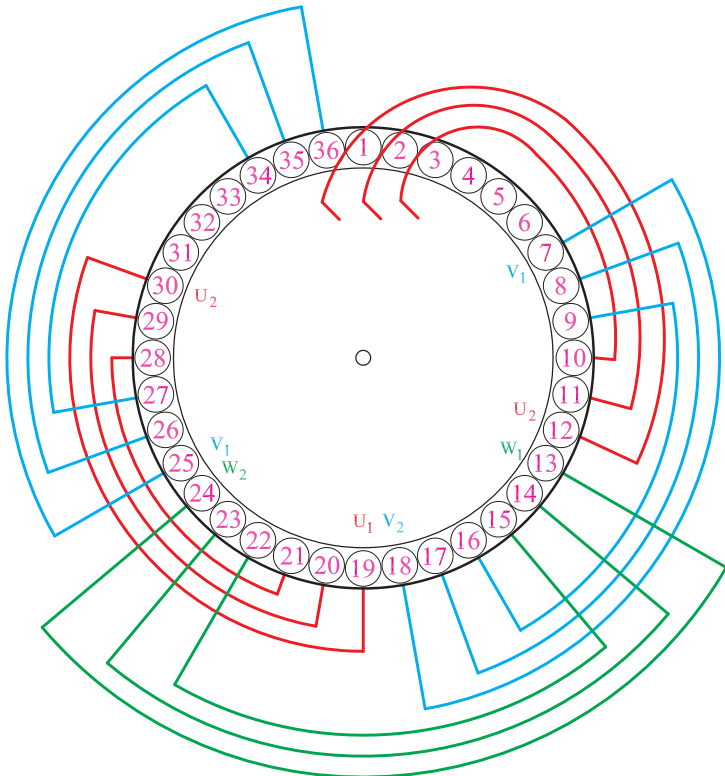
شکل ۲-۴۴- قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۴ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۵- گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۲۷-۳۴، ۲۶-۳۵ و ۲۵-۳۶ قرار دهید (شکل ۲-۴۵).



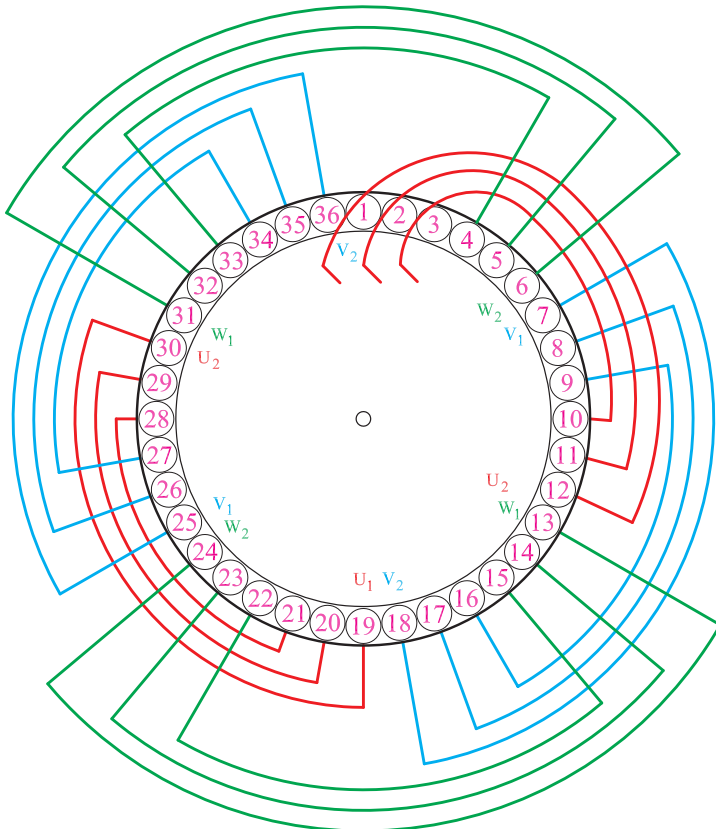
شکل ۲-۴۵- قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۵ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

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



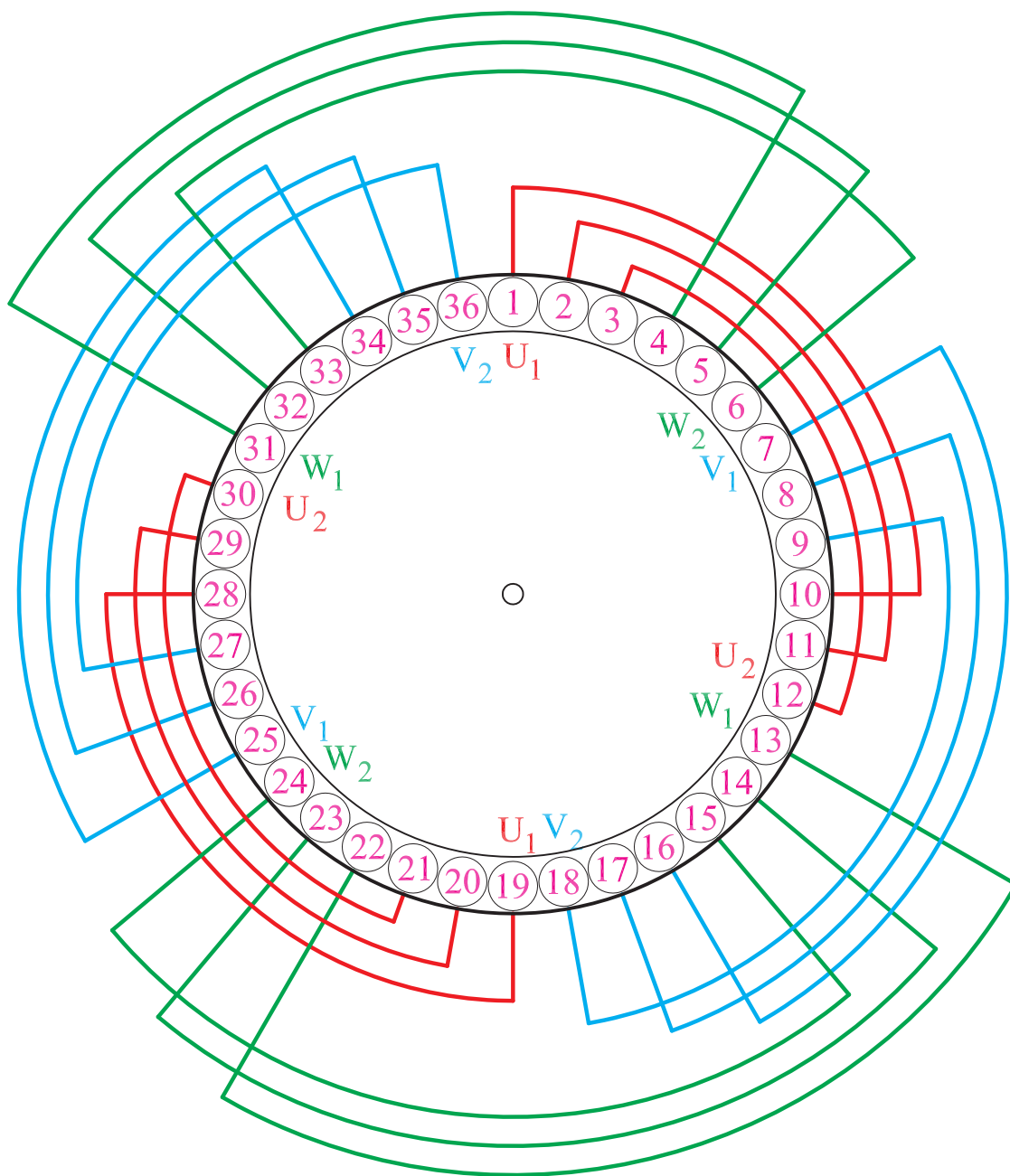
شکل ۲-۴۶- خارج کردن بازوهای گروه کلاف شماره ۱ از شیارهای مربوطه به منظور قرار دادن گروه کلاف شماره ۶

۷- گروه کلاف شماره ۶ را در شیارها ۳۳-۴، ۳۲-۵ و ۳۱-۶ قرار دهید (شکل ۲-۴۷).



شکل ۲-۴۷- قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۶ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

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



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

۴-۳-۲- کار عملی ۴

زمان: ۲۴ ساعت

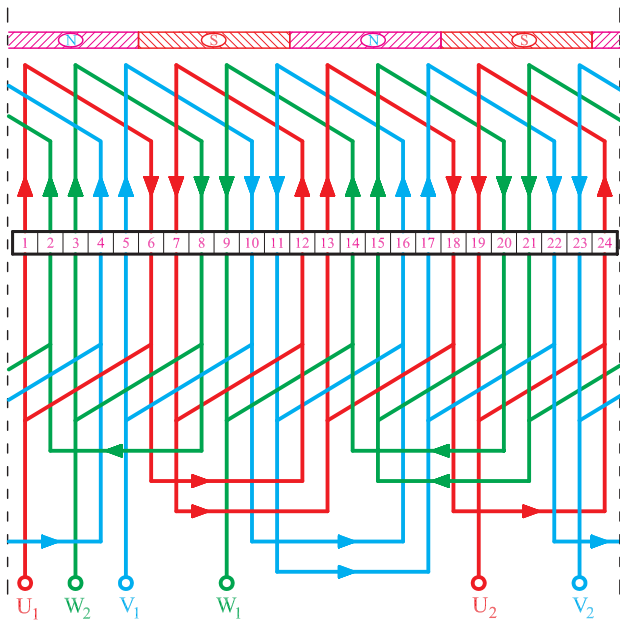
موضوع: سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار سه فاز ۴ قطب با

سیم‌بندی به‌ازای قطب.

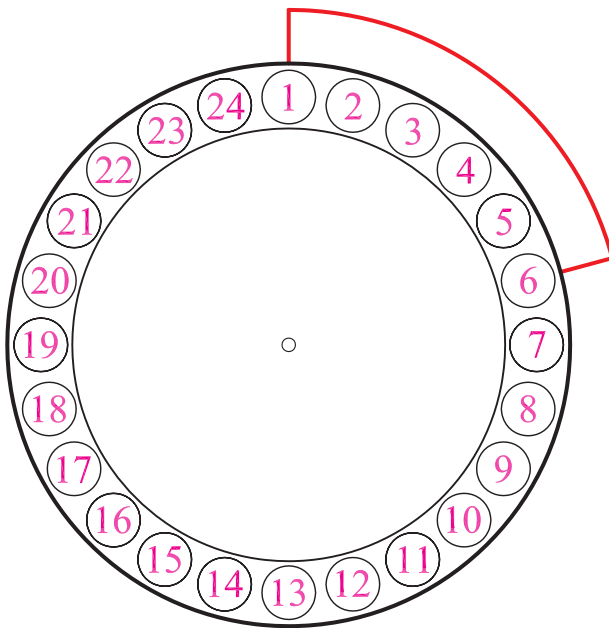
مراحل انجام کار

۱- شکل ۲-۴۹ را در نظر بگیرید و ۱۲ کلاف با گام ۱ به

۶ تهیه کنید.



شکل ۲-۴۹



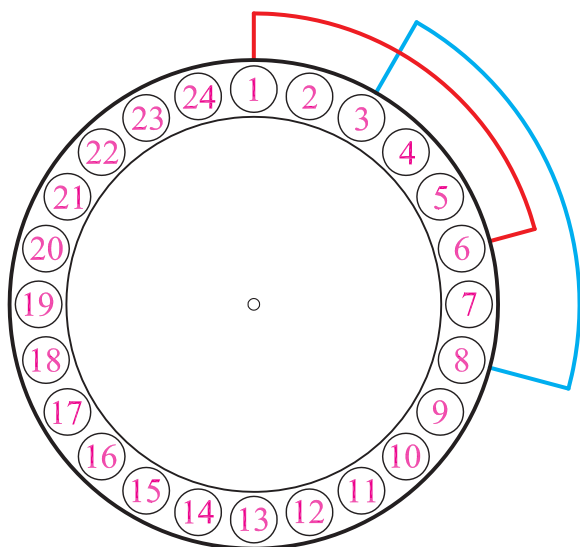
شکل ۲-۵۰- محل قرار گرفتن کلاف شماره یک در شیارهای استاتور
موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۲- یک شیار به‌عنوان شیار آغاز سیم‌بندی در نظر بگیرید.

۳- جهت گردش برای سیم‌بندی را در نظر بگیرید.

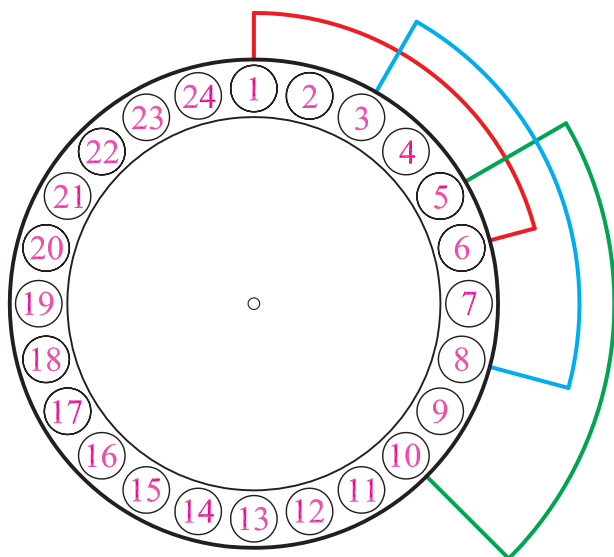
۴- کلاف شماره ۱ را جاگذاری کنید (شکل ۲-۵۰).

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



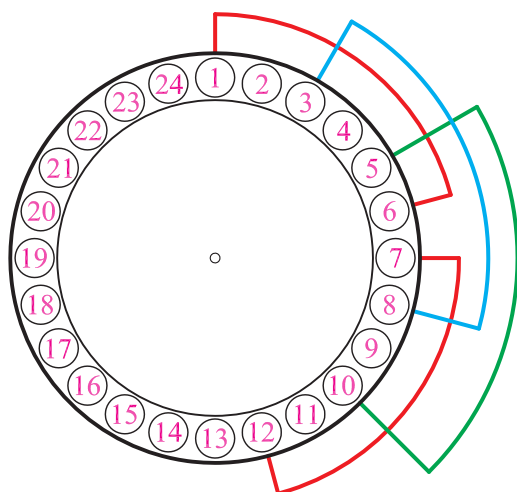
شکل ۲-۵۱- محل قرار گرفتن سومین کلاف، در شیارهای استاتور موتور
۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۶- شیار شماره ۴ را رها کنید و کلاف سوم را در شیارهای ۵ و ۱۰ قرار دهید (شکل ۲-۵۲).



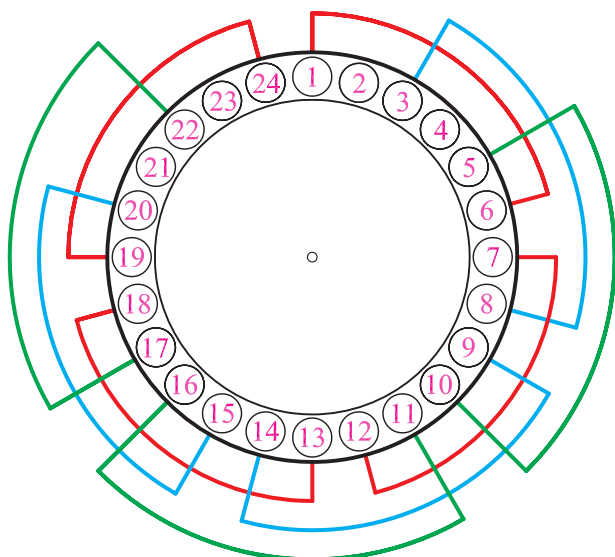
شکل ۲-۵۲- محل قرار گرفتن دومین کلاف، در شیارهای استاتور موتور
۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۷- به همین ترتیب، کلاف‌های چهار تا نهم را در شیارهای
 ۱۲-۷، ۱۴-۹، ۱۶-۱۱، ۱۸-۱۳، ۲۰-۱۵ و ۲۲-۱۷ قرار
 دهید (شکل‌های ۵۳ و ۵۴).



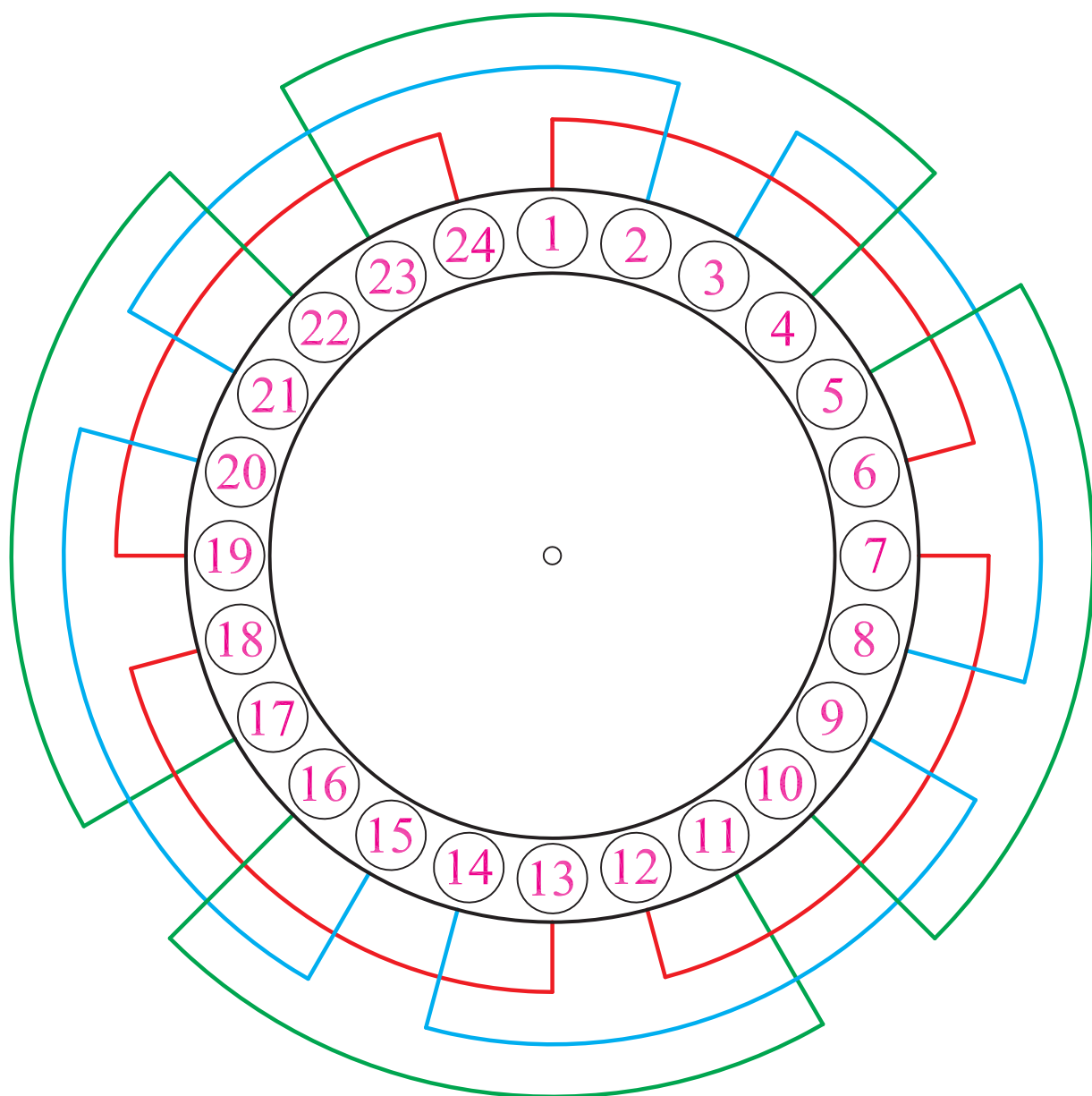
شکل ۲-۵۳- محل قرار گرفتن چهارمین کلاف، در شیارهای استاتور
 موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۸- کلاف دهم را مطابق شکل ۲-۵۴ در شیارهای
 ۱۹-۲۴ قرار دهید.

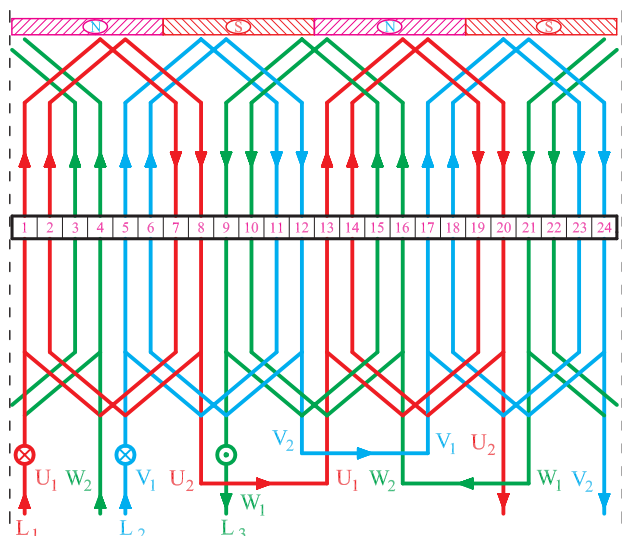


شکل ۲-۵۴- محل قرار گرفتن دهمین کلاف، در شیارهای استاتور موتور
 ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

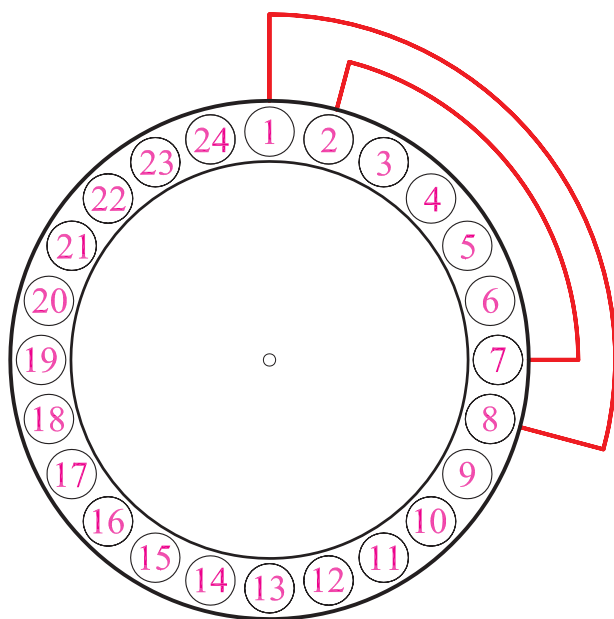
۹- بازوهای موجود در شیارهای ۱ و ۳ را از شیارهای
مربوطه خارج کنید. کلاف‌های ۱۱ و ۱۲ را در جای خود قرار
دهید و بازوهای خارج شده از شیارهای ۱ و ۳ را به جایگاه خود
برگردانید (شکل ۵۵-۲).



شکل ۵۵-۲- بازوهای ۱ و ۳ را به جای اصلی برگردانده و کلاف‌گذاری در داخل شیارها کامل می‌شود.



شکل ۲-۵۶



شکل ۲-۵۷ محل قرار گرفتن گروه کلاف اول در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به ازای جفت قطب

۵-۳-۲- کار عملی ۵

زمان: ۲۴ ساعت

موضوع: سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار سه فاز ۴ قطب با سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز به ازای جفت قطب.

مراحل انجام کار

۱- شکل ۲-۵۶ را در نظر بگیرید و ۶ گروه کلاف با گام‌های

۱ به ۸ و ۲ به ۷ تهیه کنید.

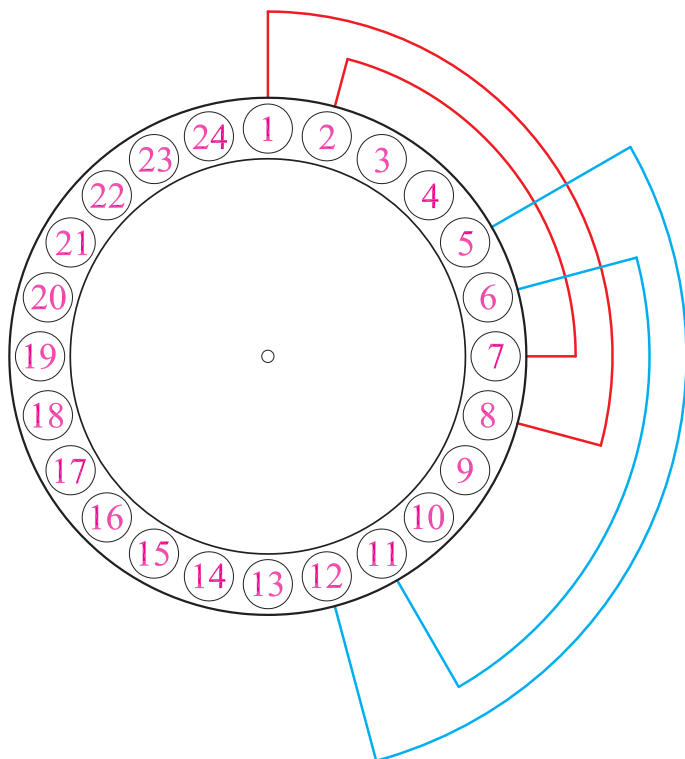
۲- شیاری را به عنوان شیار آغاز سیم‌بندی در نظر بگیرید.

۳- جهت گردش برای سیم‌بندی را در نظر بگیرید.

۴- گروه کلاف شماره ۱ را جاگذاری کنید. ابتدا کلاف ۲

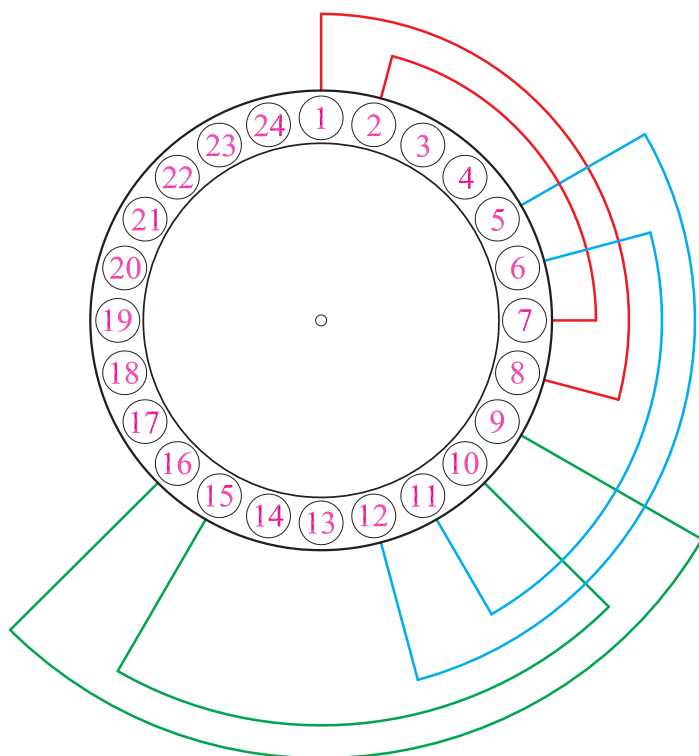
به ۷ سپس کلاف ۱ به ۸ را در شیارهای استاتور قرار دهید (شکل ۲-۵۷).

۵- شیارهای ۳ و ۴ را رها کنید و گروه کلاف شماره ۲ را در شیارهای ۵-۶ و ۱۱-۱۲ قرار دهید (شکل ۲-۵۸).



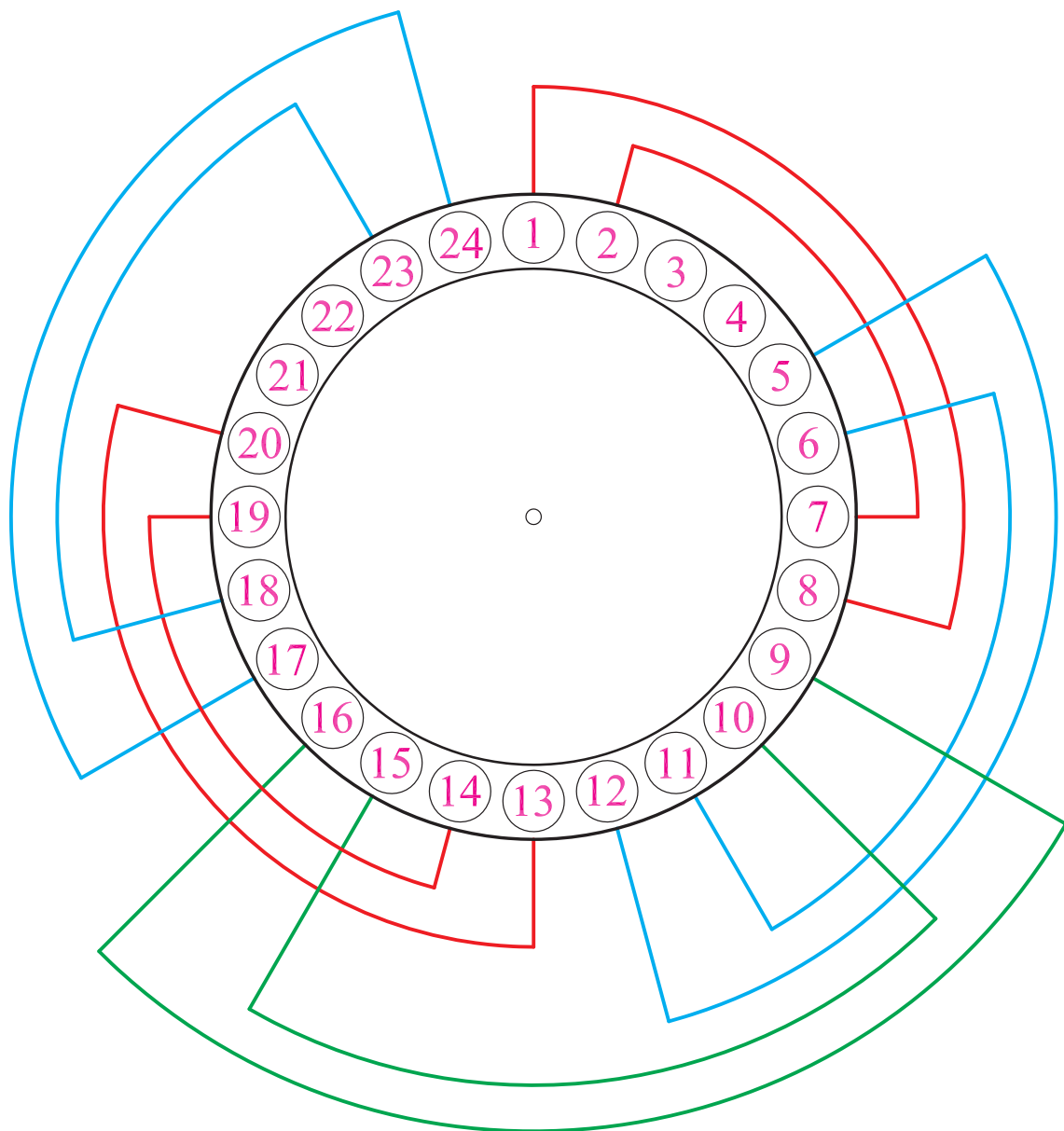
شکل ۲-۵۸- محل قرار گرفتن گروه کلاف دوم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحد‌المرکز به‌ازای جفت قطب

۶- گروه کلاف شماره ۳ را در شیارهای ۹-۱۰ و ۱۵-۱۶ قرار دهید (شکل ۲-۵۹).



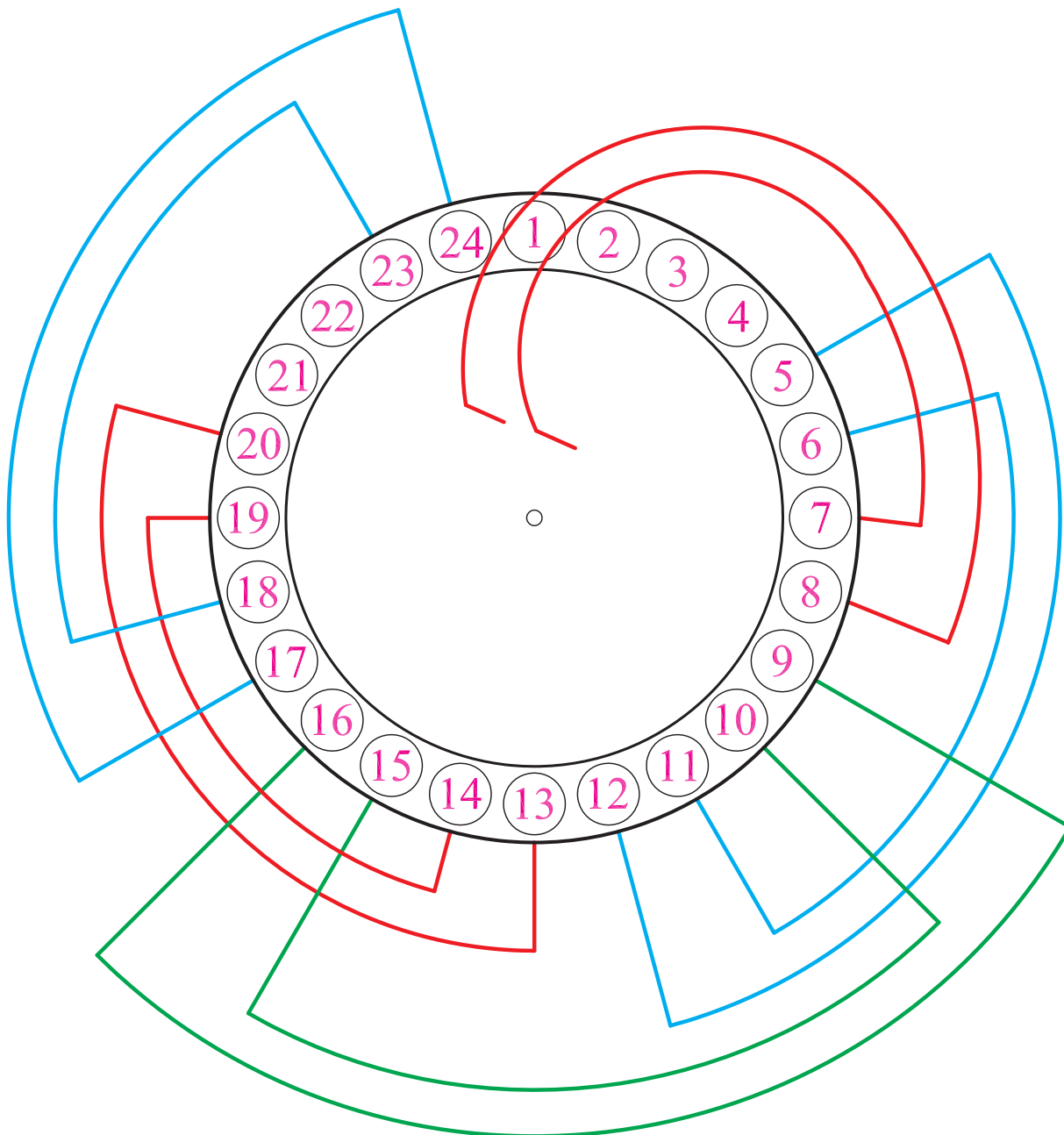
شکل ۲-۵۹- محل قرار گرفتن گروه کلاف سوم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحد‌المرکز به‌ازای جفت قطب

۷- گروه کلاف شماره ۴ را در شیارهای ۱۳-۱۴ و
 ۱۹-۲۰ و گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۱۷-۱۸ و ۲۳-۲۴
 قرار دهید (شکل ۶۰-۲).



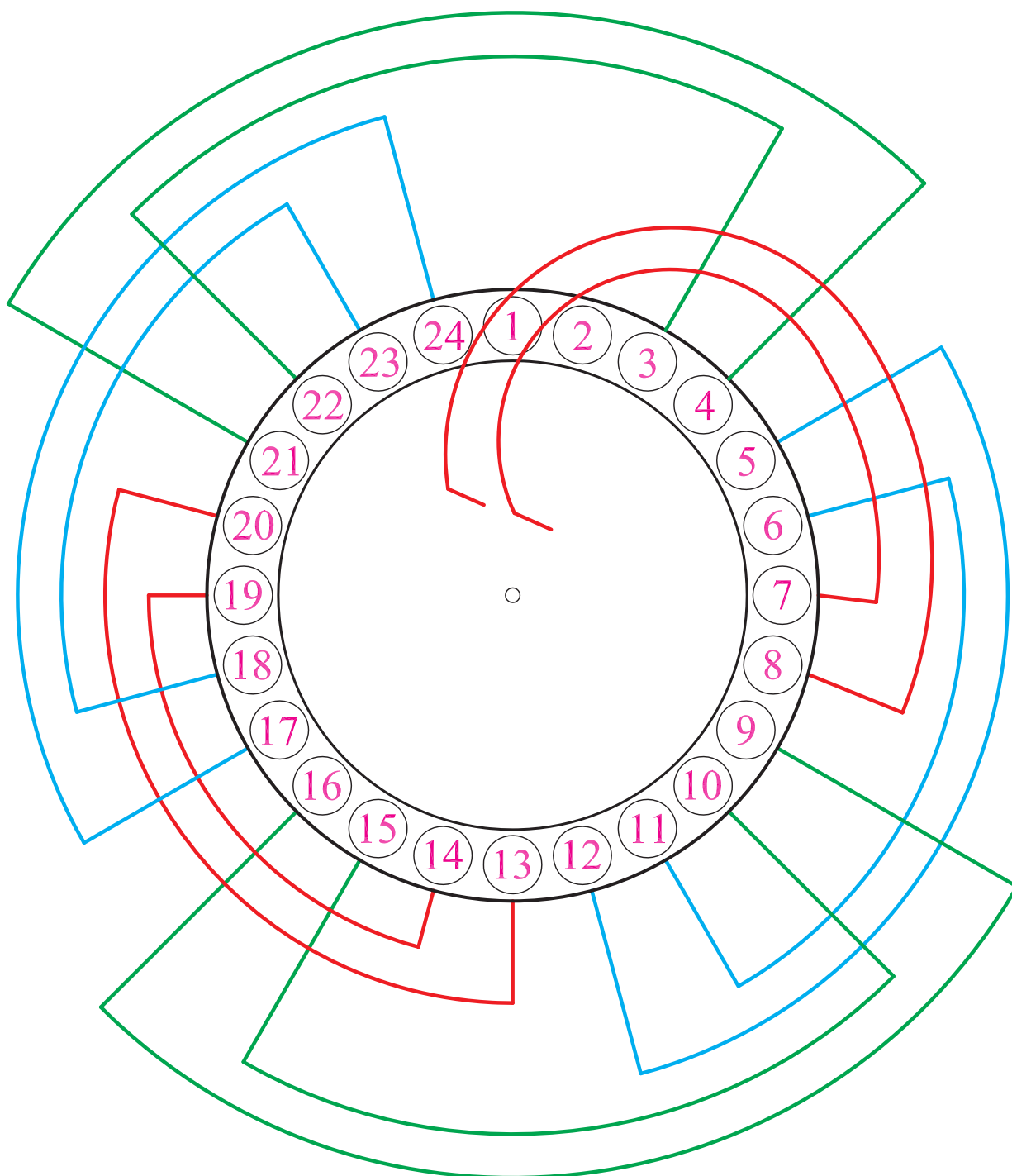
شکل ۶۰-۲- محل قرار گرفتن گروه کلاف پنجم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم بندی متحدالمرکز به ازای جفت قطب

۸- 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 می گیرند، جاگذاری کنید (شکل ۶۱-۲).



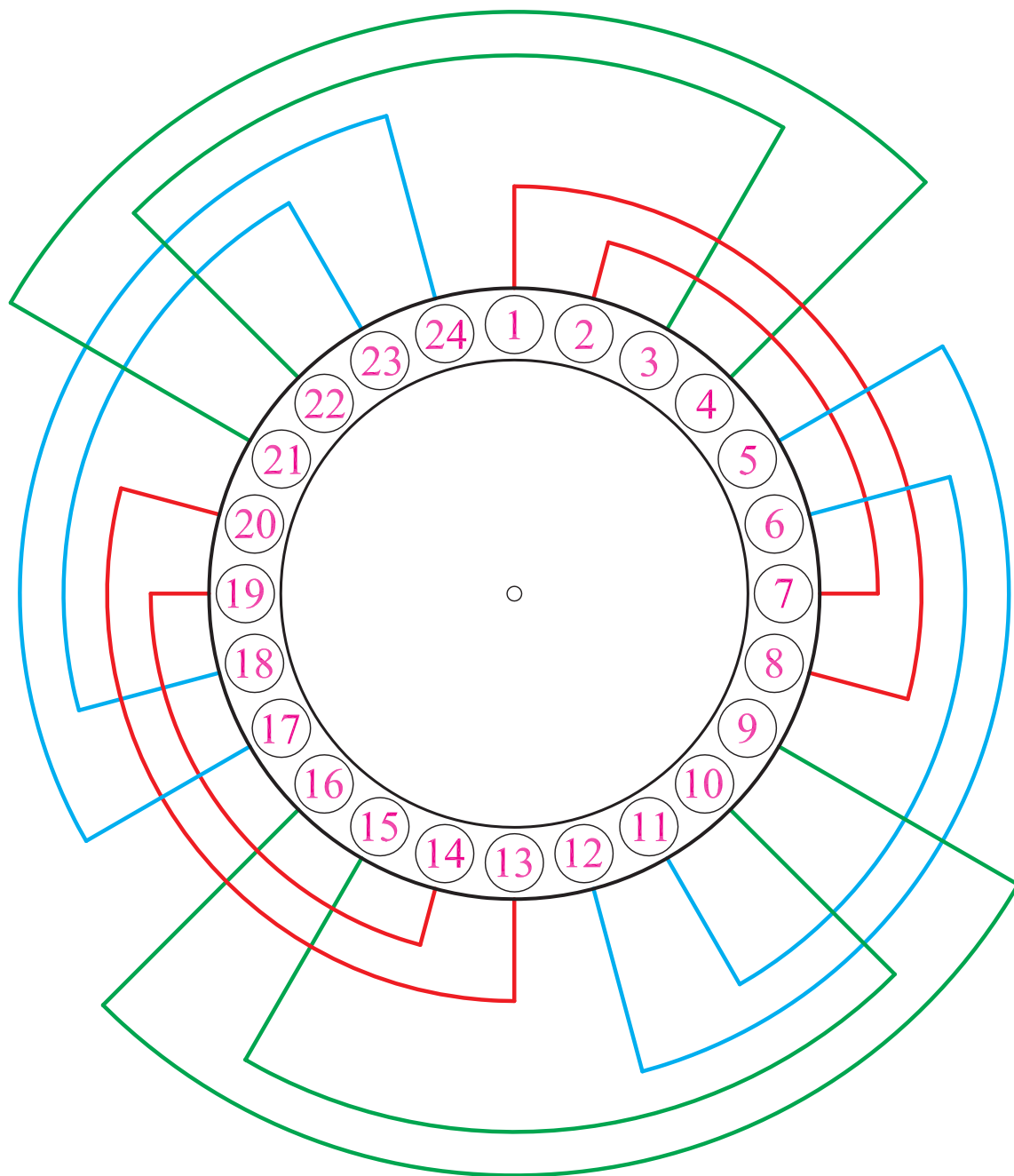
شکل ۶۱-۲- خارج کردن بازوهای ۱ و ۲ از شیارهای ۱ و ۲ به منظور قرار دادن بازوهای گروه کلاف شماره ۶

۹- گروه کلاف شماره ۶ را در شیارهای ۲۱-۲۲ و ۳-۴ قرار دهید (شکل ۶۲-۲).

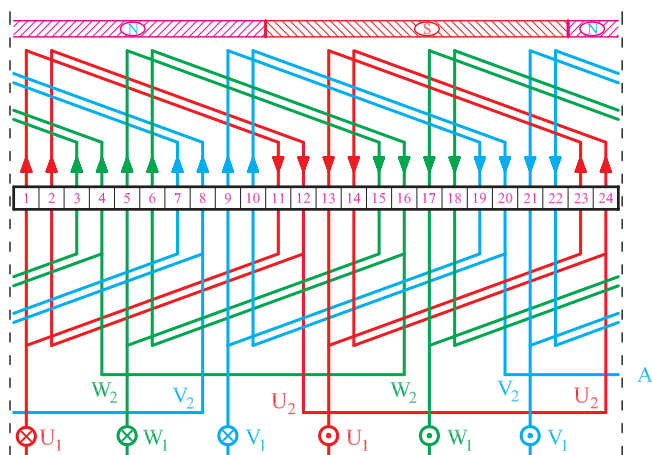


شکل ۶۲-۲- محل قرار گرفتن گروه کلاف ششم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم بندی متحدالمرکز به ازای جفت قطب

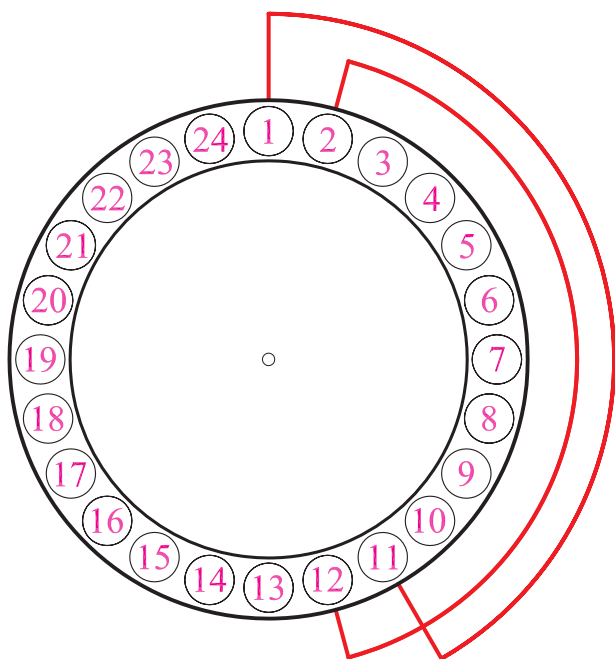
۱۰- بازوهای ۱ و ۲ گروه کلاف شماره ۱ را به جای اصلی برگردانید (شکل ۶۳-۲).



شکل ۶۳-۲- برگردانیدن بازوهای ۱ و ۲ به شیارهای مربوطه و تکمیل کلاف گذاری در شیارهای استاتور



شکل ۲-۶۴



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

۶-۳-۲- کار عملی ۶

زمان: ۲۴ ساعت

موضوع: سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار سه فاز ۲ قطب با

سیم‌بندی به‌ازای قطب.

مراحل انجام کار

۱- شکل ۲-۶۴ را در نظر بگیرید و ۶ گروه کلاف با گام

مساوی ۱ به ۱۱ تهیه کنید.

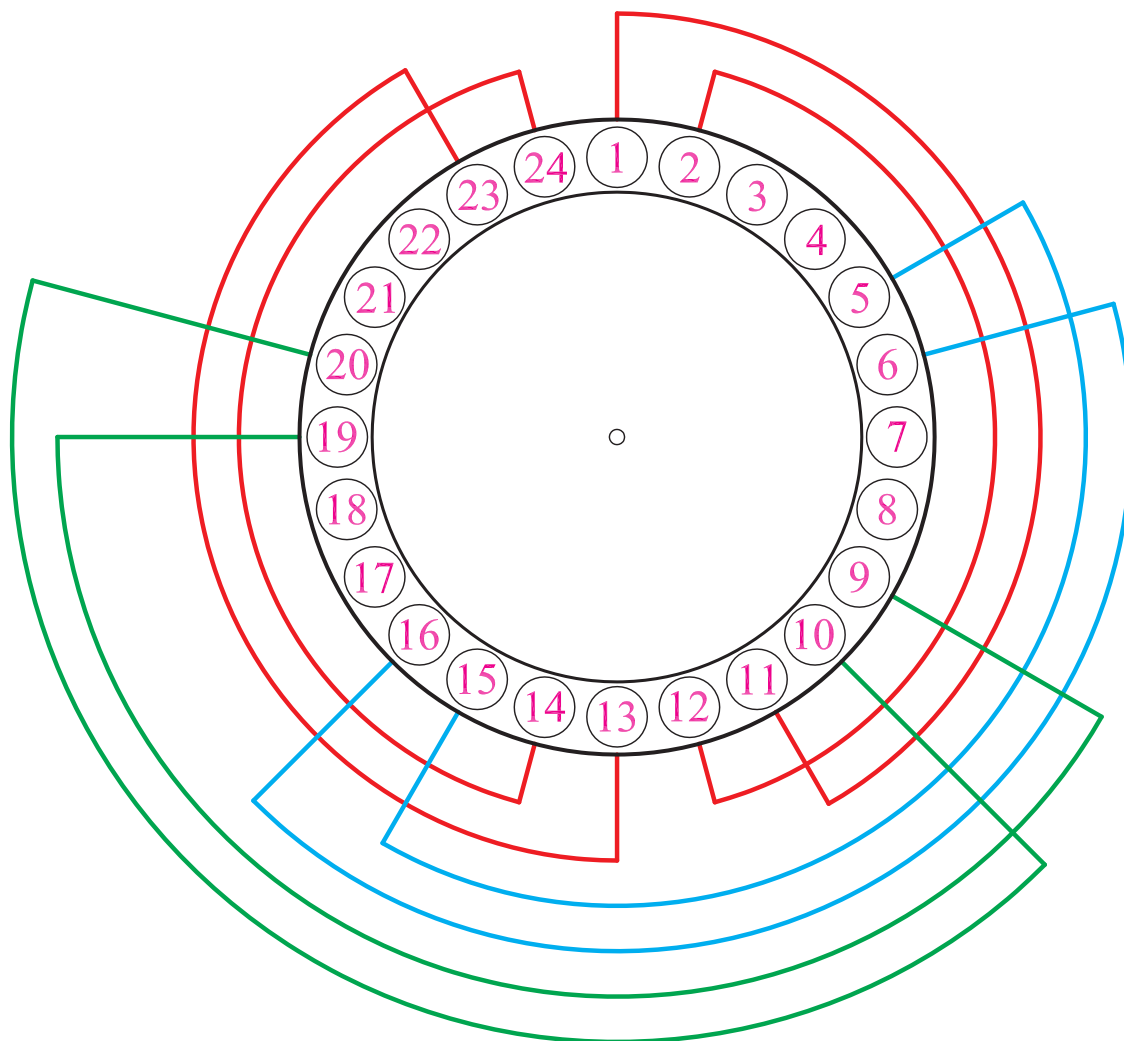
۲- شکاری را به‌عنوان شیار آغاز سیم‌بندی در نظر بگیرید.

۳- جهت گردش برای سیم‌بندی را در نظر بگیرید.

۴- بازوهای گروه کلاف شماره ۱-۲ و ۱۱-۱۲ را

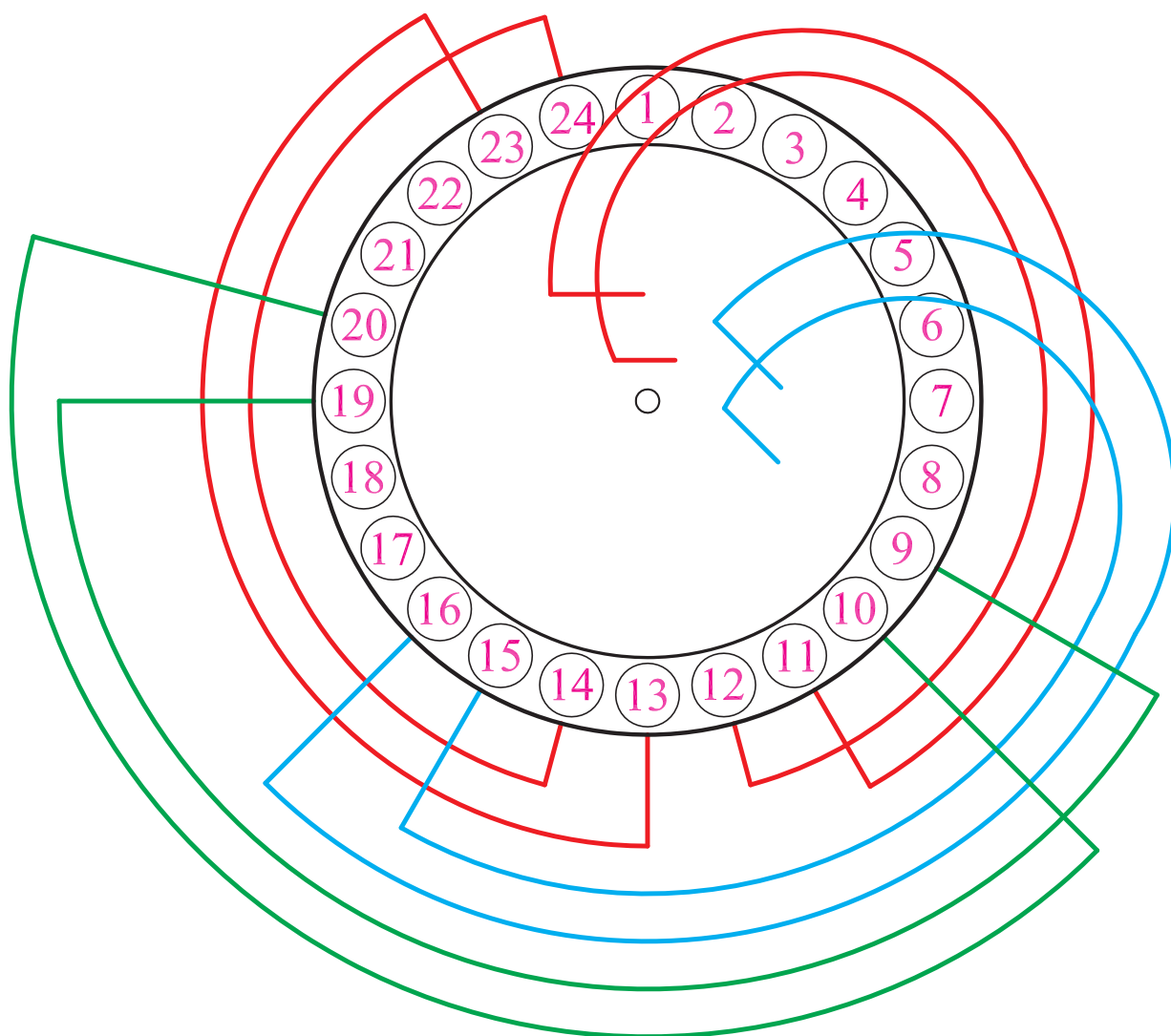
جاگذاری کنید (شکل ۲-۶۵).

۵- شیارهای ۳ و ۴ را رها کنید و گروه کلاف دوم را در شیارهای ۵-۶ و ۱۵-۱۶ قرار دهید. به همین ترتیب، شیارهای ۷ و ۸ را رها کنید و گروه کلاف سوم را در شیارهای ۹-۱۰ و ۱۹-۲۰ قرار دهید. سپس گروه کلاف چهارم را در شیارهای ۱۳-۱۴ و ۲۳-۲۴ قرار دهید (شکل ۲-۶۶).



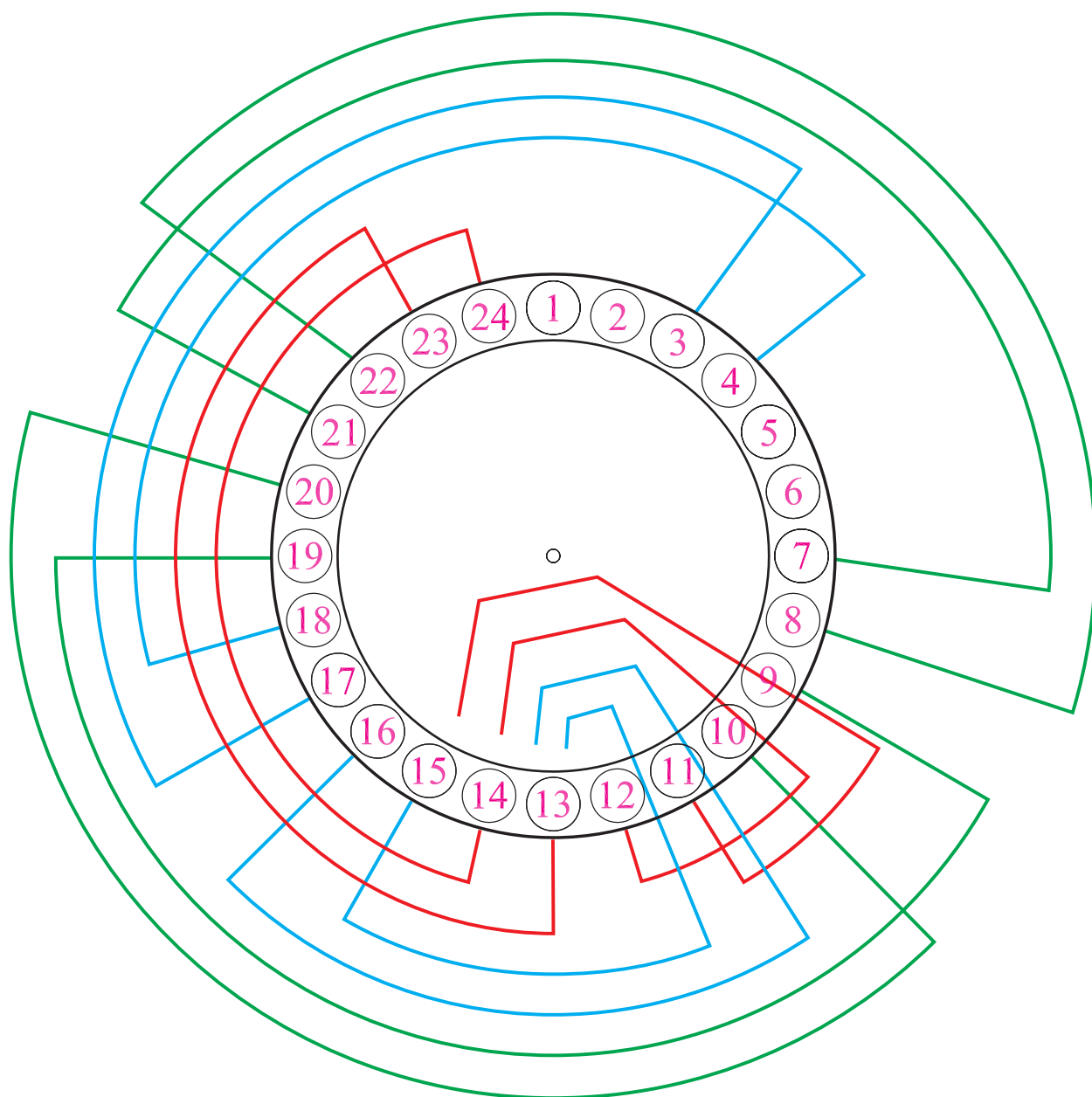
شکل ۲-۶۶- محل قرار دادن گروه کلاف شماره چهار در سیم بندی موتور سه فاز ۲ قطب ۲۴ شیار با سیم بندی به ازای قطب

۶- 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 ۶۷-۲).



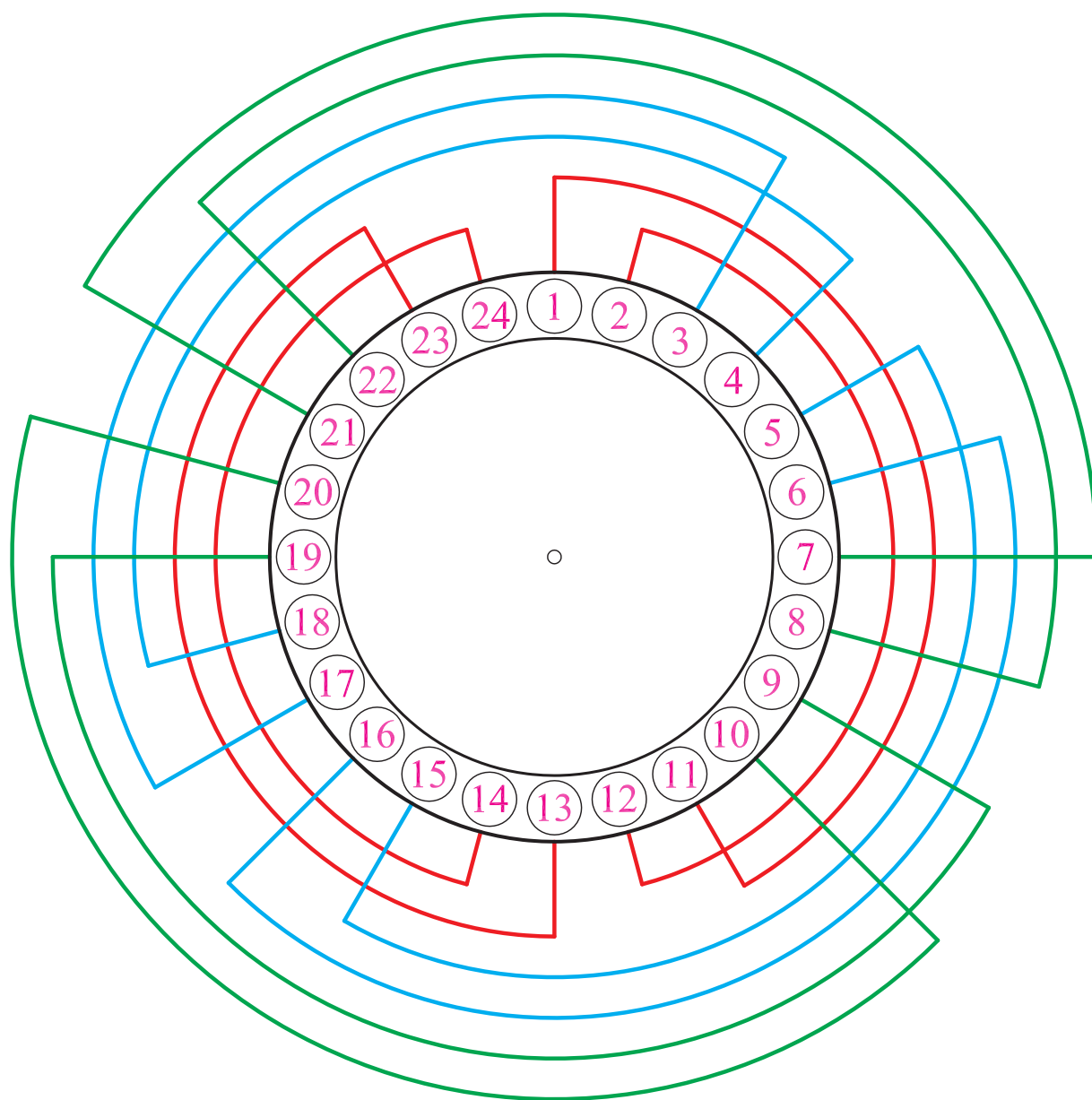
شکل ۶۷-۲- خارج کردن بازوهای ۱ و ۲ و ۵ و ۶ از شیارهای مربوطه به منظور قرار دادن گروه کلاف شماره ۵ و ۶

۷- گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۱۷-۱۸ و ۲-۴ قرار دهید. گروه کلاف شماره ۶ را در شیارهای ۲۱-۲۲ و ۸-۷ قرار دهید (شکل ۶۸-۲).



شکل ۶۸-۲- قرار دادن گروه کلاف شماره ۶

۸- بازوهای ۲ و ۱ گروه کلاف شماره ۱ و بازوهای ۵ و ۶ گروه کلاف شماره ۲ را به جای خود برگردانید. به این ترتیب سیم بندی کامل می شود (شکل ۶۹-۲).



شکل ۶۹-۲- برگردانیدن بازوهای گروه کلاف های شماره ۱ و ۲ به جای اولیه و تکمیل کلاف گذاری در داخل شیارهای موتور ۲۴ شیار ۲ قطب با سیم بندی به ازای قطب

آزمون پایانی (۲)

- ۱- به چه دلیل، قبل از جاگذاری کلاف در داخل شیار لازم است کلاف‌ها را مرتب و صاف کرد؟
- ۲- اقدامات لازم برای جلوگیری از ساییده شدن سیم‌ها به بدنه استاتور و اتصال آن‌ها به بدنه، را بیان کنید.
- ۳- اگر روی بازوها پس از جاگذاری آن‌ها در داخل شیارها با کاغذ پرسیان پوشانده نشود، چه عواقبی در پی خواهد داشت؟
- ۴- نکات ایمنی در هنگام کلاف‌گذاری در داخل شیارها را بیان کنید.
- ۵- ابزار لازم برای کلاف‌گذاری در داخل شیارها را نام ببرید.
- ۶- مراحل کلاف‌گذاری در داخل شیارها را نام ببرید.
- ۷- کار عملی: یک الکتروموتور سه فاز ۳۶ شیار را در اختیار بگیرید و مراحل مختلف کلاف‌گذاری این موتور را برای سیم‌بندی ۲ قطب به ازای سیم‌بندی $G = 2P$ انجام داده و کلاف‌ها را در داخل شیارها قرار دهید.

واحد کار سوم

سربندی سیم پیچی الکتروموتورهای سه فاز

هدف کلی

اتصال گروه کلاف‌ها در هر فاز

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

- ۱- با اهم‌متر، سرگروه کلاف‌ها را پیدا کند.
- ۲- با استفاده از نقشه موتورها، اتصال گروه کلاف‌ها را در هر فاز الکتروموتورهای سه فاز یک سرعتی انجام دهد.

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

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

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

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

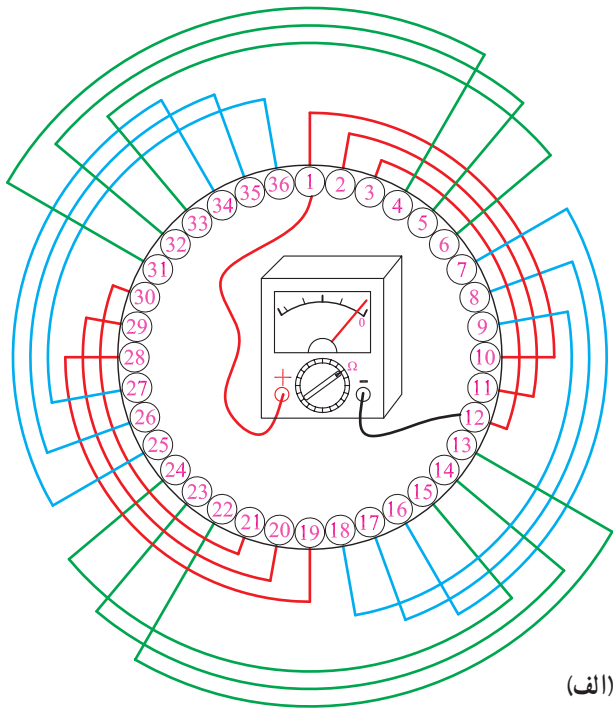


ساعات آموزش

نظری	عملی	جمع
۴	۱۶	۲۰

۱-۳- 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 به گونه‌ای 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 این گونه مواقع، یا رتور قفل کرده و به گردش در نمی‌آید 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.



در سربندی کلاف‌ها با توجه به نقشه موتور، یکی از کلاف‌ها را به عنوان شیار شماره یک در نظر 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 اهم‌تر آزمایش می‌کنیم. برای این منظور، سر لاک‌برداری شده U_1 را با انتهای کلاف انتخاب شده به ترمینال‌های اهم‌تر هدایت می‌کنیم. اگر اهم‌تر مقاومت ناچیزی نشان دهد انتخاب سر و ته گروه کلاف صحیح است. در صورت نمایش مقاومت زیاد توسط اهم‌تر، 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 اهم‌تر مشخص کرده و طبق نقشه سربندی می‌کنیم (شکل ۱-۳).



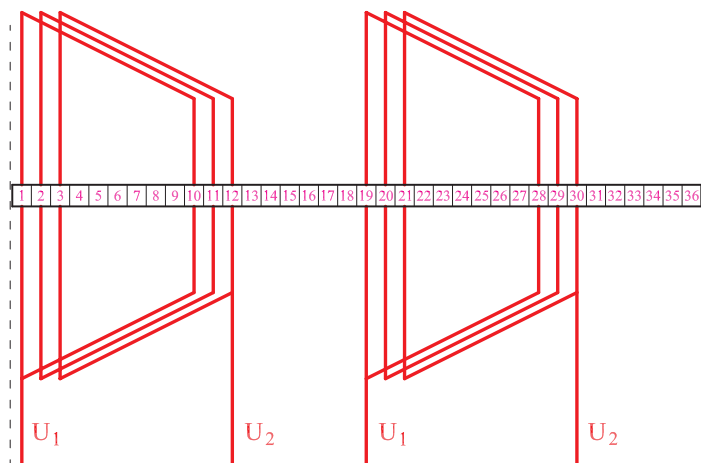
شکل ۱-۳- سر و ته یک گروه کلاف مقاومت ناچیزی نشان می‌دهد.

در سربندی کلاف‌ها اگر $G = P$ باشد، اتصال گروه کلاف‌ها اتصال نزدیک است، یعنی ته هر گروه کلاف به سر گروه کلاف بعدی در آن 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 در نظر بگیرید و براساس شماره‌های نقشه، شیارهای استاتور را شماره‌بندی کنید. سرسیم‌های گروه کلاف‌ها را در سرسیم‌ها، 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 $1/5$ 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 بیچید. 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:

۱- نقشه دیاگرام گسترده یا مدور سیم‌پیچی مربوط به فاز U_1 و U_2 را تهیه کنید (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳- نقشه فاز ۱ موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی به‌ازای قطب



شکل ۳-۳- شماره‌گذاری استاتور کلاف‌گذاری شده

۲- شیارهای استاتور را شماره‌گذاری کنید (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۴- آزمایش ارتباط کلاف‌های گروه کلاف شماره ۱

۳- 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 اهم‌تر آزمایش کنید.

۴- سرسیم‌هایی را که از شیارهای ۱۹ و ۳۰ خارج می‌شوند، با اهم‌تر آزمایش کنید. این سیم‌ها باید به هم ارتباط داشته باشند (شکل ۳-۴).



الف

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

۶- سرسیم‌ها را از واریش‌های مورد نیاز عبور دهید (شکل ۳-۵).

شکل (۵-۳- الف) - قرار دادن واریش با قطر کم روی

سیم



ب

شکل (۵-۳- ب) - عبور دادن واریش با قطر بیشتر

روی واریش قطر کمتر

شکل ۳-۵- عبور دادن سیم‌ها از داخل واریش



۷- سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۲ و ۱۹ را پس از کوتاه کردن، به اندازه ۱/۵ تا ۲ سانتی متر لاک برداری کنید (شکل ۳-۶).

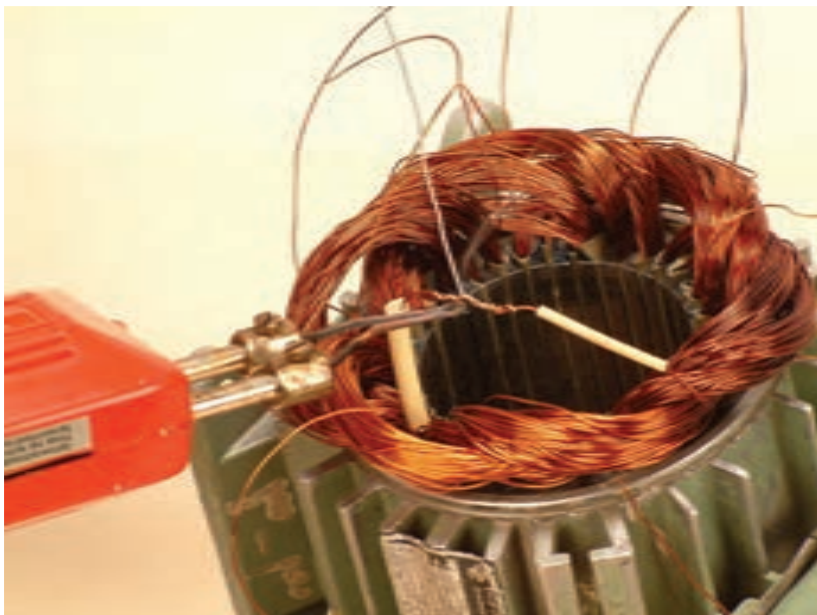
شکل ۳-۶- سرسیم‌ها را به اندازه ۱/۵ تا ۲ سانتی متر لاک برداری کنید.



۸- سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۲ و ۱۹ را روی هم قرار داده و هرکدام را به اندازه یک سانتی متر روی دیگری بتابانید (شکل ۳-۷).

شکل ۳-۷- سیم‌ها را به هم گره زده و به اندازه یک سانتی متر روی هم بتابانید.

محل اتصال را لحیم کنید (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- محل اتصال دو سیم را لحیم کنید.

۹- واریش‌های با قطر کمتر را از طریق هر دو سیم به محل لحیم شده انتقال دهید تا کاملاً آن را پوشش دهد (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹- هدایت واریش‌ها به محل لحیم شده

۱۰- وارنیش با مقطع زیاد را روی دو وارنیش با قطر کمتر بکشید (شکل ۱۰-۳).



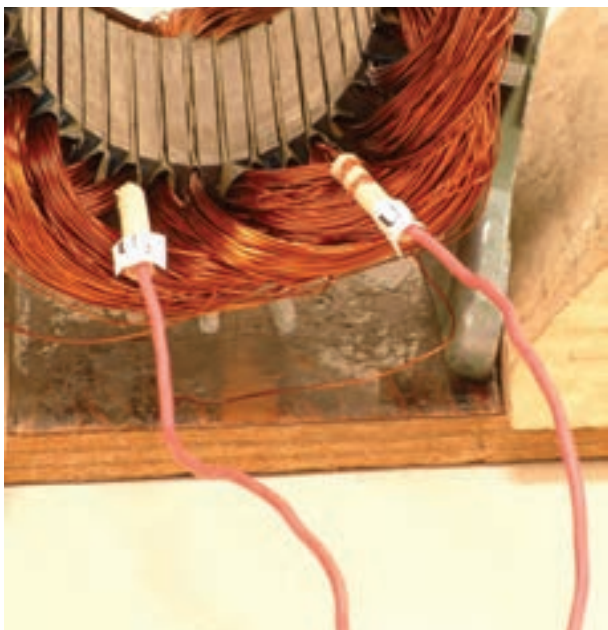
شکل ۱۰-۳



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

۱۲- سرسیمی را که از شیار شماره ۱ بیرون آمده است، به اندازه کافی کوتاه کرده و پس از لاک برداری، آن را به سیم افشان اتصال دهید و محل اتصال را لحیم کاری کرده و با وارنیش مناسب بپوشانید. به سیم افشان برچسب U_1 بزنید (شکل ۱۱-۳).

شکل ۱۱-۳ اتصال سیم افشان به ابتدا و انتهای فاز و برچسب زدن آن



شکل ۱۲-۳

۱۳- سیم خروجی از شیار شماره ۳۰ را با سیم افشان اتصال داده و پس از لحیم کاری و گذاشتن وارنیش، برچسب U_p بزنید (شکل ۱۲-۳).

۲-۳- کارهای عملی ۳

کار عملی ۱

هدف: سربندی سیم پیچی الکتروموتورها
نکات ایمنی: از روشنایی مناسب در روی میز کار استفاده کنید. از میز کار و صندلی استاندارد مناسب استفاده کنید تا هیچ گونه فشاری بر کمر و پاهای تان وارد نشود.

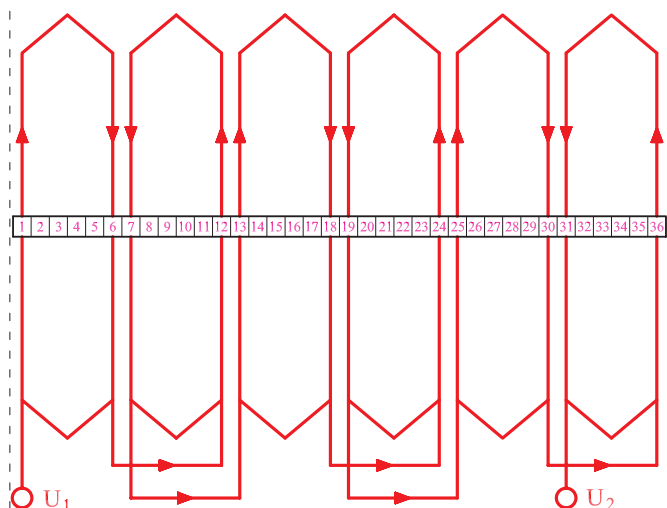
وسایل و ابزار مورد نیاز

- ۱- نگهدارنده استاتور یک عدد
 - ۲- استاتور ۳۶ شیار کلاف گذاری شده در کار عملی شماره ۲ واحد کار دوم (شکل ۳۹-۲) یک عدد
 - ۳- اهم متر یک عدد
 - ۴- وارنیش مناسب مقطع سیم
 - ۵- هویه برقی یک عدد
 - ۶- روغن و سیم لحیم به حد کافی
 - ۷- سیم افشان مناسب در سه رنگ به حد کافی
- موضوع: سربندی سیم پیچی الکتروموتور سه فازشش قطب ۳۶ شیار به ازای قطب
- مراحل انجام کار

- ۱- استاتور را روی نگهدارنده استاتور قرار داده و شیارها را شماره گذاری کنید (شکل ۱۳-۳).



شکل ۱۳-۳ شماره گذاری شیارها



۲- نقشه گسترده اتصالی فاز U_1 و U_2 را آماده کنید
(شکل ۱۴-۳).

شکل ۱۴-۳- نقشه اتصالی فاز U_1 و U_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با
سیم بندی به ازای قطب

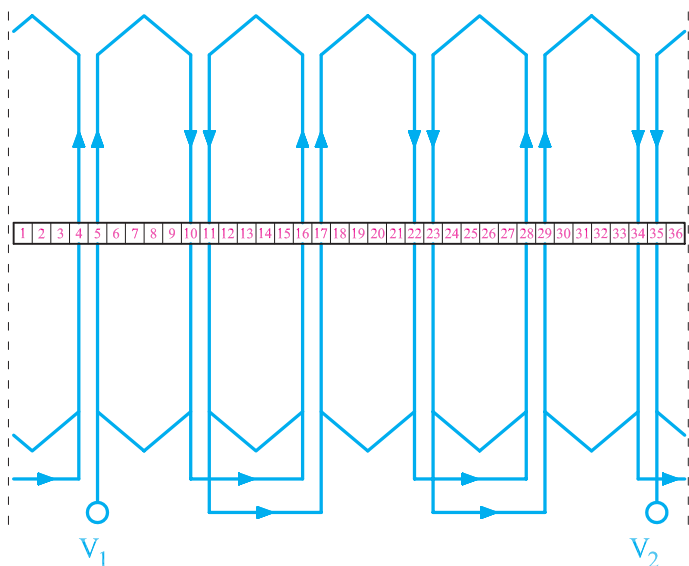


۳- براساس اتصال های موجود در نقشه ۱۴-۳ ابتدا
سیم های خروجی از شیارها ۱-۶، ۷-۱۲، ۱۳-۱۸، ۲۴-۱۹،
۲۵-۳۰ و ۳۱-۳۶ را با اهم متر آزمایش کنید. در صورتی که در
همه موارد عقربه اهم متر مقداری ناچیز را نشان داد، سیم خروجی
را به ترتیب شماره ۶ به ۱۲، ۷ به ۱۳، ۱۸ به ۲۴، ۱۹ به ۲۵ و
۳۰ به ۳۱ به هم ارتباط داده و روی اتصالی ها را با وارنیش
بپوشانید.

۴- سیم های خروجی از شیار ۱ و ۳۱ سیم افشان را
لحیم کرده و روی آن ها را وارنیش بکشید.

۵- به سیم افشان شماره ۱، برچسب U_1 و شماره ۳۱ را
برچسب U_2 بزنید (شکل ۱۵-۳).

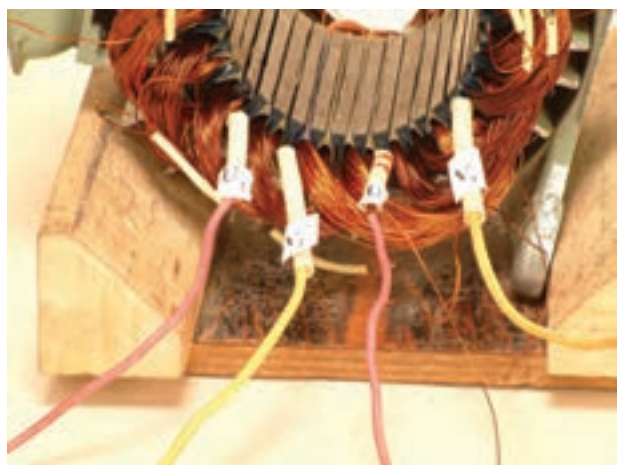
شکل ۱۵-۳- سربندی فاز U_1 و U_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب



شکل ۱۶-۳-الف

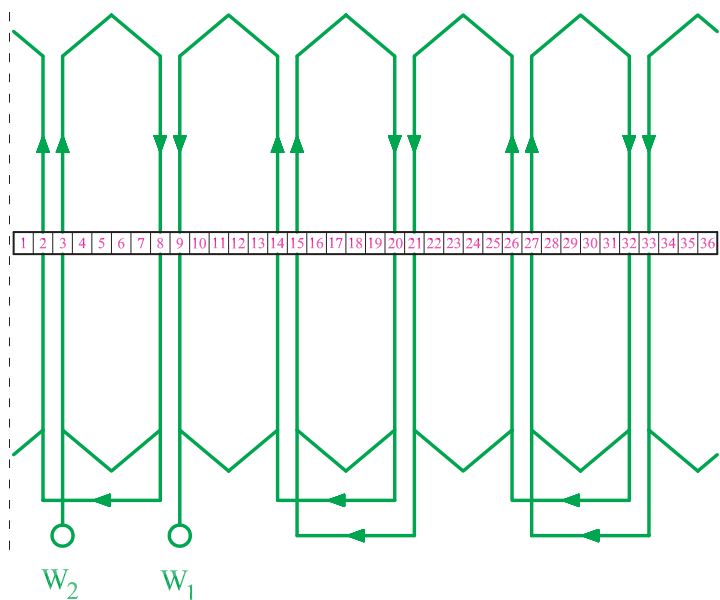
۶- براساس نقشه اتصال گروه کلاف‌های فاز V_1 و V_2 ، سیم‌های خروجی از شیارهای ۵-۱۰، ۱۶-۱۱، ۱۷-۲۲، ۲۳-۲۸، ۲۹-۳۴ و ۳۵-۴ را با اهم‌تر آزمایش کنید و از اتصال آن‌ها به یک‌دیگر خاطر جمع شوید. سپس سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۰ را به ۱۶، ۱۱ را به ۱۷، ۲۲ را به ۲۸، ۲۳ را به ۲۹ و ۳۴ را به ۴ اتصال دهید.

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 ۱۶-۳).
شکل (۱۶-۳-الف) نقشه اتصال سرسیم‌ها به یکدیگر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶-۳-ب

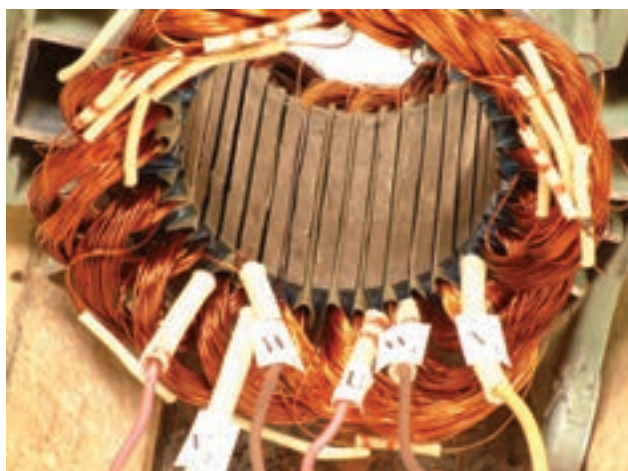
شکل ۱۶-۳- نقشه اتصالی فاز V_1 و V_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب



شکل ۳-۱۷ الف - نقشه اتصال سرسیم پا

۷- براساس نقشه اتصال گروه کلاف‌های فاز W_1 و W_2 سیم‌های خروجی از شیارهای ۹-۱۴، ۲۰-۱۵، ۲۶-۲۱، ۲۷-۳۲، ۳۳-۲ و ۳-۸ را با اهم‌تر آزمایش کنید و از اتصال آن‌ها به یکدیگر خاطر جمع 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.

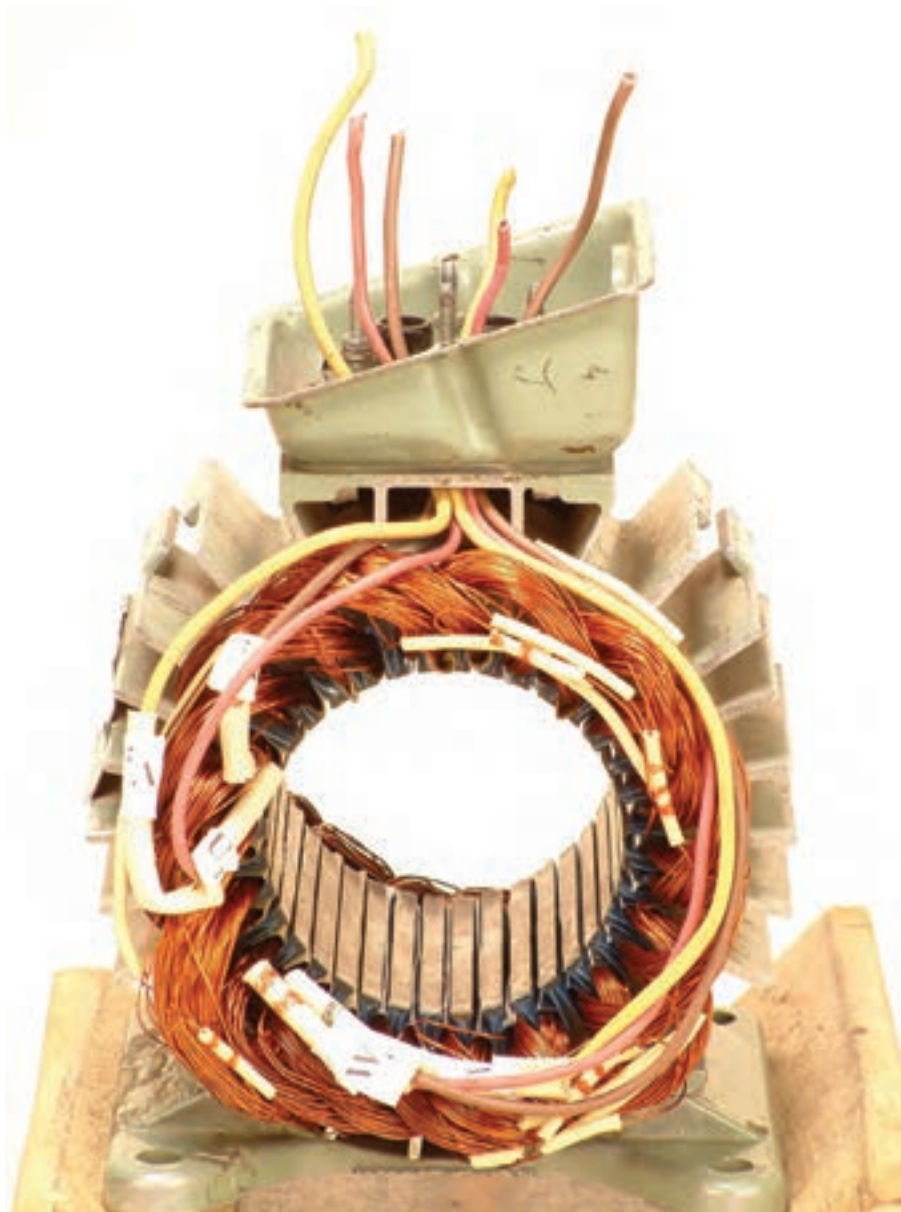
سیم خروجی از شیار شماره ۹ را با سیم افشان اتصال داده و برچسب W_1 بزنید. سیم خروجی از شیار ۳ را به سیم افشان اتصال داده و برچسب W_2 بزنید (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۷ ب

شکل ۳-۱۷ - نقشه اتصالی فاز W_1 و W_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی به ازای قطب

۸- سیم‌های لحیم شده را مرتب کرده و روی کلاف‌ها
بخوابانید. سپس سیم‌های افشان را از کوتاه‌ترین مسیر به جعبه
اتصال موتور هدایت کنید (شکل ۱۸-۳).



شکل ۱۸-۳- هدایت سیم‌های افشان به جعبه اتصال موتور

آزمون پایانی (۳)

- ۱- چه لزومی دارد سرسیم گروه کلاف‌ها را قبل از سیم‌بندی با اهم‌تر آزمایش کنیم؟
 - ۲- اگر براساس نقشه، وقتی که سرسیم‌ها را با اهم‌تر آزمایش می‌کنیم، سیم‌ها به هم راه ندهند، اشکال کار در کجا است؟ اقدام بعدی برای یافتن سرسیم‌های گروه کلاف را بیان کنید.
 - ۳- 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؟
 - ۴- به چه مناسبت، شیارهای داخل استاتور را در هنگام قرار دادن کلاف‌ها در داخل شیارها، شماره‌گذاری می‌کنند؟
 - ۵- چرا محل اتصال گروه کلاف‌ها را لحیم‌کاری کرده و محل لحیم‌کاری را با وارنیش می‌پوشانند؟
 - ۶- علت استفاده از وارنیش با مقطع زیاد بر روی وارنیش‌های با مقطع کم را بیان کنید.
 - ۷- چرا در انتهای سربندی هر فاز، ابتدا و انتهای سیم‌ها را برچسب می‌زنند؟
 - ۸- استفاده از سیم‌های افشان در ابتدا و انتهای هر فاز چه محاسنی دارد؟
 - ۹- آیا پس از سربندی گروه کلاف، آزمایش سرهای ابتدا و انتهای هر فاز با اهم‌تر ضرورت دارد؟ دلیل خود را بیان کنید.
- ۱۰- 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.
- ۱۱- کار عملی: استاتور کلاف‌گذاری شده شکل ۴۸-۲ را در اختیار بگیرید و سربندی آن را کامل کنید.
- ۱۲- در سربندی گروه کلاف‌ها سعی می‌شود اتصال گروه کلاف‌ها به گونه‌ای باشد تا بازوهای در قطب‌سازی پلاریته داشته باشند.
- ۱۳- 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	۲
۷	۴
۸	۳

منابع و مآخذ

- ۱- «محاسبه و سیم‌پیچی موتورهای القایی سه فاز»، مؤلفین: علی عراقی - محمد حیدری، زنده‌یاد مرحوم علی رحیمیان‌پرور - احمد معیری، انتشارات سیم‌لاکی، فارس.
- ۲- «محاسبه و سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی (تئوری و عملی)»، مؤلف: دکتر حسین رحمتی‌زاده، انتشارات نیلوفر.
- ۳- مجموعه جزوات آموزشی موتورپیچی دانشگاه شهید رجایی تهران، مؤلفین: علی عراقی و علی رحیمیان‌پرور، انتشارات دانشگاه شهید رجایی.

فهرست رشته‌های 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	۱-۱۰-۱۰۱-۳۰۶	۹۳۷۶	تعمیر ماشین‌های الکتریکی درجه (۲)	۷۵ و ۸-۵۳/۴۸
۲	ماشین‌های الکتریکی درجه (۱)	۱-۱۰-۱۰۱-۳۰۵	۹۳۷۵		
۳		۱-۱۰-			
۴		۱-۱۰-			
۵		۱-۱۰-			

