بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلیٰ مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

سیم پیچی الکترو موتورهای سه فاز

پایهٔ دهم

دورهٔ دوم متوسطه

شاخهٔ :کاردانش

زمینهٔ : صنعت

گروه تحصیلی : برق و رایانه

رشتهٔ مهارتی : ماشین‌های الکتریکی

نام استاندارد مهارتی مبنا : تعمیرماشین‌های الکتریکی درجه (۲)

کد استاندارد متولی :۵۳/۴۷/۲/۴ ـ ۸

۶۲۱ عراقی، علی

/۴۶ سیم پیچی الکترو موتورهای سه‌فاز/مؤلف : علی عراقی. ــ تهران : شرکت چاپ ونشرکتاب‌های

س ۴۹۴ع/ درسی ایران.

۱۱۶ص. :مصور.

متون درسی شاخهٔ کاردانش، زمینهٔ صنعت، گروه تحصیلی برق و رایانه، رشتهٔ مهارتی ماشین‌های الکتریکی.

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

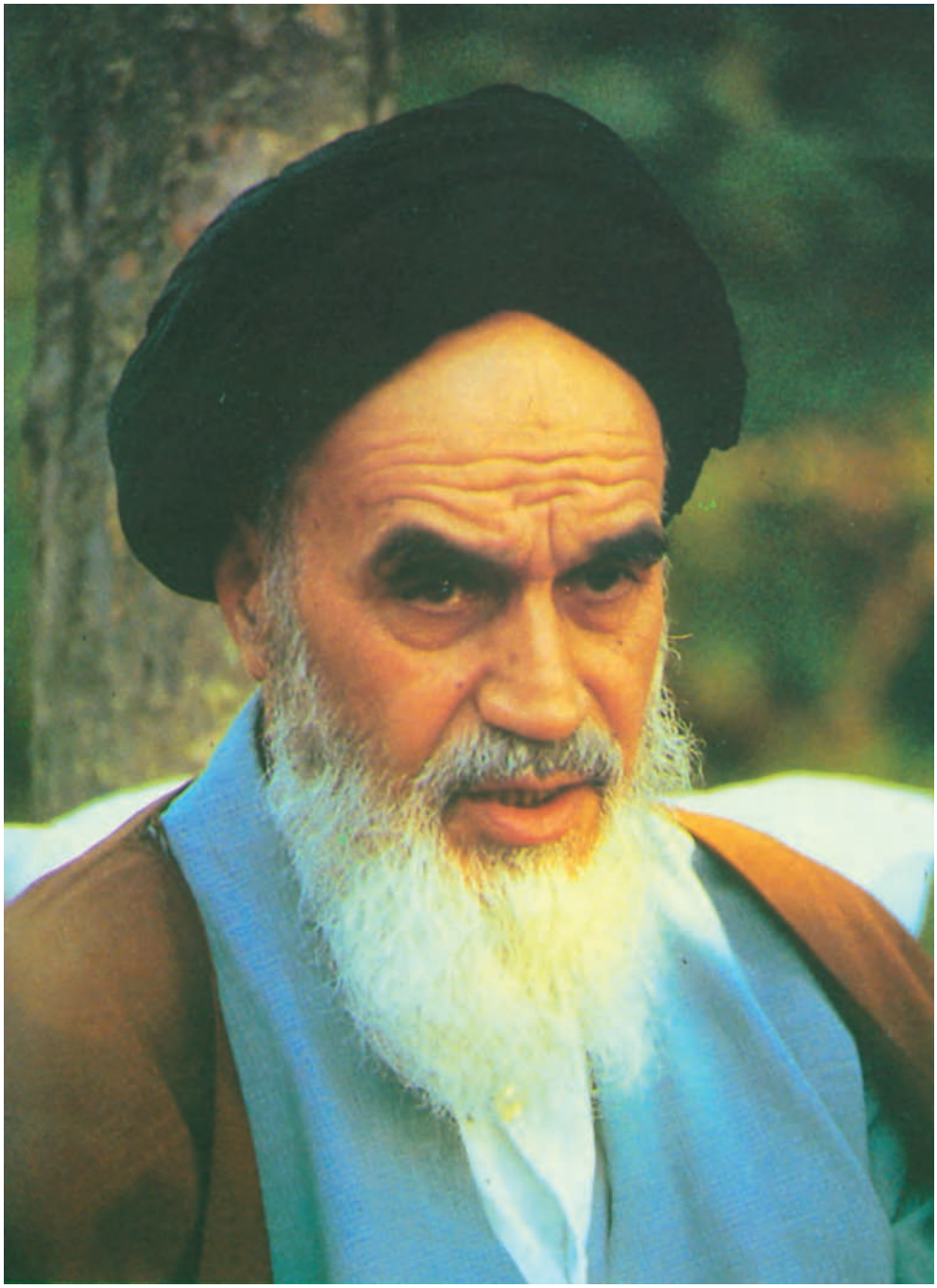
۱. موتورهای برقی سه‌فاز ــ سیم پیچی. الف. عنوان.

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب : سیم‌پیچی الکترو موتورهای سه‌فاز ـ ۳۱۰۱۷۲
پدیدآورنده : سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف : علی عراقی (مؤلف) ـ فریدون علومی (ویراستار فنی) ـ احمد بروجردی (ویراستار ادبی)
مدیریت آماده‌سازی هنری : ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی : طرفه سهائی(صفحه‌آرا) ـ طاهره حسن زاده (طراح جلد)ـ محمد سیّاحی(رسام)
نشانی سازمان : تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱ ، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه : www.chap.sch.ir، www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱
(دارو پخش) تلفن :۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه : شرکت چاپ ونشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ پنجم ۱۳۹۹

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۹-۱۲۵۵-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-1255-9



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

امام خمینی «قُدِّسَ سِرُّهُ»

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب بـه نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) info@tvoccd.sch.ir

وب‌گاه (وب‌سایت) www.tvoccd.sch.ir

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 قرارگرفته است. سپس مجموعه مهارت‌های هم‌خانواده به صورت واحدهای کار تحت عنوان (Unit) دسته‌بندی می‌شوند. در نهایت واحدهای کار هم خانواده با هم مجدداً دسته‌بندی شده و پودمان مهارتی (Module) را شکل می‌دهند.

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

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 تألیف کتاب‌های درسی
فنی و حرفه‌ای و کاردانش

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 سر و کار دارند، از مهارت‌های بیشتری برخوردار باشند. در این مجموعه سعی شده است تا با فرمول‌ها و روابط علمی ساده، مسائل مرتبط با ماشین‌های الکتریکی مورد بررسی قرار گیرد.

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

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

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

از آن‌جایی که مراحل اجرای کار و تنظیم موارد موجود در واحدهای کاری براساس دستورالعمل تصویب شده کارشناسی انجام شده، ممکن است نواقصی در مجموعه مشاهده شود که انتظار داریم مربیان و همکاران عزیز در صورت روبه‌روشدن با مواردی که نیاز به اصلاح دارند، نکات و روش‌های اصلاحی آن‌ها را به سازمان پژوهش 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 تألیف کتاب های درسی 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 اوّل : توانایی ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی الکتروموتورهای یک‌طبقه یک‌سرعته سه‌فاز	۱
پیش آزمون (۱)	۲
۱ـ۱ـ میدان مغناطیسی استاتور و تعداد قطب‌ها	۳
۲ـ۱ـ ایجاد میدان دوار توسط جریان سه‌فاز	۶
۳ـ۱ـ اصطلاحات و روابط نقشه‌کشی سیم‌پیچی استاتور الکتروموتورها	۱۳
۴ـ۱ـ سیم‌بندی یک طبقه استاتور الکتروموتورها	۱۷
۵ـ۱ـ انواع سیم‌بندی از لحاظ شکل کلاف‌ها	۱۹
۶ـ۱ـ اصول محاسبه دیاگرام الکتروموتورهای آسنکرون سه‌فاز یک طبقه یک‌سرعته	۲۰
۷ـ۱ـ سیم‌بندی یک طبقه با گام کسری (سیم‌بندی به‌ازای قطب)	۳۳
۸ـ۱ـ کارهای عملی۱	۳۷
آزمون پایانی (۱)	۵۵
واحد کار دوم :توانایی قراردادن کلاف در شیار استاتور	**۵۷**
۱ـ۲ـ قرار دادن کلاف در شیار استاتور	۵۸
۲ـ۲ـ قراردادن کاغذ پرشمان روی کلاف‌ها	۶۱
۳ـ۲ـ کارهای عملی ۲	۶۳
آزمون پایانی (۲)	۱۰۱
واحد کار سوم : سربندی سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز	**۱۰۳**
۱ـ۳ـ اصول سربندی کلاف‌ها در داخل استاتور	۱۰۴
۲ـ۳ـ کارهای عملی ۳	۱۱۰
آزمون پایانی (۳)	۱۱۵
پاسخ پیش‌آزمون	۱۱۵
منابع و مآخذ	**۱۱۶**

هدف کلی پودمان

محاسبه و ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی موتورهای یک طبقه سه‌فاز

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

واحد کار اوّل

توانایی ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی الکتروموتورهای یک طبقه یک‌سرعته سه‌فاز

هدف کلی

محاسبه و ترسیم دیاگرام‌های سیم‌بندی موتورهای یک‌طبقه سه‌فاز

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

۱ــ میدان مغناطیسی اطراف سیم جریان‌دار را شرح دهد.

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

۳ــ دور رتور را محاسبه کند.

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

۵ــ محور قطبی و گام قطبی را تعریف کند.

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

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

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

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

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

۱۱ــ سیم‌بندی یک طبقه را شرح دهد.

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

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

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

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

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۲۰	۴۰	۶۰

پیش‌آزمون (۱)

۱ــ وضعیت میدان مغناطیسی استاتور موتورهای سه‌فاز چگونه است؟

۱ ــ با مقدار ثابت در حال گردش است.

۲ ــ با مقدار ثابت موقعیتی ثابت دارد.

۳ ــ با تغییرات سینوسی در حال گردش است.

۴ ــ با تغییرات نامشخص در حال گردش است.

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

۱) ۱۵۰۰ ۲) ۱۴۴۰

۳) ۱۴۶۰ ۴) ۱۴۱۰

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

۱) $Y_Z \leq Y_P$ ۲) $Y_Z \geq Y_P$

۳) $Y_Z = Y_P$ ۴) $Y_Z > Y_P$

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

۱) ۹۰ ۲) ۶۰

۳) ۴۵ ۴) ۳۰

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

۱) یک‌سوم ۲) یک ونیم

۳) دوسوم ۴) یک‌دوم

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

۱) ۷ ۲) ۱۳

۳) ۶ ۴) ۱۲

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

۱) سه فاز ۲) یک فاز

۳) دوفاز ۴) دو فاز و سه فاز

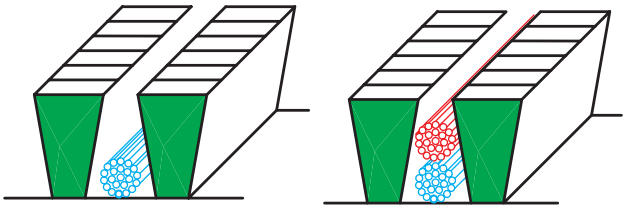
۸ــ گام کلاف یک موتور سه‌فاز ۲۴شیار ۲ قطب در حذف هارمونی سوم، کدام است؟

۱) ۱۲ــ۱ ۲) ۱۱ــ۱

۳) ۱۰ــ۱ ۴) ۹ــ۱

مقدمه

در سیم‌بندی یک طبقه الکتروموتورها، در هر شیار استاتور یک بازوی کلاف قرار می‌گیرد. اگر تعداد بازوها در هر شیار بیش از یک باشد، سیم‌بندی را چند طبقه می‌گویند. متداول‌ترین سیم‌بندی چند طبقه در موتورهای سه‌فاز، سیم‌بندی دو طبقه است که دو بازو در هر شیار قرار می‌گیرد (شکل ۱ــ۱).

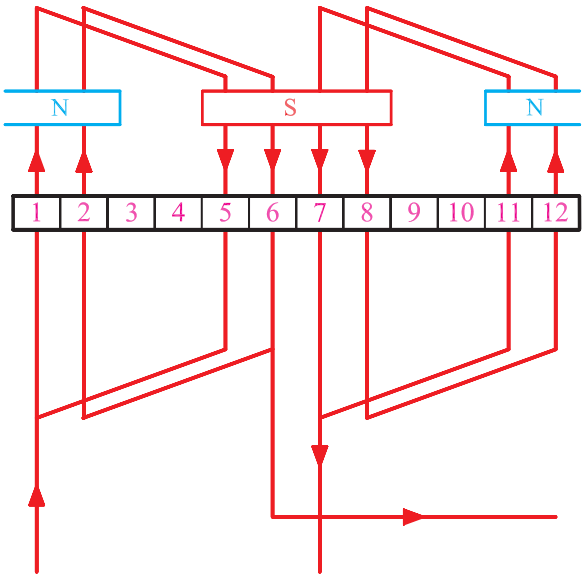


شکل ۱ــ۱ــ انواع سیم‌بندی

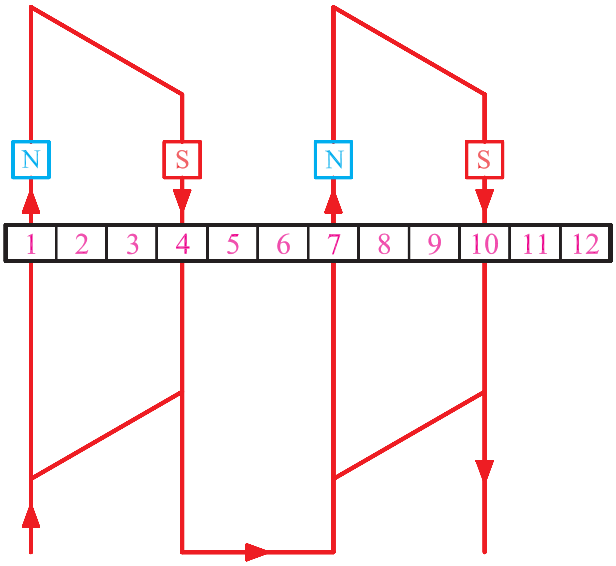
۱ــ۱ــ میدان مغناطیسی استاتور و تعداد قطب‌ها

میدان مغناطیسی استاتور با عبور جریان الکتریکی از سیم‌های داخل شیارها،تأمین می‌شود. تعداد قطب‌های مغناطیسی که در سطح استاتور تشکیل می‌شود، به عرض بازوهای کلاف و فاصله دو بازو از یکدیگر بستگی دارد به عبارت دیگر، چه اندازه از سطح استاتور را می‌پوشاند. اگر عرض دو بازوی یک کلاف تقریباً نصف سطح جانبی استاتور را پوشش دهد، در سطح استاتور دو قطب تشکیل می‌شود (شکل ۲ــ۱). اگر عرض دو بازو تقریباً یک چهارم سطح استاتور را بپوشاند، تعداد قطب‌های استاتور به چهار قطب می‌رسد (شکل ۳ــ۱). به این ترتیب، تعداد قطب‌ها با کاهش عرض بازوی کلاف‌ها زیاد می‌شود، به گونه‌ای که می‌توان گفت :

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



شکل ۲ــ۱ــ عرض کلاف بیشتر، قطب کمتر



شکل ۳ــ۱ــ عرض کلاف کمتر، قطب بیشتر

۱ــ۱ــ۱ــ میدان مغناطیسی هادی جریان‌دار

ــ *آزمایش ارستد:* هرگاه سیم هادی الکتریکی را مطابق شکل ۴ــ۱ــ الف، از درون صفحه‌ای عایق عبور داده و در نزدیکی آن، عقربه‌ای مغناطیسی قرار دهیم، قطب N عقربه مغناطیسی در راستای میدان مغناطیسی زمین، به طرف شمال جهت‌گیری می‌کند.

با اتصال کلید K، عقربه مغناطیسی تغییر جهت داده و در راستای خاصی قرار می‌گیرد. از این تغییر وضعیت می‌توان نتیجه گرفت با عبور جریان الکتریکی از یک هادی الکتریکی، در اطراف آن میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. این میدان بر عقربه مغناطیسی اثر گذاشته و آن را در راستایی معین قرار می‌دهد (شکل ۴ــ۱ــ ب).

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

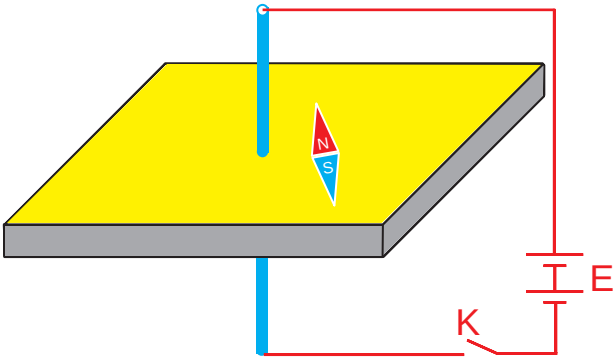
میدان مغناطیسی در هرنقطه ازاطراف سیم، کمیتی برداری است و بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد، مماس بوده و جهت آن همسو با خطوط میدان است.

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

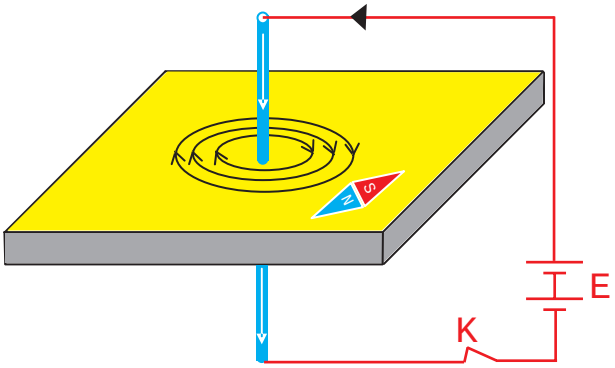
ــ خطوط میدان، در نزدیکی سیم متراکم‌تر از دیگر قسمت‌هاست. بنابراین، میدان در نزدیکی سیم قوی‌تر از دیگر قسمت‌های آن است.

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

اگر انگشت شست دست راست در جهت جریان باشد، چهار انگشت نیم‌بسته دست راست، جهت خطوط میدان اطراف سیم جریان‌دار را نشان خواهند داد (شکل ۵ــ۱).

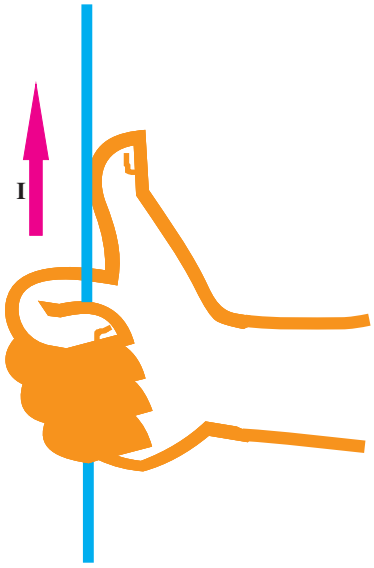


(الف)



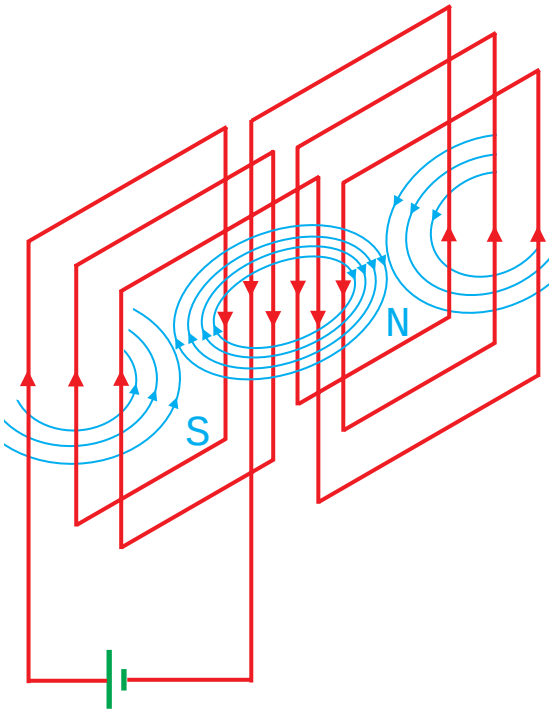
(ب)

شکل ۴ــ۱ــ آزمایش ارستد



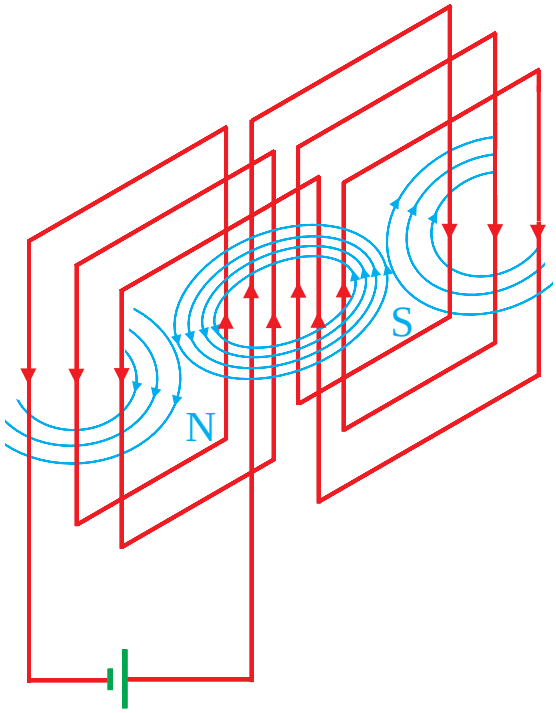
شکل ۵ــ۱ــ تعیین جهت میدان اطراف سیم راست

۲ــ۱ــ۱ــ قطب‌های ایجادشده در استاتور ماشین‌های الکتریکی: هادی‌های الکتریکی سطح استاتور، به‌صورت بازوهای سیم‌پیچ مسطح، سری‌شده و مجموعاً یک گروه کلاف سیم‌پیچی را تشکیل می‌دهند. در این وضعیت، میدان مغناطیسی هادی‌های هم‌جهت، جمع‌شده و میدان مغناطیسی قوی‌تری را در مرکز سیم‌پیچ به‌وجود می‌آورند. تقویت میدان مغناطیسی در سطح استاتور، باعث افزایش نیروی اعمال‌شده بر هادی‌های جریان‌دار رتور شده و با تقویت گشتاور موتور، قدرت آن افزایش می‌یابد (شکل ۶ــ۱).



شکل ۶ــ۱ــ ایجاد میدان قوی با سیم‌های جریان‌دار هم‌جهت

اگر جهت جریان الکتریکی در بازوهای سیم پیچ‌ها عوض شود، موقعیت قطب‌های مغناطیسی S و N عوض می‌شود (شکل ۷ــ۱).

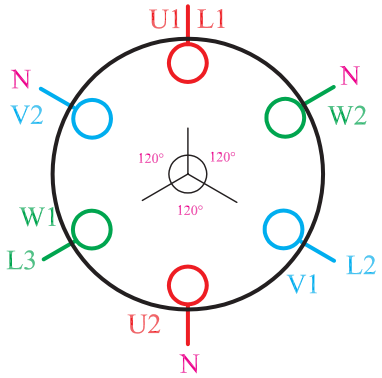


شکل ۷ــ۱ــ تعویض موقعیت قطب‌های NS با تغییر جهت جریان

۲ــ۱ــ ایجاد میدان دوار توسط جریان سه‌فاز

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

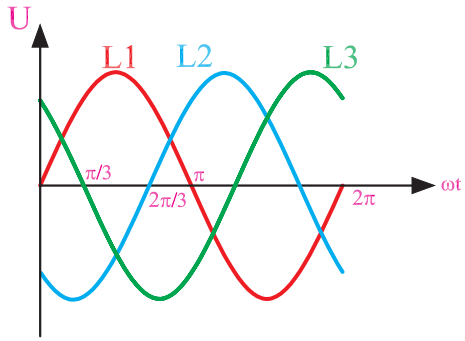
۲ سرگروه کلاف‌های مربوط به سیم‌پیچ اول ($U_۲$ و $U_۱$) را با فاز $L_۱$، سیم‌پیچ دوم ($V_۲$ و $V_۱$) را با $L_۲$ و سیم‌پیچ سوم ($W_۲$ و $W_۱$) را با فاز $L_۳$، تغذیه می‌کنیم (شکل ۸ــ۱ــ الف).



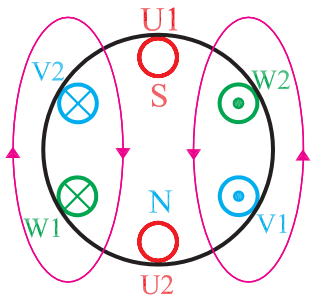
شکل ۸ ــ۱ــ الف ــ موتور سه‌فاز ۶ شیار

در موقعیت $L_۱ = ۰$, $L_۲ < ۰$ و $L_۳ > ۰$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸ــ۱ــ ب خواهد شد.

به علت صفربودن دامنه فاز $L_۱$، در سیم‌پیچ اول جریانی وجود ندارد.

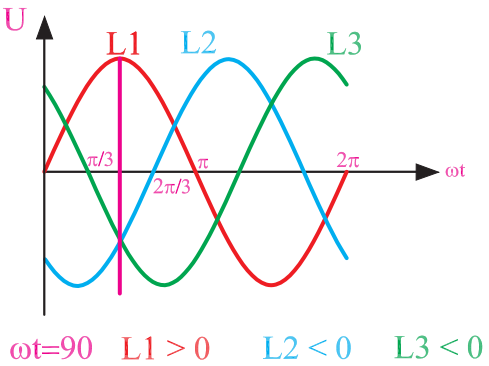


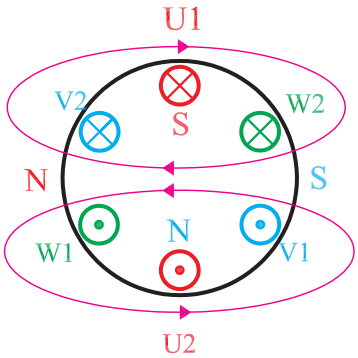
$\omega t = 0$ $L1 = 0$ $L2 < 0$ $L3 > 0$



شکل ۸ ــ۱ــ ب

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

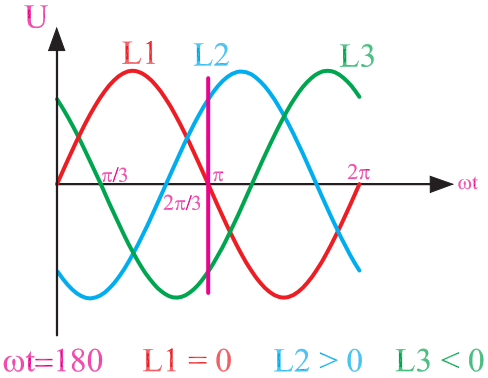


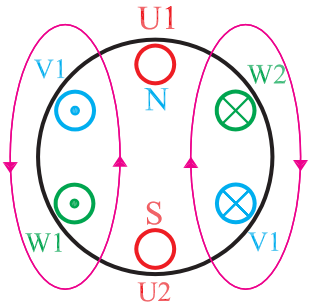


شکل ۸ــ۱ــ ج

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

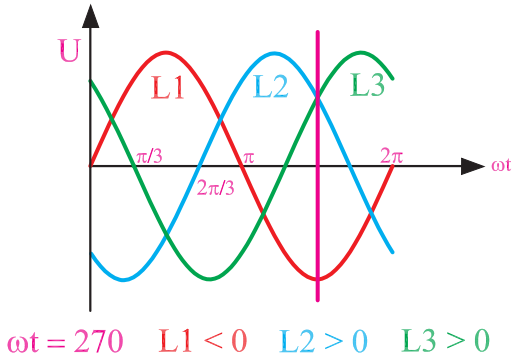
به علت صفربودن دامنه فاز اول در سیم‌پیچ U_1, U_2 ، جریان صفر خواهد بود.

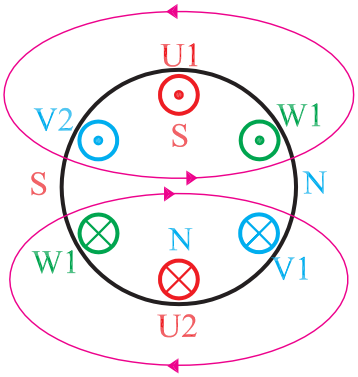




شکل ۸ــ۱ــ د

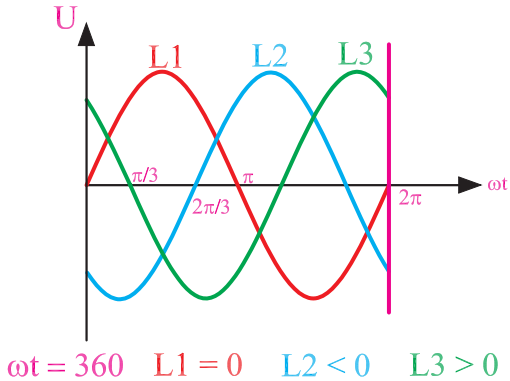
در موقعیت $L_1 < 0, L_2 > 0$ و $L_3 > 0$ فازها، قطب‌سازی و جهت جریان در کلاف‌ها، مطابق شکل ۸ــ۱ــ هـ خواهد شد.

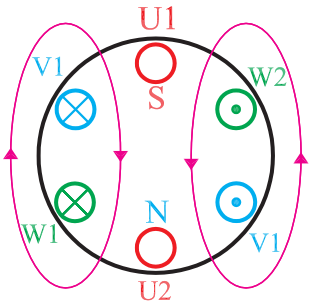




شکل ۸ــ۱ــ هـ

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





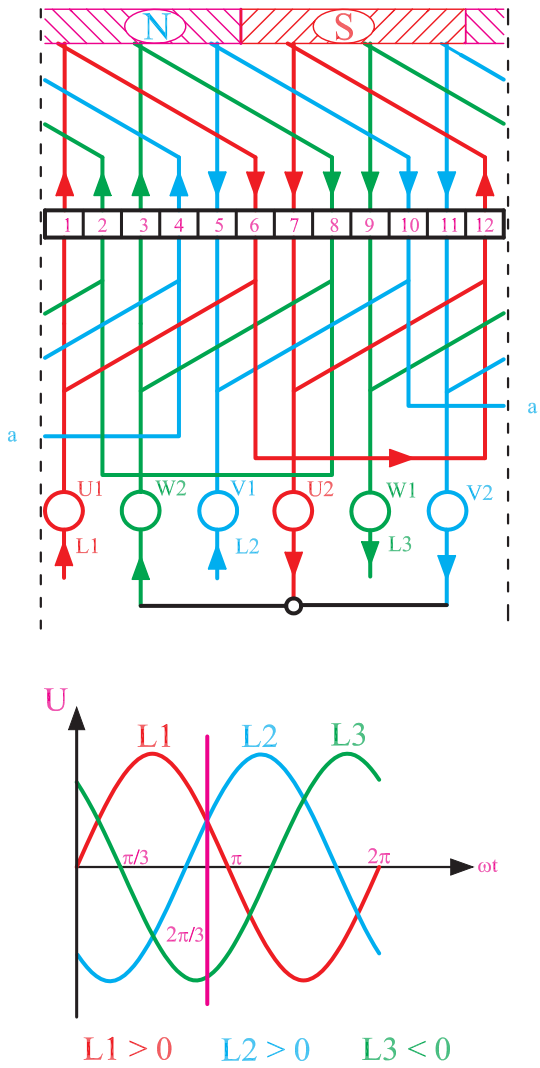
شکل ۸ــ۱ــ و

در بخش‌های مختلف شکل ۸ــ۱ مشاهده می‌شود که با تغییر متغیر ωt از ۰ تا ۳۶۰ درجه، قطب‌های N و S نیز یک دور کامل سطح استاتور را می‌پیمایند (این خاصیت در موتورهای ۲ قطبی صادق است. درباره اثرات قطب‌ها بر سرعت گردش میدان، بحث خواهیم کرد). اگر زاویه پیموده‌شده در یک ثانیه برابر با $\omega t = f \times ۳۶۰$ 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.

۱ــ۲ــ۱ــ ایجاد میدان دوار ۲قطبی توسط جریان متناوب سه‌فاز:

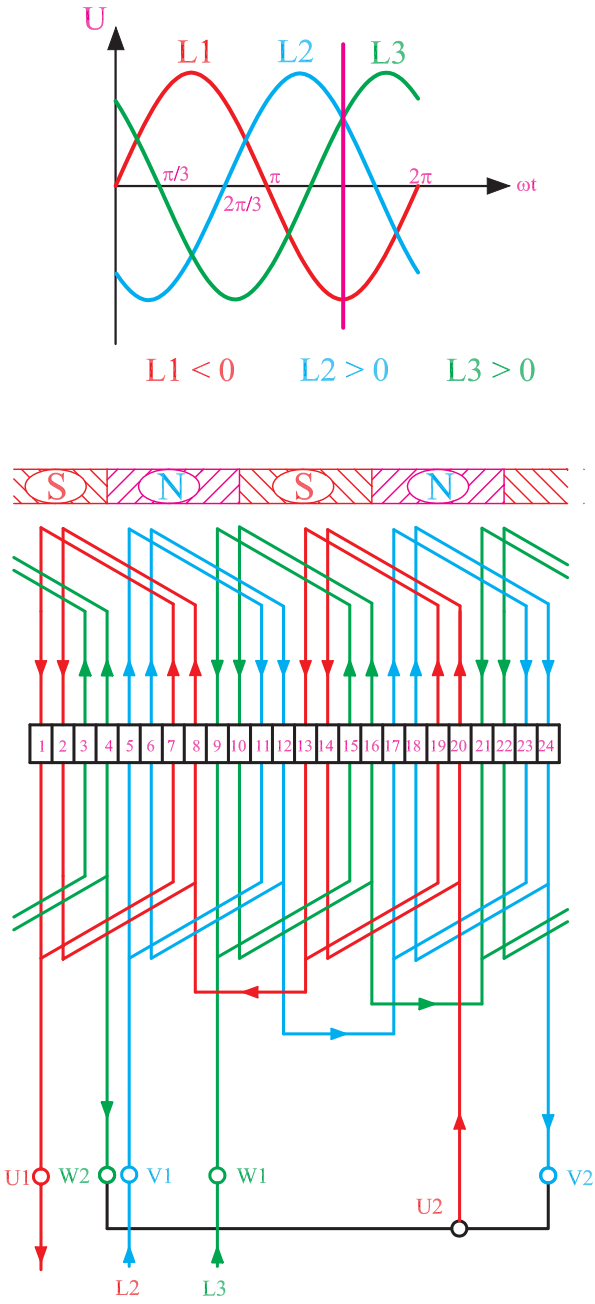
یک موتور سه‌فاز ۱۲ شیار را در نظر می‌گیریم. برای هر فاز، دو کلاف را به‌گونه‌ای در نظر می‌گیریم که بازوی آن‌ها ۵ شیار از هم فاصله داشته باشد. سطح استاتور را به سه قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم و فاصله‌های به‌دست‌آمده بازوی کلاف‌های مربوط به فازها را درون شیارهای استاتور قرار می‌دهیم. در لحظه‌ای خاص از جریان متناوب سه‌فاز، مسیر جریان را درون بازوی کلاف‌ها تعقیب می‌کنیم. بازوهایی را که جهت جریان یکسانی دارند، دسته‌بندی می‌کنیم و هر مجموعه به‌دست‌آمده را به یک قطب اختصاص می‌دهیم (شکل ۹ــ۱).



شکل ۹ــ۱ــ ایجاد دو قطب در سطح استاتور

۲ــ۲ــ۱ــ ایجاد میدان دوار ۴قطبی توسط جریان متناوب سه‌فاز:

یک موتور ۲۴ شیار را در نظر می‌گیریم. گام کلاف‌ها را به اندازه یک چهارم سطح استاتور ($Y = \frac{۲۴}{۴} = ۶$) منظور می‌کنیم ومطابق شکل ۱۰ــ۱ برای یک لحظه از موقعیت فازها، مسیر جریان الکتریکی هر سه فاز را در داخل کلاف‌ها رسم کرده و تعداد قطب‌های تشکیل شده را با توجه به جهت جریان در بازوی کلاف‌ها، به‌دست می‌آوریم.



شکل ۱۰ــ۱

در شکل ۹ــ۱ دیدیم که گام کلاف تقریباً برابر نصف شیارها بوده و ۲ قطب در سطح استاتور تشکیل می‌شود. در شکل ۱۰ــ۱ با درنظرگرفتن گام کلاف برابر یک‌چهارم شیارها، در سطح استاتور ۴ قطب به وجود می‌آید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت :

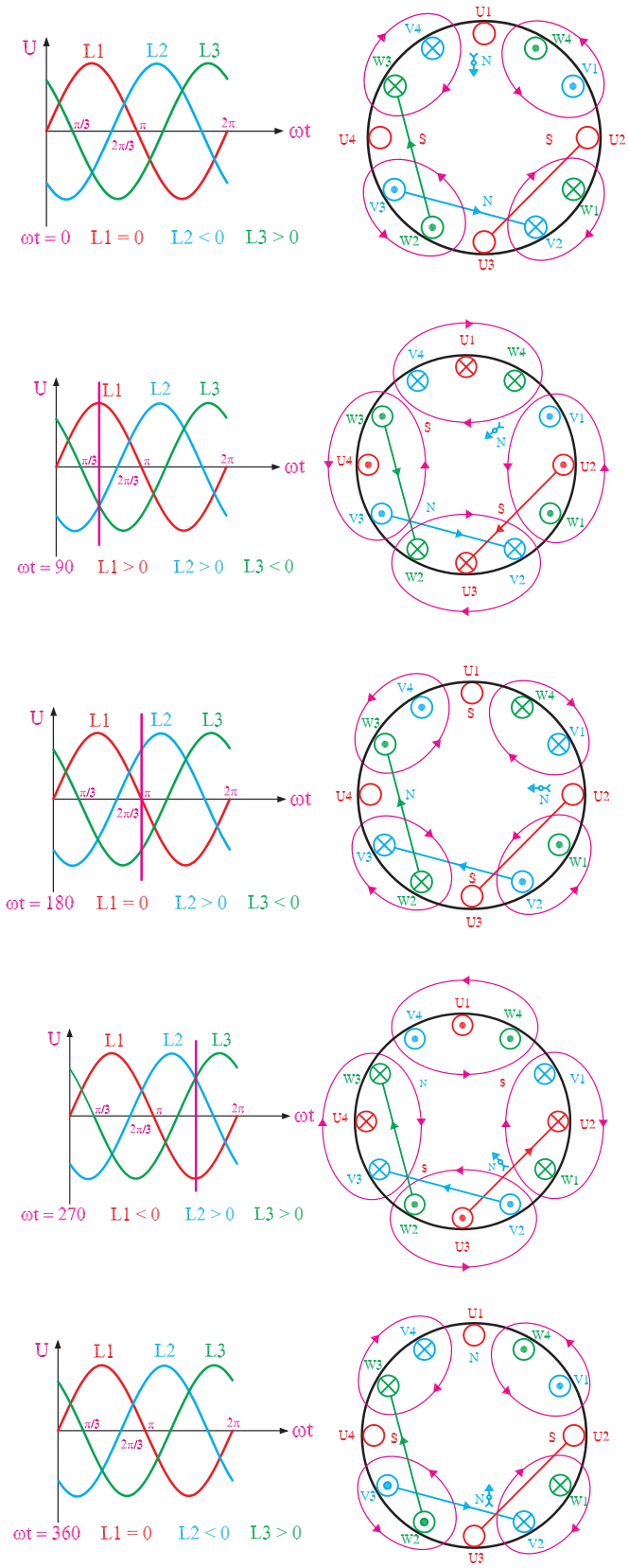
> تعداد قطب‌های یک موتور به گام کلاف بستگی دارد هرقدرکه گام کلاف کوچکتر باشد، تعداد شکل‌های تشکیل شده بیشتر است.

ــ تأثیر تعداد قطب‌ها بر سرعت گردش حوزه دوار:

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

در سطح استاتور، برای هر فاز دو کلاف (۴ موقعیت جریان) در نظر می‌گیریم و با توجه با تغییر ωt و جهت جریان‌ها و براساس قاعده دست راست، قطب‌ها را تشکیل می‌دهیم. با ۲ برابرشدن قطب‌ها، جابه جایی (سرعت گردش) میدان مغناطیسی نصف می‌شود (شکل ۱۱ــ۱). بنابراین :

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



شکل ۱۱ــ۱ــ جابه‌جایی میدان مغناطیسی در موتور ۴ قطب

۳ــ۲ــ۱ــ محاسبه تعداد دور رتور: در بررسی ایجاد حوزه دوار، آموختیم که سرعت گردش میدان با فرکانس جریان متناوب، نسبت مستقیم و با تعداد قطب‌ها، نسبت عکس دارد. در صنعت، دور موتورها را در دقیقه بیان می‌کنند و روی پلاک موتورها، تعداد دور در دقیقه را به‌صورت R.P.M می‌نویسند(شکل ۱۲ــ ۱ــ الف). سرعت گردش حوزه دوار را «دور سنکرون» می‌گویند و آن را با N_s نشان می‌دهند که اندازه آن با توجه به مطالب گفته شده، برابر است با :

$$N_s = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P}$$

که در آن :

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

f = فرکانس جریان متناوب (هرتز Hz)

۲P = تعداد قطب‌های موتور

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

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

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

که در آن N_r = دور رتور است.

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

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

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

شکل ۱۲ــ۱ــ الف

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

۱ــ سرعت سنکرون در هر دقیقه

۲ــ دور رتور در هر دقیقه

حل:

$f = ۵۰Hs$ و $\% S = \% ۴$

$$N_s = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P}$$

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

$$N_r = N_s(۱ - S)$$

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

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

حل:

$N_r = ۱۴۱۰ R.P.M, f = ۵۰Hz$

$$N_s = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P} = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۴۰۰} = ۱۵۰۰[R.P.M]$$

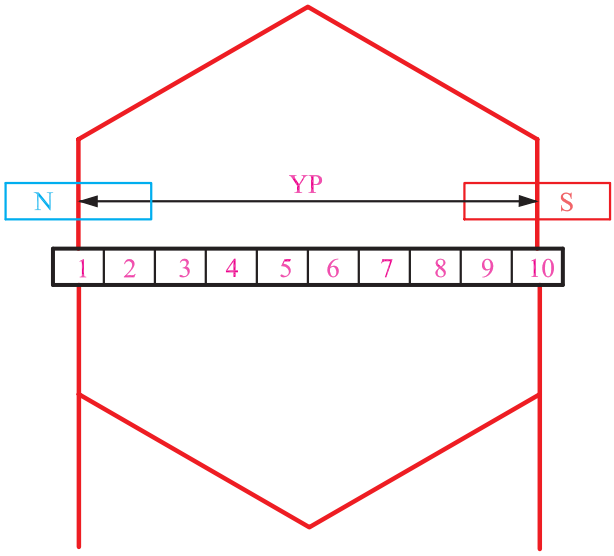
$$\% S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times ۱۰۰ = \frac{۱۵۰۰ - ۱۴/۰}{۱۵۰۰} \times ۱۰۰ = \% ۶$$

۳ــ۱ــ اصطلاحات و روابط نقشه‌کشی سیم‌پیچی استاتور الکتروموتورها

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

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

$$Y_P = \frac{Z}{۲P}$$



شکل ۱۲ــ۱ــ ب ــ نمایش گام قطبی

که در آن :

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

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

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

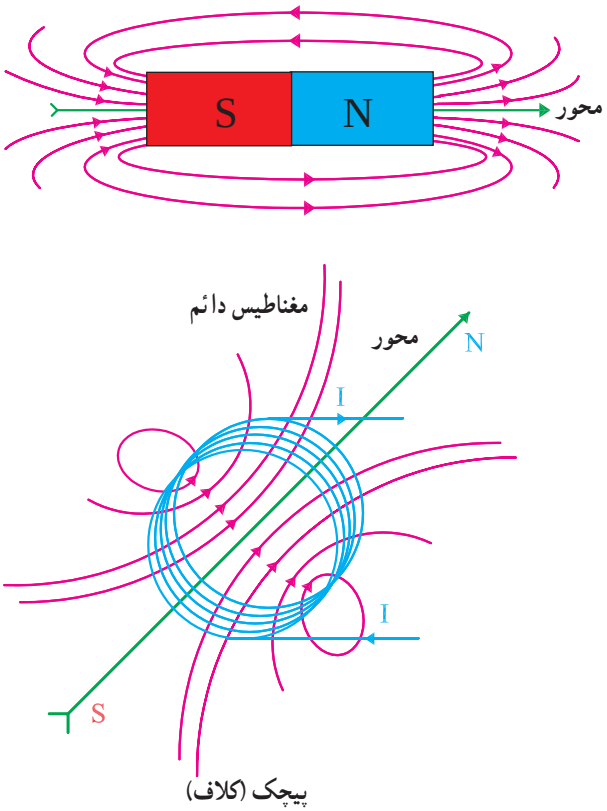
حل:

$$Z = ۳۶, ۲P = ۴$$

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

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

۲ــ۳ــ۱ــ 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 ۱۳ــ۱ــ الف).



شکل ۱۳ــ۱ــ الف ــ نمایش محور مغناطیسی در مغناطیس دائم و پیچه

۳ــ۳ــ۱ــ 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 ۱۳ــ۱ــ ب).

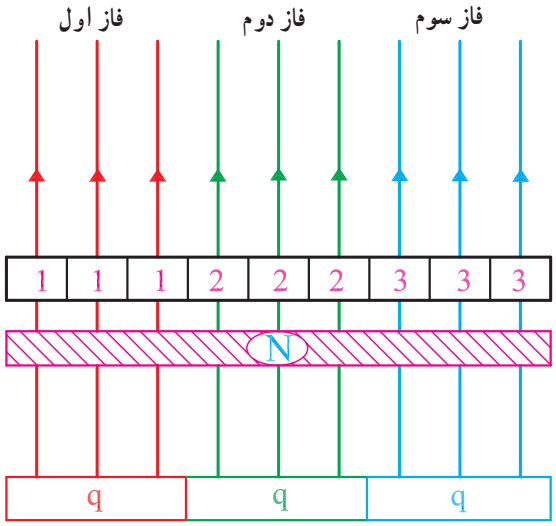
$$q = \frac{Z}{۲P.m}$$

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

حل:

$$Z = ۲۴, m = ۳, ۲P = ۴$$

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



شکل ۱۳ــ۱ــ ب

۴ــ۳ــ۱ــ زاویه الکتریکی بین شیارها: اختلاف زاویه الکتریکی هر شیار را از شیار مجاور آن، زاویه الکتریکی شیارها می‌نامند و آن را با α_{ez} نشان می‌دهند. α_{ez} از رابطه زیر قابل محاسبه است :

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

که در آن :

P= نصف قطب‌ها و Z = تعداد شیارهای استاتور است (شکل ۱۳ــ۱ــ ج).

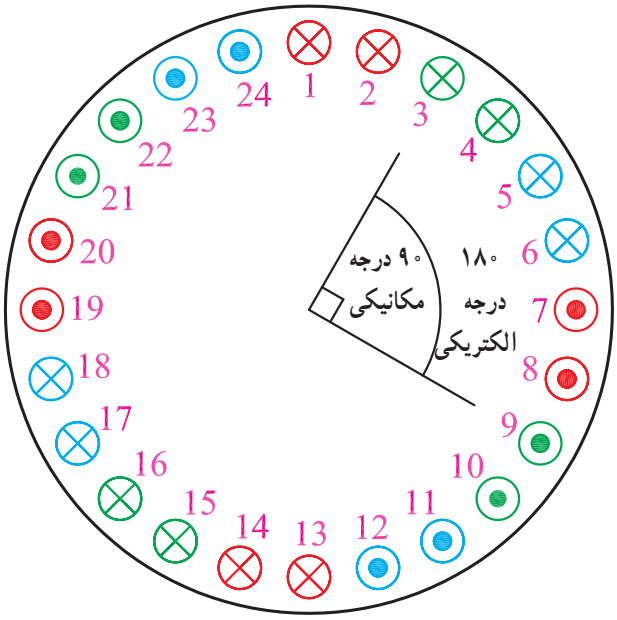
۵ــ۳ــ۱ــ زاویه مکانیکی بین شیارها: از تقسیم ۳۶۰ درجه به تعداد شیارها، زاویه مکانیکی بین دو شیار به‌دست می‌آید. این زاویه را با α_{mz} نشان می‌دهند. زاویه مکانیکی بین شیارها از رابطه زیر به‌دست می‌آید (شکل ۱۳ــ۱ــ ج) :

$$\alpha_{mz} = \frac{۳۶۰}{Z}$$

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

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

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



شکل ۱۳ــ۱ــ ج

حل:

$$Z = ۳۶, m = ۳, ۲P = ۲, ۴, ۶$$

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

$$۲P = ۲ \Rightarrow P = ۱$$

$$\alpha_{ez} = \frac{۱ \times ۳۶۰}{۳۶} = ۱۰^{\circ e} \quad \alpha_{mz} = \frac{۳۶۰}{۳۶} = ۱۰^{\circ}$$

$$۲P = ۴ \Rightarrow P = ۲$$

$$\alpha_{ez} = \frac{۲ \times ۳۶۰}{۳۶} = ۲۰^{\circ e} \quad \alpha_{mz} = \frac{۳۶۰}{۳۶} = ۱۰^{\circ}$$

$$۲P = ۶ \Rightarrow P = ۳$$

$$\alpha_{ez} = \frac{۳ \times ۳۶۰}{۳۶} = ۳۰^{\circ e} \quad \alpha_{mz} = \frac{۳۶۰}{۳۶} = ۱۰^{\circ}$$

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

۶ــ۳ــ۱ــ 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 به‌دست می‌آید :

$$Y_z = y_p(۱-\frac{۱}{n})$$

که در آن :

Y_P = گام قطبی

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

۷ــ۳ــ۱ــ گام فازی: گام فازی، تعداد شیارهایی است که بین شروع دو فاز قرار دارند. گام فازی را با Y_{Ph} نشان می‌دهند. در موتورهای سه‌فاز، بین فازها ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز وجود دارد. از آن جا که یک گام قطبی ۱۸۰ درجه الکتریکی است، لذا در موتورهای سه‌فاز، گام فازی مساوی $\frac{۲}{۳}$ گام قطبی است.

$$Y_{Ph} = \frac{۲}{۳} Y_P$$

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

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

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

شیار شماره ۱ = شروع فاز

شیار شماره $V_۱$ شروع فاز $= ۱ + Y_{Ph} = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}}$

شیار شماره $W_۱$ شروع فاز $= ۱ + ۲Y_{Ph} = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}}$

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

حل:

$$Z = ۳۶, ۲P = ۴, m = ۳$$

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

$$U_۱ = ۱$$

$$V_۱ = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۲۰} = ۷$$

$$W_۱ = ۱ + \frac{۲۴۰}{۲۰} = ۱۳$$

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

حل:

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

$$U_۱ = ۱$$

$$V_۱ = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۳۰} = ۵$$

$$W_۱ = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۲۴۰}{۳۰} = ۹$$

۴ــ۱ــ سیم‌بندی یک طبقه استاتور الکتروموتورها

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

ــ سیم‌بندی یک طبقه با گام کامل

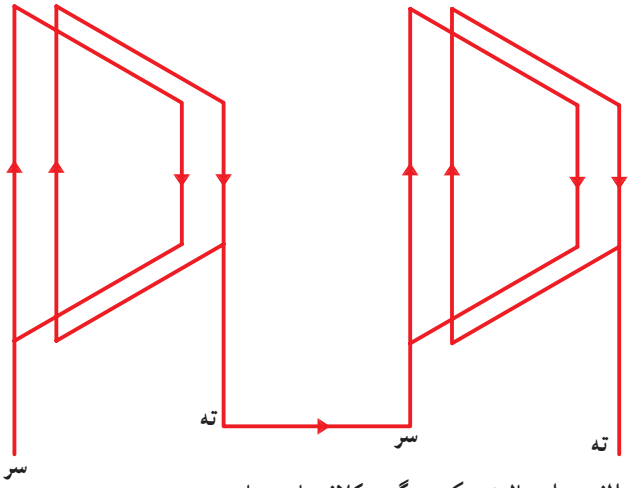
ــ سیم‌بندی یک طبقه با گام کسری

۱ــ۴ــ۱ــ سیم‌بندی یک طبقه با گام کامل:

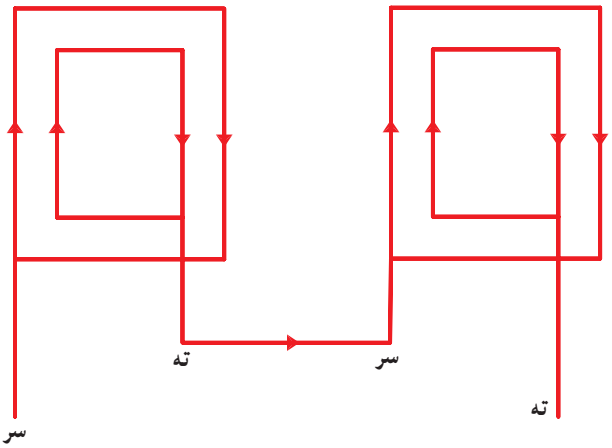
درسیم‌بندی یک طبقه با گام کامل، گام سیم‌پیچی با گام قطبی برابر است ($Y_Z = Y_P$). این نوع سیم‌پیچی معمولاً به‌ازای زوج قطب انجام می‌شود.

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

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



الف ــ اتصال نزدیک در گروه کلاف‌های مساوی



ب ــ اتصال نزدیک در گروه کلاف‌های متحدالمرکز

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

۲ــ۴ــ۱ــ سیم‌پیچی یک طبقه با گام کسری: یکی از روش‌های متداول در سیم‌پیچی موتور یک طبقه، روش گام کسری است. این روش در مقایسه با روش گام کامل، دارای مزایایی به‌شرح زیر است :

۱ــ کاهش سیم مصرفی

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

۳ــ افزایش بازده موتور

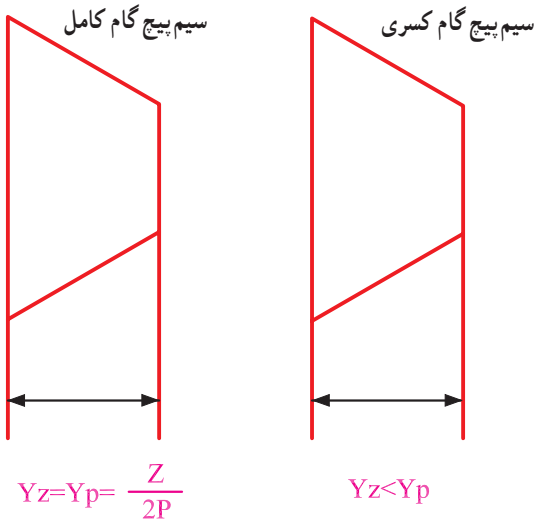
۴ــ کاهش لرزش‌های موتور

۵ــ افزایش عمر موتور

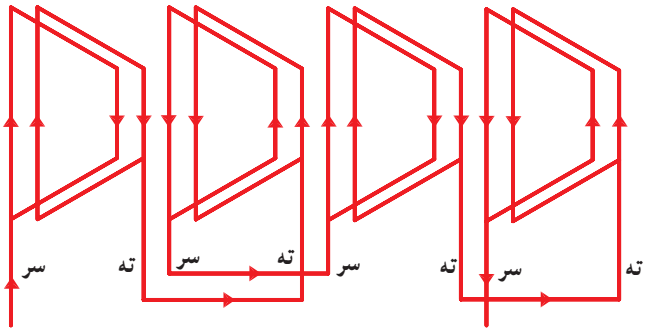
در شکل ۱۵ــ۱ سیم‌بندی گام کسری و گام کامل یک موتور با یکدیگر مقایسه شده است.

در سیم‌بندی گام کسری، بیشتر از سیم‌پیچی به‌ازای قطب استفاده می شود. به بیانی دیگر، تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز برابر با تعداد قطب‌هاست ($G = ۲P$).

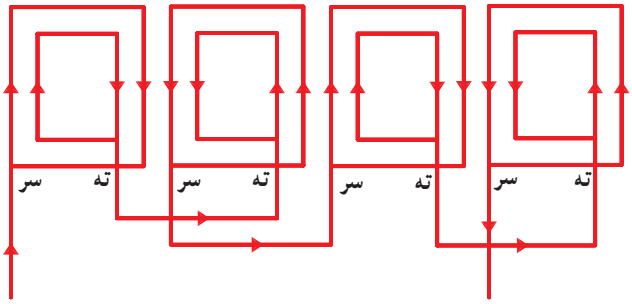
در سیم‌پیچی موتورها به‌ازای قطب، اتصال کلاف‌ها به یکدیگر از نوع اتصال دور (با فاصله) است. در اصطلاح موتورپیچ‌ها، کلاف‌های هر فاز با اتصال سر به سر و ته به ته با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. شکل ۱۶ــ۱ سیم‌بندی گام کسری را با کلاف‌های مساوی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که تعداد گروه کلاف‌ها با تعداد قطب‌ها برابرند. در شکل ۱۷ــ۱ سیم‌بندی به‌ازای قطب، به روش گام کسری با کلاف‌های متحدالمرکز مشاهده می‌شود.



شکل ۱۵ــ۱ــ مقایسه سیم‌پیچی گام کسری با سیم‌پیچ گام کامل



شکل ۱۶ــ۱ــ اتصال دور (با فاصله) در سیم‌پیچی کلاف مساوی $G = ۲P$ (۴ قطب و ۴ گروه کلاف)



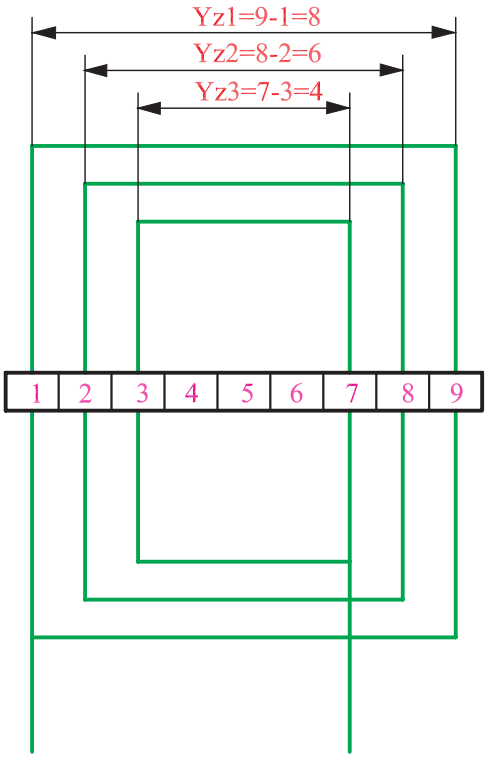
شکل ۱۷ــ۱ــ اتصال دور(با فاصله) در سیم‌پیچی کلاف متحدالمرکز $G = ۲P$ (۴ قطب با ۴ گروه کلاف)

۵ــ۱ــ انواع سیم‌بندی از لحاظ شکل کلاف‌ها

سیم‌پیچی استاتور الکتروموتورها به ۲ صورت زیر انجام می‌شود :

ــ سیم‌بندی متحدالمرکز

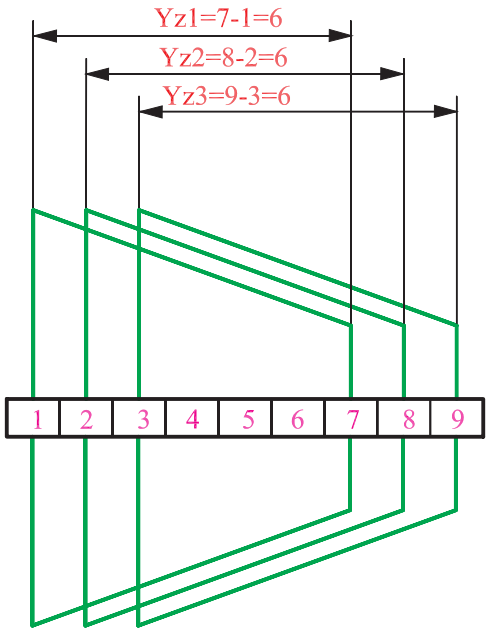
ــ سیم‌بندی گام مساوی (کلاف مساوی)



شکل ۱۸ــ۱ــ سیم‌بندی متحدالمرکز (گام کلاف‌ها برابر نیستند)

۱ــ۵ــ۱ــ سیم‌بندی متحدالمرکز: در سیم‌پیچی متحدالمرکز، گام کلاف‌ها در یک گروه از کلاف برابر نبوده و کلاف‌ها به‌گونه‌ای یکدیگر را در بر می‌گیرند که مراکزشان بر هم منطبق می‌شود. گام هر کلاف بیرونی به اندازه ۲ شیار از گام کلافی که درون و مجاور آن قرار گرفته، بیشتر است. این سیم‌بندی بیشتر در موتورهای تکفاز کاربرد دارد (شکل ۱۸ــ۱).

۲ــ۵ــ۱ــ سیم‌بندی کلاف مساوی: در سیم‌پیچی کلاف مساوی، گام تمام کلاف‌ها در مجموعه سیم‌بندی با هم برابر بوده و برای پیچیدن آن‌ها می‌توان از قالب هایی با اندازه مساوی استفاده کرد. در این نوع سیم‌پیچی سیم کمتری در مقایسه با سیم‌پیچی متحدالمرکز مصرف می‌شود و محاسبه تعداد دور هر کلاف، ساده‌تر است. در سیم‌بندی کلاف مساوی، کلاف‌های فازهای متفاوت از روی یکدیگر عبور کرده و آن‌ها را باید نسبت به هم عایق کرد (شکل ۱۹ــ۱).



شکل ۱۹ــ۱ــ سیم‌بندی کلاف مساوی (گام کلاف‌ها برابر هستند)

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

دیاگرام‌های سیم‌بندی الکتروموتورها را در ۴ مرحله زیر محاسبه می‌کنیم :

۱. محاسبات مربوط به رسم دیاگرام
۲. تشکیل جدول سیم‌بندی
۳. رسم دیاگرام
۴. سربندی و تشکیل قطب‌های سیم‌پیچی

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

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

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

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

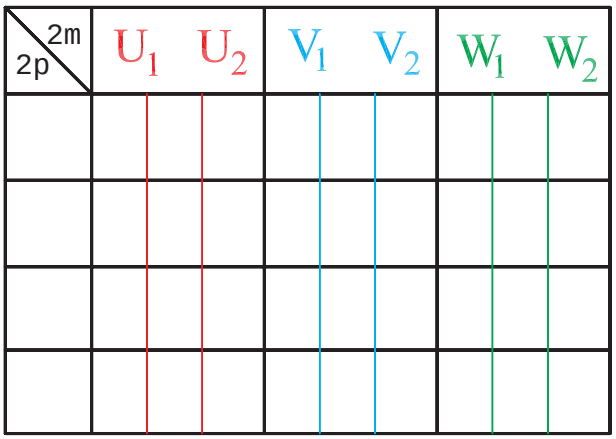
فرض می‌کنیم تعداد شیارهای استاتور برای جدول رسم شده، ۳۶ عدد باشد. سپس مقدار q را به‌دست می‌آوریم.

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

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

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

شکل ۲۰ــ۱ــ تشکیل جدول سیم‌بندی



شکل ۲۱ــ۱ــ تقسیم ستون‌های هر فاز به q قسمت

شیارهای شروع فازها را با محاسبه به‌دست می‌آوریم. در ابتدای هر فاز، در ردیف اول می‌نویسیم و به اندازه q شماره‌های متوالی آن‌ها را در جدول (شکل ۲۲ــ۱) منظور می‌کنیم. برای درج مشخصات در جدول (شکل ۲۱ــ۱) شیارهای شروع فازها به صورت زیر محاسبه می‌شوند :

$$Z = ۳۶ \ , \ ۲P = ۴ \ , \ m = ۳$$

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

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

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

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

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

شکل ۲۲ــ۱ــ تعیین شیارهای شروع فازها

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

گام قطبی موتوری با مشخصات جدول (شکل ۲۳ــ۱) را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد و جدول را کامل کرد.

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

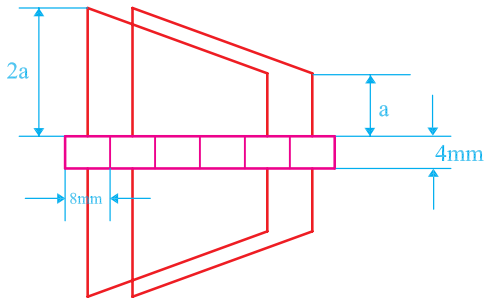
2m / 2p	U_1	U_2		V_1	V_2		W_1	W_2	
	1	2	3	7	8	9	13	14	15
Yp=9	10	11	12	16	17	19	22	23	24
	19	20	21	25	26	27	31	32	33
	28	29	30	34	35	36	4	5	6

شکل ۲۳ــ۱ــ افزودن گام قطبی به ستون‌های جدول و تکمیل آن

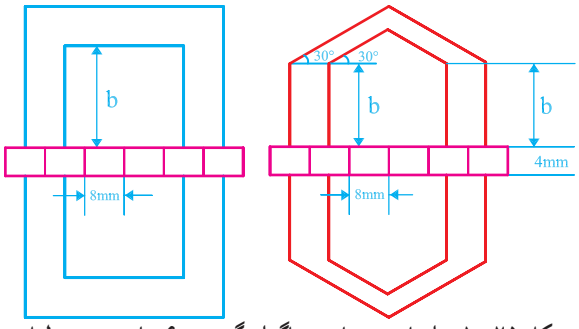
۳ــ۶ــ۱ــ رسم دیاگرام سیم‌بندی: دیاگرام سیم‌بندی را با روش‌های مختلفی رسم می‌کنند. در دیاگرام‌های گسترده، استاتور را برش داده و دیاگرام را به‌صورت مسطح رسم می‌کنند. در دیاگرام‌های مسطح، بازوهای کلاف‌ها را به‌صورت ذوزنقه (شکل ۲۴ــ۱) مستطیل یا ۶ضلعی (شکل ۲۵ــ۱) رسم می‌کنند.

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

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

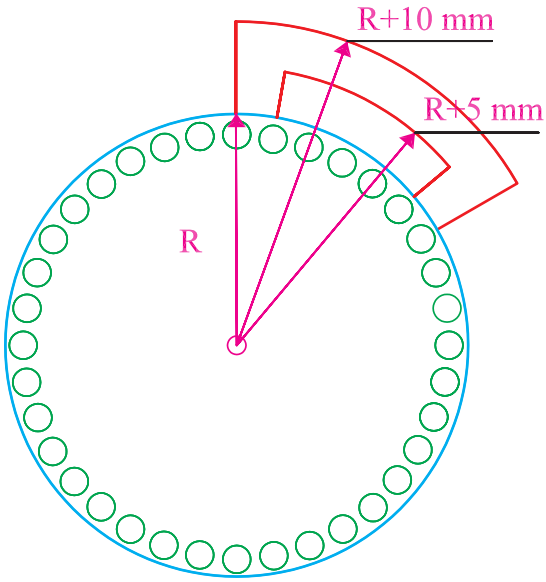


شکل ۲۴ــ۱ــ ابعاد پیشنهادی دیاگرام گسترده ذوزنقه‌ای



شکل ۲۵ــ۱ــ ابعاد پیشنهادی دیاگرام گسترده ۶ضلعی و مستطیل

در رسم دیاگرام‌ها، رعایت اندازه‌های مندرج در شکل‌های ۲۴ــ۱ و ۲۵ــ۱ توصیه می‌شود.

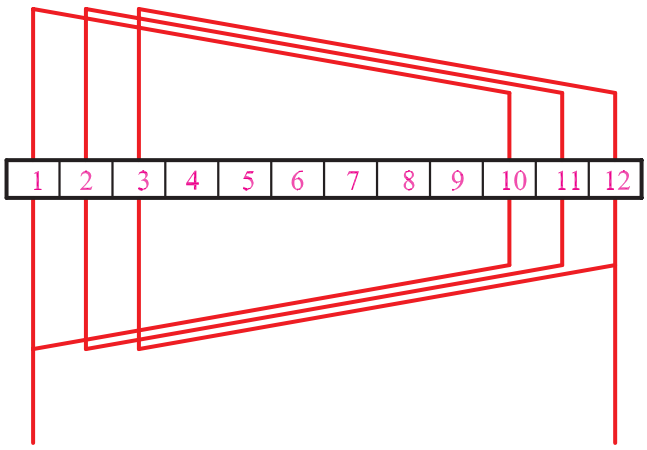


شکل ۲۶ــ۱ــ ابعاد پیشنهادی دیاگرام مدور

جدول شکل ۲۳ــ۱ را درنظر می‌گیریم. با توجه به هدایت سیم‌ها در داخل شیارها، ۲ نوع سیم‌بندی کلاف مساوی و متحدالمرکز امکان‌پذیر است. اگر مطابق جدول شکل ۲۷ــ۱ 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 ۲۸ــ۱ــ الف هدایت یک گروه کلاف از سیم‌پیچ U_1 و U_2 را نشان می‌دهد.

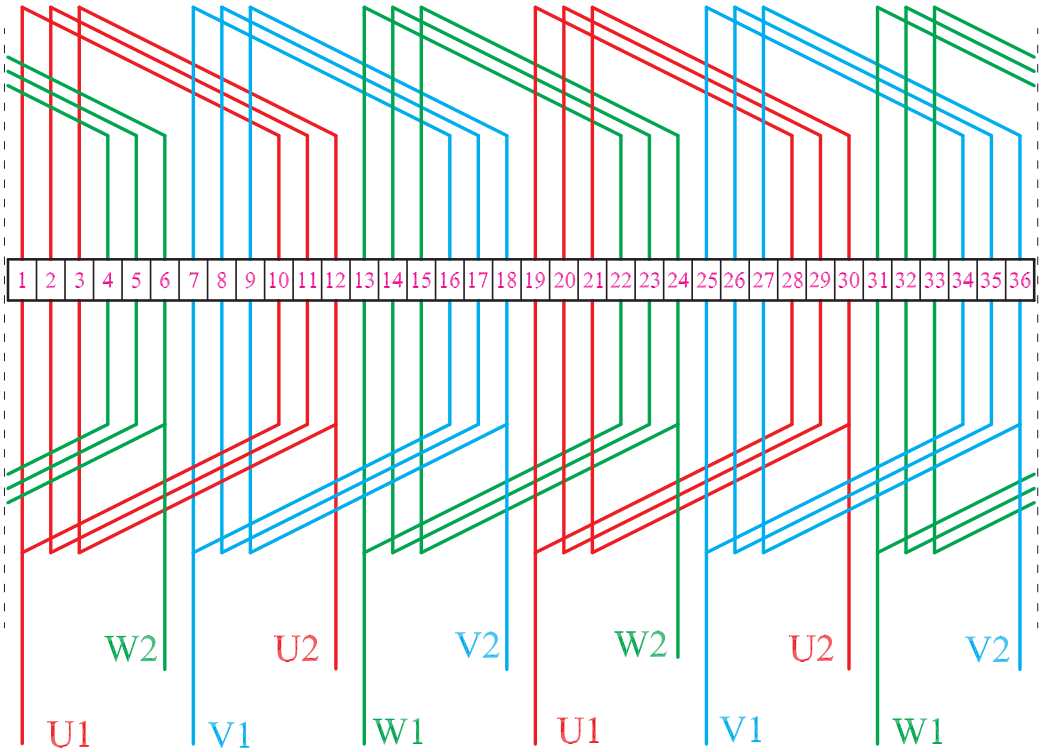
2m / 2p	U_1	U_2		V_1	V_2		W_1	W_2	
	1	2	3	7	8	9	13	14	15
	10	11	12	16	17	19	22	23	24
	19	20	21	25	26	27	31	32	33
	28	29	30	34	35	36	4	5	6

شکل ۲۷ــ۱



الف ــ یک گروه کلاف

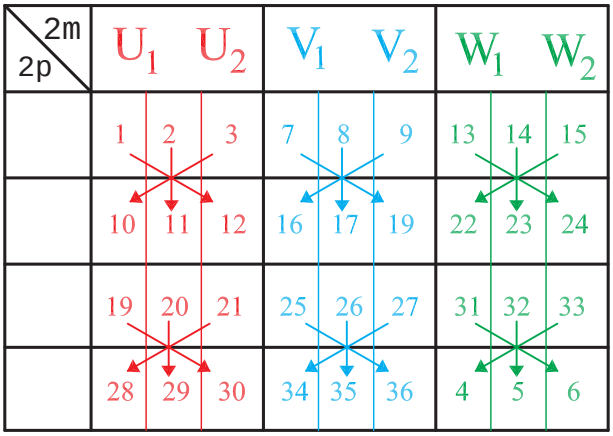
با توجه به قسمت الف شکل ۲۸ــ۱ محل قرار گرفتن بازوها در شیارهای استاتور مطابق قسمت ب شکل ۲۸ــ۱ خواهد بود.



ب ــ تمام کلاف‌ها

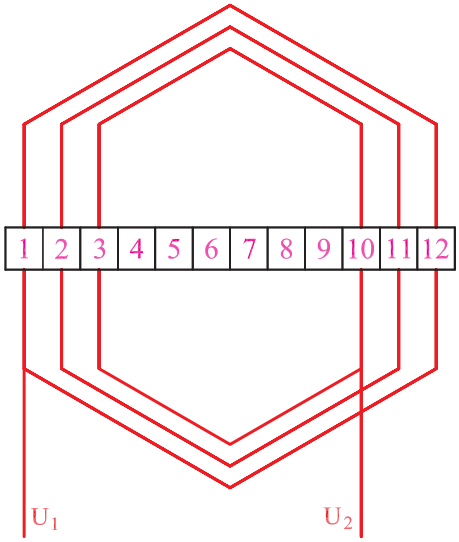
شکل ۲۸ــ۱ــ دیاگرام سیم‌بندی کلاف مساوی

اگر مطابق جدول شکل ۲۹ــ۱ بازوی کلاف‌های سیم‌پیچ U_1 و U_2 را از ۱ به ۱۲، ۲ به ۱۱، ۳ به ۱۰، ۱۹ به ۳۰، ۲۰ به ۲۹ و ۲۱ به ۲۸ هدایت کنیم، گام کلاف‌ها در سیم‌پیچی مساوی نبوده، ولی مرکز هر گروه کلاف یکی می‌شود و در واقع سیم‌پیچی متحدالمرکز خواهیم داشت. شکل ۳۰ــ ۱ ــ الف یک گروه کلاف از سیم‌پیچ U_1 و U_2 در سیم‌بندی متحدالمرکز را نشان می‌دهد.

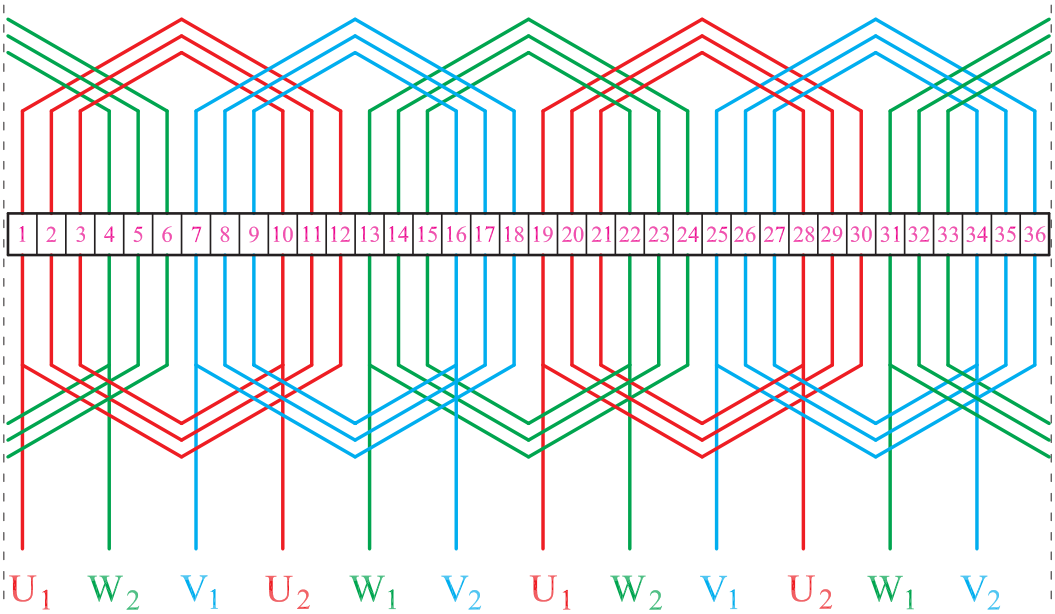


شکل ۲۹ــ۱

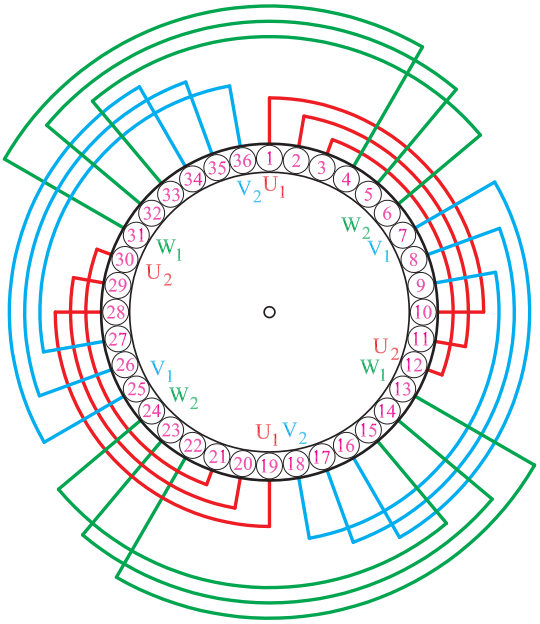
با درنظر گرفتن جدول شکل ۲۹ــ۱ موقعیت بازوی کلاف‌ها در هر سه فاز مطابق با شکل ۳۰ــ۱ــ ب خواهد شد.



شکل ۳۰ــ۱ــ الف ــ یک گروه کلاف



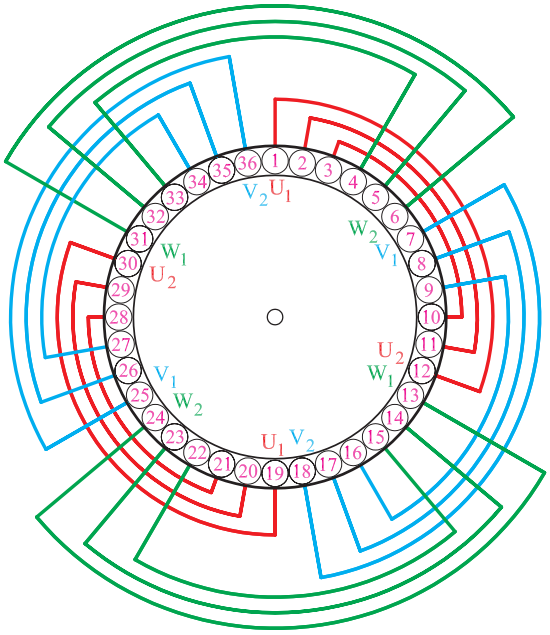
شکل ۳۰ــ۱ــ ب ــ تمام کلاف‌های دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز



موقعیت بازوهای کلاف‌ها در داخل شیارها را می‌توان به‌صورت دیاگرام مدور نشان داد. در شکل ۳۱ــ۱ دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف مساوی مربوط به شکل ۲۸ــ۱ مشاهده می‌شود.

شکل ۳۱ــ۱ــ دیاگرام مدور کلاف مساوی

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

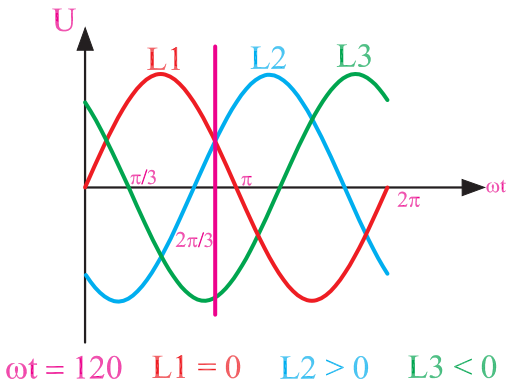


شکل ۳۲ـ۱ـ دیاگرام مدور کلاف متحدالمرکز

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

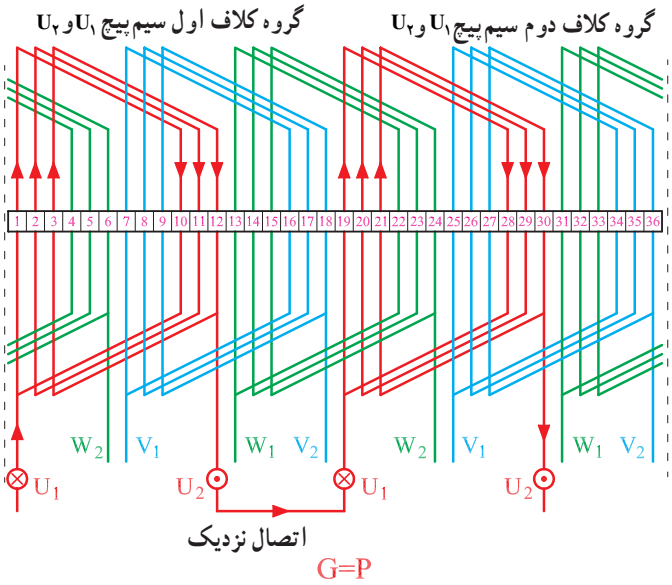
برای قطب‌سازی، معمولاً یک لحظه از منحنی سه‌فاز را که تغذیه‌کننده موتور است، درنظر می‌گیرند و با توجه به موقعیت فازها، جریان‌های مثبت را ورودی (درونسو) با علامت ⊗ و جریان‌های منفی را خروجی (برونسو) با علامت ⊙ منظور می‌کنیم.

فرض می‌کنیم در موقعیت $\omega t = ۱۲۰^\circ$ ، منحنی سه فاز قرار گرفته‌ایم که فاز $L_۱$ و $L_۲$ در نیم‌سیکل مثبت قرار گرفته و جریان‌های درونسو تولید می‌کنند و فاز $L_۳$ نیز در نیم‌سیکل منفی قرار دارد و جریان برونسو برقرار می‌کند (شکل ۳۳ـ۱).



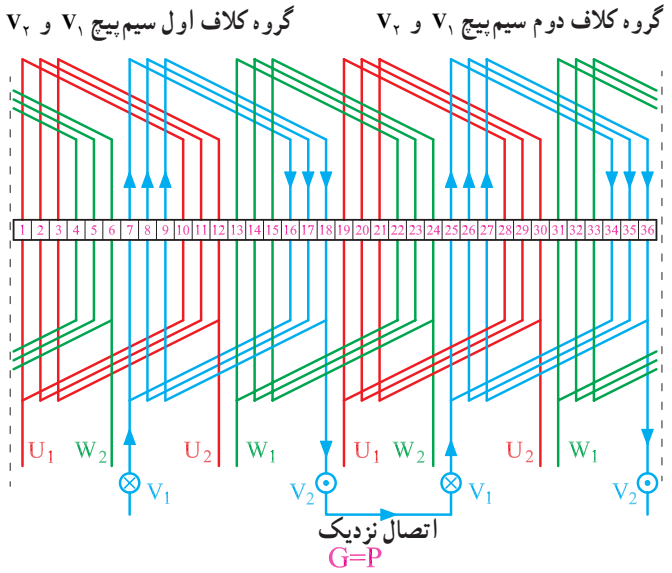
شکل ۳۳ـ۱

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



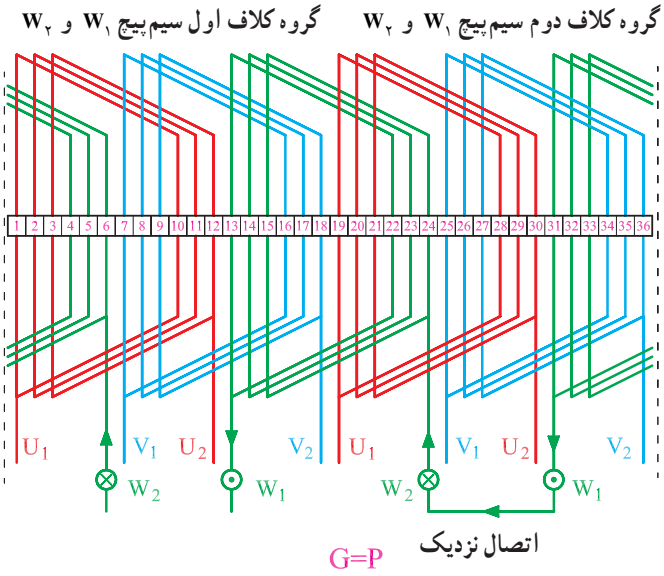
شکل ۳۴ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی سیم‌پیچ U_1 و U_2

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



شکل ۳۵ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی سیم‌پیچ V_1 و V_2

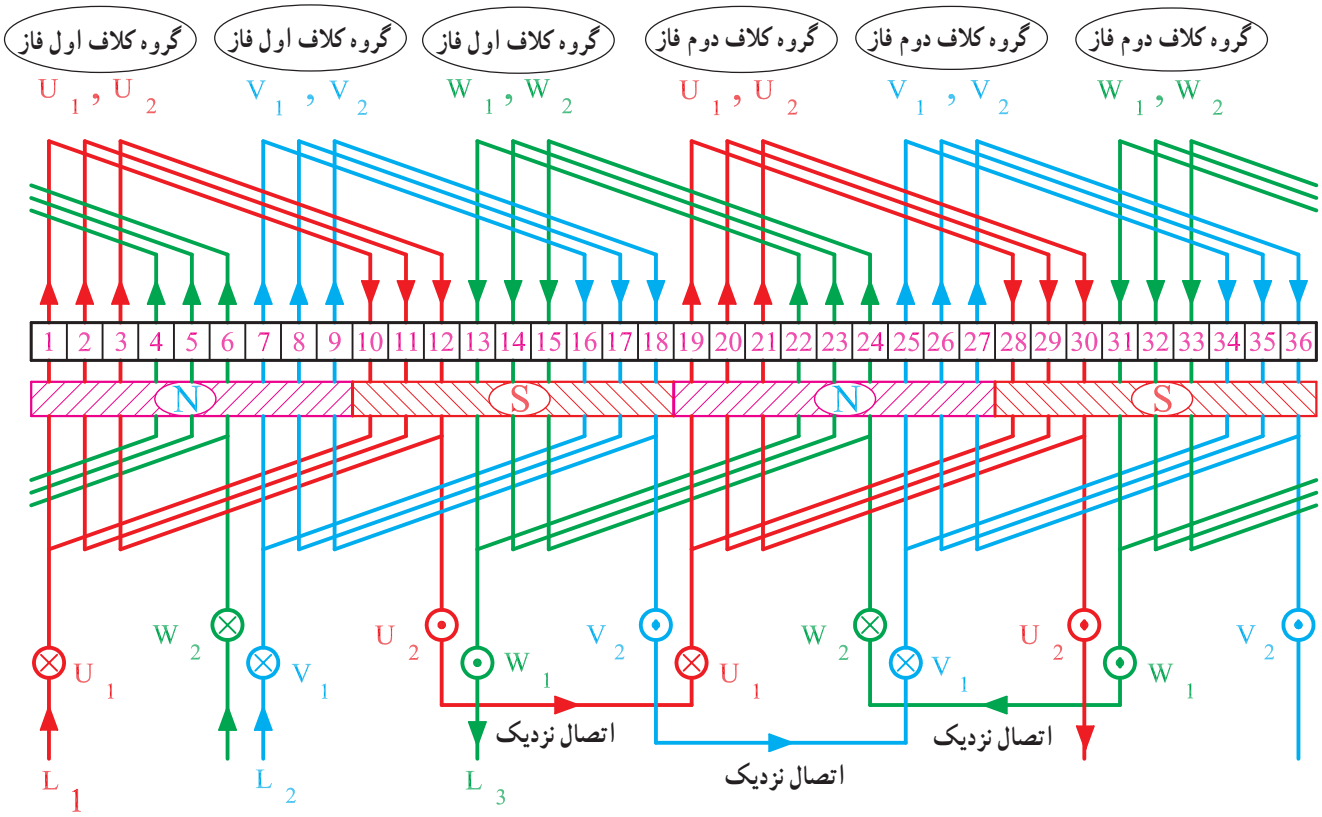
سربندی گروه کلاف‌های سیم‌پیچ W_1 و W_2 به‌صورت شکل ۳۶ـ۱ انجام می‌شود. گروه اول از شیار ۱۳ وارد شده از شیار ۲۴ خارج می‌شود و در شیار ۳۳ به ابتدای گروه کلاف دوم سرپیچ W_1 و W_2 وصل می‌شود. در نهایت، ورودی سیم‌پیچ W_1 و W_2 از شیار ۱۳ شروع شده و خروجی آن از شیار ۶ بیرون می‌آید.



شکل ۳۶ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی سیم‌پیچ W_1 و W_2

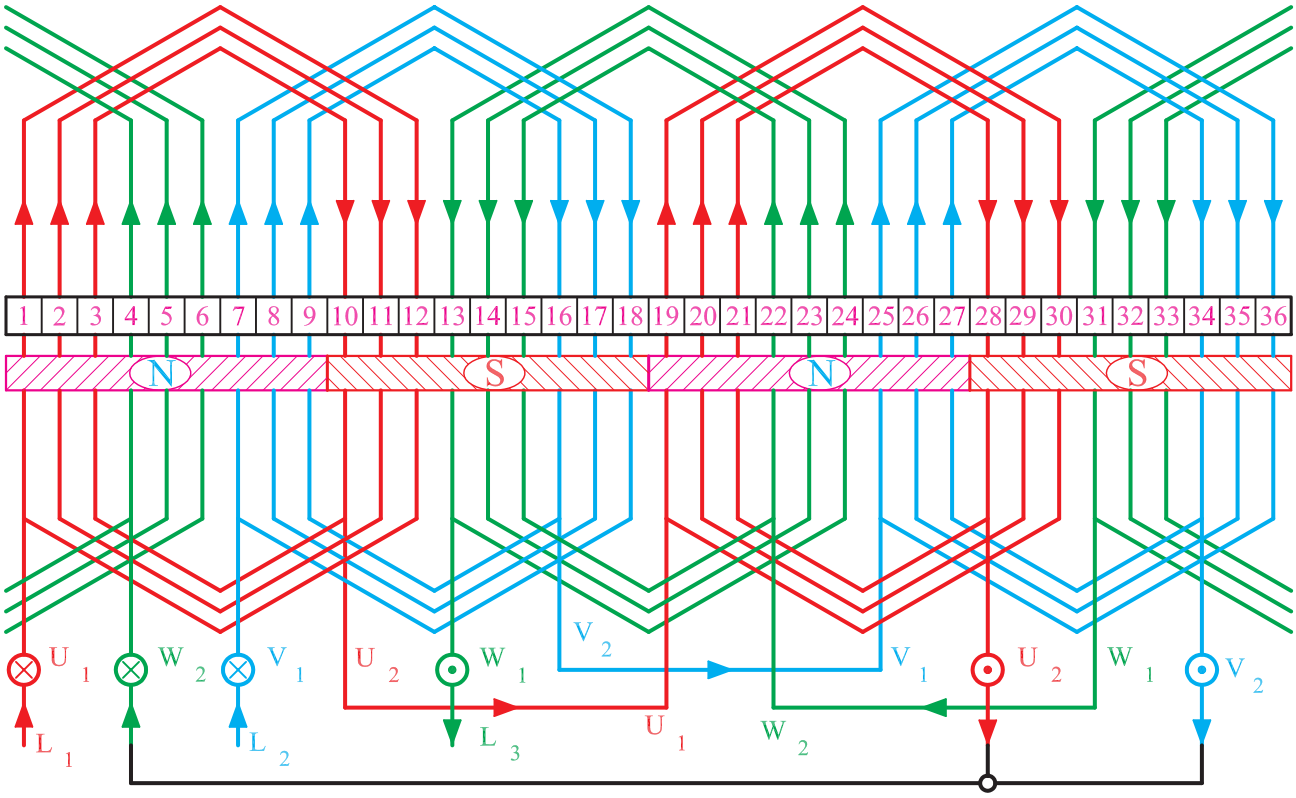
در شکل ۳۷ـ۱ سربندی کامل سیم‌پیچی موتور به‌صورت کلاف مساوی نشان داده شده است. در این شکل، ارتباط گروه کلاف‌های سه فاز در یک‌جا نشان داده است. ورودی برق سه فاز L_1, L_2, L_3 به U_1, V_1, W_1 متصل شده است. در این شکل، موقعیت $L_3 < 0$ ، $L_2 > 0$ و $L_1 > 0$ است و از آن‌جا که جهت جریان بازوها در شیارها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

نکته: هنگام سیم‌بندی به گروههای کلاف توجه کنید

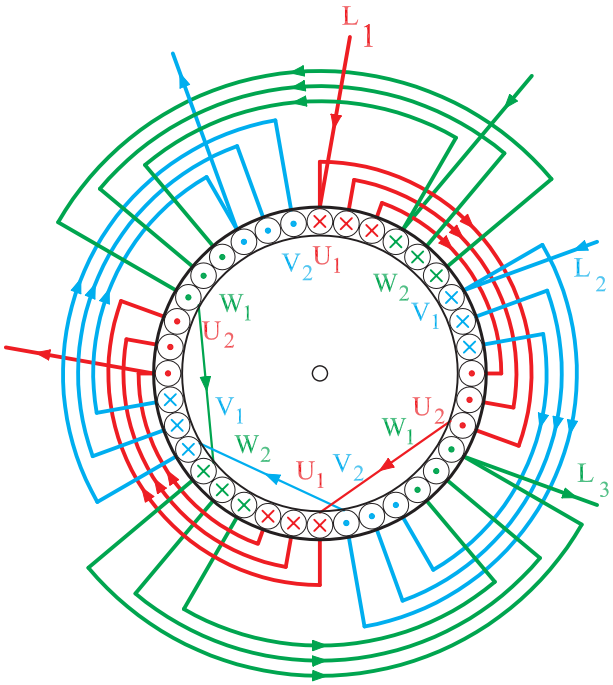


شکل ۳۷ـ۱ـ سربندی و قطب‌سازی کامل سه‌فاز یک موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ‌های گام مساوی

شکل ۳۸ــ۱ سربندی و قطب‌سازی کامل موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب با اتصال نزدیک به روش ترسیم ۶ضلعی را با سیم‌پیچی کلاف متحدالمرکز نشان می‌دهد. در این شکل، بازوهای موجود در شیارهای ۱ تا ۹ قطب N ، ۱۰ تا ۱۸ قطب S ، ۱۹ تا ۲۷ قطب N و شیارهای ۲۷ تا ۳۶ قطب S را تشکیل می‌دهند. در مجموع، ۴ قطب در سطح استاتور تشکیل می‌شود.

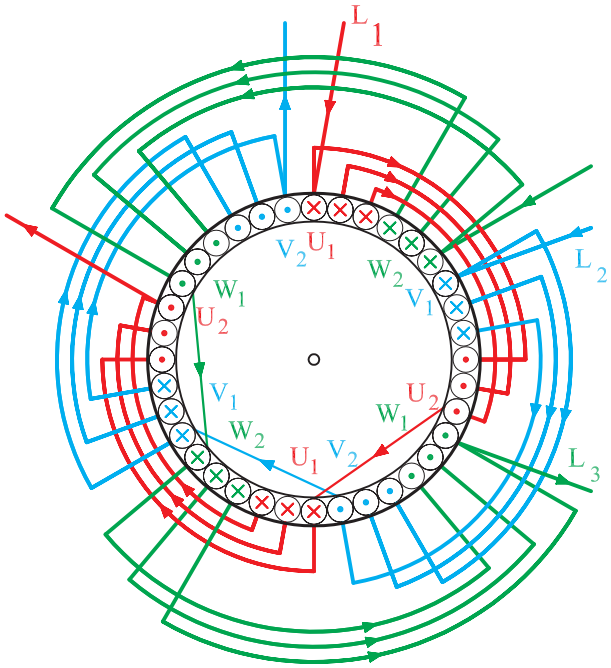


شکل ۳۸ــ۱ــ سربندی و قطب‌سازی کامل سه‌فاز یک موتور ۴ قطب ۳۶ شیار با سیم‌پیچ‌های متحدالمرکز (گام نامساوی)



شکل ۳۹ــ۱

شکل ۳۹ــ۱ دیاگرام کامل سیم‌بندی موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب را با اتصال نزدیک به روش دیاگرام مدور کلاف مساوی نشان می‌دهد. جریان ورودی یا درونسو با علامت ⊗ و جریان‌های برونسو با علامت ⊙ نشان داده شده است.



شکل ۴۰ــ۱

شکل ۴۰ــ۱ دیاگرام کامل سیم‌بندی موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب را با اتصال نزدیک به روش دیاگرام مدور با کلاف متحدالمرکز نشان می‌دهد.

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

حل:

ـ محاسبات $Z = ۲۴ \ , \ m = ۳ \ , \ ۲P = ۴$

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

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

شروع فاز $U_۱ = ۱$

شروع فاز $V_۱ = ۱ + \frac{۱۲۰}{۳۰} = ۵$

شروع فاز $W_۱ = ۱ + \frac{۲۴۰}{۳۰} = ۹$

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

(الف)

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

(ب)

تشکیل جدول

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

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

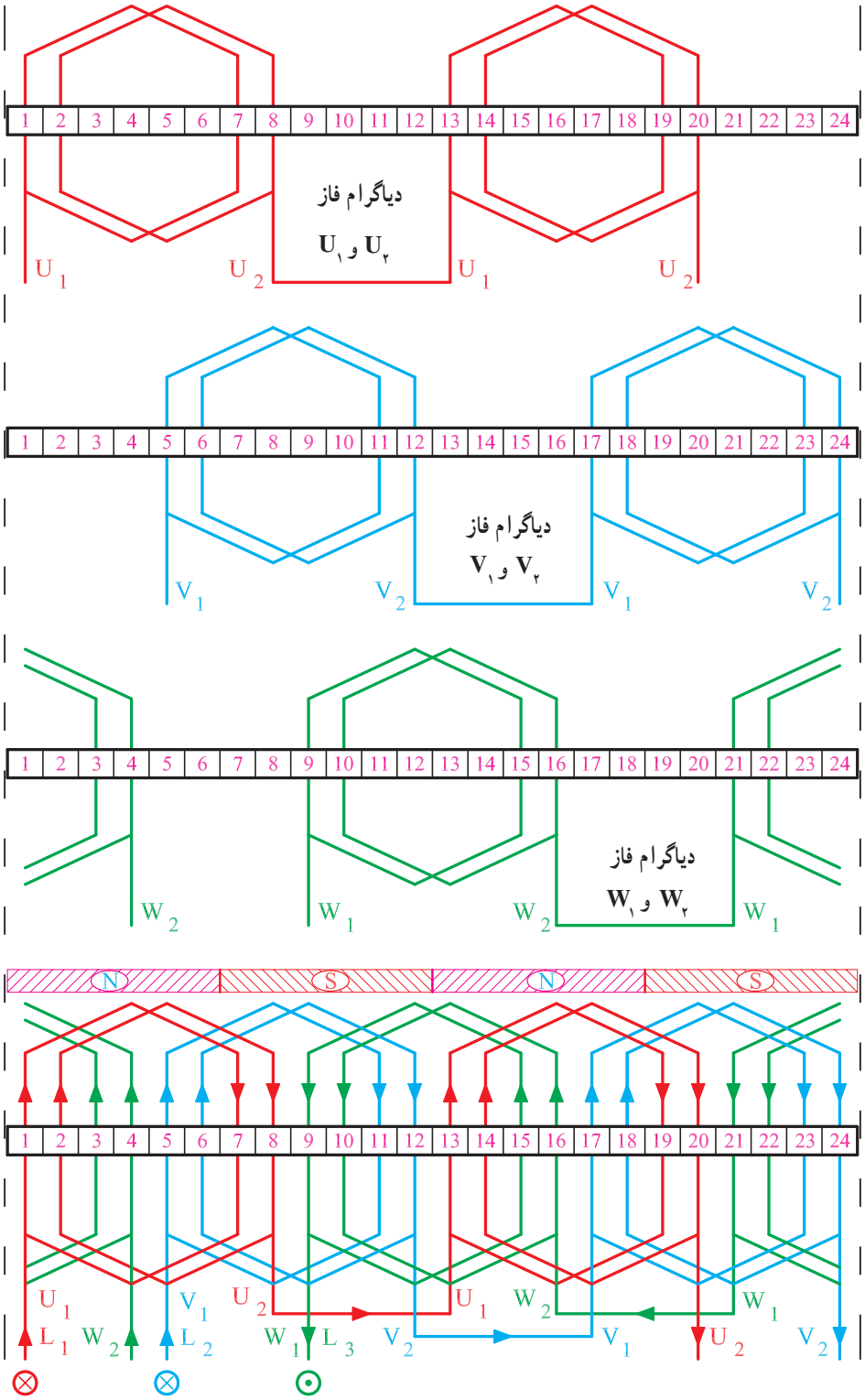
2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2
	1	2	5	6	9	10
	7	8	11	12	15	16
	13	14	17	18	21	22
	19	20	23	24	3	4

(ج)

شکل ۴۱ـ۱

رسم دیاگرام سیم‌پیچی

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



الف ــ دیاگرام سیم‌پیچ U_1 و U_2 (فاز اول)

ب ــ دیاگرام سیم‌پیچ V_1 و V_2 (فاز دوم)

ج ـ دیاگرام سیم‌پیچ W_1 و W_2 (فاز سوم)

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

شکل ۴۲ـ۱

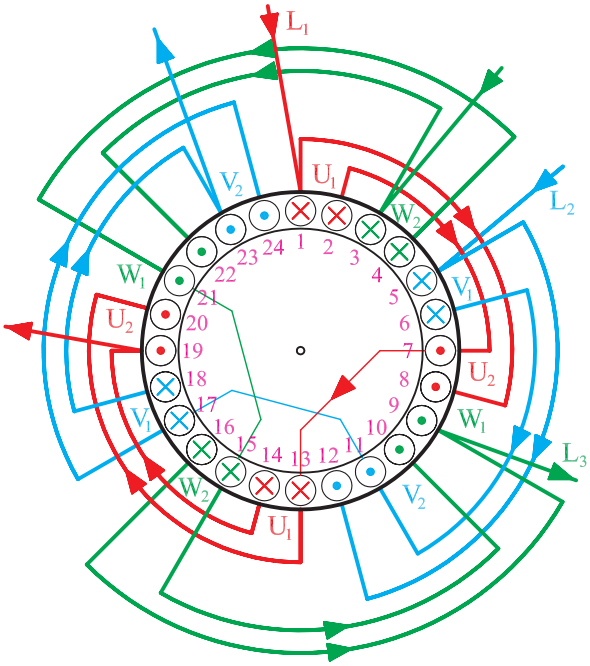
رسم دیاگرام مدور متحدالمرکز

اگر هدایت بازوی کلاف‌ها را درفاز U_1 و U_2، از ۱ به ۸، ۲ به ۷، ۱۳ به ۲۰ و ۱۴ به ۱۹ و در فازهای بعدی مطابق جدول شکل ۴۳ــ۱ انجام دهیم، سیم‌بندی به‌صورت متحدالمرکز انجام می شود.

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

شکل ۴۳ــ۱ــ جدول سیم پیچی موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب متحدالمرکز

دیاگرام مدور سیم‌بندی متحدالمرکز به‌صورت شکل ۴۴ــ۱ ترسیم می‌شود.



شکل ۴۴ــ۱ــ دیاگرام مدور موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب متحدالمرکز

۷ــ۱ــ 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 $\frac{q}{۲}$ است، اما هدف اصلی توزیع سیم‌پیچ مربوط به هر فاز در سطح استاتور است تا بهتر تهویه شود. این نوع سیم‌بندی، بیشتر مزایای سیم‌بندی گام کسری را دارد. از این نوع سیم‌بندی بیشتر در موتورهای ۲ قطب و qهای زوج استفاده می‌شود. طراحی با q های فرد، خارج از بحث ماست. به این طریق، گام سیم‌بندی کوتاه شده و فرم آن شکیل‌تر می‌شود و از تلفات اهمی بیشتر، جلوگیری می‌شود. مراحل رسم دیاگرام نظیر مراحل سیم‌بندی به ازای جفت قطب‌هاست.

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

محاسبات:

$$Z = ۲۴ \ , \ ۲P = ۲ \ , \ m = ۳$$

$$Y_Z = \frac{Z}{۲P} = \frac{۲۴}{۲} = ۱۲$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z} = \frac{۱ \times ۳۶۰}{۲۴} = ۱۵^\circ$$

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

شروع فاز $U_۱ = ۱$

شروع فاز $V_۱ = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۱۵} = ۹$

شروع فاز $W_۱ = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}} = ۱ + \frac{۱۲۰}{۱۵} = ۱۷$

تشکیل جدول:

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

2m / 2P	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

هر ستون را به دو ستون فرعی تقسیم می‌کنیم.

2m / 2P	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

هر ستون فرعی را به $\frac{q}{۲}$ ستون کوچک تقسیم می‌کنیم.

2m / 2p	U_1	U_2	V_1	V_2	W_1	W_2

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

در ستون فرعی سمت چپ هر فاز، از شروع فازها به تعداد $\frac{q}{۲}$ عدد متوالی می‌نویسیم.

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

کسری گام، به اندازه $\frac{q}{۲}=\frac{۴}{۲}=۲$ شیار خواهد بود.

بنابراین، می‌توان نوشت :

گام سیم‌بندی: $Y_Z = Y_P - \frac{q}{۲} = ۱۲ - ۲ = ۱۰$

گام قطبی: $Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۲۴}{۲} = ۱۲$

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 $U_۱$ و $U_۲$ می‌توانیم به ترتیب زیر عمل کنیم :

سطر فرعی سمت چپ:
- ستون اول: ۱+۱۲=۱۳
- ستون دوم: ۲+۱۲=۱۴

ستون فرعی سمت راست سطر دوم:
- ستون اول: ۱+۱۰=۱۱
- ستون دوم: ۲+۱۰=۱۲

به همین‌ترتیب می‌توان جداول را برای تمام سیم‌پیچ‌ها تکمیل کرد. محل بازوهای سیم‌پیچ‌های $U_۱$ و $U_۲$ ، $V_۱$ و $V_۲$ ، $W_۱$ و $W_۲$ در جداول الف تا ج شکل ۴۵ــ۱ به‌طور کامل نشان داده شده است.

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

الف ــ هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز $U_۱$ و $U_۲$

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

ب ــ هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز $V_۱$ و $V_۲$

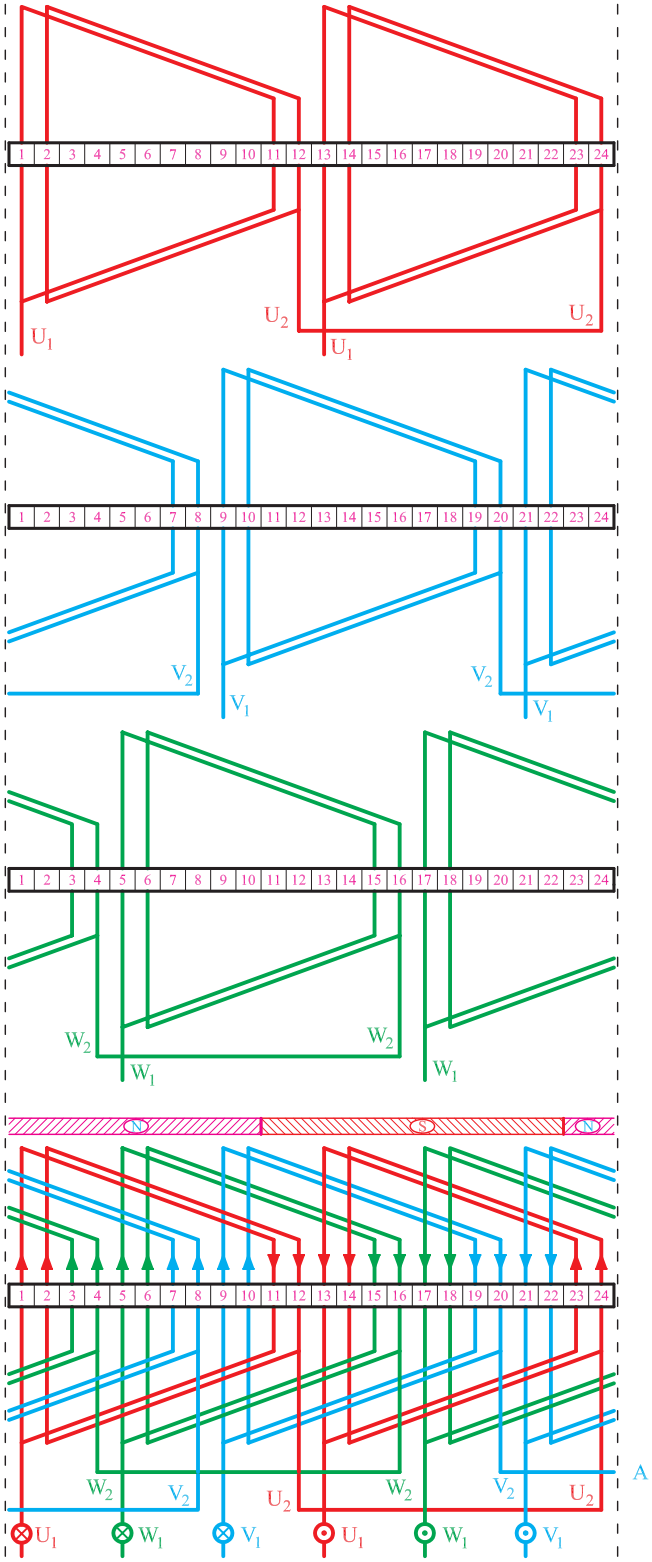
m / 2p	W_1	W_2
	17 18	15 16
	5 6	3 4

ج ــ هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز $W_۱$ و $W_۲$

شکل ۴۵ــ۱

رسم دیاگرام سیم‌بندی

در شکل ۴۶ــ۱ 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 ــ کلاف‌های فاز اول

ب ــ کلاف‌های فاز دوم

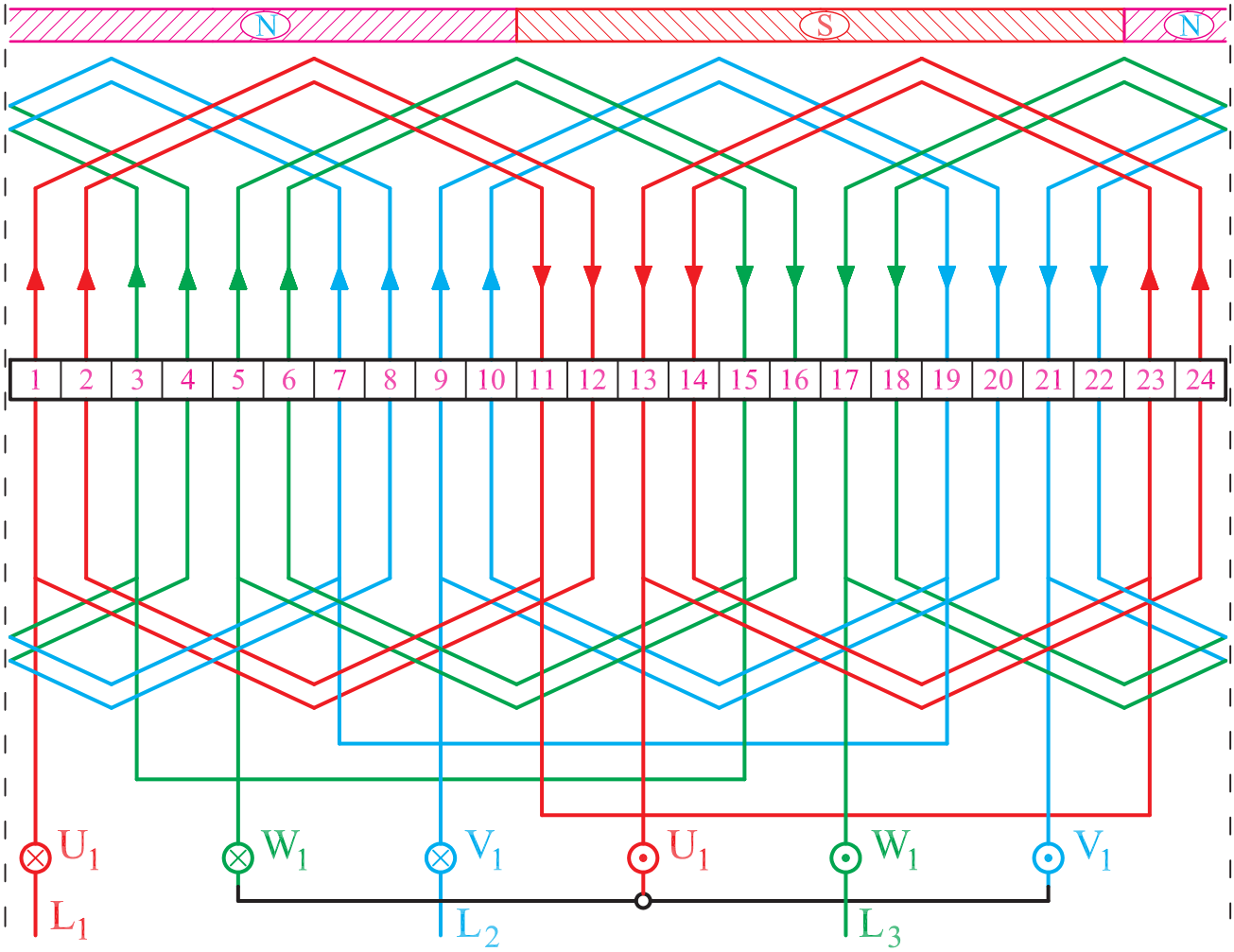
ج ــ کلاف‌های فاز سوم

د ــ سیم‌بندی کامل موتور

شکل ۴۶ــ۱ــ دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز ۲۴ شیار یک طبقه ۲ قطب به ازای قطب اتصال دور

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

سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار ۲ قطب را می‌توان به‌صورت متحدالمرکز نیز انجام داد. شکل ۴۷ــ۱ دیاگرام سیم‌بندی این موتور را به‌صورت متحدالمرکز نشان می‌دهد. کلاف‌ها به شکل ۶ ضلعی رسم شده‌اند. عملکرد این موتور با موتور دارای سیم‌بندی کلاف مساوی شکل ۴۷ــ۱ تفاوتی ندارد.



شکل ۴۷ــ۱ــ دیاگرام سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار ۲ قطب به ازای قطب متحدالمرکز به روش ترسیم ۶ضلعی

۸ــ۱ــ کارهای عملی ۱

۱ــ ۸ــ۱ــ کار عملی ۱

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

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

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

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱. کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)
۲. کاغذ A سفید یا شطرنجی (یک برگ)
۳. خط‌کش 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 هرکدام یک عدد
۸. گونیا یک عدد
۹. نقاله یک عدد
۱۰. میزکار یک عدد

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

مراحل کار

۱. مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید. G = P =، m =، ۲p =، Z =

۲. گام قطبی را به‌دست آورید.

$$Y_P = \frac{Z}{۲P}$$

۳. زاویه الکتریکی را به‌دست آورید.

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

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

محل رسم کار عملی

$$q = \frac{Z}{۲p.m}$$

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

$$U_۱ = ۱$$

$$V_۱ = ۱ + \frac{۱۲۰}{\alpha_{ez}}$$

$$W_۱ = ۱ + \frac{۲۴۰}{\alpha_{ez}}$$

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

۷. شماره‌های شروع هر فاز را در جدول بنویسید.

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

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

محل رسم کار عملی

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

محل رسم کار عملی

۲ــ ۸ــ۱ــ کار عملی ۲

زمان: ۱۰ ساعت

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

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

وسایل و ابزار مورد نیاز

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

۲. کاغذ A4 سفید 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، هرکدام یک عدد

۸. گونیا یک عدد

۹. نقاله یک عدد

۱۰. میزکار یک عدد

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

مراحل کار

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

محل محاسبات

۲. گام قطبی را به‌دست آورید.

۳. زاویه الکتریکی را به‌دست آورید.

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

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

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

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

محل رسم کار عملی

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

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

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

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

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

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

محل رسم کار عملی

۳ــ ۸ــ۱ــ کار عملی ۳

زمان: ۱۰ ساعت

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

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

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱. کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)
۲. کاغذ A4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)
۳. خط‌کش 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، هرکدام یک عدد
۸. گونیا یک عدد
۹. نقاله یک عدد
۱۰. میزکار یک عدد

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

مراحل کار

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

محل محاسبات

۳. زاویه الکتریکی را به‌دست آورید.

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

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

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

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

محل محاسبات و رسم کار عملی

محل رسم کار عملی

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

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

۱۰. ستون‌های سمت راست هر فاز را با گام سیم‌بندی $Y_z = Y_p - \frac{q}{۲} = ۶ - ۱ = ۵$ کامل کنید.

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

محل رسم کار عملی

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

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

محل رسم کار عملی

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

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

۴ــ۸ــ۱ــ 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

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

۲ــ کاغذ A_4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)

۳ــ خط‌کش ۳۰cm یک عدد

۴ــ مداد در چهار رنگ

۵ــ مداد تراش و پاک‌کن یک عدد

۶ــ پرگار یک عدد

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

۸ــ گونیا یک عدد

۹ــ نقاله یک عدد

۱۰ــ 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

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

۲ــ گام قطبی را به‌دست آورید.

محل محاسبات

محل رسم کار عملی

۳ــ زاویه الکتریکی را به دست آورید.

۴ــ تعداد شیارهای زیرقطب هرفاز را تعیین کنید.

۵ــ شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

محل رسم کار عملی

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

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

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

محل رسم کار عملی

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

۱۰ــ ستون‌های سمت راست هر فاز را با گام سیم‌بندی $Y_Z = Y_p - \frac{q}{۲} = ۶ - ۱ = ۵$ کامل کنید.

۱۱ــ در طول کاغذ $A_۴$ ، ۳۶ خانه رسم کنید به طوری که ۷۵ درصد از طول کاغذ را پوشش دهد.

محل رسم کار عملی

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

۱۳ــ دیاگرام سیم‌بندی فاز V_2 ، V_1 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.

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

محل رسم کار عملی

آزمون پایانی (۱)

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

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

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

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

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

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

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

۸ــ تعداد شیارهای زیر هر قطب هر فاز یک الکتروموتور ۴۸ شیار سه فاز ۴ قطب را به‌دست آورید.

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

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

۱۱ــ شماره شروع فازهای یک موتور سه فاز ۴۸ شیار ۶ قطب را مشخص کنید.

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

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

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

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

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

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

۱۸ــ دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۴۸ شیار ۴ قطب سه فاز را به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.

۱۹ــ دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۴۸ شیار ۸ قطب سه فاز را به ازای قطب، طرح و رسم کنید.

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

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

الف) ۱۵۰۰ ب) ۱۴۶۰ ج) ۱۱۴۰ د) ۱۴۴۰

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

الف) ۲۰ ب) ۱۰ ج) ۶۰ د) ۹۰

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

واحدکار دوم

توانایی قراردادن کلاف در شیار استاتور

هدف کلی

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

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

۱ــ کلاف‌ها را مرتب و صاف کند.

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

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

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

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

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

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

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۲۰	۱۵۰	۱۷۰

۱ــ۲ــ قراردادن کلاف در شیار استاتور

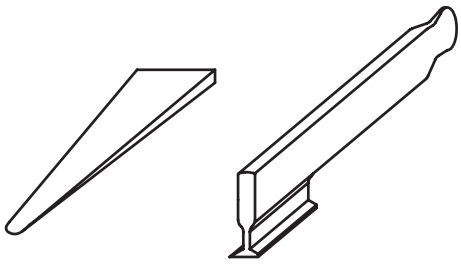
پس از عایق کاری شیارهای استاتور، پیچیدن کلاف‌ها توسط دستگاه کلاف پیچ و آماده‌سازی کلاف‌ها، بازوی‌های آن‌ها را درون شیارهای استاتور قرار می‌دهند.

این مرحله از اجرای سیم‌بندی موتورها حائز اهمیت بوده و عمده‌ترین مرحله سیم‌بندی است. قراردادن 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.

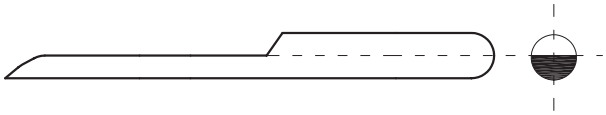
دهانه شیارهای استاتور به دلیل مسایل فنی، به مراتب از ضخامت بازوی کلاف‌ها کم‌عرض‌تر است. بنابراین، ممکن نیست بتوان بازوهای کلاف‌ها را یکجا درون شیارها قرار داد. در این مورد، با توجه به عرض دهانه شیارها باید سیم‌های بازوی هرکلاف را به گروه‌های چندتایی تقسیم کرده و آن‌ها را در میان دو انگشت شست و سبابه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

در هدایت سیم‌ها به داخل شیارها باید سیم‌ها را به‌طور منظم روی هم چید. هیچ‌گونه فضای خالی نباید بین‌آن‌ها وجود داشته باشد سیم‌ها نباید به صورت مورب یا ضربدری درون شیارها قرار گیرند، زیرا فضای کافی برای هدایت بقیه سیم‌ها باقی نخواهد ماند. در مواقعی که فضای کافی برای سیم‌ها وجود ندارد، معمولاً سیم‌های درون شیار را با کاردک‌های مخصوص 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 ۱ــ۲ 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

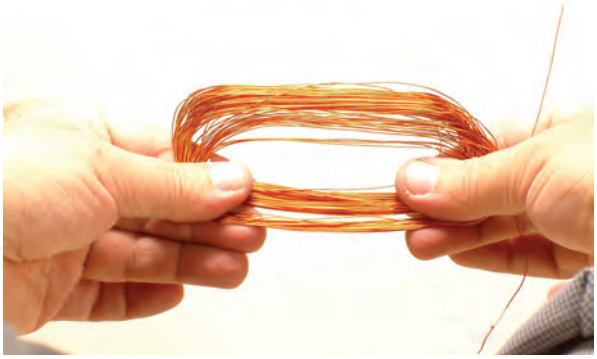
وسیله صاف کردن سیم‌ها در داخل شیار و از بین بردن فضای مرده در شیارها

شکل ۱ــ۲ــ نمونه‌هایی از کاردک‌های فیبری کاهش فضای بین سیم‌ها

حالت قرارگرفتن انگشتان دست‌ها و مراحل مختلف استفاده از انگشتان شست و سبابه، در شکل ۲ــ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲ــ۲ــ حالت انگشتان شست و سبابه در کلاف‌گذاری

کلاف‌ها، مطابق قسمت الف شکل ۳ــ۲ بین انگشتان قرار می‌گیرند. سیم‌ها را مطابق قسمت ب شکل ۳ــ۲ مرتب کرده و آن‌ها را به شیارها هدایت کنید. به این ترتیب، از مورب قرارگرفتن سیم‌ها بر روی هم جلوگیری شده و از فضای داخل شیار، به‌طور کامل استفاده می‌شود.



(الف)

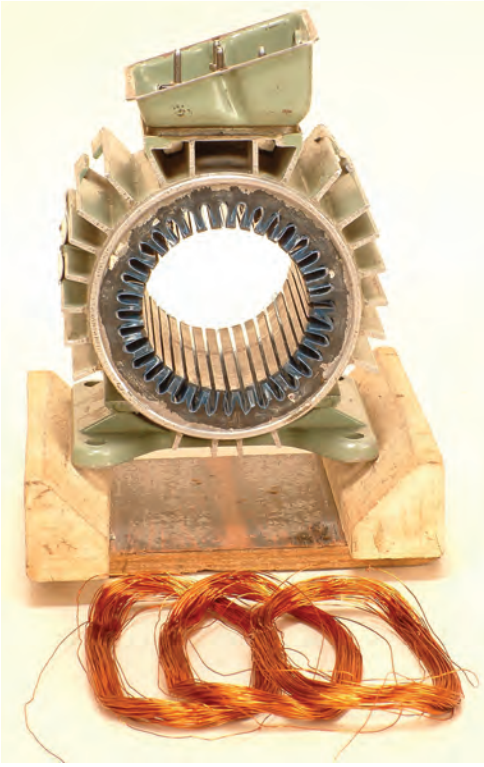
(ب)

شکل ۳ــ۲

قبل از قراردادن بازوی کلاف‌ها در داخل شیارها، لازم است کلاف‌ها را در سمتی از استاتور قراردهید که محل مخصوص هدایت سیم‌ها به جعبه اتصالات (تخته کلم) در آن سمت قرار دارد (شکل ۴ــ۲).

شکل ۴ــ۲ــ محل عبور سر سیم‌ها به جعبه اتصالات (تخته کلم)

کلاف‌ها به منظور قراردادن بازوهای کلاف‌ها در داخل شیارهای استاتور، مطابق شکل ۵ــ۲ در مقابل استاتور قرار می‌گیرند.

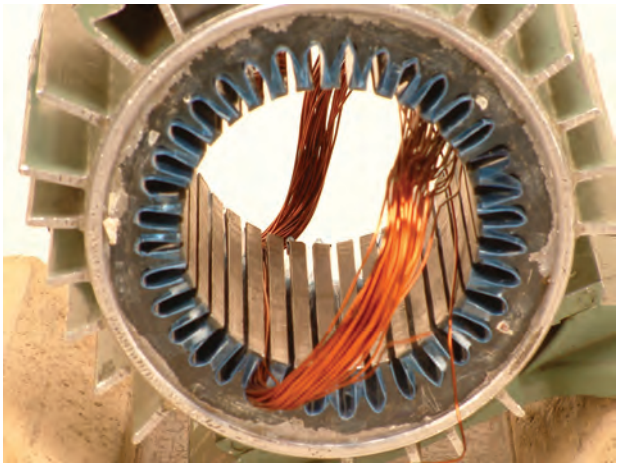


شکل ۵ــ۲ــ موقعیت کلاف‌ها در مقابل استاتور، قبل از جاگذاری آن‌ها در داخل استاتور

یکی از پیچک‌های گروه کلاف موردنظر را انتخاب کرده و آن را مطابق شکل ۶ــ۲ درون شیارهای استاتور قرار می‌دهیم.

شکل ۶ــ۲ــ موقعیت انگشتان شست و سبابه در جای‌گذاری کلاف‌ها در داخل شیار استاتور

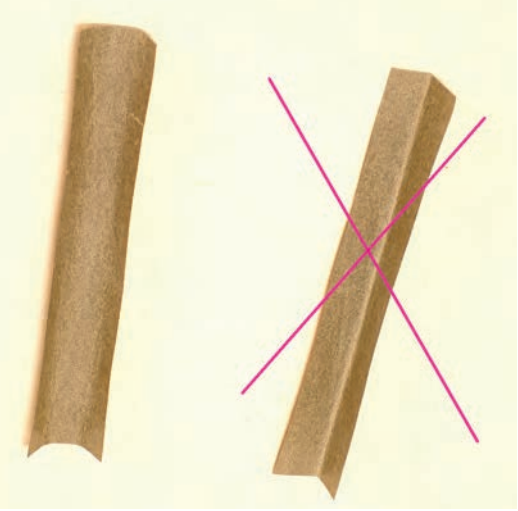
تمام سیم‌های مربوط به یک بازوی هر پیچک را با حوصله زیاد و به‌طور مرتب در داخل شیار قرار می‌دهیم (شکل ۷ــ۲).



شکل ۷ــ۲ــ قرارگرفتن یک بازو در داخل یک شیار

۲ــ۲ــ قراردادن کاغذ پرشمان روی کلاف‌ها

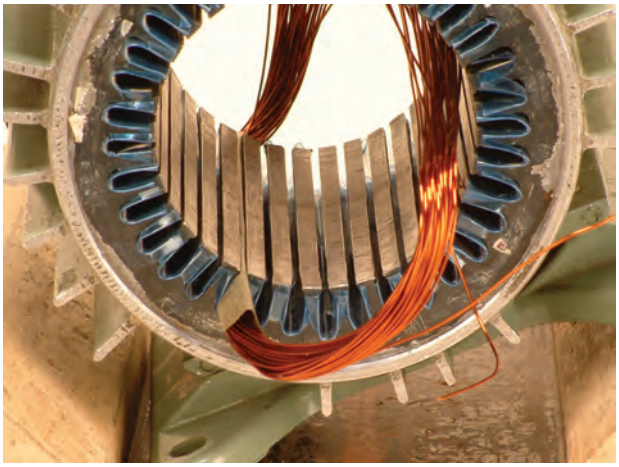
پس از استقرار سیم‌ها در داخل شیارها، لازم است روی آن‌ها را با کاغذ پرسپان (پرشمان) بپوشانید تا از شیار بیرون نیایند. کاغذ پرسپان را ابتدا به صورت ناودانی فرم می‌دهیم و در داخل شیار قرار می‌دهیم (شکل ۸ــ۲).



شکل نادرست کاغذ پرشمان **شکل صحیح کاغذ پرشمان**

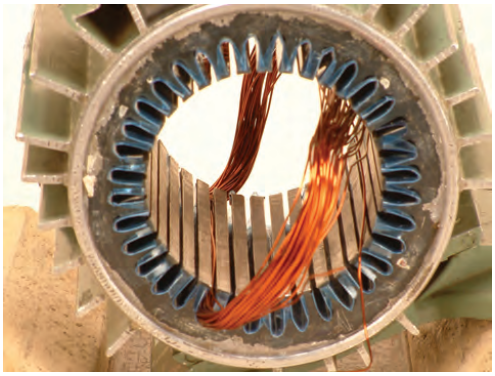
شکل ۸ــ۲ــ انتخاب شکل صحیح کاغذ پرشمان

کاغذ پرشمان برای جلوگیری از بیرون‌آمدن سیم‌ها، روی بازوها را در داخل شیار می‌پوشاند (شکل ۹ــ۲).



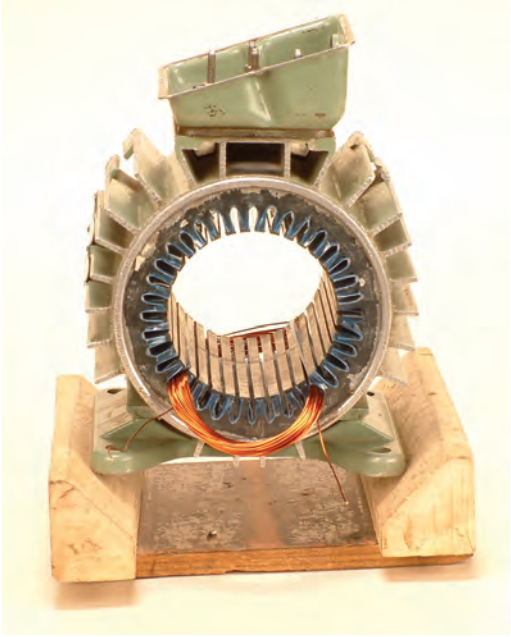
شکل ۹ــ۲ــ پوشاندن روی بازوها توسط کاغذ پرشمان

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 ۱۰ــ۲).



شکل ۱۰ــ۲ــ 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 ۱۱ــ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱ــ۲ــ استقرار کامل یک کلاف در داخل شیارهای استاتور

۳ــ۲ــ کارهای عملی ۲

۱ــ۳ــ۲ــ کار عملی ۱

هدف: قراردادن کلاف‌ها در داخل شیارها

زمان: ۲۴ ساعت

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

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱ــ استاتور نگهدار یک عدد

۲ــ کاردک چوبی یک عدد

۳ــ کاردک فیبری یک عدد

۴ــ استاتور ۳۶ شیار سه فاز عایق‌کاری شده یک عدد (شکل ۱۲ــ۲)

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

۶ــ قیچی کاغذبر یک عدد

۷ــ کاغذ پرشمان ۰/۲۰ به حد کافی

مراحل انجام کار

۱ــ پوسته موتور را روی نگهدارنده استاتور قرار دهید.

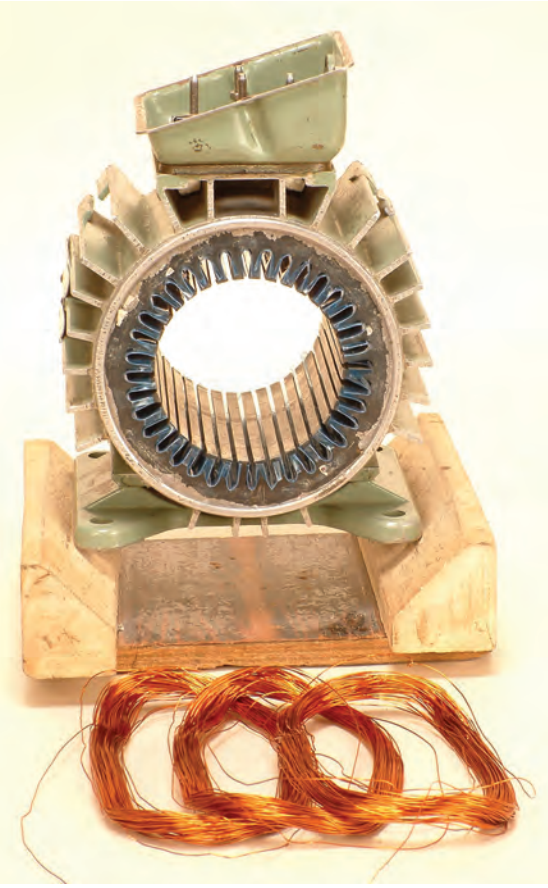
۲ــ یکی از شیارها را به عنوان شیار شروع سیم‌بندی در نظر بگیرید و آن را با شماره ۱ علامت‌گذاری کنید.

۳ــ جهت گردش برای جاگذاری کلاف‌ها را به‌دلخواه انتخاب کنید (شکل ۱۳ــ۲).

شکل ۱۲ــ۲ــ پوسته موتور سه فاز ۳۶ شیار

شکل ۱۳ــ۲ــ انتخاب شیار شروع و مسیر کلاف‌گذاری

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

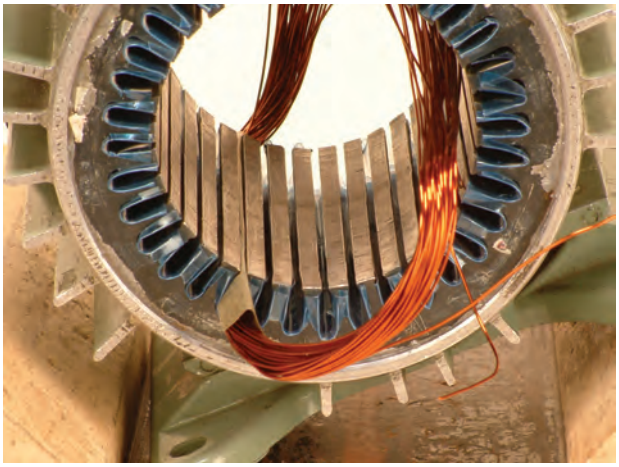


شکل ۱۴ــ۲ــ تعیین محل قرارگرفتن کلاف‌ها

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

شکل ۱۵ــ۲ــ قراردادن بازوی شماره یک در شیار شماره ۱

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



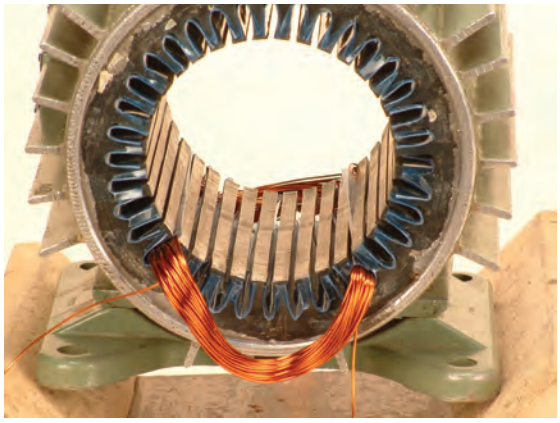
شکل ۱۶ــ۲ــ پوشاندن روی بازو با کاغذ پرشمان

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

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

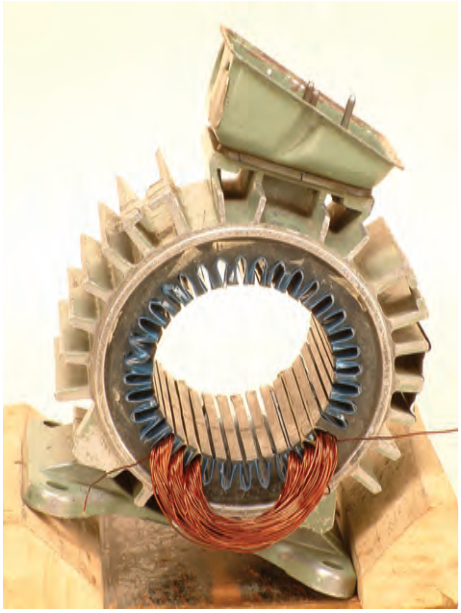
شکل ۱۷ــ۲ــ الف

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



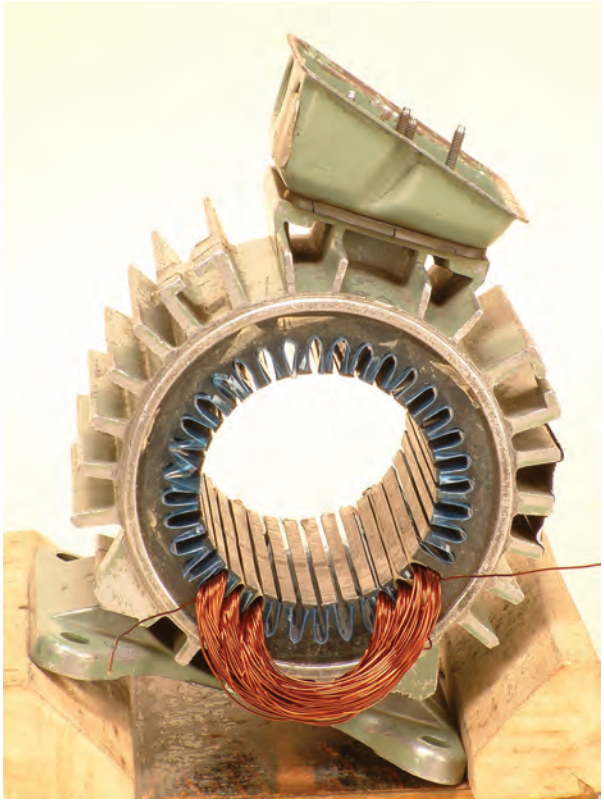
شکل ۱۷ــ۲ــ ب

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



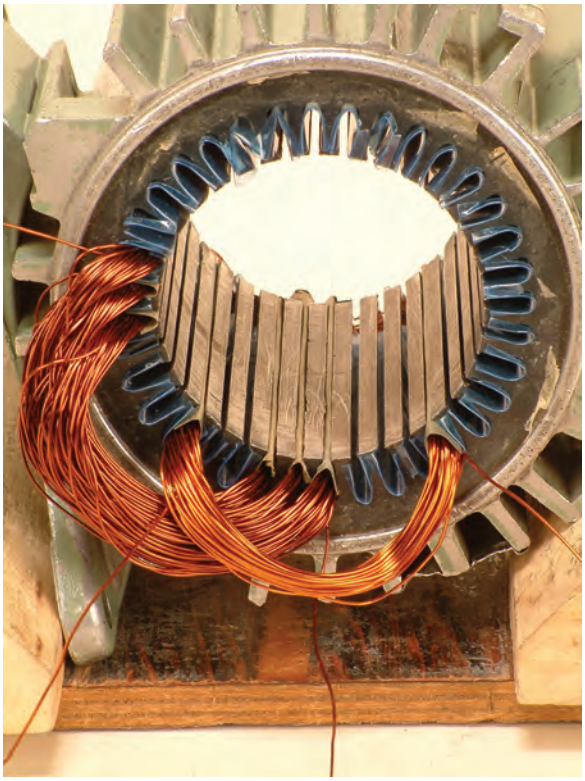
شکل ۱۸ــ۲ــ قرارگرفتن گروه کلاف شماره یک در داخل شیارها

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



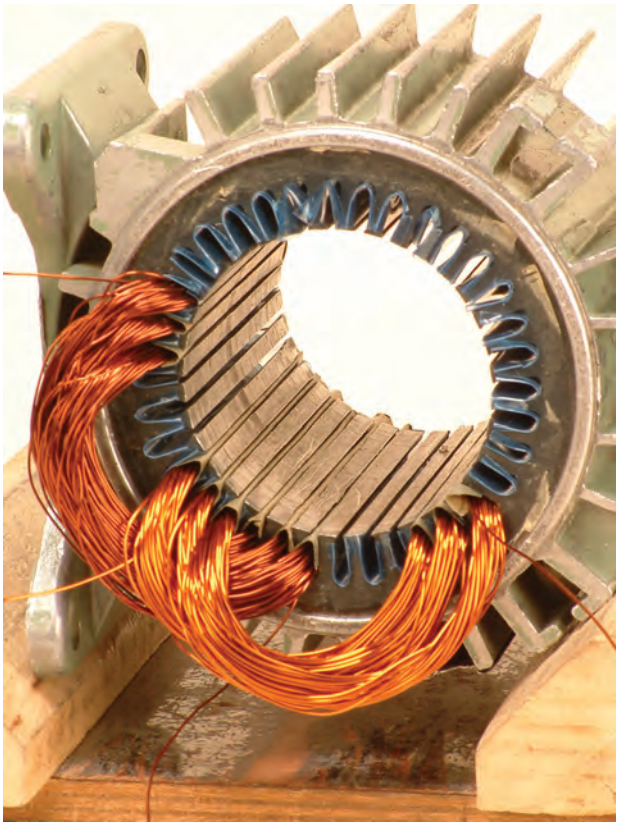
شکل ۱۹ــ۲ــ محل شروع گروه کلاف دوم

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



شکل ۲۰ــ۲ــ قراردادن اولین کلاف گروه کلاف دوم

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

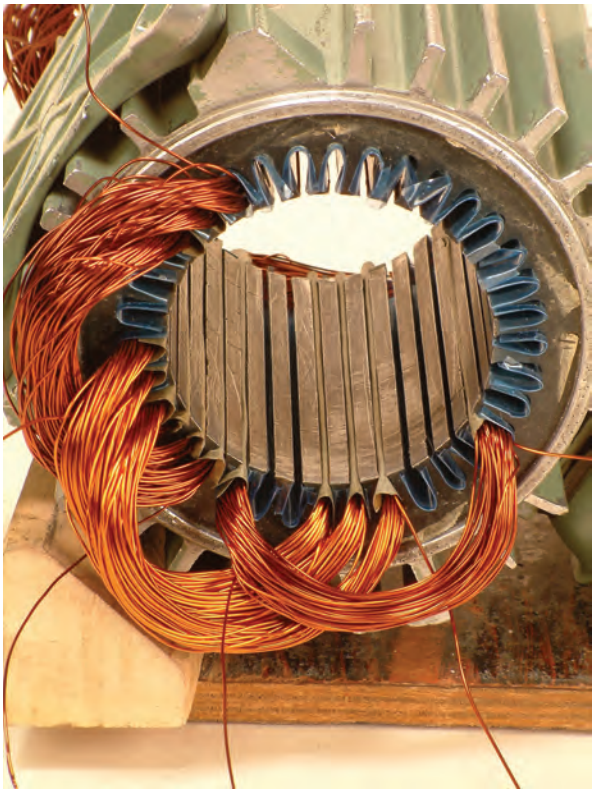


شکل ۲۱ــ۲ــ قرارگرفتن بازوهای گروه کلاف دوم در داخل شیارها

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

شکل ۲۲ــ۲ــ شروع گروه کلاف سوم از شیار شماره ۱۳

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

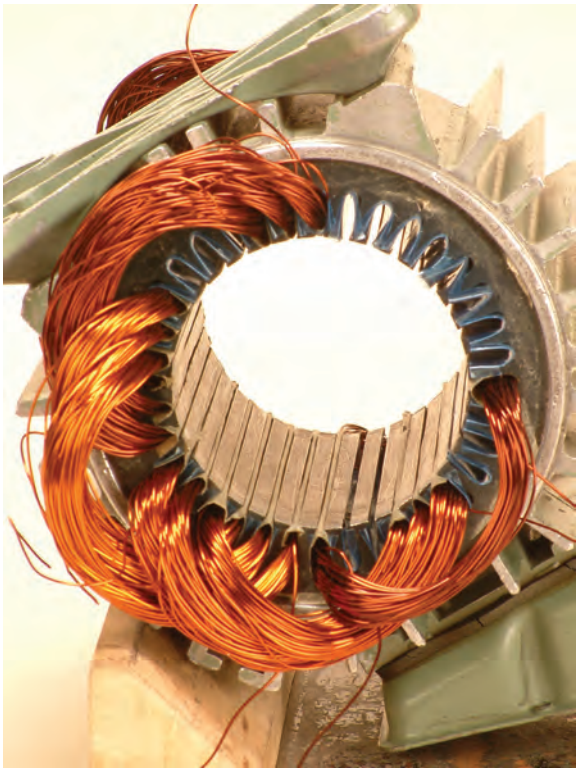


شکل ۲۳ــ۲ــ قرارگرفتن گروه کلاف سوم

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

شکل ۲۴ــ۲ــ قرارگرفتن گروه کلاف شماره چهار

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



شکل ۲۵ــ۲ــ قرارگرفتن گروه کلاف شماره پنج

۱۶ــ قبل از قراردادن گروه کلاف شماره ۶، بازوهای موجود در شیارهای ۱، ۲ و۳ را بیرون آورده و آن‌ها را به‌طرف بالا خم کنید (شکل ۲۶ــ۲).

شکل ۲۶ــ۲ــ الف

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

شکل ۲۶ــ۲ــ ب

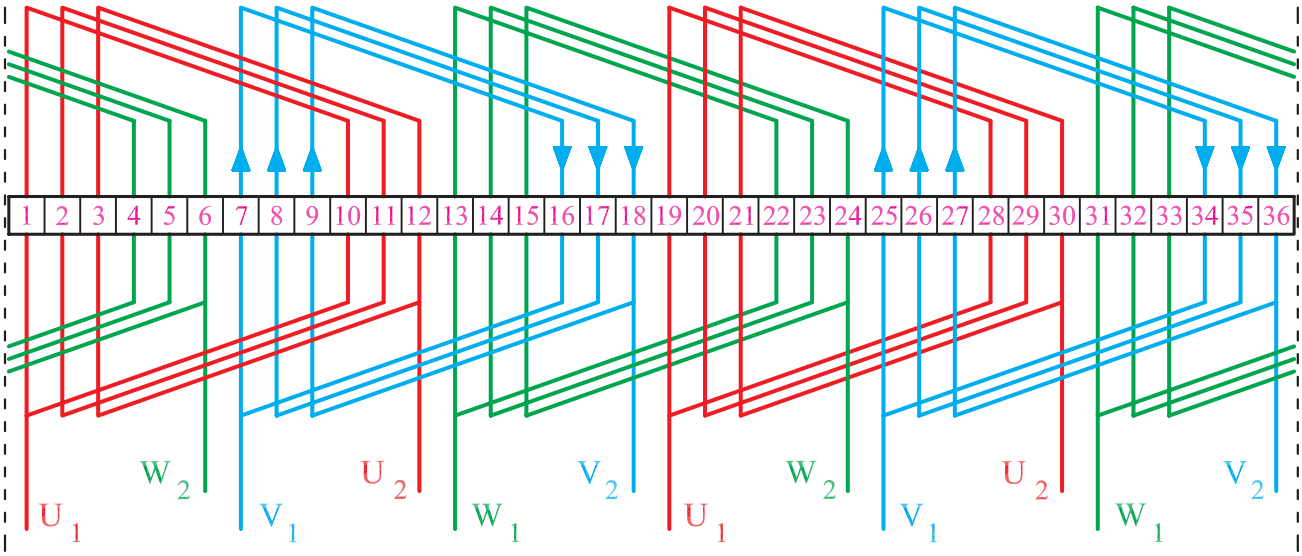
در شکل ۲۶ ــ ۲ــ ب بازوهائی که از شیارهای ۱و۲و۳ بیرون آورده شده‌اند را نشان می‌دهد.

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

شکل ۲۷ــ۲ــ جازدن گروه کلاف ششم

تمرین

کلاف‌های گذاشته شده در کار عملی شماره ۱ در قسمت ۱ــ۸ــ۱ 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 قرارگرفته است، با شماره‌های موجود در شکل ۲۸ــ۲ مقایسه کنید. اگر تفاوت‌هایی با شیارهای استاتور مشاهده کردید، علت تفاوت‌ها را بیان کنید.



شکل ۲۸ــ۲ــ سیم‌بندی یک طبقه استاتور ۳۶ شیار

۲ــ۳ــ۲ــ 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

۱ــ استاتور نگهدار یک عدد

۲ــ کاردک چوبی یک عدد

۳ــ کاردک فیبری یک عدد

۴ــ استاتور ۳۶ شیار سه فاز عایق‌کاری شده یک عدد

۵ــ ۱۸ کلاف‌های آماده با گام‌های سیم‌بندی ۱ به ۶

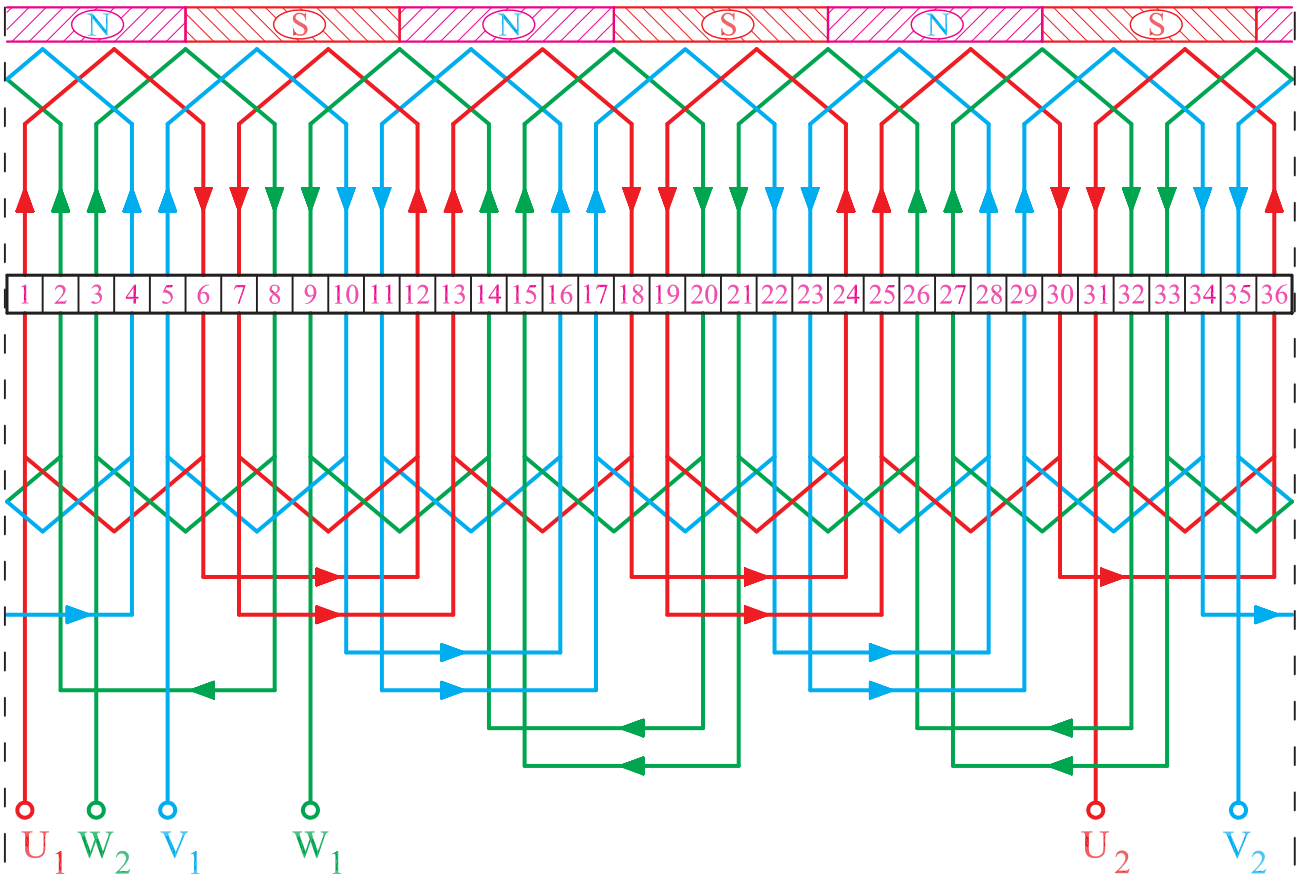
۶ــ قیچی کاغذبر یک عدد

۷ــ کاغذ پرشمان ۰/۲۰ به حد کافی

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

مراحل انجام کار

۱ــ ۱۸ کلاف براساس قسمت ۲۹ــ۲ الف در نظر بگیرید.



شکل ۲۹ــ۲ــ الف ــ دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب یک طبقه به ازای قطب (G = ۲P)

۲ــ استاتور موتور را روی نگهدارنده استاتور قرار دهید.

۳ــ یکی از شیارها را به عنوان شیار شماره ۱ در نظر بگیرید.

۴ــ جهت گردش برای جاگذاری کلاف‌ها را انتخاب کنید (شکل ۲۹ــ۲ــ ب).

شکل ۲۹ ــ ۲ ــ ب ــ انتخاب شیار شروع سیم‌بندی

۵ــ بازوی اول کلاف شماره یک را در داخل شیار شماره ۱ قرار دهید. و روی آن را با کاغذ پرشمان بپوشانید.

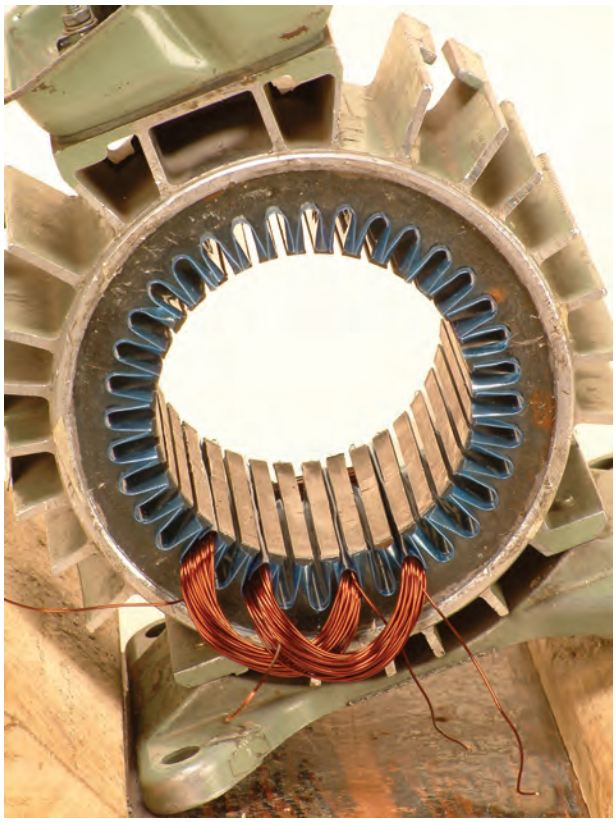
۶ــ بازوی دوم آن را با توجه به گام سیم‌بندی ۱ به ۶ در شیار شماره ۶ قراردهید. روی آن را با کاغذ پرشمان بپوشانید (شکل ۲۹ــ۲ــج).

شکل ۲۹ ــ ۲ ــ ج ــ قراردادن کلاف شماره ۱

۷ــ کلاف شماره یک را فرم دهید تا برای بازوهای بقیه کلاف‌ها جا باز شود (شکل ۳۰ــ۲).

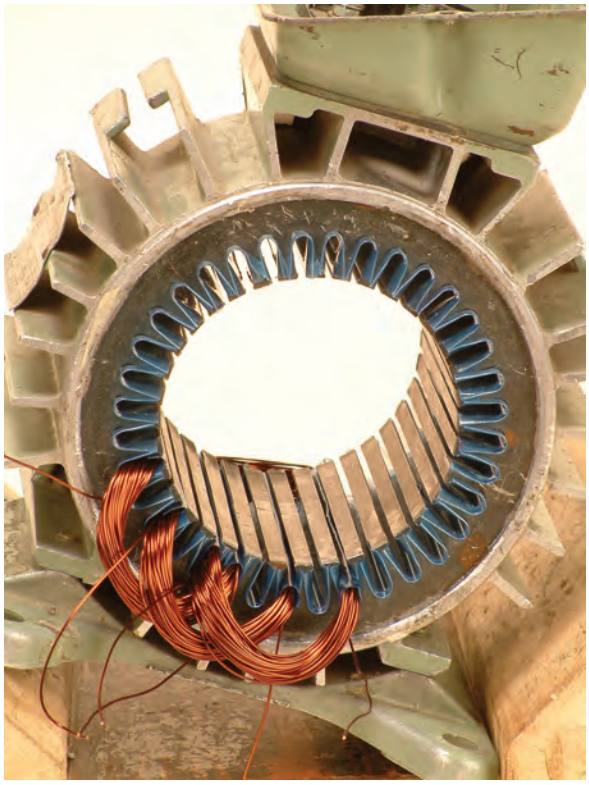
شکل ۳۰ــ۲

۸ــ کلاف‌های دوم را با فاصله یک شیار، در شیارهای ۳ و ۸ قرار دهید (شکل ۳۱ــ۲).



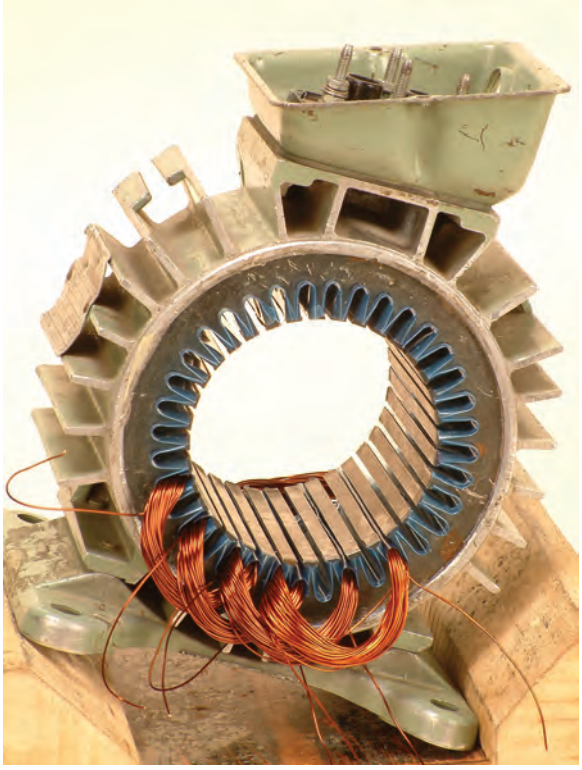
شکل ۳۱ــ۲ــ موقعیت کلاف دوم

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



شکل ۳۲ــ۲ــ موقعیت کلاف سوم

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

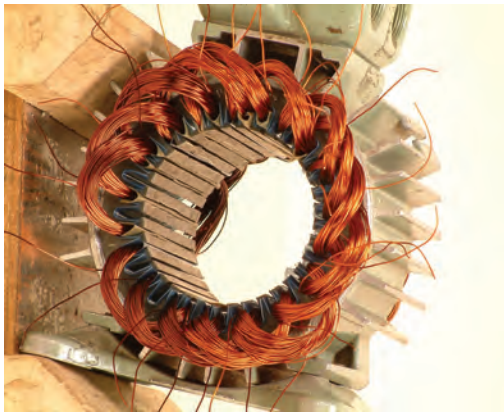


شکل ۳۳ــ۲ــ موقعیت کلاف شماره ۴

۱۱ــ بقیه کلاف‌ها را به ترتیب و به فاصله یک شیار از ما قبل خود تا کلاف شماره ۱۶ در شیارهای مربوطه قرار دهید (شکل ۳۴ــ۲).

شکل ۳۴ــ۲ــ موقعیت کلاف‌ها از کلاف شماره ۱ تا کلاف شماره ۱۶

۱۲ــ قبل از قراردادن کلاف شماره ۱۷، هر دو بازوی موجود در شیار ۱ و۳ را از شیارهای مربوطه خارج کرده و به سمت بالا خم کنید (شکل ۳۵ــ۲).



(الف)

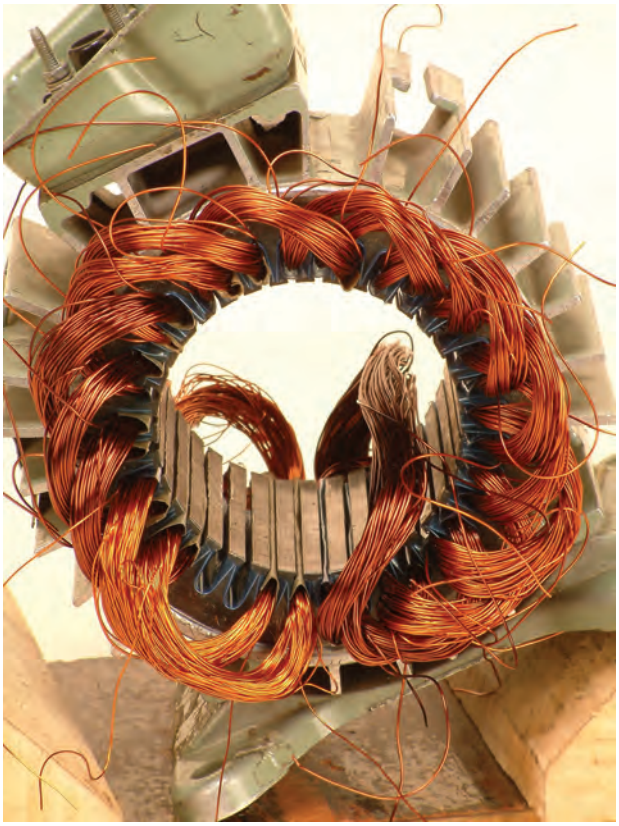
(ب)

شکل ۳۵ــ۲ــ بیرون آوردن بازوهای ۱ و ۳ از شیارهای مربوطه

۱۳ــ کلاف شماره ۱۷ را در شیارهای مربوطه قرار دهید (شکل ۳۶ــ۲).

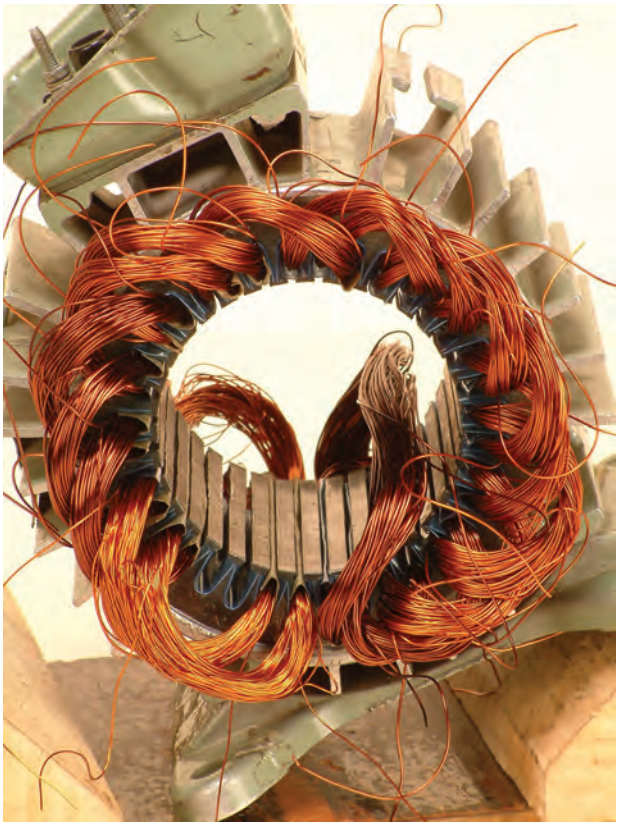
شکل ۳۶ــ۲ــ موقعیت کلاف شماره ۱۷

۱۴ــ کلاف شماره ۱۸ را در شیارهای مربوطه قراردهید (شکل ۳۷ــ۲).



شکل ۳۷ــ۲ــ موقعیت کلاف شماره ۱۸

۱۵ــ بازوی شماره ۱ را به شیار شماره ۱ برگردانید (شکل ۳۸ــ۲).



(الف)

شکل (۳۸ ــ۲ــ الف) بازوی شماره۱
قبل از برگردانیدن آن به شیار شماره۱

(ب)

شکل (۳۸ــ۲ــب) بازوی شماره ۱پس از برگردانیدن آن به داخل شیار شماره ۱

شکل ۳۸ــ۲ــ هدایت بازوی شیار شماره ۱ به مکان اولیه

۱۶ــ بازوی شماره ۳ را به شیار شماره ۳ برگردانید. به این ترتیب، تمام کلاف‌ها در شیارهای مربوطه مستقر می‌شوند (شکل ۳۹ــ۲).

(الف)

شکل (۳۹ــ۲ــالف) بازوی شماره ۳ را قبل از برگردانیدن آن به شیار ۳ نشان می‌دهد.

(ب)

شکل ۳۹ــ۲ــ برگرداندن بازوی شماره ۳ به شیار شماره ۳ و گذاشتن کامل کلاف‌ها در داخل شیارها

شکل (۳۹ــ۲ــب) بازوی شماره ۳را پس ازقرارگرفتن آن در شیار شماره ۳ نشان می‌دهد.

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

محاسبات لازم را انجام دهید.

ــ نقشه موتور را تهیه کنید.

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

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

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

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

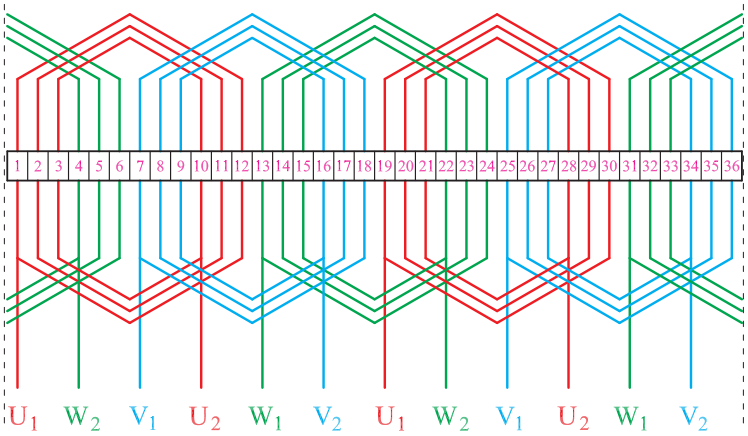
۳ــ۳ــ۲ــ کار عملی شماره ۳

زمان: ۲۴ ساعت

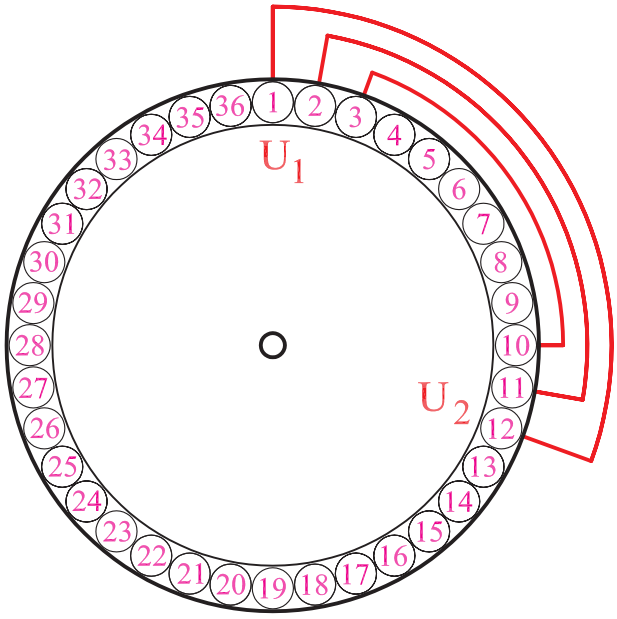
موضوع: سیم‌بندی موتور ۳۶ شیار سه فاز ۴ قطب با سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب.

مراحل انجام کار

۱ــ شکل ۴۰ــ۲ را درنظر بگیرید. ۶ گروه کلاف سه‌تایی متحدالمرکز تهیه کنید و با توجه به شکل ۴۱ــ۲ کلاف‌ها را مطابق شکل‌های داده شده، ابتدا کلاف کوچک و بعد کلاف متوسط و سپس کلاف بزرگ را در شیارها قرار دهید (شکل ۴۱ــ۲).

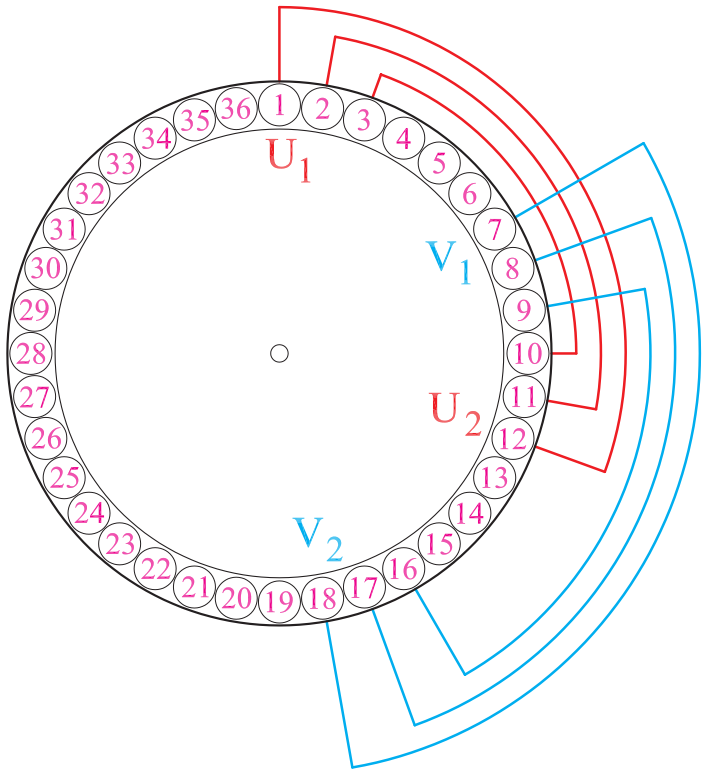


شکل ۴۰ــ۲



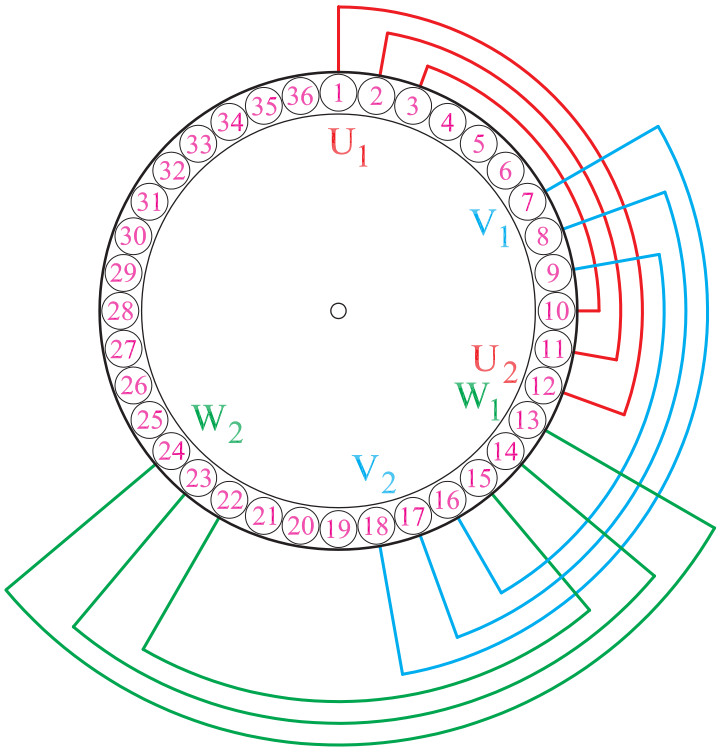
شکل ۴۱ــ۲ــ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۱ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۲ــ سه شیار خالی را رها کنید و گروه کلاف دوم را در داخل شیارها قرار دهید و گروه کلاف دوم را در شیارهای ۹ــ۱۶، ۸ــ۱۷ و ۷ــ۱۸ قرار دهید (شکل ۴۲ــ۲).



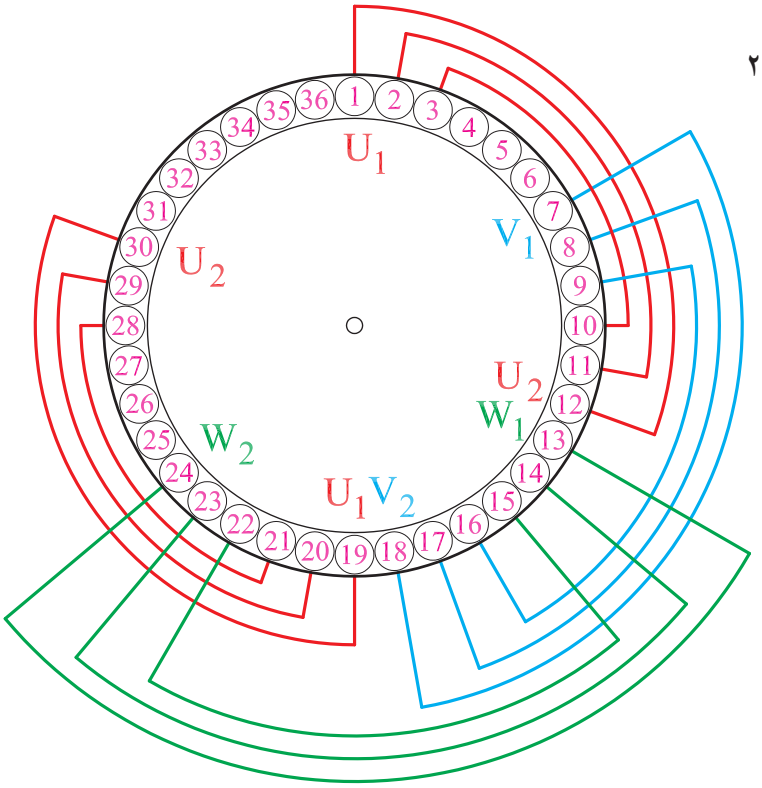
شکل ۴۲ــ۲ــ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۲ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۳ــ گروه کلاف شماره ۳ را در شیارهای ۱۵ــ۲۲، ۱۴ــ۲۳ و ۱۳ــ۲۴ قرار دهید (شکل ۴۳ــ۲).



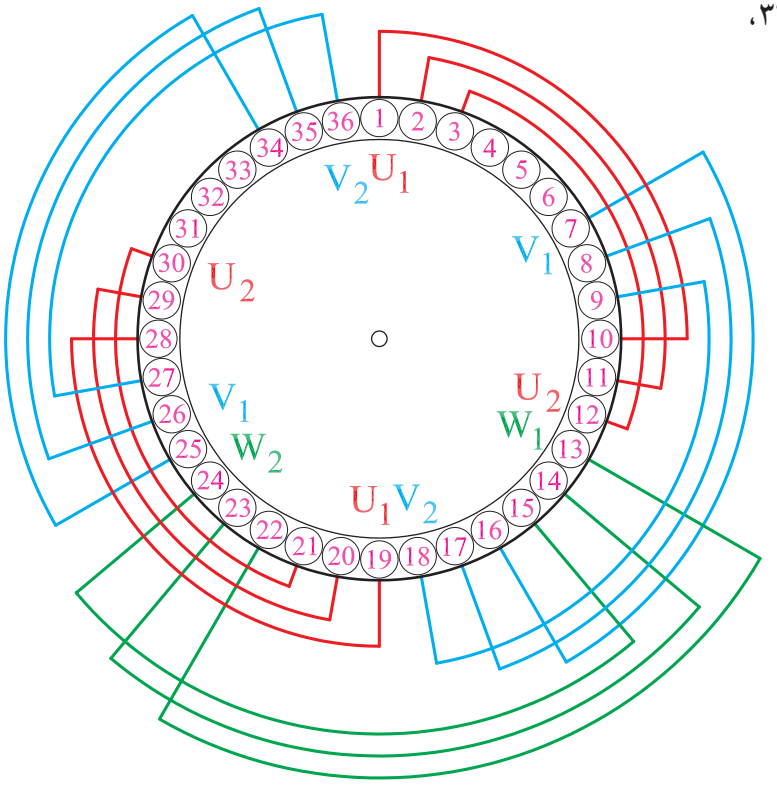
شکل ۴۳ــ۲ــ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۳ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۴ــ گروه کلاف شماره ۴ را در شیارهای ۲۱ــ۲۸، ۲۰ــ۲۹ و ۱۹ــ۳۰ قرار دهید (شکل ۴۴ــ۲).



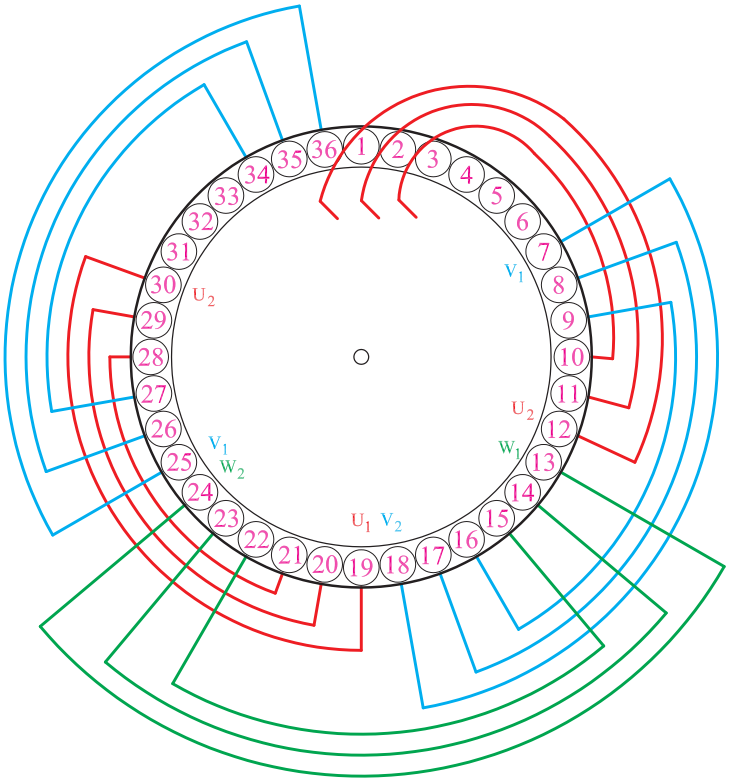
شکل ۴۴ــ۲ــ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۴ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

۵ــ گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۲۷ــ۳۴، ۲۶ــ۳۵ و ۲۵ــ۳۶ قرار دهید (شکل ۴۵ــ۲).



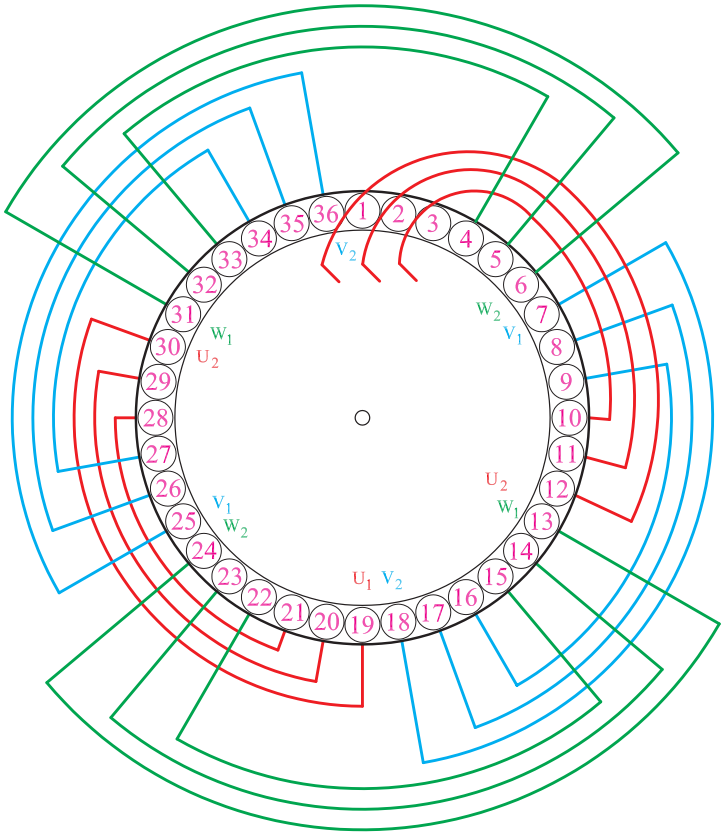
شکل ۴۵ــ۲ــ قرار دادن کلاف‌های گروه کلاف شماره ۵ در شیارهای استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی متحدالمرکز

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



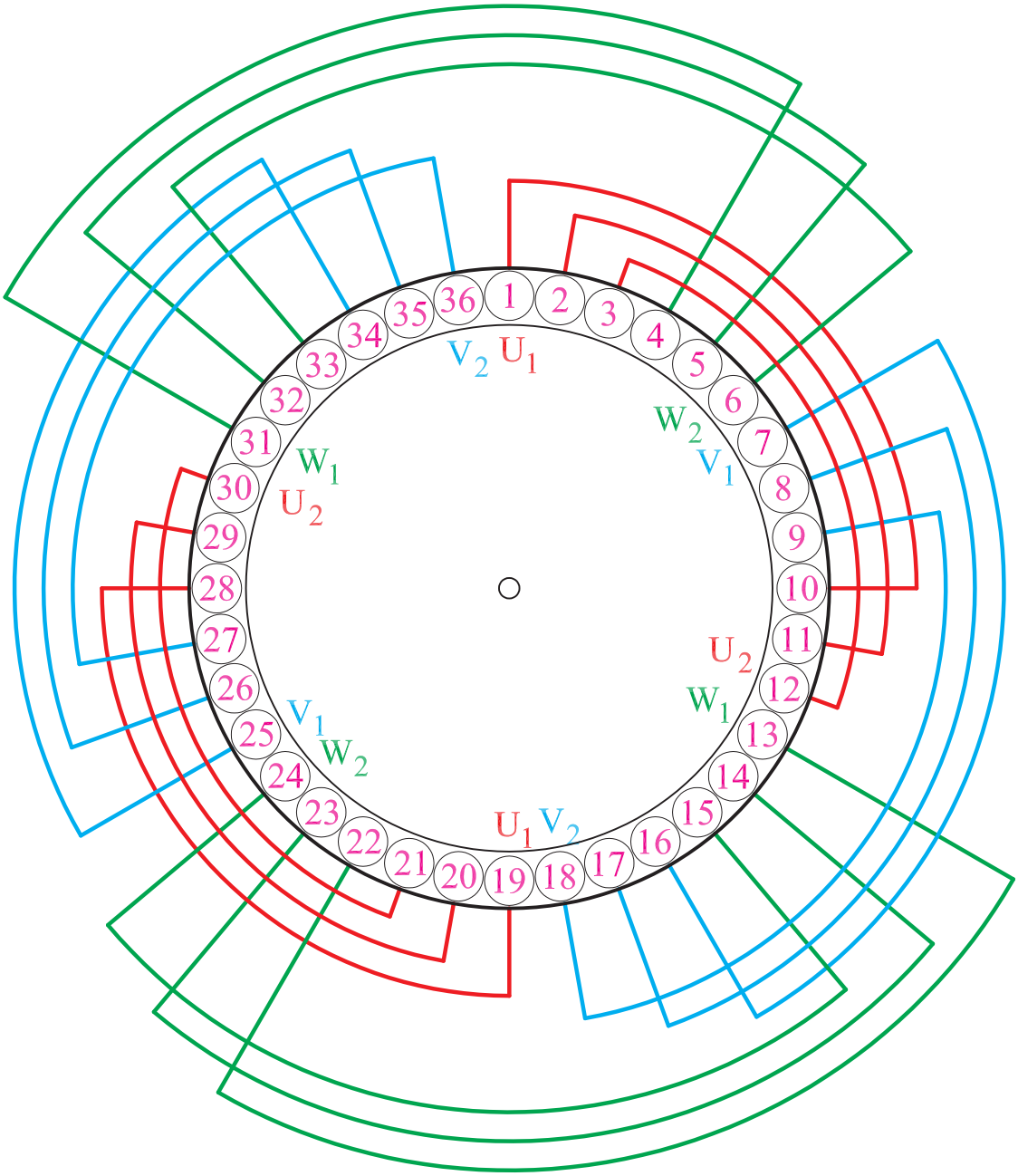
شکل ۴۶ــ۲ــ خارج کردن بازوهای گروه کلاف شماره ۱ از شیارهای مربوطه به منظور قرار دادن گروه کلاف شماره ۶

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



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

۸ــ بازوهای ۱، ۲ و ۳ مربوط به گروه کلاف شماره ۱ را
به شیارهای ۳، ۲ و ۱ برگردانید (شکل ۴۸ــ۲).



شکل ۴۸ــ۲ــ قرار دادن بازوهای ۱، ۲ و ۳ در شیارهای مربوطه و تکمیل سیم‌بندی

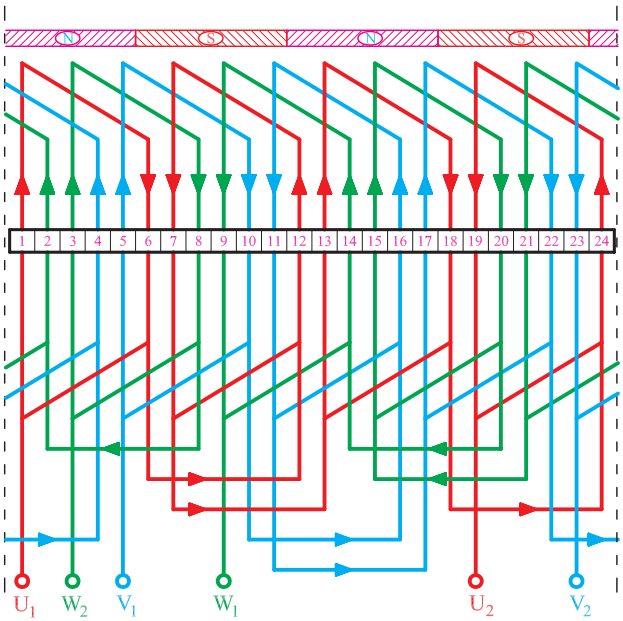
۴ــ۳ــ۲ــ کار عملی ۴

زمان: ۲۴ ساعت

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

مراحل انجام کار

۱ــ شکل ۴۹ــ۲ را درنظر بگیرید و ۱۲ کلاف با گام ۱ به ۶ تهیه کنید.

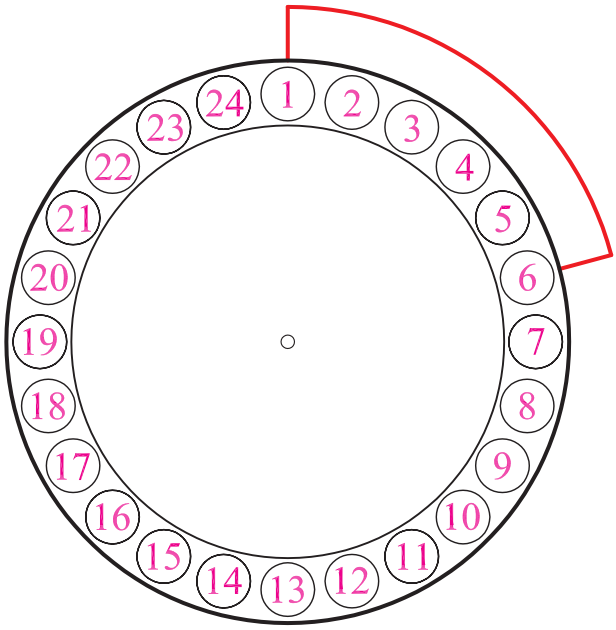


شکل ۴۹ــ۲

۲ــ یک شیار به‌عنوان شیار آغاز سیم‌بندی درنظر بگیرید.

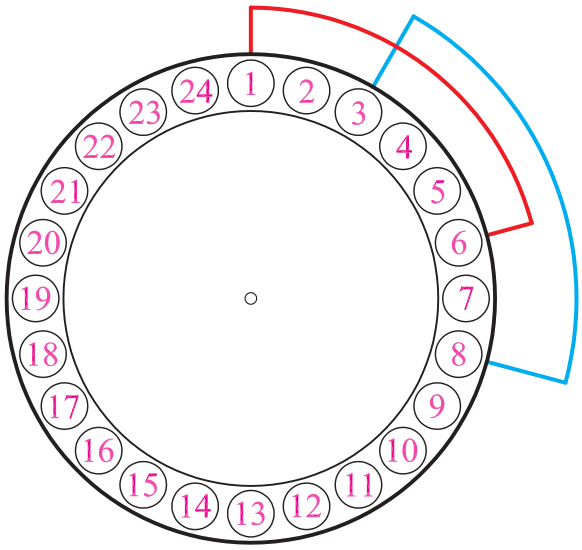
۳ــ جهت گردش برای سیم‌بندی را درنظر بگیرید.

۴ــ کلاف شماره ۱ را جاگذاری کنید (شکل ۵۰ــ۲).



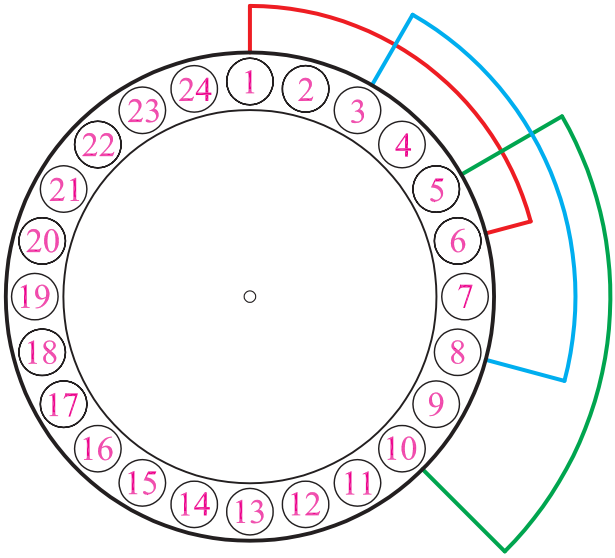
شکل ۵۰ــ۲ــ محل قرار گرفتن کلاف شماره یک در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۵ــ شیار شماره ۲ را رها کنید و کلاف دوم را در شیارهای ۳ و ۸ قرار دهید (شکل ۵۱ــ۲).



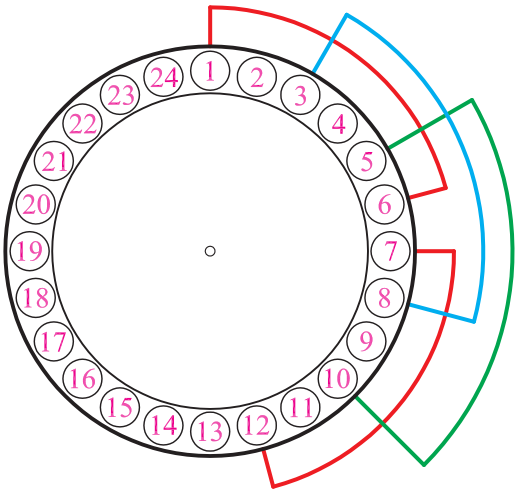
شکل ۵۱ــ۲ــ محل قرار گرفتن سومین کلاف، در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۶ــ شیار شماره ۴ را رها کنید و کلاف سوم را در شیارهای ۵ و ۱۰ قرار دهید (شکل ۵۲ــ۲).



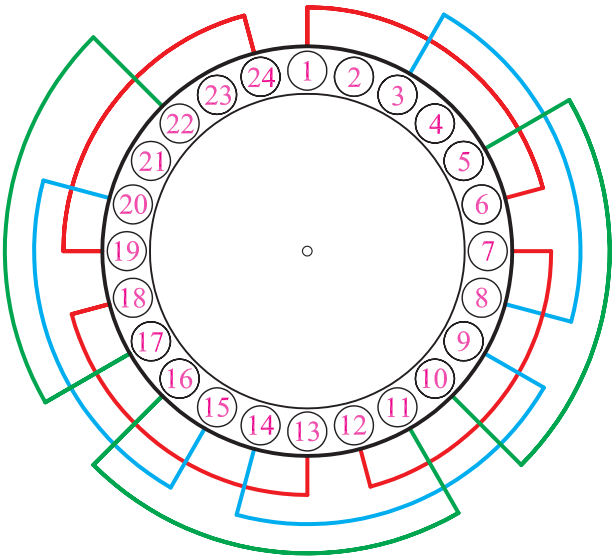
شکل ۵۲ــ۲ــ محل قرار گرفتن دومین کلاف، در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۷ــ به همین ترتیب، کلاف‌های چهار تا نهم را در شیارهای ۷ــ۱۲، ۹ــ۱۴، ۱۱ــ۱۶، ۱۳ــ۱۸، ۱۵ــ۲۰ و ۱۷ــ۲۲ قرار دهید (شکل‌های ۵۳ و ۵۴ــ۲).



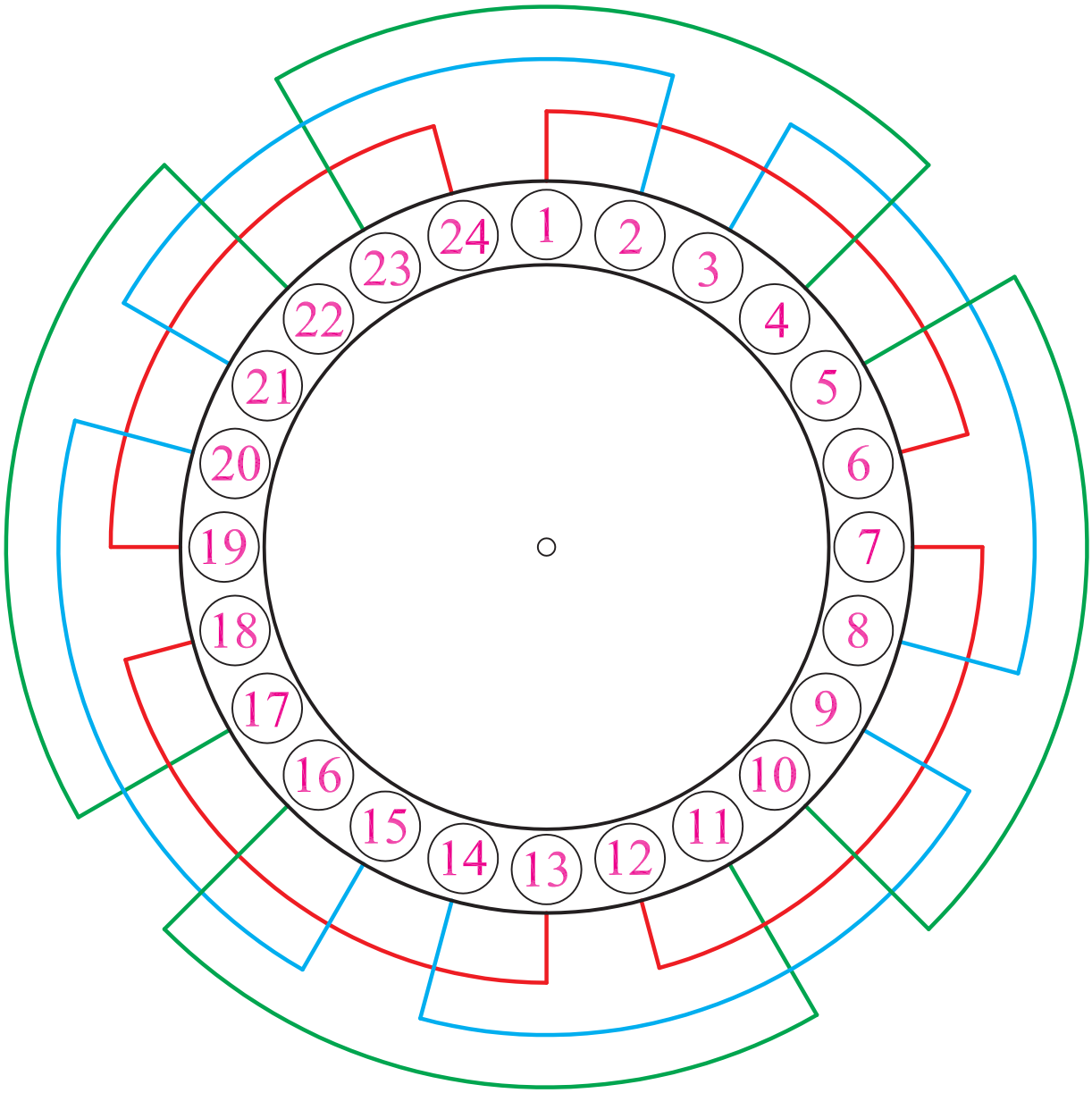
شکل ۵۳ــ۲ــ محل قرار گرفتن چهارمین کلاف، در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

۸ــ کلاف دهم را مطابق شکل ۵۴ــ۲ در شیارهای ۱۹ــ۲۴ قرار دهید.



شکل ۵۴ــ۲ــ محل قرار گرفتن دهمین کلاف، در شیارهای استاتور موتور ۲۴ شیار ۴ قطب در سیم‌بندی به‌ازای قطب

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



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

۵ــ۳ــ۲ــ کار عملی ۵

زمان: ۲۴ ساعت

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

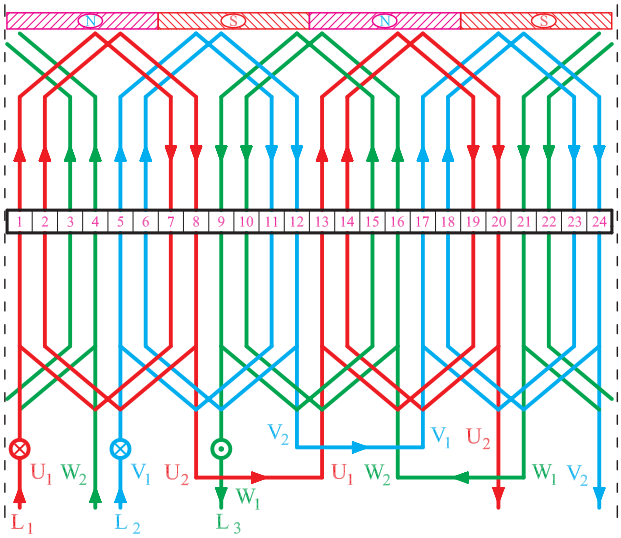
مراحل انجام کار

۱ــ شکل ۵۶ــ۲ را درنظر بگیرید و ۶ گروه کلاف با گام‌های ۱ به ۸ و ۲ به ۷ تهیه کنید.

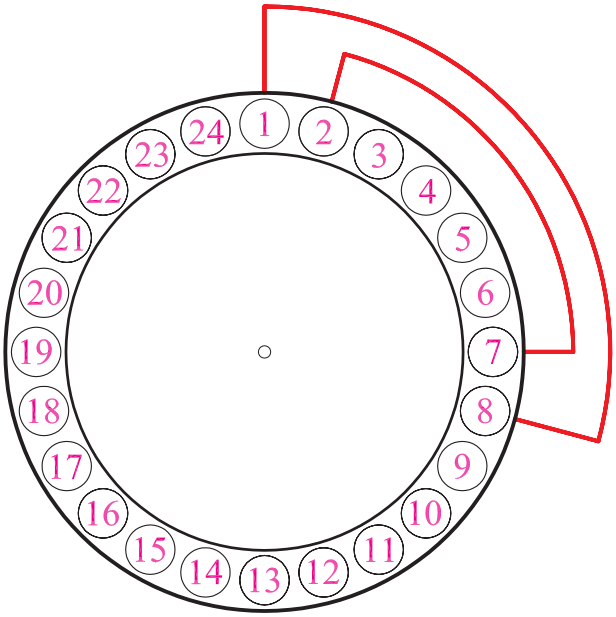
۲ــ شیاری را به‌عنوان شیار آغاز سیم‌بندی درنظر بگیرید.

۳ــ جهت گردش برای سیم‌بندی را درنظر بگیرید.

۴ــ گروه کلاف شماره ۱ را جاگذاری کنید. ابتدا کلاف ۲ به ۷ سپس کلاف ۱ به ۸ را در شیارهای استاتور قرار دهید (شکل ۵۷ــ۲).

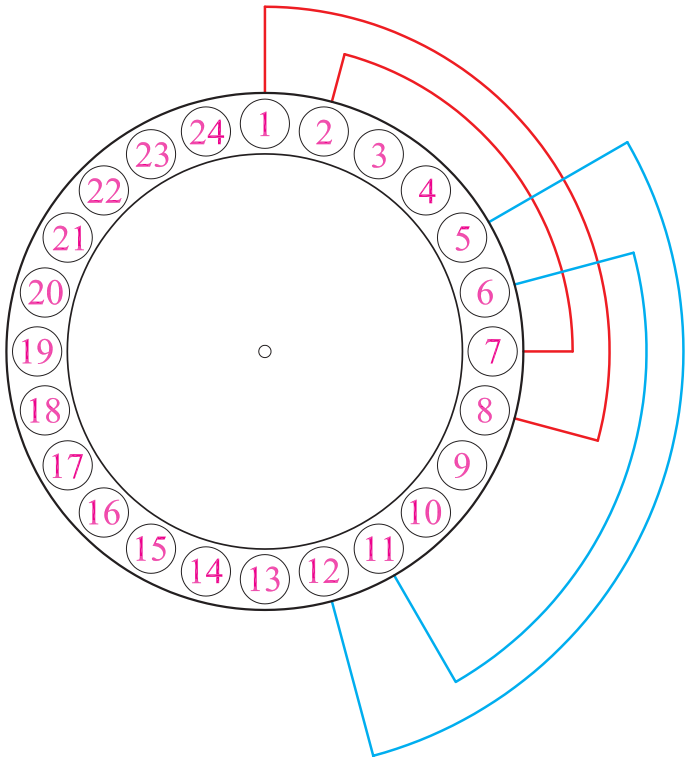


شکل ۵۶ــ۲



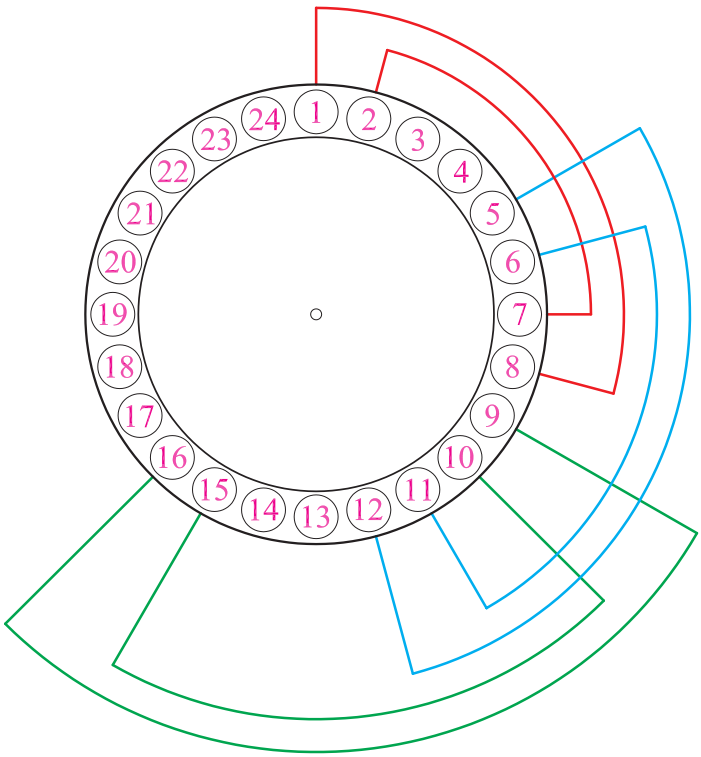
شکل ۵۷ــ۲ــ محل قرار گرفتن گروه کلاف اول در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۵ــ شیارهای ۳ و ۴ را رها کنید و گروه کلاف شماره ۲ را در شیارهای ۵ــ۶ و ۱۱ــ۱۲ قرار دهید (شکل ۵۸ــ۲).



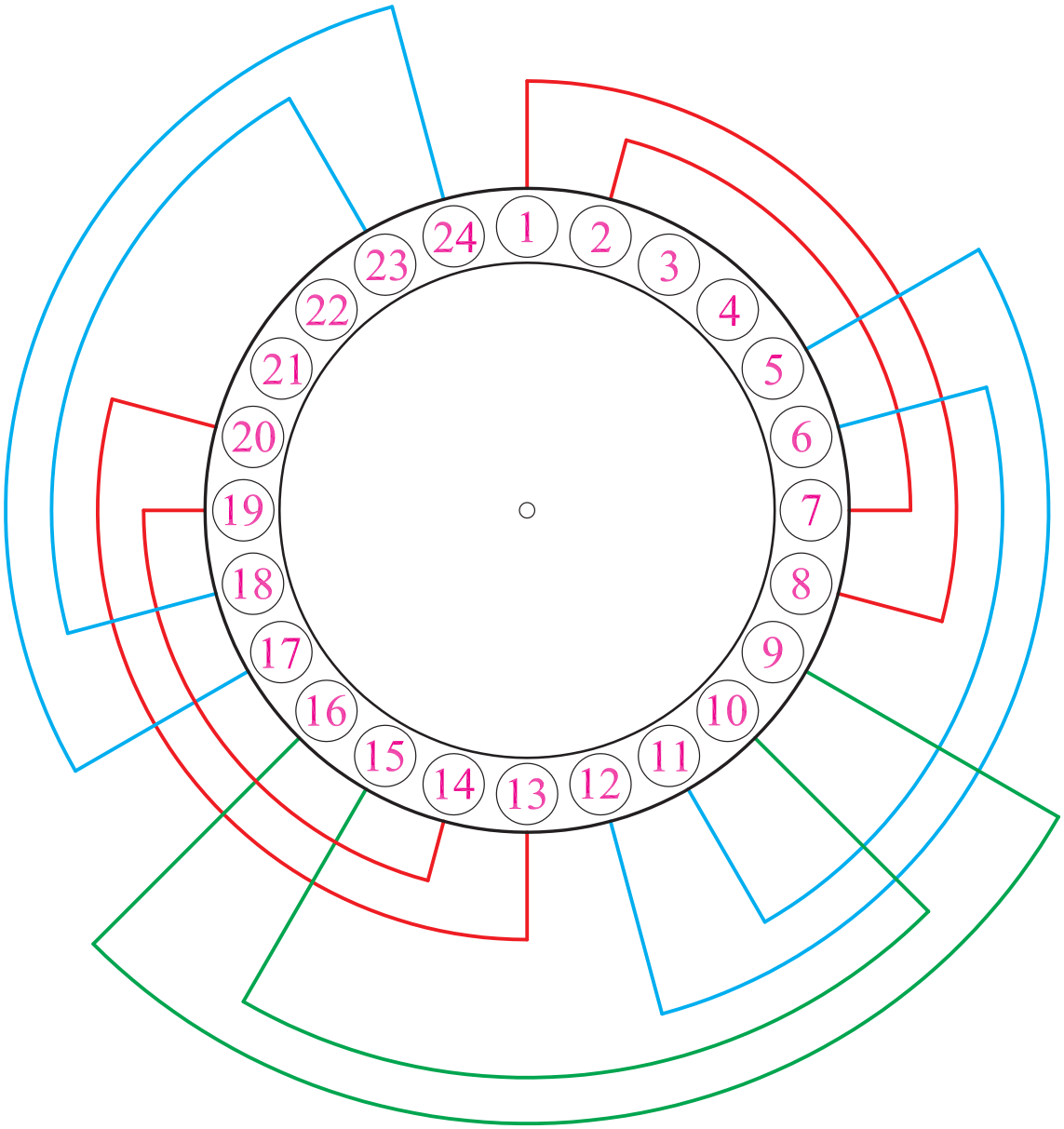
شکل ۵۸ــ۲ــ محل قرار گرفتن گروه کلاف دوم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۶ــ گروه کلاف شماره ۳ را در شیارهای ۹ــ۱۰ و ۱۵ــ۱۶ قرار دهید (شکل ۵۹ــ۲).



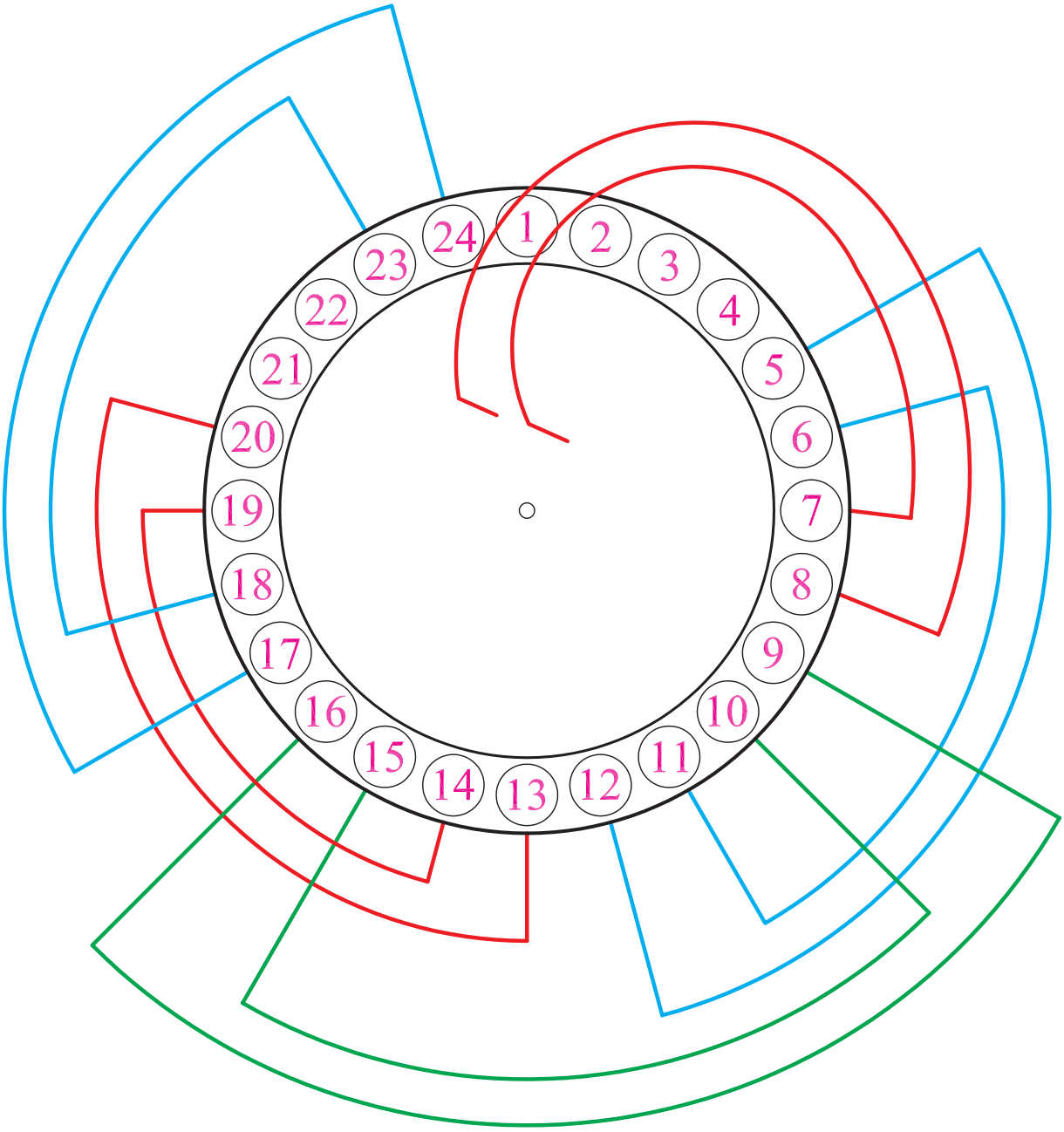
شکل ۵۹ــ۲ــ محل قرار گرفتن گروه کلاف سوم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۷ــ گروه کلاف شماره ۴ را در شیارهای ۱۳ــ۱۴ و ۱۹ــ۲۰ و گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۱۷ــ۱۸ و ۲۳ــ۲۴ قرار دهید (شکل ۶۰ــ۲).



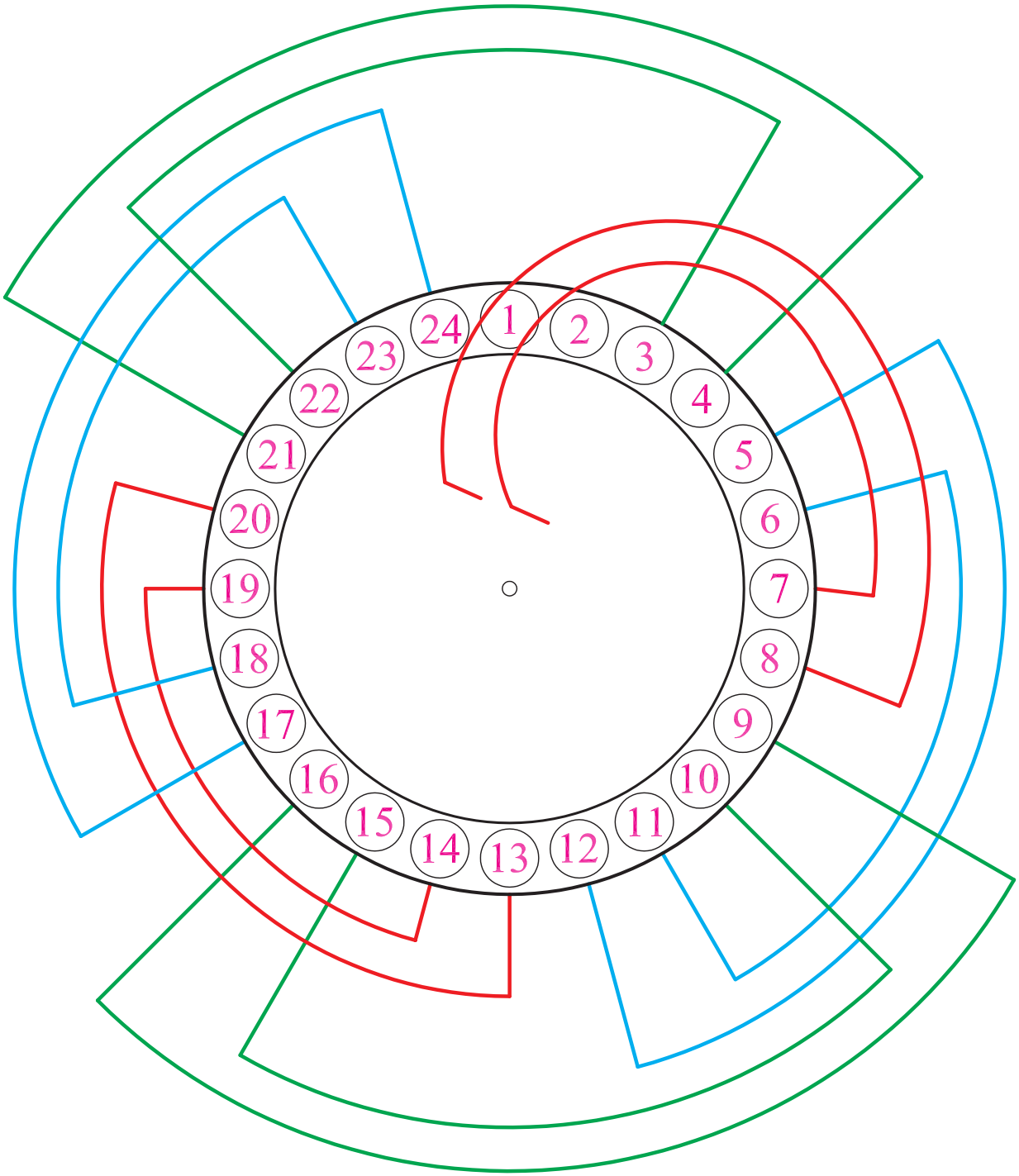
شکل ۶۰ــ۲ــ محل قرار گرفتن گروه کلاف پنجم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۸ــ بازوهای ۱ و ۲ از گروه کلاف شماره ۱ را از شیارهای ۱ و ۲ خارج کنید. تا بتوانید بازوهای برگشتی گروه کلاف ششم را که زیر بازوی شروع اول قرار می‌گیرند، جاگذاری کنید (شکل ۶۱ــ۲).



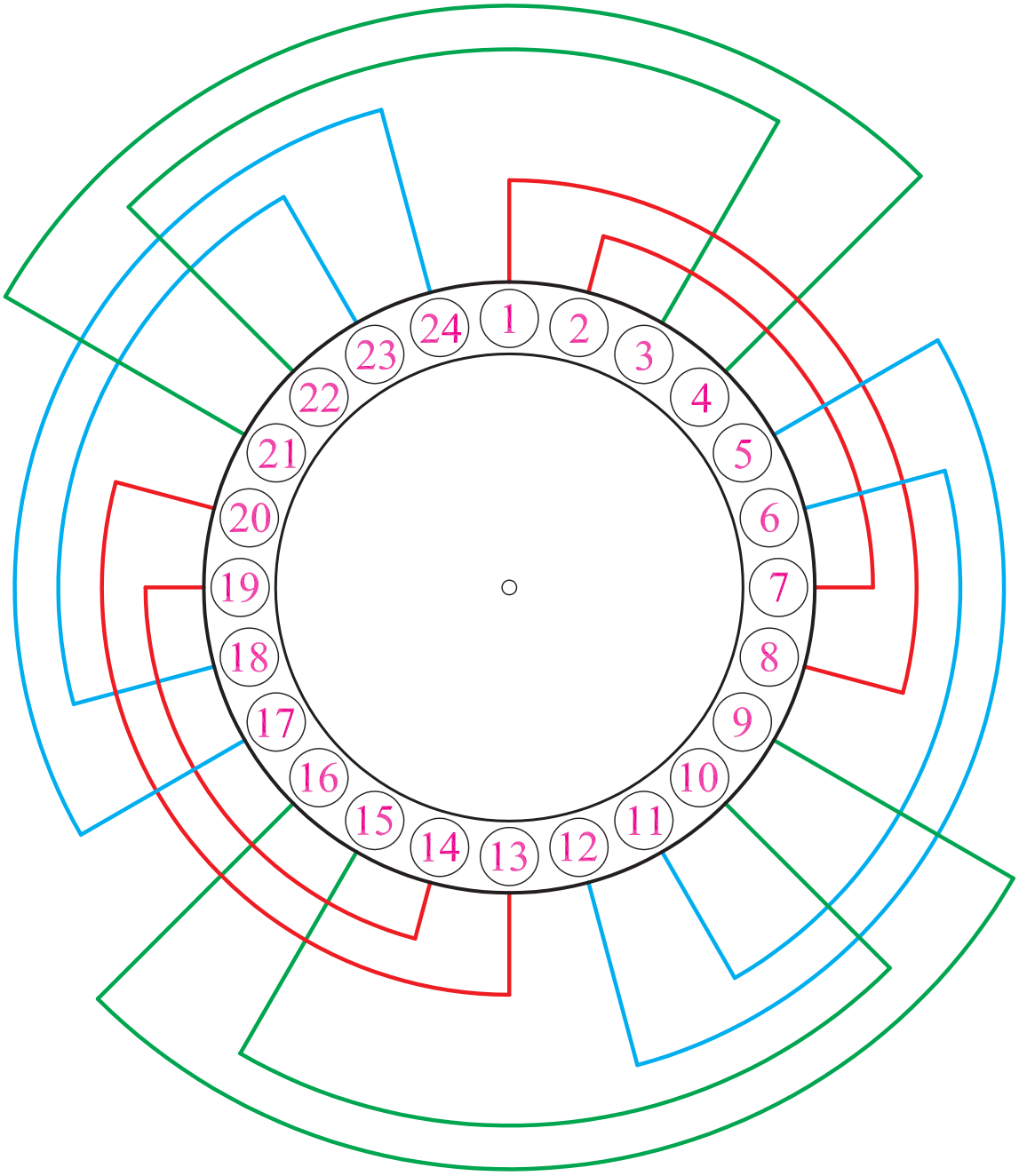
شکل ۶۱ــ۲ــ خارج کردن بازوهای ۱ و ۲ از شیارهای ۱ و ۲ به منظور قرار دادن بازوهای گروه کلاف شماره ۶

۹ــ گروه کلاف شماره ۶ را در شیارهای ۲۱ــ۲۲ و ۳ــ۴ قرار دهید (شکل ۶۲ــ۲).



شکل ۶۲ــ۲ــ محل قرار گرفتن گروه کلاف ششم در شیارهای استاتور ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی متحدالمرکز به‌ازای جفت قطب

۱۰ــ بازوهای ۱ و ۲ گروه کلاف شماره ۱ را به‌جای اصلی برگردانید (شکل ۶۳ــ۲).



شکل ۶۳ــ۲ــ برگردانیدن بازوهای ۱ و ۲ به شیارهای مربوطه و تکمیل کلاف‌گذاری در شیارهای استاتور

۶ــ۳ــ۲ــ کار عملی ۶

زمان: ۲۴ ساعت

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

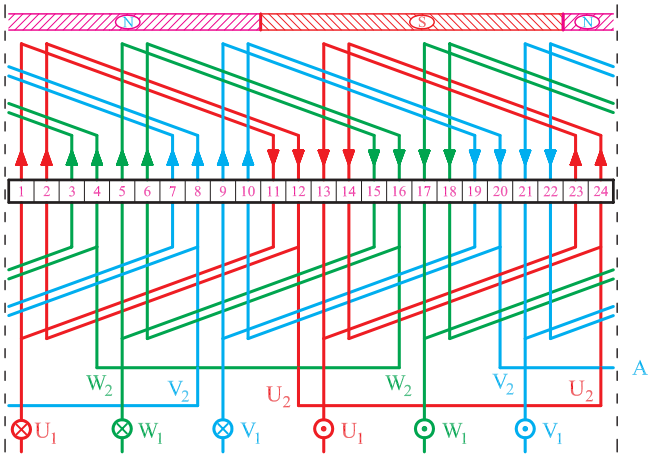
مراحل انجام کار

۱ــ شکل ۶۴ــ۲ را درنظر بگیرید و ۶ گروه کلاف با گام مساوی ۱ به ۱۱ تهیه کنید.

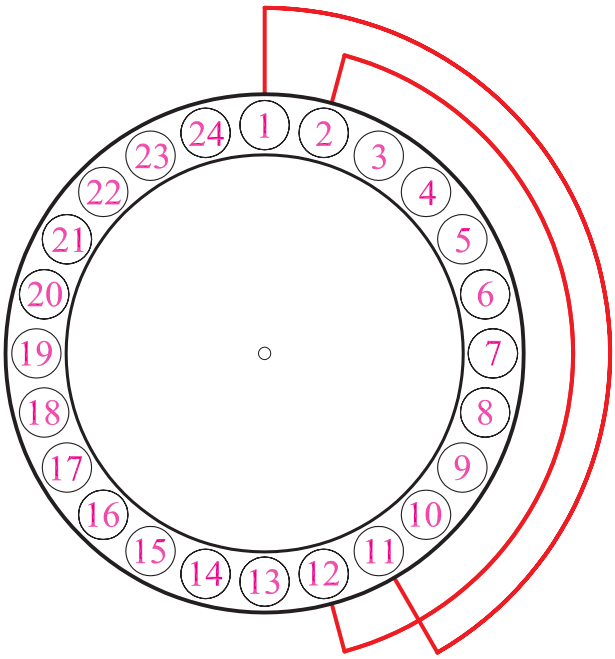
۲ــ شیاری را به‌عنوان شیار آغاز سیم‌بندی درنظر بگیرید.

۳ــ جهت گردش برای سیم‌بندی را درنظر بگیرید.

۴ــ بازوهای گروه کلاف شماره ۱ــ۲ و ۱۱ــ۱۲ را جاگذاری کنید (شکل ۶۵ــ۲).

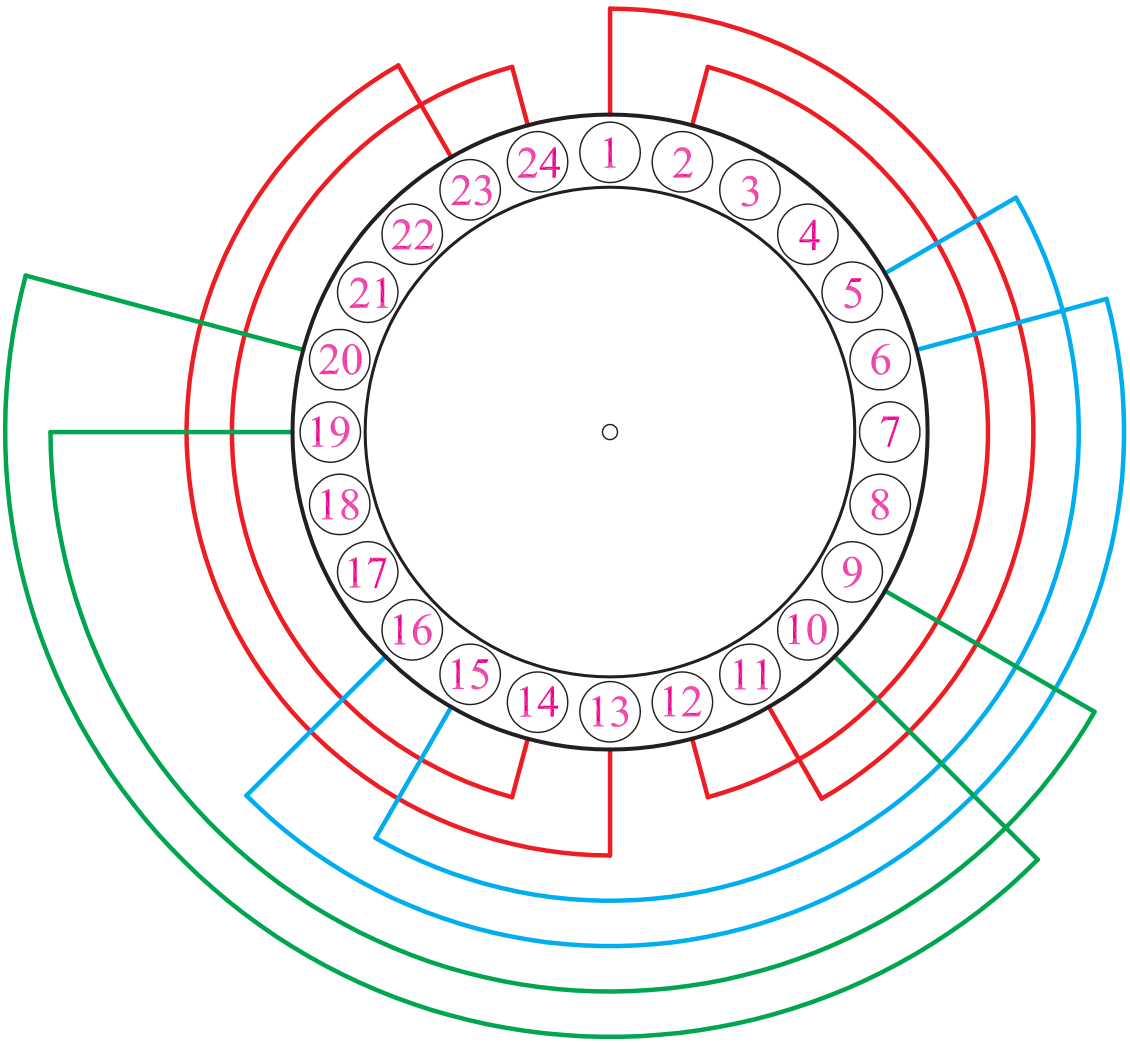


شکل ۶۴ــ۲



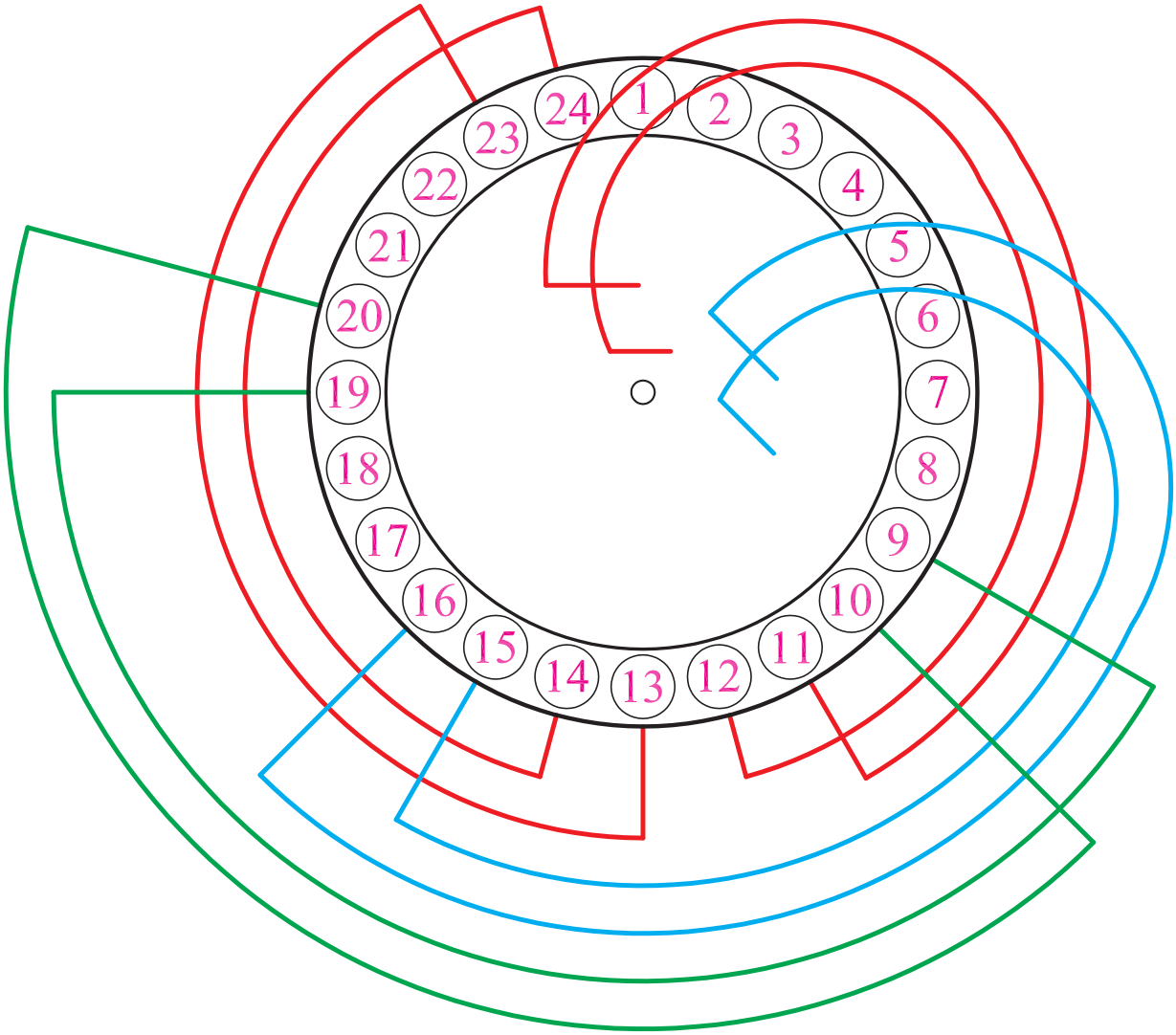
شکل ۶۵ــ۲ــ محل قرار دادن گروه کلاف شماره یک در سیم‌بندی موتور سه فاز ۲ قطب ۲۴ شیار با سیم‌بندی به‌ازای قطب

۵ــ شیارهای ۳ و ۴ را رها کنید و گروه کلاف دوم را در شیارهای ۵ــ۶ و ۱۵ــ۱۶ قرار دهید. به همین ترتیب، شیارهای ۷ و ۸ را رها کنید و گروه کلاف سوم را در شیارهای ۹ــ۱۰ و ۱۹ــ۲۰ قرار دهید. سپس گروه کلاف چهارم را در شیارهای ۱۳ــ۱۴ و ۲۳ــ۲۴ قرار دهید (شکل ۶۶ــ۲).



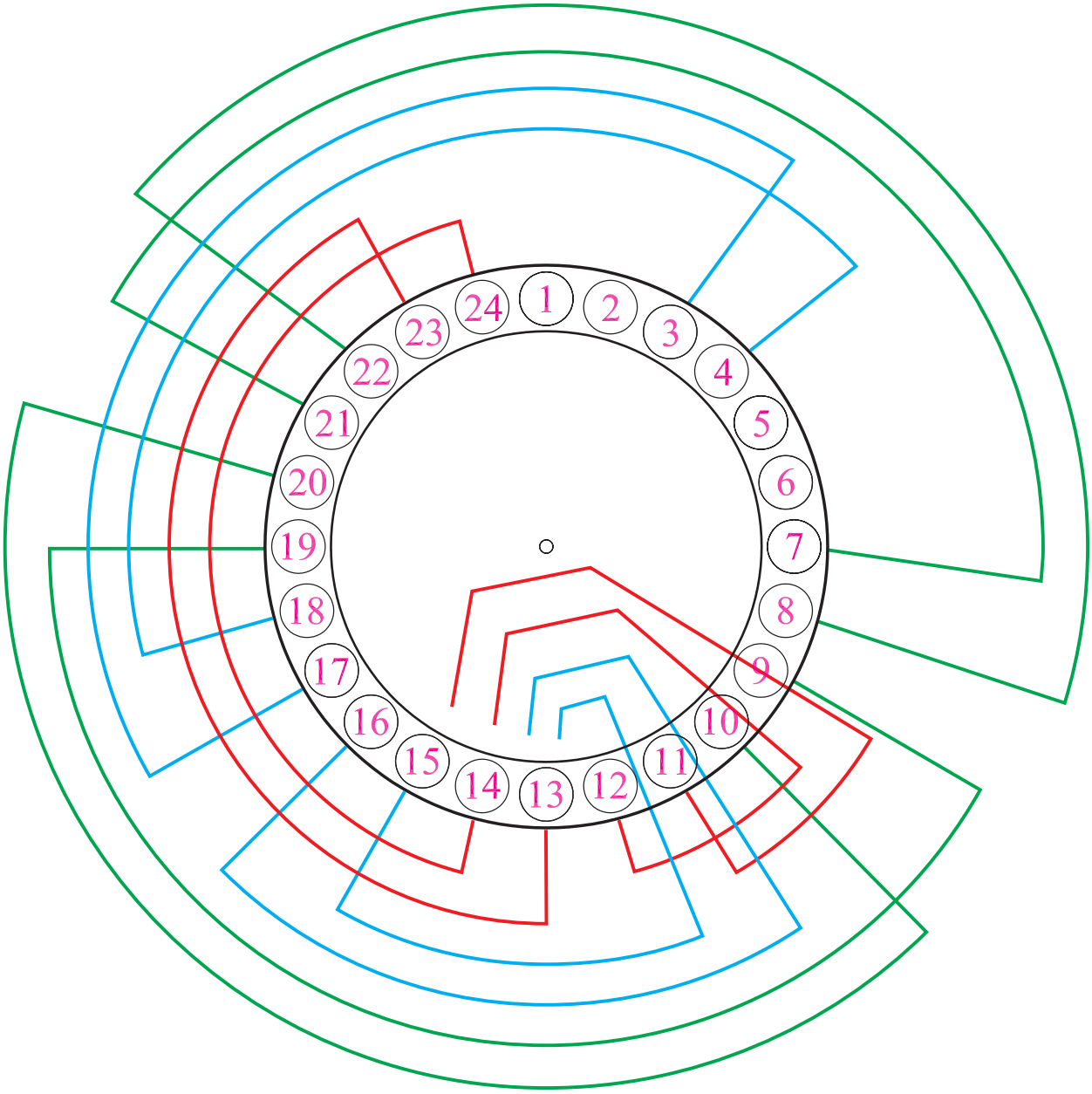
شکل ۶۶ــ۲ــ محل قرار دادن گروه کلاف شماره چهار در سیم‌بندی موتور سه فاز ۲ قطب ۲۴ شیار با سیم‌بندی به‌ازای قطب

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



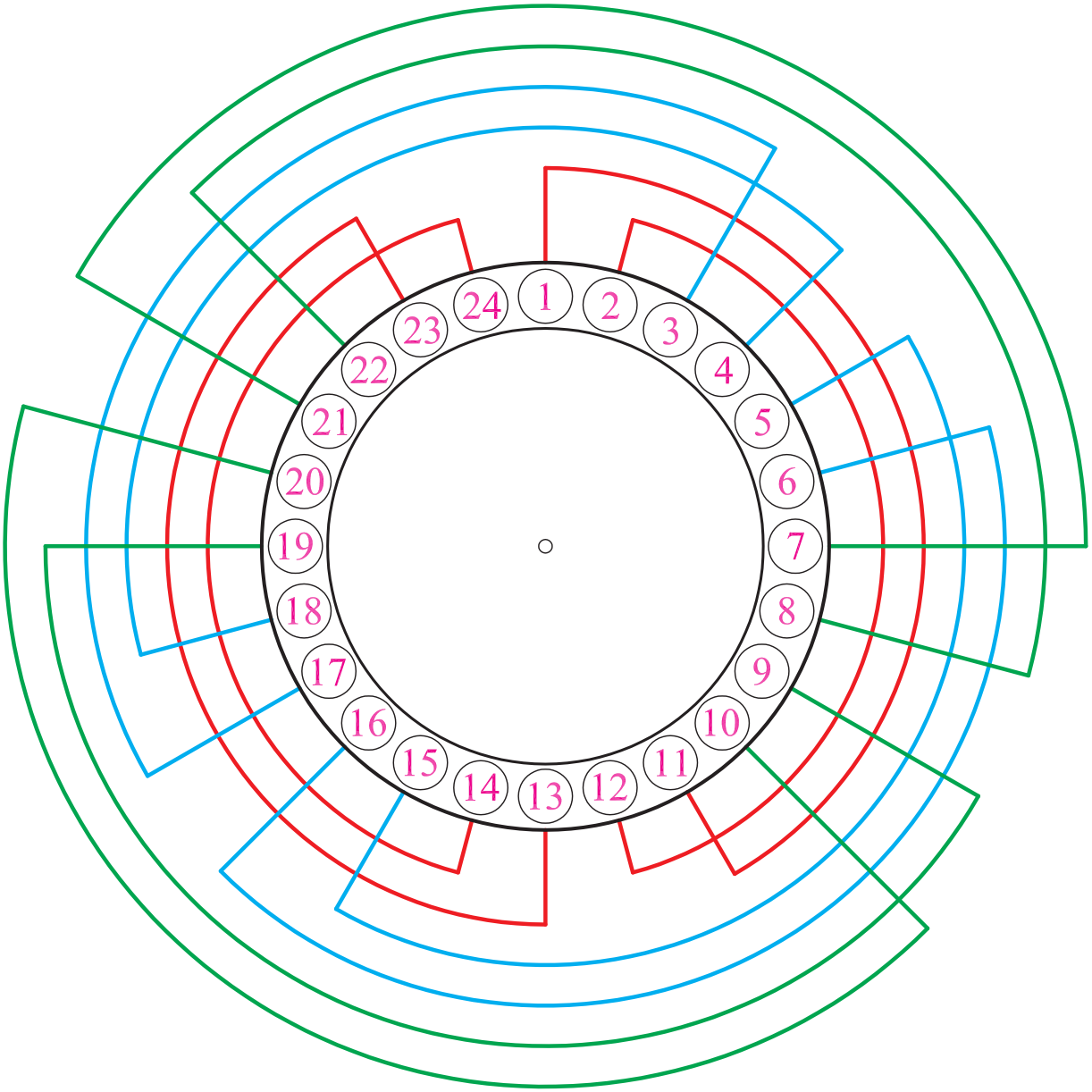
شکل ۶۷ــ۲ــ خارج کردن بازوهای ۱ و ۲ و ۵ و ۶ از شیارهای مربوطه به منظور قرار دادن گروه کلاف شماره ۵ و ۶

۷ــ گروه کلاف شماره ۵ را در شیارهای ۱۷ــ۱۸ و ۲ــ۴ قرار دهید. گروه کلاف شماره ۶ را در شیارهای ۲۱ــ۲۲ و ۸ــ۷ قرار دهید (شکل ۶۸ــ۲).



شکل ۶۸ــ۲ــ قرار دادن گروه کلاف شماره ۶

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



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

آزمون پایانی (۲)

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

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

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

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

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

۶ــ مراحل کلاف‌گذاری در داخل شیارها را نام ببرید.

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

واحد کار سوم

سربندی سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه فاز

هدف کلی

اتصال گروه کلاف‌ها در هر فاز

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

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

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

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

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

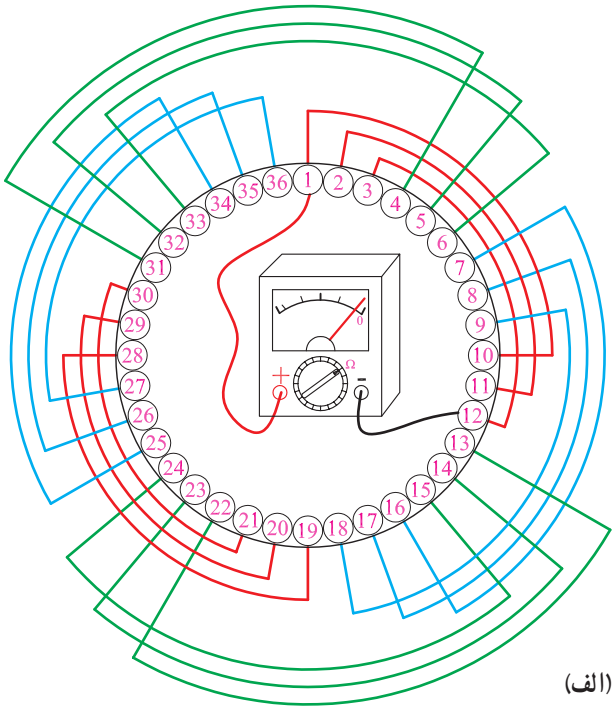
۵ــ سرهای مربوط به هر فاز را در تخته کلم، به ترمینال‌های مربوطه هدایت کرده و اتصال دهد.

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

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۴	۱۶	۲۰

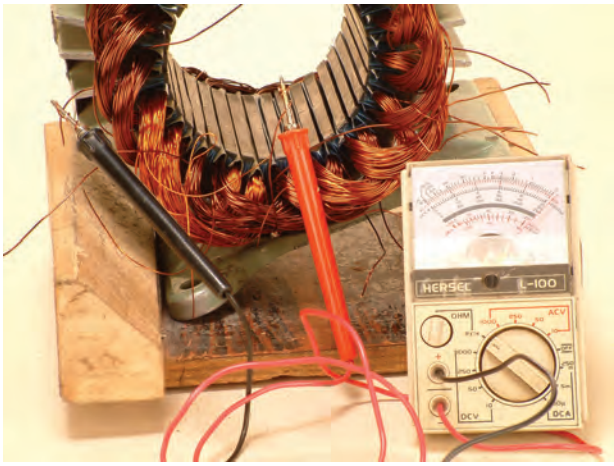
۱ــ۳ــ اصول سربندی کلاف‌ها در داخل استاتور

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



(الف)

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



(ب)

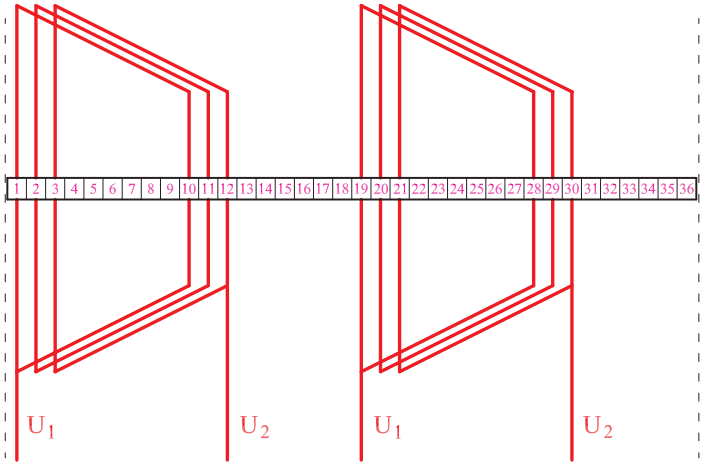
شکل ۱ــ۳ــ سر و ته یک گروه کلاف مقاومت ناچیزی نشان می‌دهد.

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

در سربندی کلاف‌ها اگر $G = ۲P$ باشد، اتصال گروه کلاف‌ها اتصال دور است، یعنی ته هر گروه کلاف به ته گروه کلاف بعدی و سر تمام گروه کلاف‌ها به هم متصل می‌شوند.

برای سربندی گروه کلاف‌ها، ابتدا نقشه گسترده یا دیاگرام مدور موتور را درنظر بگیرید و براساس شماره‌های نقشه، شیارهای استاتور را شماره‌بندی کنید. سرسیم‌های گروه کلاف‌ها را در سیم‌پیچ‌ها، مطابق نقشه پیدا کنید. پس از اطمینان از ابتدا و انتهای گروه کلاف‌ها، به اندازه مناسب از سرسیم‌ها جدا کرده و از سر آن‌ها به اندازه ۱/۵ سانتی‌متر لاک‌برداری کنید. مطابق نقشه، از سرسیم‌هایی که باید به هم متصل شوند، «وارنیش» بگذرانید. از هر سیم با اندازه یک سانتی‌متر بر روی سیم دیگر، به‌طور مرتب بپیچید. پس از لحیم‌کاری و آزمایش اتصال دو سر دو گروه کلاف، اتصال گروه کلاف‌های بعدی را ادامه دهید. مثلاً اتصال گروه کلاف‌های مربوط به فاز $U_۱$ و $U_۲$ در موتور ۳۶ شیار سه فاز ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب، در مراحل زیر انجام می‌شود :

۱ــ نقشه دیاگرام گسترده یا مدور سیم‌پیچی مربوط به فاز $U_۱$ و $U_۲$ را تهیه کنید (شکل ۲ــ۳).



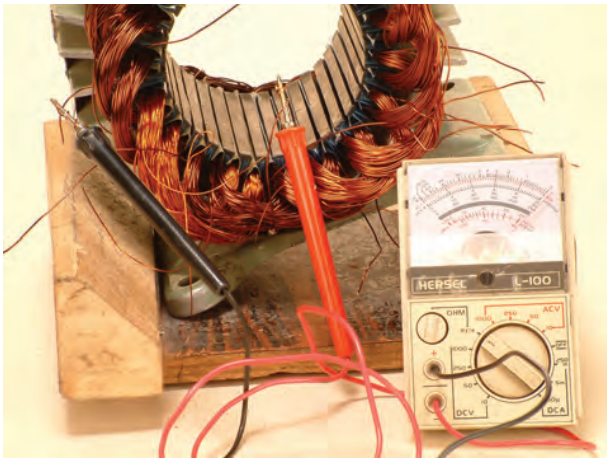
شکل ۲ــ۳ــ نقشه فاز ۱ موتور سه فاز ۳۶ شیار با سیم‌بندی به‌ازای قطب

۲ــ شیارهای استاتور را شماره‌گذاری کنید (شکل ۳ــ۳).

شکل ۳ــ۳ــ شماره‌گذاری استاتور کلاف‌گذاری شده

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

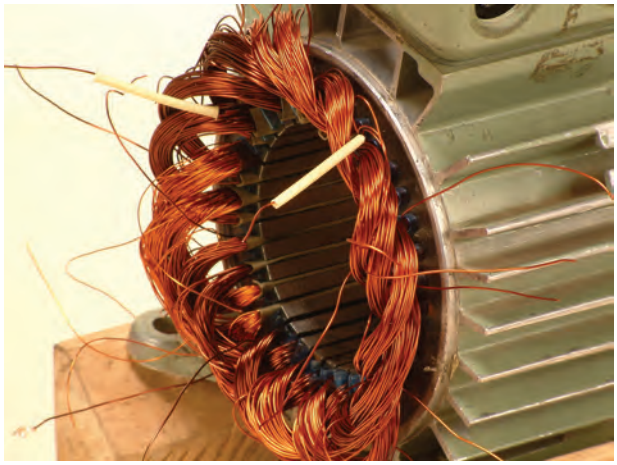
۴ــ سرسیم‌هایی را که از شیارهای ۱۹ و ۳۰ خارج می‌شوند، با اهم‌متر آزمایش کنید. این سیم‌ها باید به هم ارتباط داشته باشند (شکل ۴ــ۳).



شکل ۴ــ۳ــ آزمایش ارتباط کلاف‌های گروه کلاف شماره ۱

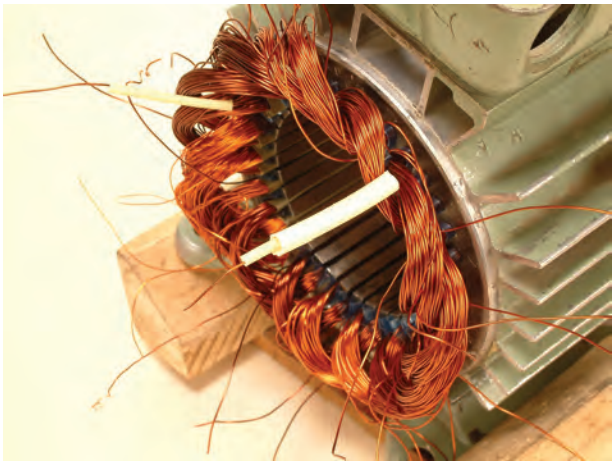
۵ــ سرهای خروجی از شیارهای ۱۲ و ۱۹ را به اندازه کافی و به‌گونه‌ای ببرید که پس از اتصال به هم، سیم اضافی در سطح استاتور وجود نداشته باشد.

۶ــ سرسیم‌ها را از وارنیش‌های مورد نیاز عبور دهید (شکل ۵ــ۳).



الف

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

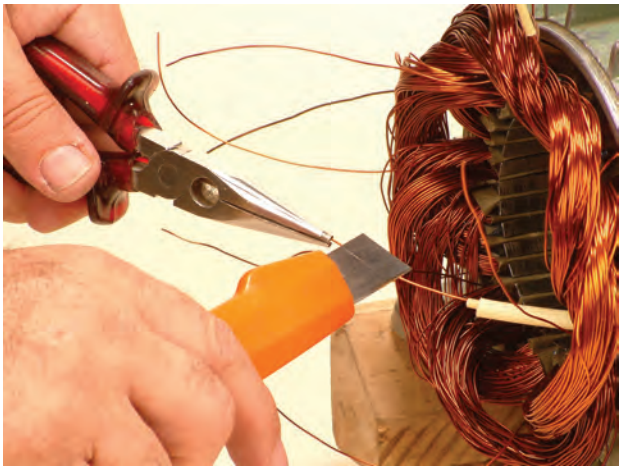


ب

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

شکل ۵ــ۳ــ عبور دادن سیم‌ها از داخل وارنیش

۷ــ سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۲ و ۱۹ را پس از کوتاه کردن، به اندازه ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر لاک‌برداری کنید (شکل ۶ــ۳).

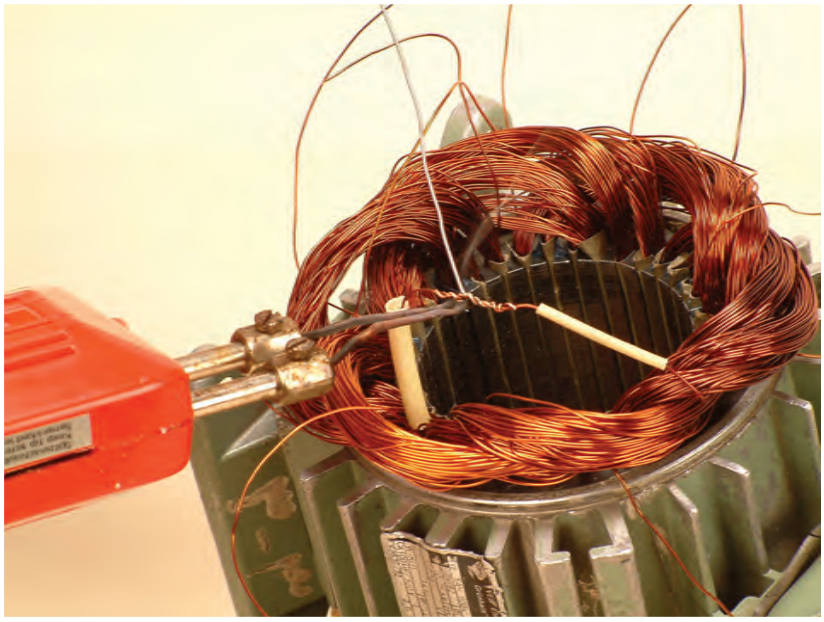


شکل ۶ــ۳ــ سرسیم‌ها را به اندازه ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر لاک‌برداری کنید.

۸ــ سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۲ و ۱۹ را روی هم قرار داده و هرکدام را به اندازه یک سانتی‌متر روی دیگری بتابانید (شکل ۷ــ۳).

شکل ۷ــ۳ــ سیم‌ها را به هم گره زده و به اندازه یک سانتی‌متر روی هم بتابانید.

محل اتصال را لحیم کنید (شکل ۸ــ۳).



شکل ۸ــ۳ــ محل اتصال دو سیم را لحیم کنید.

۹ــ وارنیش‌های با قطر کمتر را از طریق هر دو سیم به محل لحیم شده انتقال دهید تا کاملاً آن را پوشش دهد (شکل ۹ــ۳).

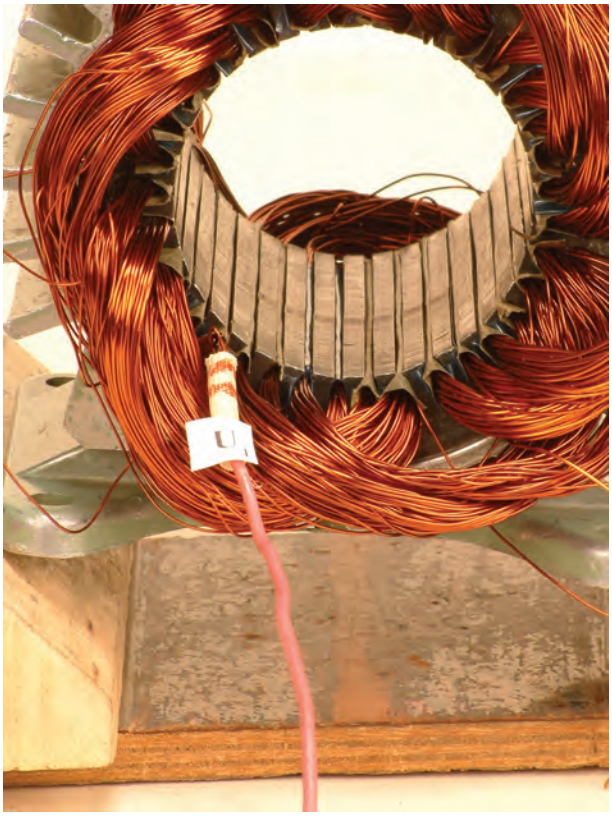
شکل ۹ــ۳ــ هدایت وارنیش‌ها به محل لحیم شده

۱۰ــ وارنیش با مقطع زیاد را روی دو وارنیش با قطر کمتر بکشید (شکل ۱۰ــ۳).

شکل ۱۰ــ۳

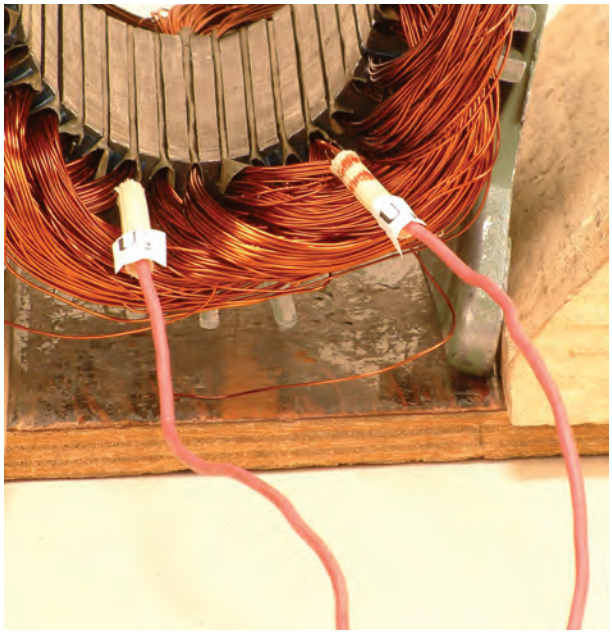
۱۱ــ پس از سربندی، به منظور اطمینان از اتصال بین دو گروه کلاف، سرسیم‌هایی را که از شیارهای ۱ و ۳۰ خارج شده‌اند، لاک‌برداری کرده و ارتباط آن‌ها را با اهم‌متر آزمایش کنید.

۱۲ــ سرسیمی را که از شیار شماره ۱ بیرون آمده است، به اندازه کافی کوتاه کرده و پس از لاک‌برداری، آن را به سیم‌افشان اتصال دهید و محل اتصال را لحیم‌کاری کرده و با وارنیش مناسب بپوشانید. به سیم‌افشان برچسب U_1 بزنید (شکل ۱۱ــ۳).



شکل ۱۱ــ۳ــ اتصال سیم‌افشان به ابتدا و انتهای فاز و برچسب زدن آن

۱۳ــ سیم خروجی از شیار شماره ۳۰ را با سیم‌افشان اتصال داده و پس از لحیم‌کاری و گذاشتن وارنیش، برچسب U_2 بزنید (شکل ۱۲ــ۳).



شکل ۱۲ــ۳

۲ــ۳ــ کارهای عملی ۳

کار عملی ۱

هدف: سربندی سیم‌پیچی الکتروموتورها

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

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱ــ نگهدارنده استاتور یک عدد

۲ــ استاتور ۳۶ شیار کلاف‌گذاری شده در کار عملی شماره ۲ واحد کار دوم (شکل ۳۹ــ۲) یک عدد

۳ــ اهم‌متر یک عدد

۴ــ وارنیش مناسب مقطع سیم

۵ــ هویه برقی یک عدد

۶ــ روغن و سیم لحیم به حد کافی

۷ــ سیم افشان مناسب در سه رنگ به حد کافی

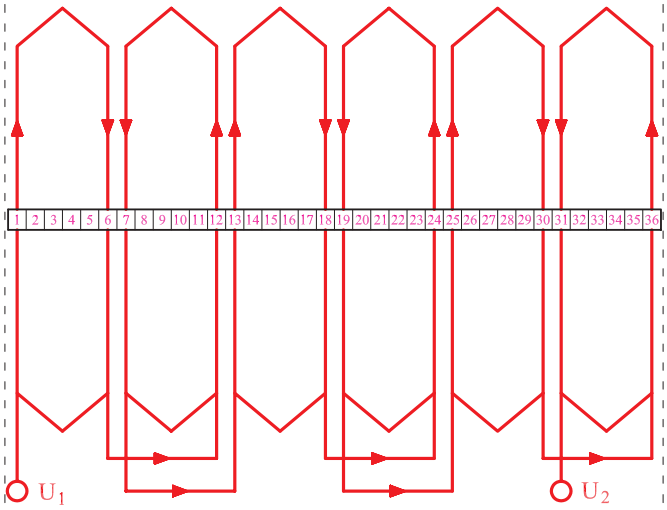
موضوع: سربندی سیم‌پیچی الکتروموتور سه فازشش قطب ۳۶ شیار به‌ازای قطب

مراحل انجام کار

۱ــ استاتور را روی نگهدارنده استاتور قرار داده و شیارها را شماره‌گذاری کنید (شکل ۱۳ــ۳).

شکل ۱۳ــ۳ــ شماره‌گذاری شیارها

۲ــ نقشه گسترده اتصالی فاز U_1 و U_2 را آماده کنید (شکل ۱۴ــ۳).



شکل ۱۴ــ۳ــ نقشه اتصالی فاز U_1 و U_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب

۳ــ براساس اتصال‌های موجود در نقشه ۱۴ــ۳ ابتدا سیم‌های خروجی از شیارها ۱ــ۶، ۷ــ۱۲، ۱۳ــ۱۸، ۲۴ــ۱۹، ۲۵ــ۳۰ و ۳۱ــ۳۶ را با اهم‌متر آزمایش کنید. درصورتی که در همه موارد عقربه اهم‌متر مقداری ناچیز را نشان داد، سیم خروجی را به‌ترتیب شماره ۶ به ۱۲، ۷ به ۱۳، ۱۸ به ۲۴، ۱۹ به ۲۵ و ۳۰ به ۳۶ به هم ارتباط داده و روی اتصالی‌ها را با وارنیش بپوشانید.

۴ــ سیم‌های خروجی از شیار ۱ و ۳۱ سیم افشان را لحیم کرده و روی آن‌ها را وارنیش بکشید.

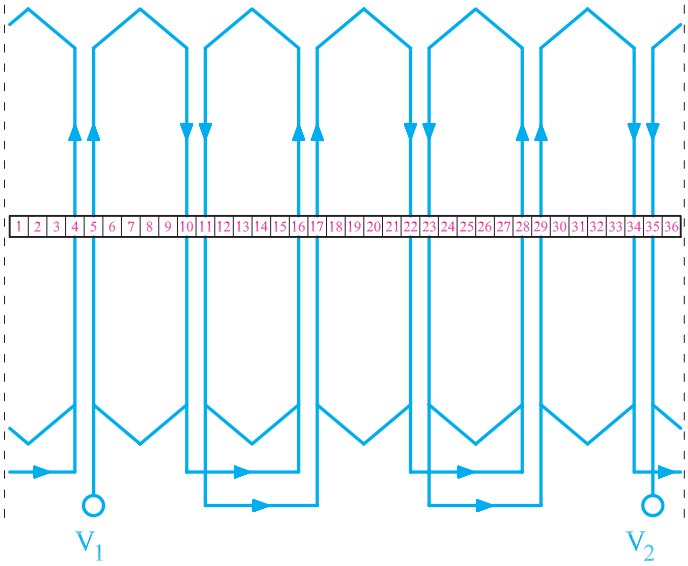
۵ــ به سیم‌افشان شماره ۱، برچسب U_1 و شماره ۳۱ را برچسب U_2 بزنید (شکل ۱۵ــ۳).

شکل ۱۵ــ۳ــ سربندی فاز U_1 و U_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب

۶ــ براساس نقشه اتصال گروه کلاف‌های فاز V_1 و V_2 ، سیم‌های خروجی از شیارهای ۵ــ۱۰، ۱۶ــ۱۱، ۱۷ــ۲۲، ۲۳ــ۲۸، ۲۹ــ۳۴ و ۳۵ــ۴ را با اهم‌متر آزمایش کنید و از اتصال آن‌ها به یک‌دیگر خاطرجمع شوید. سپس سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۰ را به ۱۶، ۱۱ را به ۱۷، ۲۲ را به ۲۸، ۲۳ را به ۲۹ و ۳۴ را به ۴ اتصال دهید.

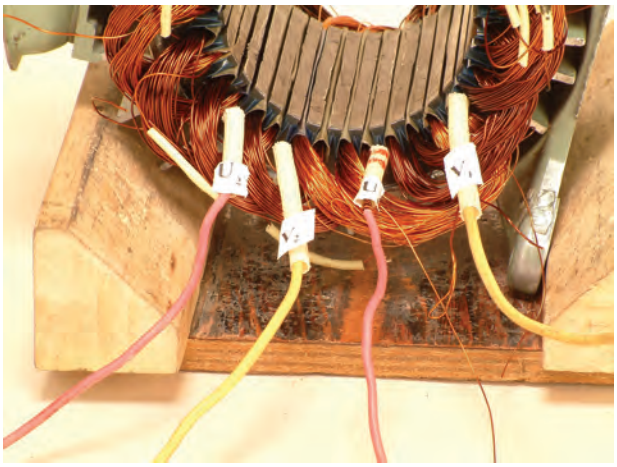
به سیم خروجی از شیار شماره ۵ سیم‌افشان اتصال داده و برچسب V_1 بزنید. سیم خروجی از شیار ۳۵ را به سیم‌افشان اتصال داده و برچسب V_2 بزنید (شکل ۱۶ــ۳).

شکل (۱۶ــ۳ــالف) نقشه اتصال سرسیم‌ها به یکدیگر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶ــ۳ــالف

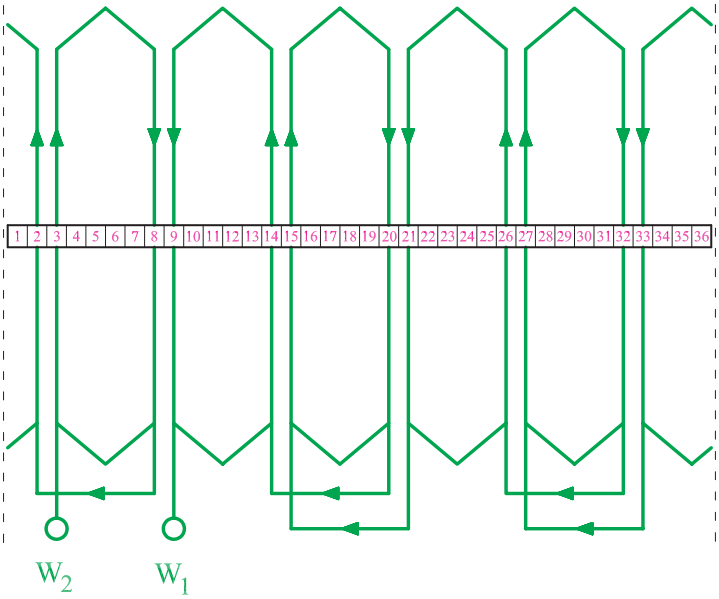
شکل ۱۶ــ۳ــ نقشه اتصالی فاز V_1 و V_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب



شکل ۱۶ــ۳ــ ب

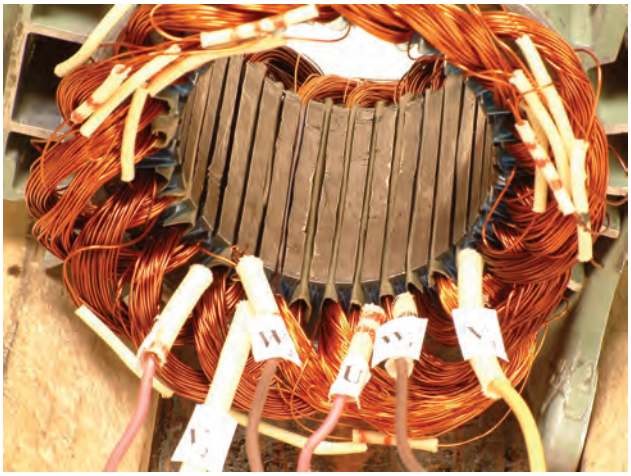
۷ــ براساس نقشه اتصال گروه کلاف‌های فاز W_1 و W_2 سیم‌های خروجی از شیارهای ۹ــ۱۴، ۲۰ــ۱۵، ۲۶ــ۲۱، ۲۷ــ۳۲، ۳۳ــ۲ و ۳ــ۸ را با اهم‌متر آزمایش کنید و از اتصال آن‌ها به یکدیگر خاطرجمع شوید. سپس سرسیم‌های خروجی از شیارهای ۱۴ را به ۲۰، ۱۵ را به ۲۱، ۲۶ را به ۳۲، ۲۷ را به ۳۳ و ۲ را به ۸ اتصال دهید.

سیم خروجی از شیار شماره ۹ را با سیم‌افشان اتصال داده و برچسب W_1 بزنید. سیم خروجی از شیار ۳ را به سیم‌افشان اتصال داده و برچسب W_2 بزنید (شکل ۱۷ــ۳).



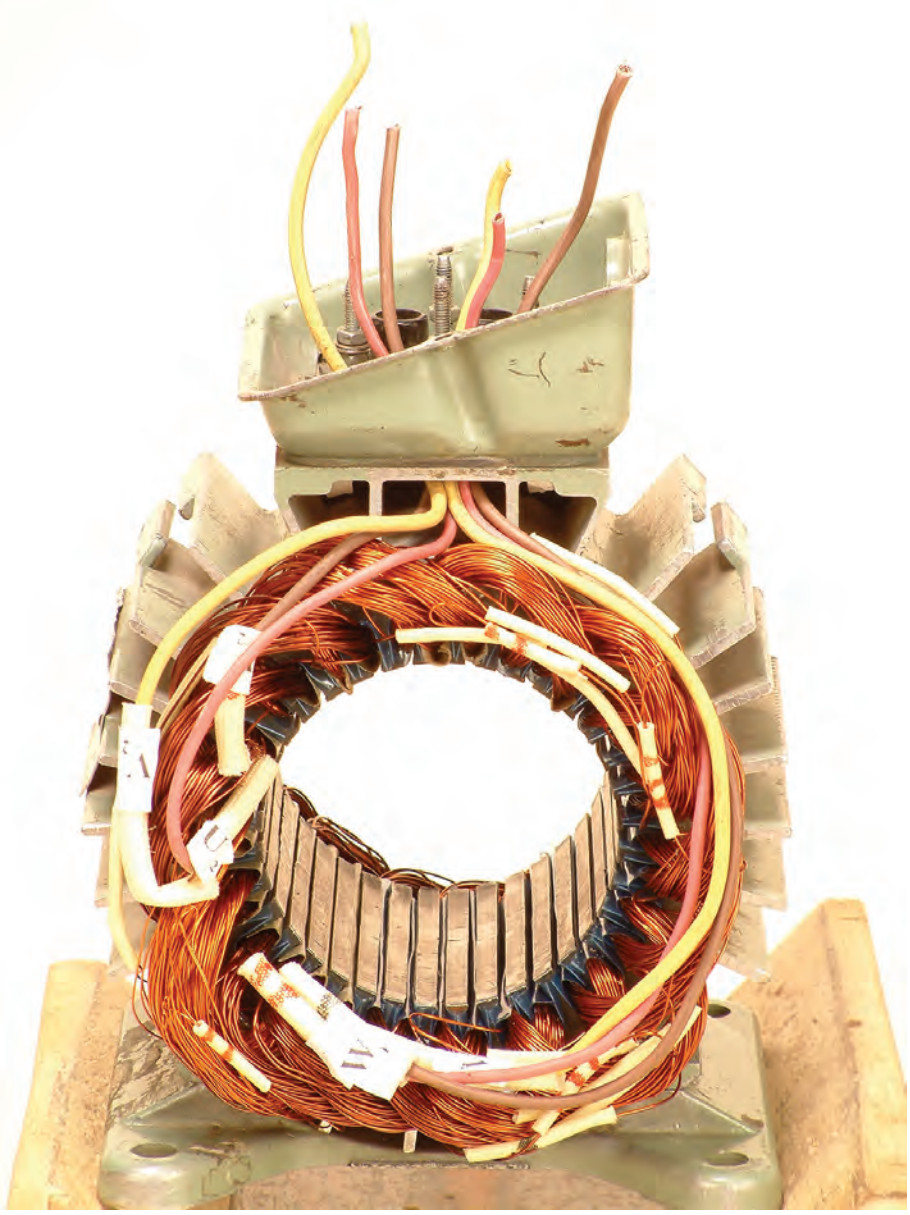
شکل ۱۷ــ۳ــ الف ــ نقشه‌اتصال سرسیم پا

شکل ۱۷ــ۳ــ نقشه اتصالی فاز W_1 و W_2 موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌بندی به‌ازای قطب



شکل ۱۷ــ۳ــ ب

۸ــ سیم‌های لحیم شده را مرتب کرده و روی کلاف‌ها بخوابانید. سپس سیم‌های افشان را از کوتاه‌ترین مسیر به جعبه اتصال موتور هدایت کنید (شکل ۱۸ــ۳).



شکل ۱۸ــ۳ــ هدایت سیم‌های افشان به جعبه اتصال موتور

آزمون پایانی (۳)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

۱۱ــ **کار عملی:** استاتور کلاف‌گذاری شده شکل ۴۸ــ۲ را در اختیار بگیرید و سربندی آن را کامل کنید.

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

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

پاسخ پیش‌آزمون

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

منابع و مآخذ

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

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

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

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

ردیف	نام رشته‌ی مهارتی	شماره‌ی رشته‌ی مهارتی	کد رایانه‌ای رشته‌ی مهارتی	نام استاندارد مهارتی مبنا	کد استاندارد مهارتی متولی
۱	ماشین‌های الکتریکی	۳۰۶ـ۱۰۱ـ۱۰ـ۱	۹۳۷۶	تعمیر ماشین‌های الکتریکی درجه(۲)	۵۳/۴۸ ــ ۸ و ۷۵
۲	ماشین‌های الکتریکی درجه(۱)	۳۰۵ـ ۱۰۱ـ۱۰ـ۱	۹۳۷۵		
۳		ـ۱۰ـ۱			
۴		ـ۱۰ـ۱			
۵		ـ۱۰ـ۱			