بسم الله الرحمن الرحیم

تکنولوژی و کارگاه سیم پیچی

رشتهٔ الکتروتکنیک

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی وحرفه‌ای

شمارهٔ درس ۲۱۳۶

۶۲۱ تکنولوژی و کارگاه سیم پیچی. ــ [ویرایش دوم] / بازسازی و تجدید نظر : کمیسیون
/۴۶ برنامه‌ریزی و تألیف رشتهٔ الکتروتکنیک. ــ تهران : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی
۶۷۷ ت ایران، ۱۳۹۵.
۱۳۹۵ ۱۳۲ص. : مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۲۱۳۶)
متون درسی رشتهٔ الکتروتکنیک، زمینهٔ صنعت.
۱. موتورهای برقی ــ سیم پیچی. ۲. ماشین‌آلات برقی ــ سیم پیچی. ۳. سیم پیچی‌های برقی. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه ریزی و تألیف رشتهٔ الکتروتکنیک. ب. عنوان. ج. فروست.

۱۳۹۵

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب به 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**

پیام‌نگار (ایمیل) کمیسیون تخصصی رشتهٔ الکتروتکنیک

Tech@tvoccd.sch.ir

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

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

نام کتاب : **تکنولوژی و کارگاه سیم‌پیچی ـ ۴۸۷/۹**

مؤلفان : **سیامک فرشاد، حسین رحمتی‌زاده، فتح‌اللّه نظریان، فریدون علومی و مسلم نیکزاد**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

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

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

عکاس : **نسرین اصغری**

رسام : **فاطمه رئیسیان فیروز آباد**

صفحه‌آرا : **راحله زادفتح‌اله**

طراح جلد : **مریم کیوان**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)**

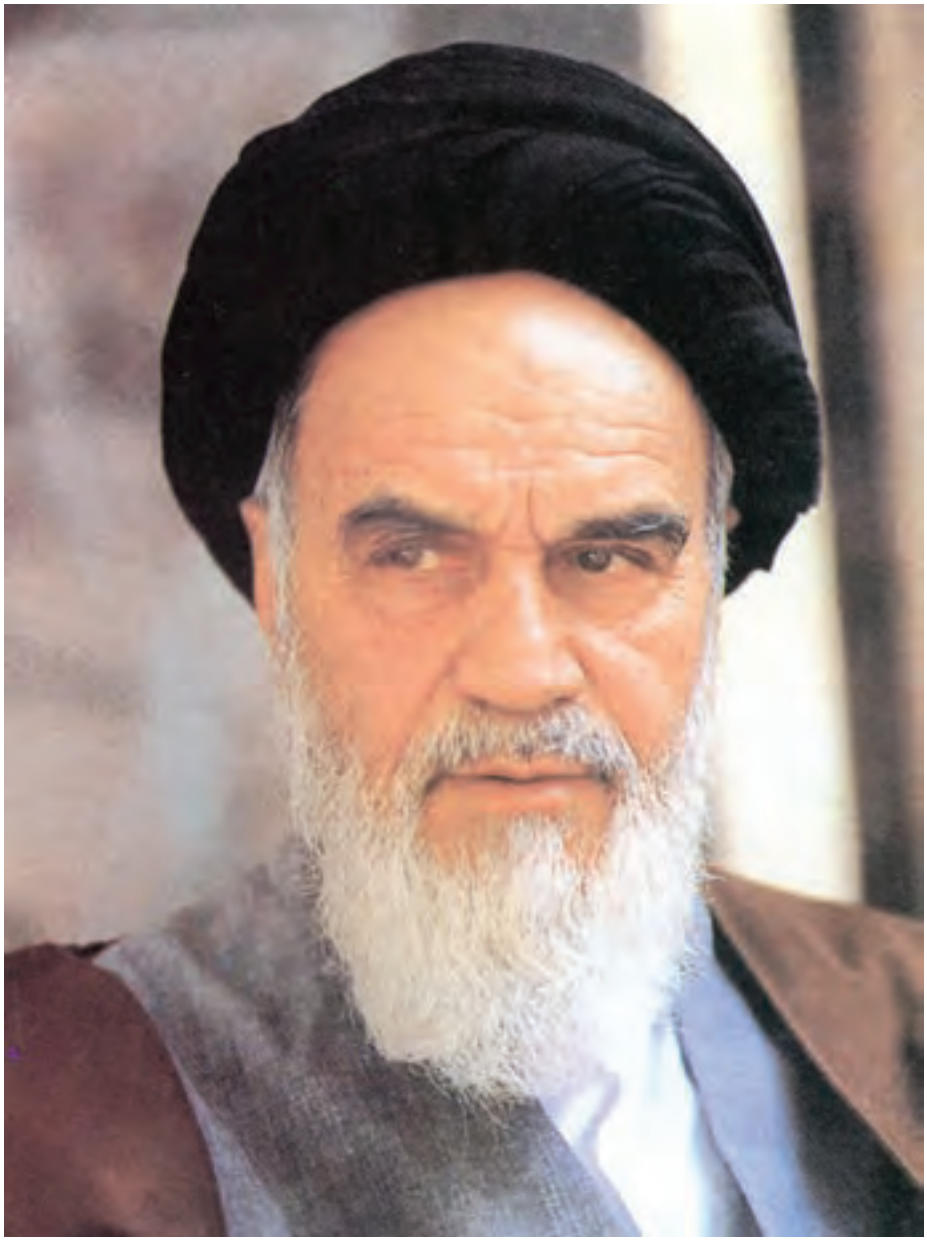
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»**

سال انتشار و نوبت چاپ : **چاپ شانزدهم ۱۳۹۵**

حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۶-۰۸۸۹-۰۵-۹۶۴ **ISBN 964-05-0889-6**



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 «قدّس سرّه الشّریف»

فهرست

پیش‌گفتار ۱

فصل اوّل ــ اجزای ترانسفورماتور ۲

فصل دوم ــ محاسبهٔ عملی ترانسفورماتور ۶

فصل سوم ــ سیم‌پیچی ترانسفورماتور با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها ۲۰

فصل چهارم ــ محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم‌پیچ در اولیه یا ثانویه ۲۹

فصل پنجم ــ اتوترانسفورماتور ۳۵

فصل ششم ــ تجدید سیم‌پیچی موتورهای جریان متناوب ۴۴

فصل هفتم ــ ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی موتورها ۶۵

فصل هشتم ــ تغییر سیم‌پیچی ۱۰۸

فصل نهم ــ عیب‌یابی موتورهای الکتریکی ۱۲۲

منابع و مآخذ ۱۳۲

به منظور تسریع در آموزش و درهم تنیدگی IT و ICT در برنامه‌ی آموزشی توصیه می‌شود هنرآموزان محترم از نرم‌افزارهای مرتبط با موضوع درسی این کتاب استفاده نمایند.

پیش‌گفتار

کتاب تکنولوژی و کارگاه سیم‌پیچی به ارزش ۲/۵ واحد و به مدت ۶ ساعت در هفته با استفاده از کتاب‌های تجربه شده در هنرستان تهیه و تنظیم شده است. هدف از آموزش این کتاب، ایجاد مهارت‌های موردنیاز نظری و عملی در زمینه‌ی ترانس‌پیچی، موتورپیچی است. از هنرجویان و همکاران عزیز تقاضا می‌شود کارهای عملی ارائه شده در این کتاب را به‌طور دقیق اجرا کنند و در مواقع ضروری و متناسب با نیاز، کار عملی دیگری را که بتواند اهداف رفتاری را پوشش دهد، جایگزین سازند. در خاتمه توصیه می‌شود قبل از شروع هر موضوع کاری، اهداف رفتاری آن مبحث مورد توجه دقیق قرار گیرد.

هدف کلی

انجام محاسبه و اجرای عملی سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای تک فاز، تجدید سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز و سه‌فاز.

فصل اوّل

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	ـ	۱

اجزای ترانسفورماتور

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ قسمت‌های مختلف ترانسفورماتور را نام ببرد.

۲ــ انواع هسته‌ی ترانسفورماتور را شرح دهد.

۳ــ انواع سیم‌پیچی ترانسفورماتور را شرح دهد.

۱ــ اجزای ترانسفورماتور

مقدمه

با اصول مقدماتی و ساختمان ترانسفورماتورها در درس ماشین‌های الکتریکی آشنا می‌شوید. باید توجه داشته باشید که به‌علت تلفات و مسائل اقتصادی و عوامل دیگر که در طراحی و ساختمان ترانسفورماتورها مؤثرند، نمی‌توان به‌سادگی از فرمول‌هایی که تا به‌حال ارائه شده است برای ساختن ترانسفورماتور استفاده کرد. بنابراین، در این‌جا به بررسی ساختمان و محاسبه‌ی عملی ترانسفورماتورهای کوچک می‌پردازیم.

لازم به تذکر است که ترانسفورماتورها را با توجه به کاربرد و خصوصیات آن‌ها به سه دسته کوچک، متوسط و بزرگ دسته‌بندی می‌کنند.

ساختن ترانسفورماتورهای بزرگ و متوسط به‌دلیل مسائل حفاظتی و عایق‌بندی و امکانات موجود، کار ساده‌ای نیست. لذا در این بخش ما فقط ترانسفورماتورهای کوچک (تا قدرت ۳/۵ کیلو ولت‌آمپر و ولتاژ تا ۳۸۰ ولت) را بررسی خواهیم کرد.

موارد استفاده‌ی این ترانسفورماتورها امروزه بسیار زیاد است ؛ مثلاً در یکسوسازها، مصرف‌کننده‌های کم قدرت که به‌ولتاژ کم وصل می‌شوند، وسایل الکترونیکی، اسباب‌بازی‌ها و... از این ترانسفورماتورها استفاده می‌شود.

برای ساختن ترانسفورماتورهای کوچک، اجزای آن مانند ورقه‌های آهن، سیم و قرقره را به‌سادگی می‌توان تهیه کرد.

برای محاسبه و ساخت یک ترانسفورماتور می‌توان با استفاده از عوامل و روابط موجود، مجهولات مطلوب را محاسبه کرد. علاوه براین برای ترانسفورماتورهای مشخص و استاندارد شده نیز جداول یا منحنی‌هایی وجود دارد که به‌سادگی می‌توان از روی آن‌ها مجهولات را به‌دست آورد.

در این‌جا به بررسی هریک از این روش‌ها برای ساختن یک ترانسفورماتور یک فاز می‌پردازیم.

اجزای تشکیل دهنده‌ی یک ترانسفورماتور به‌شرح زیر است :

۱ــ ۱ــ هسته‌ی ترانسفورماتور

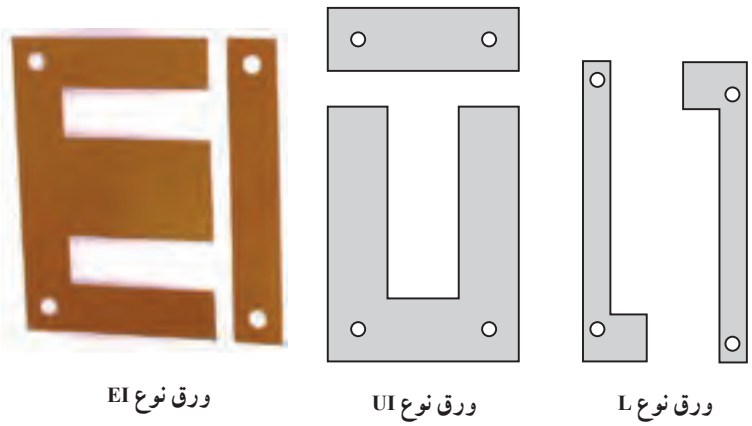
هسته‌ی ترانسفورماتور متشکل از ورقه‌های نازک است که سطح آن‌ها با توجه به قدرت ترانسفورماتور محاسبه می‌شود.

برای کم کردن تلفات آهنی، هسته‌ی ترانسفورماتور را نمی‌توان به‌طور یک‌پارچه ساخت. بلکه معمولاً آن‌ها را از ورقه‌های نازک فلزی که نسبت به یک‌دیگر عایق‌اند، می‌سازند.

این ورقه‌ها از آهن بدون پسماند (ورق دینامو‌بلش) با آلیاژی از سیلیسیم (حداکثر ۴/۵ درصد) که دارای قابلیت هدایت الکتریکی کم و قابلیت هدایت مغناطیسی زیاد است ساخته می‌شوند. در اثر زیاد شدن مقدار سیلیسیم، ورقه‌های دینامو‌بلش شکننده می‌شود. برای عایق کردن ورق‌های ترانسفورماتور، قبلاً از یک کاغذ نازک مخصوص که در یک سمت این ورقه چسبانده می‌شد، استفاده می‌کردند اما امروزه بدین منظور در هنگام ساختن و نورد این ورقه‌ها یک لایه‌ی نازک اکسید، فسفات یا سیلیکات به‌ضخامت ۲ تا ۲۰ میکرون به‌عنوان عایق در روی آن‌ها می‌مالند و با آن روی ورقه‌ها را می‌پوشانند. علاوه‌بر این، از لاک مخصوص نیز برای عایق کردن یک طرف ورقه‌ها استفاده می‌شود.

ورقه‌های ترانسفورماتور دارای یک لایه عایق هستند ؛ بنابراین، درموقع محاسبه‌ی سطح مقطع هسته باید سطح آهن خالص را منظور کرد.

ورقه‌های ترانسفورماتور را به ضخامت‌های ۰/۳۵ و ۰/۵ میلی‌متر و در اندازه‌های استاندارد به شکل‌های مختلف می‌سازند. چند نمونه از ورقه‌ها در شکل‌های ۱ــ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ــ۱ ــ انواع ورق‌های دینامو‌بلش

معمولی‌ترین ورقه‌های استاندارد شده به شکل EI است که اندازه‌های آن در جدول‌های ۴ــ۲ و ۵ــ۲ داده شده است.

ورقه‌های ترانسفورماتور به فرم EI را به علت دورریز کم‌تر برای استانداردهای بالا نیز درست می‌کنند.

این ورقه‌ها را باید در داخل قرقره به‌طور متناوب از دو طرف جا زد تا بدین‌ترتیب فاصله‌ی هوایی درنتیجه، تلفات پراکندگی کم شود.

باید دقت کرد که سطح عایق شده‌ی ورقه‌های ترانسفورماتور همگی در یک جهت باشند (مثلاً همه به‌طرف بالا).

علاوه‌بر این، تا حد امکان نباید در داخل قرقره فضای خالی باقی بماند. لازم است ورقه‌ها با فشار داخل قرقره جای بگیرند تا از ارتعاش و صدا کردن آن‌ها نیز جلوگیری شود.

۲ــ۱ــ سیم‌پیچ ترانسفورماتور

معمولاً برای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور از هادی‌های مسی با عایق (روپوش) لاکی استفاده می‌کنند. این هادی‌ها با سطح مقطع گرد و در اندازه‌های استاندارد وجود دارند و با قطر مشخص می‌شوند. در ترانسفورماتورهای پرقدرت

از هادی‌های مسی که به‌صورت تسمه هستند، استفاده می‌شود. ابعاد این‌گونه هادی‌ها نیز استاندارد است.

سیم‌پیچ ترانسفورماتورهای کوچک برروی قرقره در طبقات مختلف پیچیده می‌شود. به‌طوری که در شکل ۲ــ۱ نشان داده شده است، ابتدای طبقه‌ی اول (حلقه‌ی شماره‌ی ۱) و انتهای طبقه‌ی دوم (حلقه‌ی شماره‌ی ۲۲) روی یک‌دیگر قرار گرفته‌اند و بیش‌ترین ولتاژ را نسبت به یک‌دیگر دارند ؛ در صورتی که ولتاژ بین دو سیم روی‌هم قرار گرفته در نقاط دیگر این دو طبقه، کم‌تر از این مقدار است. درمورد سایر طبقات نیز همین حالت صدق می‌کند (مثلاً حلقه‌های شماره‌ی ۱۲ و ۳۳).

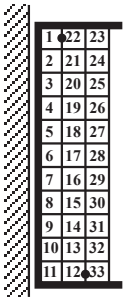
درصورتی که ماکزیمم ولتاژ بین دو حلقه بیش از ۲۵ ولت باشد، باید بین طبقات عایق قرار داد. بین سیم‌های مجزا از یک‌دیگر ــ مثلاً سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه ــ نیز حتماً باید عایق قرار گیرد. در روی آخرین لایه نیز باید نوار عایق پیچیده شود و مشخصات ترانسفورماتور برروی این لایه ثبت گردد.

برای استفاده از حداکثر فضای قرقره، سیم‌ها تا حدّ ممکن باید پهلوی یک‌دیگر پیچیده شوند و بین آن‌ها فضای خالی نباشد.

چگالی جریان که برای ترانسفورماتورهای تا توان ۴KVA انتخاب می‌شود، بین $1A/mm^2$ تا $4A/mm^2$ است.

سر سیم‌پیچ‌ها را باید به‌وسیله‌ی روکش‌های عایق (وارنیش یا ماکارونی) از سوراخ‌های قرقره خارج کرد تا بدین ترتیب سیم‌ها قطع (خصوصاً در سیم‌های نازک و لایه‌های اول) یا زخمی نشوند. یک طرف این روکش‌ها باید در داخل قرقره زیر سیم‌پیچ قرار گیرد و خوب محکم شود. علاوه‌بر این، بهتر است رنگ روکش‌ها نیز متفاوت باشد تا در ترانسفورماتورهای دارای چندین سیم‌پیچ، به‌راحتی بتوان سر هر سیم‌پیچ را مشخص کرد.

بعد از اتمام سیم‌پیچی یا تعمیر سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور باید آن‌ها را با ولتاژهای بالاتر از ولتاژ نامی خودشان برای کنترل و کسب اطمینان از سالم بودن عایق بین بدنه و سیم‌پیچ اولیه، بدنه و سیم‌پیچ ثانویه و هم‌چنین سیم‌پیچ اولیه و سیم‌پیچ ثانویه آزمایش



شکل ۲ــ۱ــ نقاط پتانسیل زیاد

کرد. جدول ۱ــ۱ مقدار ولتاژ آزمایش را نشان می دهد.

۳ــ ۱ــ قرقره‌ی ترانسفورماتور

برای حفاظت و نگهداری از سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور ــ خصوصاً در ترانسفورماتورهای کوچک ــ باید از قرقره استفاده کرد.

جنس قرقره باید از مواد عایق باشد. قرقره را معمولاً از کاغذ عایق سخت (برش‌مان)، فیبرهای استخوانی یا مواد ترموپلاستیک می‌سازند. قرقره‌هایی که از جنس ترموپلاستیک هستند معمولاً یک تکه ساخته می‌شوند ولی برای ساختن قرقره‌های دیگر باید آن‌ها را در چند قطعه ساخت و سپس برروی یک‌دیگر سوار کرد.

برروی دیوارهای قرقره باید سوراخ یا شکافی ایجاد کرد تا سر سیم‌پیچ‌ها از آن‌ها خارج شوند.

اندازه‌ی قرقره باید با اندازه‌ی ورقه‌های ترانسفورماتور متناسب باشد و سیم‌پیچ نیز طوری برروی آن پیچیده شود که از لبه‌های قرقره مقداری پایین‌تر قرار گیرد تا هنگام جا زدن ورقه‌های ترانسفورماتور، لایه‌ی رویی سیم‌پیچ صدمه نبیند.

اندازه‌ی قرقره‌های ترانسفورماتور نیز استاندارد شده است اما می‌توان در تمام موارد با توجه به نیاز، قرقره‌ی مناسب را طراحی کرد و ساخت.

جدول ۱ــ۱ــ ولتاژ آزمایش برای ترانسفورماتورهای کوچک

ولتاژ آزمایش عایق به‌مدت یک دقیقه برای ولتاژهای نامی :				حفاظت از نظر عایق برای
۱۰۰۰V	۵۰۰V	۲۵۰V	۴۲V	درجات I و II
۳۰۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	سیم‌پیچ اولیه با بدنه
				سیم‌پیچ ثانویه با بدنه
فقط برای حفاظت درجه‌ی I				سیم‌پیچ ثانویه با سیم‌پیچ اولیه
برای آزمایش مجدد با ۸۰ درصد ولتاژ آزمایش، آزمایش شود.				
درجه I ــ ترانسفورماتورهای دارای سیم حفاظ				
درجه II ــ ترانسفورماتور ولتاژ کم				

فصل دوم

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۴	۵

محاسبه‌ی عملی ترانسفورماتور

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور را محاسبه کند.

۲ــ تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور را محاسبه کند.

۳ــ قطر سیم لاکی برای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور را محاسبه کند.

۴ ــ ورقه‌ی مناسب برای هسته‌ی ترانسفورماتور را انتخاب کند.

۵ــ قرقره‌ی مناسب برای ترانسفورماتور را انتخاب کند.

۲ــ محاسبه‌ی عملی ترانسفورماتورها

برای محاسبه و طراحی ترانسفورماتور، به یک مجموعه معلومات اولیه نیازمندیم تا با استفاده از آن، پارامترهای مجهول را محاسبه کنیم و ترانسفورماتور را بسازیم. مشخصات معلوم، با توجه به موقعیت و مورد استفاده ترانسفورماتور به دست می‌آیند که برای یک ترانسفورماتور کوچک عبارت‌اند از :

۱ــ ولتاژ اولیه U_1 : ولتاژ منبع تغذیه (شبکه) است و هدف از ساختن ترانسفورماتور، تبدیل این ولتاژ به مقادیر کم‌تر یا بیش‌تر می‌باشد.

۲ــ ولتاژ ثانویه U_2 : ولتاژی است که هدف ما به دست آوردن آن است و مصرف کننده با این ولتاژ کار می‌کند.

۳ــ جریان ثانویه I_2 : جریانی است که از مصرف‌کننده‌ی مورد نظر عبور می‌کند.

برای مثال، اگر بخواهیم یک مصرف کننده‌ی ۱۲ ولت را که جریان دو آمپر باید از آن عبور کند به شبکه‌ی ۲۲۰ ولت وصل کنیم، باید از ترانسفورماتوری که در آن $U_1 = ۲۲۰^V$ و $U_2 = ۱۲^V$ و $I_2 = ۲A$ است، استفاده کنیم.

برای ساختن و پیچیدن یک ترانسفورماتور به معلومات زیر نیاز داریم که باید محاسبه یا طراحی شوند :

۱ــ محاسبه‌ی سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور.

۲ــ تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور.

۳ــ قطر سیم‌های لاکی برای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور.

۴ــ شماره‌ی استاندارد ورقه‌های ترانسفورماتور.

۵ــ ابعاد و اندازه‌های اجزای تشکیل دهنده‌ی قرقره‌ی ترانسفورماتور.

اکنون به محاسبه‌ی عملی پارامترهای بالا می‌پردازیم.

۱ــ۲ــ محاسبه‌ی سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور

برای محاسبه‌ی سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد :

$$S_{Fe} = K\sqrt{P_{S_1}}$$

در این رابطه S سطح مقطع خالص هسته برحسب سانتی‌متر مربع و P_{S_1} قدرت ظاهری اولیه‌ی ترانسفورماتور برحسب ولت آمپر است. ضریب K به جنس هسته و نقطه‌ی کار ترانسفورماتور بستگی دارد و بین ۰/۸ تا ۱/۲ است. برای ترانسفورماتورهای کوچک کم قدرت می‌توان $K=1$ یا $K=0/9$ را انتخاب کرد. بهتر است برای ترانسفورماتورهای معمولی ضریب $K=1/2$ انتخاب شود.

P_{S_1} قدرت اولیه به قدرت ثانویه P_{S_2} یعنی قدرت مورد نیاز بار بستگی دارد. در ترانسفورماتورهای ایده‌آل $P_1 = P_2$ است اما در ترانسفورماتورهای واقعی، به علت تلفات کلی ترانسفورماتور همیشه P_{S_2} . P_{S_1} و بازده (راندمان) از یک کم‌تر است. معمولاً قدرت ظاهری ترانسفورماتور بر حسب ولت آمپر (VA) برای طرف ثانویه مشخص می‌شود و می‌توان آن را از ضرب ولتاژ ثانویه در جریان ثانویه ($P_{S_2} = U_2 \times I_2[VA]$) به‌دست آورد.

قدرت اولیه را می‌توان با در نظر گرفتن بازده ۰/۹۵ . . . ۰/۷۵ از رابطه‌ی $P_{S_1} = \frac{P_{S_2}}{\cdot}$ حساب کرد. مقدار ضریب بهره . برای ترانسفورماتورها از قدرت ۲۵ تا ۳۵۰۰ ولت آمپر حدود ۰/۸ تا ۰/۹ و برای ترانسفورماتورهای از قدرت ۲۰ ولت‌آمپر تا ۱۲۵ ولت آمپر بین ۰/۸ تا ۰/۹ انتخاب می‌شود.

حدود تقریبی ضریب بهره را برای قدرت‌های مختلف می‌توان از جداول مربوطه به‌دست آورد.

همان‌طور که قبلاً گفتیم ، برای ایجاد سطح مقطع S باید ورقه‌های ترانسفورماتور را در داخل قرقره پهلوی یک‌دیگر قرار داد. واضح است که به علت وجود لایه‌های نازک عایق در روی ورقه‌ها، باید سطح مقطع بیش‌تری نسبت به سطح مقطع خالص در نظر گرفت.

به طوری که با کم شدن سطح اشغال شده توسط عایق‌های روی ورقه، باقی مانده برابر با سطح آهن خالص باشد.

برای پیدا کردن مجموع آهن و عایق مورد نیاز S'_{Fe} می‌توان از فرمول زیر که در آن $K_{Fe} = 0/85$ ..... ۰/۹۵ است، استفاده کرد ؛ بنابراین :

$$S'_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{K_{Fe}}$$

یعنی، باید قرقره دارای سطح S'_{Fe} برای جا زدن ورقه‌های ترانس باشد تا سطح آهن خالص برابر S_{Fe} شود.

در محاسبه‌های معمولی می‌توان مقدار K_{Fe} را برابر با ۰/۹ انتخاب کرد.

۲ــ۲ــ محاسبه‌ی تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور

برای تعیین تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور می‌توان از روابط اصلی زیر استفاده کرد.

$$U_1 = 4/44 \times N_1 \times B_{Max} \times S_{Fe} \times f$$

$$U_2 = 4/44 \times N_2 \times B_{Max} \times S_{Fe} \times f$$

در این رابطه :

U_1 ولتاژ اولیه بر حسب ولت

U_2 ولتاژ ثانویه بر حسب ولت

N_1 تعداد دور اولیه

N_2 تعداد دور ثانویه

B_{Max} اندوکسیون بر حسب تسلا (T)

S_{Fe} سطح مقطع آهن خالص بر حسب متر مربع (m^2)

f فرکانس بر حسب هرتس (Hz) است.

اگر اندوکسیون بر حسب گوس (G) و سطح مقطع آهن خالص بر حسب سانتی‌متر مربع باشد، چون $1T = 10^4 G$ و $1m^2 = 10^4 cm^2$ است، بنابراین می‌توان از روابط زیر استفاده کرد :

$$U_1 = 4/44 \times N_1 \times B_{Max} \times S_{Fe} \times f \times 10^{-8}$$

$$U_2 = 4/44 \times N_2 \times B_{Max} \times S_{Fe} \times f \times 10^{-8}$$

از رابطه‌ی بالا می‌توانیم تعداد دور برای اولیه و ثانویه را به دست آوریم.

$$N_1 = \frac{U_1 \times 10^8}{4/44 \times B_{Max} \times S_{Fe} \times f}$$

$$N_2 = \frac{U_2 \times 10^8}{4/44 \times B_{Max} \times S_{Fe} \times f}$$

برای محاسبه‌ی تعداد دورها، بهتر است ابتدا تعداد دوری را که برای یک ولت نیروی محرکه لازم است به دست آوریم و از روی آن تعداد دورهای N_1 و N_2 را حساب کنیم. بدین منظور، با قرار دادن $U = 1$ [V] در رابطه‌ی قبلی می‌توان دور بر ولت را حساب کرد.

$$n = \frac{10^8}{4/44 \times B_{Max} \times S_{Fe} \times f} \quad [\text{دور بر ولت}]$$

مقدار عددی اندوکسیون مغناطیسی B_{Max} نیز به شدت میدان مغناطیسی و جنس ورقه‌ی ترانسفورماتور و آلیاژ آن‌ها بستگی دارد.

برای محاسبه‌ی ترانسفورماتورهایی که در آن‌ها از ورقه‌های معمولی ترانسفورماتور استفاده می‌شود، می‌توان $B_{Max} = 12000G$ را قرار داد.

برای فرکانس 50Hz و $B_{Max} = 12000G$ می‌توان رابطه‌ی دور بر ولت را به صورت ساده‌ی زیر خلاصه کرد.

$$n = \frac{10^8}{4/44 \times 12000 \times 50 \times S_{Fe}} = \frac{37/54}{S_{Fe}}$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار دور بر ولت تابعی از سطح مقطع خالص هسته است. برای سهولت محاسبه می‌توان در بعضی موارد از جداول و منحنی‌هایی که تغییرات دور بر ولت به ازای سطح مقطع آهن را نشان می‌دهند، استفاده کرد.

در این‌جا، اگر افت ولتاژ ایجاد شده توسط مقاومت‌های اهمی و القایی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را منظور نکنیم، می‌توانیم تعداد دور اولیه و ثانویه را از روابط زیر پیدا کنیم :

$$N_1 = n \times U_1$$

$$N_2 = n \times U_2$$

اما همان‌طور که می‌دانیم، چون سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور دارای مقاومت هستند، در اثر عبور جریان در هر یک از آن‌ها افت ولتاژی متناسب با مقدار جریان به وجود می‌آید که باعث کاهش نیروی محرکه‌ی القایی در اولیه (E_1 . U_1) و کاهش ولتاژ در ثانویه‌ی ترانسفورماتور ــ یعنی دو سر مصرف‌کننده (U_2 . E_2) ــ می‌شود. چون ترانسفورماتور را بر مبنای ولتاژ شبکه و ولتاژ مصرف کننده طراحی می‌کنیم و می‌سازیم باید سعی شود ولتاژ خروجی در حالتی که جریان نامی از بار می‌گذرد، درست به‌اندازه‌ی ولتاژ مورد نیاز مصرف کننده باشد. بنابراین، لازم است تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را چنان انتخاب کنیم که ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور در حالت بی‌باری، مقداری بیش‌تر از ولتاژ مورد نیاز بار باشد. در این صورت، هنگام وصل به بار، ولتاژ خروجی برابر ولتاژ مورد نیاز مصرف کننده خواهد شد.

افت ولتاژ در ترانسفورماتور، تابعی از قدرت ترانسفورماتور است و مقدار آن در جدول ۱ــ۲ نسبت به تغییرات قدرت ترانسفورماتور بر حسب درصد (ΔU -) داده شده است، که می‌توان آن را به نسبت مساوی بین سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه تقسیم کرد.

جدول ۱ــ۲ــ تعیین درصد افت ولتاژ با توجه به قدرت ترانسفورماتور

درصد افت ولتاژ ΔU -	قدرت P_2 .VA.
۲۰	۵
۱۷	۱۰
۱۵	۲۵
۱۲	۵۰
۱۰	۷۵
۹	۱۰۰
۸	۱۵۰
۷/۵	۲۰۰
۷	۳۰۰
۶/۵	۴۰۰
۶	۵۰۰
۵	۷۵۰
۴	۱۰۰۰
۳	۱۵۰۰
۲	۲۰۰۰
۱/۵	۳۰۰۰

با مشخص کردن درصد افت ولتاژ، می‌توان تعداد دور لازم برای اولیه و ثانویه را به روش زیر حساب کرد.

$$N_1 = n(U_1 - U_1 \times \Delta U_1\text{-})$$

$$N_1 = n \times U_1(1 - \Delta U_1\text{-})$$

$$N_2 = n(U_2 + U_2 \times \Delta U_2\text{-})$$

$$N_2 = n \times U_2(1 + \Delta U_2\text{-})$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، تعداد دور مورد نیاز برای اولیه، کاهش و برای ثانویه، افزایش می‌یابد.

در صورتی که قدرت ترانسفورماتور مورد نیاز در جدول نباشد، با در نظر گرفتن دو عدد قبل و بعد از آن در جدول و نوشتن یک تناسب، می‌توان درصد افت ولتاژ را با تقریب به‌دست آورد.

۳ــ۲ــ محاسبه‌ی قطر سیم لاکی برای اولیه و ثانویه

قطر سیم‌پیچ ترانسفورماتور را باید طوری محاسبه کرد که توان تلف شدن در دو سیم‌پیچ ــ که به صورت حرارت در آن ظاهر می‌شود ــ به آن صدمه‌ای نرساند. علاوه بر این، افت ولتاژ نیز بیش از حد نباشد. برای انتخاب قطر سیم، لازم است ابتدا به بررسی تراکم جریان مجاز بپردازیم.

اگر از دو سیم با سطح مقطع متفاوت، جریان مساوی عبور کند، تعداد الکترون‌هایی که از سطح مقطع هر کدام از سیم‌ها در یک ثانیه عبور می‌کند، برابر است. بنابراین، حرکت الکترون‌ها در سیمی که سطح مقطع کم‌تری دارد، سریع‌تر از سیم دیگر است و این سیم گرم می‌شود.

شدت جریانی که از هر میلی‌متر مربع سطح مقطع سیم عبور می‌کند، تراکم جریان نامیده می‌شود و آن را با J نشان می‌دهند.

$$J = \frac{I}{A} \cdot \frac{A}{mm^2}.$$

در این رابطه I جریان عبوری از سیم بر حسب آمپر و A سطح مقطع سیم بر حسب میلی‌متر مربع است. در دو سیم با سطح مقطع مساوی هر چه تراکم جریان (J) بیش‌تر باشد، گرمای ایجاد شده در سیم نیز بیش‌تر خواهد بود.

در ترانسفورماتورها و موتورها نباید درجه‌ی حرارت سیم‌پیچ از حد معینی تجاوز کند. خصوصاً سیم‌های مربوط به لایه‌های داخلی سیم‌پیچ که چون با هوای محیط در تماس نیستند، بیش‌تر گرم می‌شوند.

بنابراین، تراکم جریان در هادی‌های ترانسفورماتور نباید از حد معینی بیش‌تر شود. تراکم جریان را بسته به شرایط خنک شدن ترانسفورماتور و قدرت آن از ۱ تا ۴ آمپر بر میلی‌متر مربع انتخاب می‌کنند و آن را تراکم جریان مجاز می‌نامند.

تراکم جریان مجاز برای ترانسفورماتورهای معمولی، در جدول ۲ــ۲ داده شده است.

جدول ۲ــ۲ــ چگالی جریان با توجه به قدرت ترانسفورماتور

چگالی جریان $\frac{A}{mm^2}$	قدرت P_2 .VA
۴	۰ تا ۵۰
۳/۵	۵۰ تا ۱۰۰
۳	۱۰۰ تا ۲۰۰
۲/۵	۲۰۰ تا ۵۰۰
۲	۵۰۰ تا ۱۰۰۰
۱/۷۵	۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰
۱/۵	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰
۱	۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰

با مشخص بودن قدرت ثانویه‌ی ترانسفورماتور می‌توان تراکم جریان مجاز را به دست آورد و پس از آن، سطح مقطع سیم‌های مورد نظر را که باید جریان اولیه و ثانویه از آن‌ها عبور کند، از رابطه‌ی $A_1 = \frac{I_1}{J}$ و $A_2 = \frac{I_2}{J}$ پیدا کرد.

همان‌طور که گفتیم، جریان I_2 یکی از معلومات ماست و توسط بار مشخص می‌شود اما جریان I_1 را می‌توانیم از رابطه‌ی زیر حساب کنیم.

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1}$$

چون سیم‌های لاکی، با قطر (بدون لاک) مشخص

می‌شوند، پس از به دست آوردن سطح مقطع سیم، با استفاده از جدول، قطر استاندارد شده‌ی آن را به دست می‌آوریم یا این که با توجه به گرد بودن سطح مقطع سیم، از رابطه‌ی $A = \frac{d^2 \times .}{4}$ قطر (بدون لاک) را محاسبه می‌کنیم.

$$A_1 = \frac{d_1^2 \times .}{4}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4}{.} \times A_1}$$

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

به همین ترتیب، قطر سیم سیم‌پیچ ثانویه نیز از رابطه‌ی

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

به دست می‌آید. در صورت استاندارد نبودن قطرهای به‌دست‌آمده، با مراجعه به جدول ۳ــ۲ باید نزدیک‌ترین سیم استانداردی را که قطر آن از قطر سیم به دست آمده بیش‌تر است، انتخاب کرد.

جدول ۳ ــ۲ــ مشخصات سیم‌های لاکی

تعداد دور در هر Cm^2	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm^2	قطر سیم با لاک mm	قطر سیم mm
۲۰۰۰۰	۸/۹۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۲۰	۰/۰۶۲	۰/۰۵
۱۵۰۰۰	۶/۲۱	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲۸	۰/۰۷۵	۰/۰۶
۱۱۰۰۰	۴/۵۶	۰/۰۳۷	۰/۰۰۳۹	۰/۰۸۵	۰/۰۷
۹۰۰۰	۳/۴۹	۰/۰۴۸	۰/۰۰۵۰	۰/۰۹۵	۰/۰۸
۷۰۰۰	۲/۷۶	۰/۰۶۰	۰/۰۰۶۴	۰/۱۰۸	۰/۰۹
۶۰۰۰	۲/۲۳	۰/۰۷۴	۰/۰۰۷۹	۰/۱۱۵	۰/۱۰
۵۰۰۰	۱/۸۴	۰/۰۸۵	۰/۰۰۹۵	۰/۱۳	۰/۱۱
۴۰۰۰	۱/۵۵	۰/۱۰۵	۰/۰۱۱۵	۰/۱۴	۰/۱۲
۳۶۰۰	۱/۳۲	۰/۱۲۰	۰/۰۱۳۳	۰/۱۵	۰/۱۳
۳۲۰۰	۱/۱۴	۰/۱۴۳	۰/۰۱۵۴	۰/۱۶	۰/۱۴
۲۸۰۰	۰/۹۹	۰/۱۶۴	۰/۰۱۷۷	۰/۱۷	۰/۱۵
۲۵۰۰	۰/۸۷	۰/۱۸۶	۰/۰۲۱۱	۰/۱۸	۰/۱۶
۲۲۵۰	۰/۷۷۳	۰/۲۱۰	۰/۰۲۲۷	۰/۱۹	۰/۱۷
۲۰۰۰	۰/۶۸۹	۰/۲۳۵	۰/۰۲۵۴	۰/۲۰	۰/۱۸
۱۸۰۰	۰/۶۱۹	۰/۲۶۰	۰/۰۲۸۴	۰/۲۱	۰/۱۹
۱۶۵۰	۰/۵۵۷	۰/۲۸۹	۰/۰۳۱۴	۰/۲۲	۰/۲۰
۱۵۰۰	۰/۵۰۷	۰/۳۳۰	۰/۰۳۴۶	۰/۲۳	۰/۲۱
۱۴۰۰	۰/۴۶۰	۰/۳۵۰	۰/۰۳۸	۰/۲۴	۰/۲۲
۱۳۰۰	۰/۴۲۲	۰/۳۹۰	۰/۰۴۲	۰/۲۵	۰/۲۳
۱۲۰۰	۰/۳۸۸	۰/۴۲۵	۰/۰۴۵	۰/۲۶	۰/۲۴
۱۱۰۰	۰/۳۵۷	۰/۴۶۰	۰/۰۴۹	۰/۲۷	۰/۲۵
۱۰۲۰	۰/۳۳۰	۰/۴۹۵	۰/۰۵۳	۰/۲۸۵	۰/۲۶

۹۵۰	۰/۳۰۶	۰/۵۳۳	۰/۰۵۷	۰/۲۹۵	۰/۲۷
۸۷۰	۰/۲۸۵	۰/۵۷۱	۰/۰۶۲	۰/۳۰۵	۰/۲۸
۸۰۰	۰/۲۶۶	۰/۶۱۲	۰/۰۶۶	۰/۳۱۵	۰/۲۹
۷۷۰	۰/۲۴۸	۰/۶۴۵	۰/۰۷۱	۰/۳۳	۰/۳۰
۶۹۰	۰/۲۱۸	۰/۷۴۰	۰/۰۸۰	۰/۳۵	۰/۳۲
۵۸۰	۰/۱۸۲۴	۰/۸۹۰	۰/۰۹۶	۰/۳۸	۰/۳۵
۵۲۰	۰/۱۶۳۲	۰/۹۹۴	۰/۱۰۸	۰/۴۰	۰/۳۷
۴۵۰	۰/۱۳۹۶	۱/۱۶۰	۰/۱۲۶	۰/۴۳	۰/۴۰
۳۷۰	۰/۱۱۰۳	۱/۴۸۰	۰/۱۵۹	۰/۴۸	۰/۴۵
۳۰۰	۰/۰۸۹۴	۱/۸۳۰	۰/۱۹۶	۰/۵۴	۰/۵۰
۲۵۰	۰/۰۷۳۸	۲/۲۰۰	۰/۲۳۸	۰/۵۹	۰/۵۵
۲۱۰	۰/۰۶۲۱	۲/۶۲	۰/۲۸۳	۰/۶۴	۰/۶۰
۱۸۰	۰/۰۵۲۶	۲/۹۷	۰/۳۳۴	۰/۶۹	۰/۶۵
۱۶۰	۰/۰۴۵۵	۳/۴۳	۰/۳۸۵	۰/۷۴	۰/۷۰
۱۴۰	۰/۰۳۹۵	۳/۹۵	۰/۴۴۴	۰/۷۹	۰/۷۵
۱۲۰	۰/۰۳۴۸	۴/۴۸	۰/۵۰۴	۰/۸۴	۰/۸۰
۱۱۰	۰/۰۳۰۹	۵/۰۵	۰/۵۶۸	۰/۸۹	۰/۸۵
۱۰۰	۰/۰۲۷۵	۵/۶۶	۰/۶۳۶	۰/۹۴	۰/۹۰
۹۰	۰/۰۲۴۷	۶/۳۱	۰/۷۰۹	۰/۹۹	۰/۹۵
۸۱	۰/۰۲۲۳	۷/۰۰	۰/۷۸۶	۱/۰۶	۱/۰۰
۷۵	۰/۰۱۸۵	۸/۴۶	۰/۹۵۰	۱/۱۶	۱/۱۰
۵۶	۰/۰۱۵۵	۱۰/۰۹	۱/۱۳۱	۱/۲۶	۱/۲۰
۴۸	۰/۰۱۳۲	۱۱/۸	۱/۳۲۷	۱/۳۶	۱/۳۰
۴۰	۰/۰۱۱۴۰	۱۳/۷	۱/۵۳۹	۱/۴۶	۱/۴۰
۳۳	۰/۰۰۹۹	۱۵/۷۵	۱/۷۷۰	۱/۵۶	۱/۵۰
۲۵	۰/۰۰۸۸	۱۷/۹	۲/۰۱۱	۱/۶۶	۱/۶۰
۲۰	۰/۰۰۷۷	۲۰/۲	۲/۲۷۰	۱/۷۶	۱/۷۰
۱۷	۰/۰۰۶۹	۲۲/۶	۲/۵۴۵	۱/۸۶	۱/۸۰
۱۵	۰/۰۰۶۲	۲۵/۲	۲/۸۳۵	۱/۹۶	۱/۹۰
۱۲	۰/۰۰۵۶	۲۸/۰۰	۳/۱۴۲	۲/۰۷	۲
۷	۰/۰۰۳۶	۴۳/۷	۴/۹۰۸	۲/۵۷	۲/۵
–	۰/۰۰۲۵	۶۲/۹	۷/۰۷۰	۳/۰۸	۳

در موقع اندازه‌گیری قطر سیم باید لاک روی آن را به‌طوری‌که به خود سیم صدمه نرسد، پاک کرد. برای انجام دادن این کار می‌توان لاک روی سیم را سوزاند یا آن را با سمباده‌ی نرم از بین برد.

۴ــ۲ــ انتخاب ورقه‌ی ترانسفورماتور مناسب

ورقه‌های استانداردی که در ترانسفورماتورهای کوچک از آن‌ها استفاده می‌شود، از نوع EI هستند.

در این ترانسفورماتورها، ابتدا سیم‌پیچ اولیه و ثانویه برروی یک قرقره پیچیده شده و سپس قرقره توسط ورقه‌های ترانسفورماتور کاملاً پر می‌شود.

شکل ۱ــ۲ طریقه‌ی قرار گرفتن قرقره را بر روی هسته نشان می‌دهد.

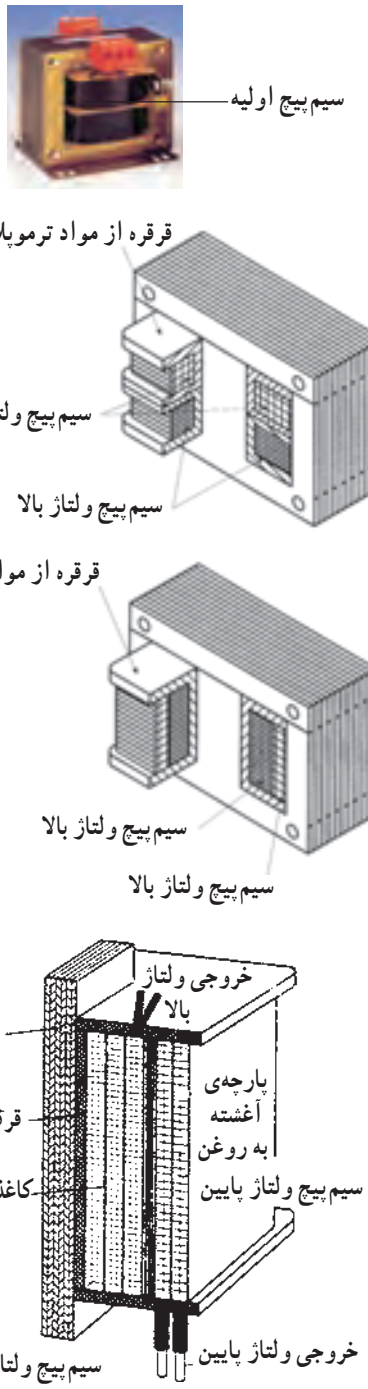
همان‌طور که می‌بینید، سیم‌پیچ اولیه، سیم‌پیچ ثانویه، عایق‌های بین طبقات سیم‌پیچ و قرقره باید در فضای خالی ایجاد شده بین بازده‌های ورقه‌ها (پنجره) قرار بگیرند. علاوه بر این، فضای خالی کمی نیز از لبه‌ی قرقره تا آخرین لایه‌ی سیم‌پیچ وجود داشته باشد تا در هنگام جا زدن ورقه‌ها سیم‌پیچ صدمه‌ای نبیند.

در جدول‌های ۴ــ۲ و ۵ــ۲ اندازه‌های ورقه‌های ترانسفورماتور برای نوع EI داده شده است. اگر به این سه جدول توجه کنید، ملاحظه خواهید کرد که ورقه‌های مختلف دارای پنجره‌های متفاوتی هستند. سطح پنجره‌ی ورق را می‌توان از رابطه‌ی $g \times e$ به دست آورد که در آن g عرض و e طول پنجره بر حسب میلی‌متر است. باید ورقه‌ی ترانسفورماتوری را انتخاب کرد که این سطح از سطح مورد نیاز کوچک‌تر یا خیلی بزرگ‌تر نباشد. همان‌طور که گفتیم، سطح مورد نیاز نیز به سیم‌پیچ اولیه و ثانویه، عایق بین آن‌ها و ضخامت قرقره و در عین حال طریقه‌ی پیچیدن سیم‌پیچ بستگی دارد.

برای محاسبه‌ی مساحت اشغال شده توسط سیم‌پیچ‌ها می‌توان از جدول ۳ــ۲ استفاده کرد. در ستون اول جدول، قطر سیم مورد نظر که قبلاً محاسبه شده است، پیدا می‌کنیم و در سطر مربوط به آن، در ستون ششم تعداد سیم‌هایی را که یک سانتی‌متر مربع را اشغال می‌کنند، به دست می‌آوریم.

واضح است که بین سیم‌ها نبایستی فضای خالی باشد. با داشتن قطر سیم اولیه d_1 از روی جدول، تعداد دوری را که در یک سانتی‌متر مربع جای می‌گیرد پیدا کنید.

$$\text{تعداد دور در سانتی‌متر مربع} = \#$$



شکل ۱ــ۲ــ روش‌های سیم‌پیچی

می‌کنیم و از تقسیم N_1 بر عدد به دست آمده، سطح مورد نیاز برای سیم‌پیچ اولیه (F_1) به دست می‌آید.

برای سیم‌پیچ ثانویه نیز به همین ترتیب، با توجه به قطر d_2 سطح مورد نیاز F_2 به دست می‌آید.

سطح مورد نیاز برای هر دو سیم‌پیچ F از جمع F_1 و F_2 نتیجه می‌شود.

$$F = F_1 + F_2$$

سطح لازم برای عایق‌های بین لایه‌های سیم‌پیچ و قرقره سیم‌پیچ، به قدرت ترانسفورماتور بستگی دارد. علاوه بر عایق، درهنگام پیچیدن سیم‌ها بر روی قرقره نیز مقداری فضای خالی مرده بین حلقه‌های سیم‌پیچ باقی می‌ماند.

هر چه سیم‌پیچی بر روی قرقره دقیق‌تر انجام گیرد، مقدار این فضای مرده نیز کم‌تر خواهد بود. در ترانسفورماتورهایی که توسط ماشین پیچیده می‌شوند، مقدار این فضا بسیار ناچیز است. درمجموع برای عایق و قرقره و فضای خالی بین سیم‌ها، می‌توان ۲۰ تا ۳۵ درصد سطح سیم‌ها را منظور کرد. برای ترانسفورماتورهای دست پیچ از ضریب ۳۵ و برای ترانسفورماتورهای کوچک که توسط ماشین پیچیده می‌شوند، از ضریب تقریبی ۲۰ درصد استفاده می‌شود. بنابراین، سطح کل مورد نیاز برابر می‌شود با :

$$F_T = F + (-۲۰ \text{ تا } -۳۵)F$$

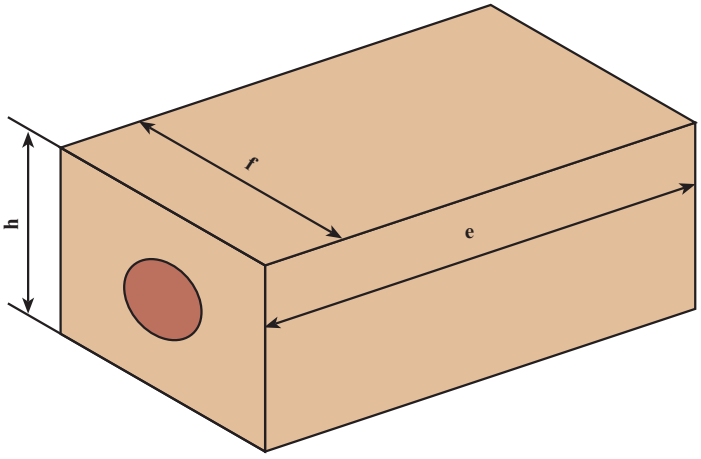
$$F_T = (۱/۲ \text{ تا } ۱/۳۵)F$$

پس از پیدا کردن سطح F_T ، ورق ترانسفورماتور را از روی جدول انتخاب می‌کنیم، به طوری که حداقل سطح پنجره‌ی آن برابر با F_T باشد ؛ یعنی :

$$e \times g \geq F_T$$

۵ــ۲ــ آماده‌کردن نهایی ترانسفورماتور

پس از ساختن قرقره باید سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را روی آن پیچید. برای سیم‌پیچی می‌توان از دستگاه‌های اتوماتیک بوبین‌پیچ استفاده کرد یا قرقره را با استفاده از دستگاه‌های ابتدایی و ساده که در کارگاه تهیه می‌شوند، با دست سیم‌پیچی نمود. درهرحال، برای نصب قرقره روی دستگاه باید از یک قالب متناسب با حجم داخل قرقره استفاده کرد. جنس این قالب معمولاً از چوب و شکل آن مکعب مستطیل است. اندازه‌های آن نیز در شکل ۲ــ۲ داده شده است.



شکل ۲ــ۲ــ قالب چوبی وسط قرقره

پس از جا زدن قالب چوبی در داخل قرقره و بستن آن برروی دستگاه می‌توان سیم‌پیچی را شروع کرد. بهتر است ابتدا یک لایه عایق نازک بر روی قرقره بپیچیم و سپس سیم‌پیچی اولیه را شروع کنیم.

سر سیم‌پیچ اولیه باید از پایین‌ترین سوراخ دیواره‌ی قرقره خارج شود. در صورتی که سیم خیلی نازک باشد، باید یک سیم

رشته‌ای عایق‌دار را به سر سیم لاکی لحیم کنیم و پس از عایق‌کردن قسمت لحیم شده، سیم رشته‌ای را از سوراخ دیواره قرقره خارج کنیم ؛ به طوری که قسمت لحیم شده طوری در کف قرقره قرار بگیرد که سیم‌پیچ بر روی آن پیچیده شود و در اثر کشش، سیم لاکی پاره و قطع نشود. اگر سیم به اندازه‌ای ضخیم باشد که در برابر نیروی کششی پاره نشود، می‌توان برای آن از عایق‌های لوله‌ای استفاده کرد. به این ترتیب که عایق را در زیر سیم‌پیچ قرار می‌دهیم و سیم لاکی را با لوله‌ی عایق از سوراخ قرقره خارج می‌کنیم. پس از اتمام سیم‌پیچ اولیه، باید به همین روش انتهای سیم را پس از محکم کردن با سیم رشته‌ای یا با لوله‌ی عایق همان رنگ از قرقره خارج کرد.

برای شروع سیم‌پیچ دوم نیز باید به همین روش عمل کرد. توجه داشته باشید که حتماً بین طبقات سیم‌پیچ‌ها و بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه ــ مطابق توضیحاتی که قبلاً داده شده است ــ کاغذ عایق قرار دهید.

بر روی آخرین طبقه‌ی سیم‌پیچ ثانویه نیز یک لایه کاغذ عایق ضخیم پیچیده می‌شود. پس از اتمام هر سیم پیچی، باید سیم‌پیچ‌ها را از نظر قطع شدگی یا اتصال دو سیم به یکدیگر، توسط اهم‌متر آزمایش کرده و پس از آن قرقره را توسط هسته‌ی مربوطه به ترتیبی که گفته شده پر کنیم.

پس از جا زدن کامل ورقه‌ها، باید هسته را مطابق روش‌هایی که در ابتدای این بحث توضیح داده شد، محکم کنیم و سرسیم‌پیچ‌ها را در ترمینالهایی که در روی قرقره یا هسته سوار شده‌اند، ببندیم.

در پایان کار نیز مجدداً با اهم‌متر سرهای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را نسبت به هسته‌ی ترانسفورماتور برای تشخیص اتصال بدنه، آزمایش می‌کنیم. توجه داشته باشید هنگامی یک ترانسفورماتور از نظر عایقی صددرصد مورد اطمینان است که با ولتاژهای داده شده در جدول ۱ــ۱ آزمایش شود.

برای اطمینان از صحت کار یک ترانسفورماتور، می‌توان آن را مورد آزمایش بی‌باری قرار داد. برای این آزمایش، در حالتی‌که ثانویه‌ی ترانسفورماتور باز است، اولیه‌ی آن را با یک آمپرمتر (معمولاً میلی‌آمپرمتر) به ولتاژ U_1 وصل می‌کنیم. جریانی که از آمپرمتر عبور می‌کند، باید خیلی کم‌تر از جریان نامی باشد که مقدار آن در ترانسفورماتورها با قدرت‌های مختلف متفاوت است. در ترانسفورماتورهای کوچک جریان بی‌باری تقریباً ۱۰ تا ۲۰ درصد جریان نامی است.

اگر یک ولت‌متر نیز به ثانویه وصل شود، باید ولتاژی بیش از U_2 را نشان بدهد. چرا؟

برای درک بهتر مطالب گفته شده مثال زیر را توضیح می‌دهیم.

مثال: می‌خواهیم یک وسیله‌ی الکتریکی را که با ولتاژ ۱۲۵ ولت کار می‌کند و جریان نامی آن یک آمپر است با ولتاژ ۲۲۰ ولت و ۵۰ هرتس مورد استفاده قرار دهیم. ترانسفورماتور مورد نیاز را محاسبه کنید.

این مثال را به دو روش حل می‌کنیم.

روش اول: در این‌جا محاسبه‌ی این ترانسفورماتور را در ده مرحله تشریح می‌کنیم. بهتر است هنرجویان نیز برای محاسبه‌ی یک ترانسفورماتور به همین ترتیب عمل کنند.

مرحله‌ی اول: مشخص کردن پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی ترانسفورماتور.

با دقت در پارامترهای مربوط به دستگاه الکتریکی، مشخصات مورد نیاز برای محاسبه‌ی ترانسفورماتور به دست می‌آید.

$$U_1 = 220^V$$
$$U_2 = 125^V$$
$$I_2 = 1\ A$$

مرحله‌ی دوم: محاسبه‌ی قدرت اولیه.

قدرت اولیه‌ی ترانسفورماتور را با توجه به قدرت ثانویه و ضریب بهره‌ی آن به دست می‌آوریم.

قدرت ثانویه برابر است با :

$$P_{S_2} = U_2 \times I_2 = 125 \times 1 = 125VA$$

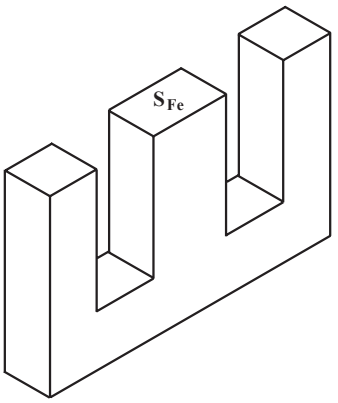
ضریب بهره را برای این نوع ترانسفورماتور ۹۰ درصد انتخاب می‌کنیم ؛ بنابراین، قدرت اولیه برابر می‌شود با :

$$P_{S_1} = \frac{P_{S_2}}{\cdot} = \frac{125}{0/9} = 138/8 \ \& 140\ VA$$

مرحله‌ی سوم: تعیین سطح مقطع هسته.

سطح مقطع واقعی هسته برابر است با :

$$S_{Fe} = ۱/۲\sqrt{P_{S_۱}} = ۱/۲\sqrt{۱۴۰} = ۱۴/۲ \ cm^۲$$



شکل ۳ــ۲

با انتخاب $K_{Fe} = ۰/۹$ سطح ورق‌های ترانسفورماتور مورد نیاز به دست می‌آید.

$$S'_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{K_{Fe}} = \frac{۱۴/۲}{۰/۹} = ۱۵/۷۷ \ cm^۲$$

مرحله‌ی چهارم: محاسبه‌ی دور بر ولت.

با انتخاب $B = ۱۲۰۰۰G$ تعداد دوری را که برای یک ولت نیروی محرکه لازم است، از رابطه‌ی زیر حساب می‌کنیم.

$$n = \frac{۱۰^۸}{۴/۴۴ \times B_{Max} \times f \times S}$$

$$n = \frac{۱۰^۸}{۴/۴۴ \times ۱۲۰۰۰ \times ۵۰ \times ۱۴/۲} = \frac{۳۷/۵۴}{۱۴/۲}$$

$$n = ۲/۶۴ \frac{\text{دور}}{\text{ولت}}$$

مرحله‌ی پنجم: تعیین تعداد دور اولیه.

برای تعیین تعداد دور اولیه، درصد افت ولتاژ را از جدول ۱ــ۲ به دست می‌آوریم. با مشاهده‌ی جدول متوجه می‌شویم که برای ۱۲۵VA، درصد افت ولتاژ داده نشده است اما برای ۱۵۰ ولت‌آمپر مقدار افت ولتاژ ۸ درصد و برای ۱۰۰ ولت آمپر مقدار افت ولتاژ برابر با ۹ درصد است. در واقع، به ازای افزایش ۵۰ = (۱۰۰−۱۵۰) ولت آمپر به قدرت ترانسفورماتور، به‌اندازه‌ی ۱ = (۸ − ۹) درصد از افت ولتاژ آن کم می‌شود. حال می‌توان گفت اگر ۲۵ = (۱۰۰−۱۲۵) ولت‌آمپر به قدرت افزوده شود، افت ولتاژ به اندازه‌ی $\frac{۲۵ \times ۱}{۵۰} = ۰/۵$ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین، درصد افت ولتاژ برای قدرت ۱۲۵VA برابر با ۸/۵ = (۹ − ۰/۵) درصد می‌شود که از این مقدار با توجه به مقاومت سیم‌پیچ‌ها به طور نسبی برای سیم‌پیچ اولیه حدود ۵ درصد و برای سیم‌پیچ ثانویه ۳/۵ درصد منظور می‌کنیم* ؛ بنابراین، تعداد دور اولیه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$N_۱ = n \times U_۱(۱ - \Delta U_{۱}\%)$$

$$N_۱ = ۲/۶۴ \times ۲۲۰ (۱ - ۰/۰۵) = ۵۵۱/۷۶ \ \& ۵۵۲ \text{ دور}$$

مرحله‌ی ششم: تعیین تعداد دور ثانویه.

همان‌طور که در محاسبه‌ی تعداد دور اولیه توضیح دادیم، برای قسمت ثانویه، افت ولتاژ را برابر با ۳/۵ درصد در نظر می‌گیریم ؛ بنابراین :

$$N_۲ = n \times U_۲(۱ + \Delta U_{۲}\%)$$

$$N_۲ = ۲/۶۴ \times ۱۲۵(۱ + ۰/۰۳۵) = ۳۴۱/۵۵ \ \& ۳۴۲$$

مرحله‌ی هفتم: محاسبه‌ی قطر اولیه.

برای محاسبه‌ی قطر سیم، ابتدا چگالی جریان را برای این ترانسفورماتور از جدول ۲ــ۲ پیدا می‌کنیم. چگالی جریان برای ترانسفورماتورهای از قدرت ۱۰۰ تا ۲۰۰ ولت آمپر برابر با $J = ۳ \frac{A}{mm^۲}$ به دست می‌آید. علاوه بر این، جریان اولیه نیز مورد نیاز است که با داشتن قدرت و ولتاژ اولیه به راحتی می‌توان آن را پیدا کرد.

$$I_۱ = \frac{P_{S_۱}}{U_۱} = \frac{۱۴۰VA}{۲۲۰V} = ۰/۶۳A$$

اکنون قطر سیم اولیه را به راحتی به دست می‌آوریم.

$$d_۱ = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_۱}{J}}$$

* نسبت تقسیم درصد افت ولتاژ اختیاری است.

$$d_1 = 1/13\sqrt{\frac{0/63}{3}} = 0/51\text{mm}$$ میلی‌متر

چون سیم با قطر ۰/۵۱ میلی‌متر وجود ندارد، از روی جدول ۳ــ۲ نزدیک‌ترین عدد استاندارد بزرگ‌تر از آن ــ یعنی $d = 0/55$ ــ را انتخاب می‌کنیم.

مرحله‌ی هشتم: محاسبه‌ی قطر سیم ثانویه.

با داشتن چگالی جریان $J = 3\frac{A}{mm^2}$ و جریان ثانویه $I_2 = 1A$ ، قطر سیم ثانویه را محاسبه می‌کنیم.

$$d_2 = 1/13\sqrt{\frac{I_2}{J}}$$

$$d_2 = 1/13\sqrt{\frac{1}{3}} = 0/65\text{mm}$$

این سیم استاندارد و موجود است.

مرحله‌ی نهم: انتخاب ورق استاندارد شده برای ترانسفورماتور.

برای انتخاب ورق ابتدا باید سطح پنجره‌ی مورد نیاز را به‌دست آوریم. در این ترانسفورماتور باید برای اولیه ۵۵۲ دور سیم با قطر ۰/۵۰ میلی‌متر و برای ثانویه ۳۴۲ دور سیم با قطر ۰/۶۵ میلی‌متر پیچیده شود. از جدول ۳ــ۲ برای قطر اولیه $d_1 = 0/50$ ، عدد $300\frac{\text{دور}}{cm^2}$ و برای قطر ثانویه $d_2 = 0/65$ ، عدد $180\frac{\text{دور}}{cm^2}$ بدست می‌آید.

بنابراین :

$$F_1 = \frac{552}{300} = 1/84\,cm^2$$

و

$$F_2 = \frac{342}{180} = 1/9\,cm^2$$

می‌شود. سطح اشغال شده توسط دو سیم‌پیچ برابر است با :

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 1/84 + 1/9 = 3/74\,cm^2$$

برای عایق‌های بین سیم‌پیچ‌ها و فضای مرده و ضخامت قرقره نیز ۳۵ درصد به سطح لازم جهت سیم‌پیچ اضافه می‌کنیم. در نتیجه، سطح کل لازم برابر می‌شود با :

$$F_T = (1/35) \times F$$

$$F_T = 1/35 \times 3/74 = 5/05\,cm^2$$

پس از پیدا کردن سطح لازم، با توجه به جدول‌های ۴ــ۲ و ۵ــ۲ نزدیک‌ترین ورق استانداردی که سطح پنجره‌ی آن از F بیش‌تر باشد ــ یعنی، ورق EI۷۸ که در آن $e = 39\text{mm}$ و $g = 13\text{mm}$ است ــ به دست می‌آید.

$$g \times e \quad \%F_T$$

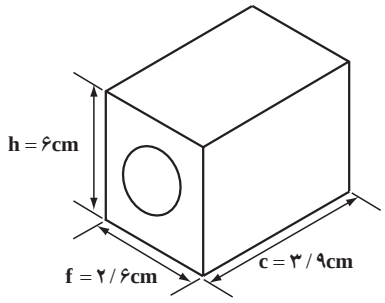
$$3/9 \times 1/3 = 5/07 \quad . \quad 5/05\,cm^2$$

همان‌طور که می‌بینید، سطح پنجره‌ی ورق EI۷۸ با سطح مورد نیاز تفاوت ناچیزی دارد. بنابراین، باید دقت کرد که در هنگام سیم‌پیچی فضای مرده ایجاد نشود.

مرحله‌ی دهم: انتخاب قرقره‌ی مناسب.

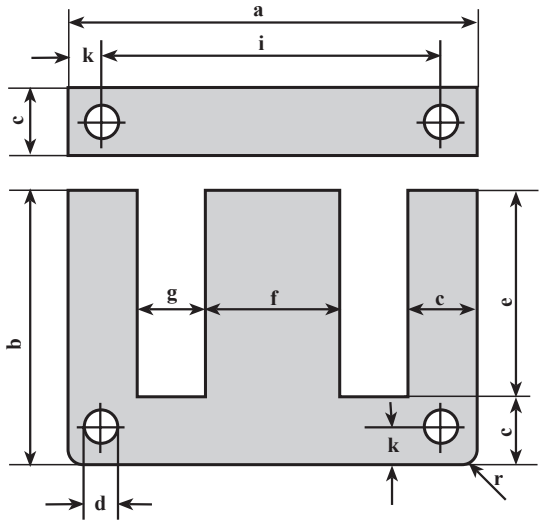
قرقره‌ی مناسب EI۷۸ را انتخاب می‌کنیم.

قالب چوبی برای بستن قرقره به دستگاه بوبین پیچ باید به‌شکل مکعب مستطیل با مقطع ۲۶×۶۰ و طول ۳۹ میلی‌متر باشد.



شکل ۴ــ۲

جدول‌های ۴ــ۲ و ۵ــ۲ اندازه‌ی ورق‌های ترانسفورماتور با قطع EI بر حسب mm را نشان می‌دهند.



EI بر حسب mm

h ــ ضخامت استاندارد ورقه‌ها

L_E ــ طول متوسط خطوط قوا

S ــ ضخامت هر ورق

جدول ۴ــ۲ ــ برای ورق‌های ترانسفورماتور با مشخصات g = c و f = ۲c (مقادیر برحسب mm)

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

جدول ۵ــ۲ــ برای ورق‌های ترانسفورماتور با مشخصات c . g و f = ۲c (مقادیر برحسب mm)

	EI ۹۲a	EI ۹۲b	EI ۱۰۶a	EI ۱۰۶b	EI ۱۳۰a	EI ۱۳۰b	EI ۱۵۰a	EI ۱۵۰b	EI ۱۷۰a							
a	۹۲	۹۲	۱۰۶	۱۰۶	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۷۰							
b	۶۲/۵	۶۲/۵	۷۰/۵	۷۰/۵	۸۷/۵	۸۷/۵	۱۰۰	۱۰	۱۱۴							
c	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۷/۵	۱۷/۵	۲۰	۲۰	۲۸							
d	۴/۵	۴/۵	۵/۵	۵/۵	۶/۸	۶/۸	۷/۸	۷/۸								
e	۵۱	۵۱	۵۶	۵۶	۷۰	۷۰	۸۰	۸۰	۸۵							
f	۲۳	۲۳	۲۹	۲۹	۳۵	۳۵	۴۰	۴۰	۵۷							
g	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۳۰	۳۰	۳۵	۳۵	۲۸/۵							
h	۲۴/۵	۳۳/۵	۳۳/۵	۴۶/۵	۳۷/۷	۴۷/۷	۴۱/۷	۵۱/۷								
i	۸۲	۸۲	۹۴	۹۴	۱۱۵	۱۱۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۴۲							
k	۵	۵	۶	۶	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۱۴							
L_E	۱۹۴	۱۹۴	۲۱۸	۲۱۸	۲۷۰	۲۷۰	۳۱۰	۳۱۰								
r	۵	۴	۵	۵	۶	۶	۶	۶	۶							
s	۰/۳۵ یا ۰/۵															

روش دوم: اگر به قرقره‌ای که به روش اول طراحی شده است دقت کنید، ملاحظه خواهید کرد که سطح آهن داخل قرقره مستطیلی است با ابعاد ۶۰×۲۶ میلی‌متر و ارتفاع h = ۶۰ میلی‌متر که استاندارد نیست و باعث می‌شود که ترانسفورماتور تمام شده از نظر اندازه‌های خارجی مناسب نباشد.

روش دوم استفاده از ارتفاع استاندارد برای ورقه‌های ترانسفورماتور است. مثال قبلی را با این روش در یازده مرحله حل می‌کنیم.

مرحله‌ی اول: مشخص کردن پارامترهای مورد نیاز، مطابق روش قبل است.

مرحله‌ی دوم: قدرت اولیه نیز به روش قبلی برابر با $P_{S_1} = ۱۴۰VA$ می‌شود.

مرحله‌ی سوم: سطح مقطع آهن خالص نیز برابر با $S_{Fe} = ۱/۲\sqrt{P_1} = ۱۴/۲cm^۲$ و سطح ورق‌های ترانسفورماتور مورد نیاز برابر با $S'_{Fe} = \frac{۱۴/۲}{۰/۹} = ۱۵/۷۷cm^۲$ است.

مرحله‌ی چهارم: انتخاب نوع ورق ترانسفورماتور.

در این مرحله، با توجه به سطح مقطع مورد نیاز ورقه‌های ترانسفورماتور S'_{Fe}، از جدول EI ورق استاندارد را به‌دست می‌آوریم.

در این جدول ارتفاع استاندارد ورقه‌هایی که باید روی‌هم قرار بگیرند، در ردیف h داده شده است.

با جست‌وجو در جدول، ورقی را انتخاب می‌کنیم که حاصل‌ضرب $f \times h$ آن با S'_{Fe} مساوی یا کمی بیش‌تر باشد. برای مثال مورد نظر از جدول EI ۵ــ۲ ورق EI۱۳۰ انتخاب می‌شود. برای این ورق f = ۳۵ میلی‌متر و دو ارتفاع h = ۳۷/۷ و h = ۴۷/۷ میلی‌متر استاندارد است که ما باید h = ۴۷/۷ میلی‌متر را انتخاب کنیم.

$f \times h = ۳/۵ \times ۴/۷۷ = ۱۶/۷cm^۲ \quad . \quad ۱۵/۷۷cm^۲$

به علاوه، در همین جدول، برای ورق EI۱۲۰ نیز f = ۴۰ میلی‌متر و h = ۴۲ میلی‌متر درداده شده که $f \times h = ۴/۰ \times ۴/۲ = ۱۶/۸cm^۲ \quad . \quad ۱۵/۷۷cm^۲$ است. پس از مقایسه‌ی این دو، باید ورقه‌ی ترانسفورماتور EI۱۲۰ را که اقتصادی‌تر است انتخاب کنیم.

سطح آهن خالص این ورقه برابر است با :

$$S_{Fe} = S'_{Fe} \times K_{Fe} = ۱۶/۸ \times ۰/۹ = ۱۵/۱۲ cm^۲$$

مرحله‌ی پنجم: محاسبه‌ی دور بر ولت.

$$n = \frac{۳۷/۵۴}{S_{Fe}} = \frac{۳۷/۵۴}{۱۵/۱۲} = ۲/۴۸ \frac{\text{دور}}{\text{ولت}}$$

مرحله‌ی ششم: تعیین تعداد دور اولیه.

افت ولتاژ را مطابق مطالب گفته شده در روش اول، برای اولیه ۵ درصد انتخاب می‌کنیم ؛ بنابراین :

$$N_۱ = n \times U_۱(۱ - \Delta U_۱)$$

$$N_۱ = ۲/۴۸ \times ۲۲۰(۱ - ۰/۰۵) = ۵۱۸/۳ \text{ دور } ۵۱۸$$

مرحله‌ی هفتم: تعیین تعداد دور ثانویه.

درصد افت ولتاژ برای ثانویه ــ همان‌طور که گفته شد ــ ۳/۵ درصد منظور می‌شود.

$$N_۲ = n \times U_۲(۱ + \Delta U_۲)$$

$$N_۲ = ۲/۴۸ \times ۱۲۵(۱ + ۰/۰۳۵) = ۳۲۰/۸۵ \text{ دور } ۳۲۱$$

مرحله‌ی هشتم: محاسبه‌ی قطر سیم اولیه.

مطابق روش اول و با انتخاب $J = ۳ \frac{A}{mm^۲}$ قطر سیم اولیه برابر $d_۱ = ۰/۵۰$ می‌شود.

مرحله‌ی نهم: محاسبه‌ی قطر سیم ثانویه.

قطر سیم ثانویه نیز برابر با $d_۲ = ۰/۶۰$ می‌شود.

مرحله‌ی دهم: بررسی مجدد اندازه‌ی پنجره‌ی قرقره.

در این مرحله، باید پنجره‌ی ورق انتخاب شده (EI۱۲۰) را بررسی کنیم و ببینیم که گنجایش سیم‌های اولیه و ثانویه و عایق‌ها را دارد یا نه. شیوه‌ی بررسی را در روش اول تشریح کرده‌ایم. در این‌جا نتیجه‌ی محاسبات را توضیح می‌دهیم.

$$F_۱ = \frac{۵۱۸}{۳۰۰} = ۱/۷۳ cm^۲$$

$$F_۲ = \frac{۳۲۱}{۲۱۰} = ۱/۵۳ cm^۲$$

$$F = F_۱ + F_۲ = ۱/۷۳ + ۱/۵۳ = ۳/۲۶ cm^۲$$

$$F_T = ۱/۳۵ \times ۳/۲۶ = ۴/۴ cm^۲$$

سطح مورد نیاز برابر با ۴/۴ سانتی‌متر مربع است. ورق EI۱۲۰ پنجره‌ای به ابعاد $e = ۲$ و $g = ۶$ سانتی‌متر دارد. بنابراین، سطح آن $۶ \times ۲ = ۱۲$ سانتی‌متر مربع می‌شود که از سطح مورد نیاز خیلی بیش‌تر است و فضای خالی زیادی باقی می‌ماند. بنابراین، نتیجه می‌گیریم که استفاده از این ورق حجم آهن به کار رفته و حجم ترانسفورماتور را افزایش می‌دهد.

همان‌طور که گفتیم، برای محاسبه‌ی سطح مقطع آهن خالص ضریب $K = ۱/۲$ ــ یعنی بیش‌ترین مقدار ــ را انتخاب کردیم. در نتیجه، سطح آهن خالص زیاد و دور بر ولت کم شد. اگر برای K عدد کم‌تری ــ مثلاً یک ــ را انتخاب کنیم سطح آهن خالص کم‌تر و دور بر ولت بیش‌تر می‌شود و ورق کوچک‌تری به کار خواهد رفت (مثلاً EI۱۰۸).

مرحله‌ی یازدهم: طراحی قرقره‌ی ترانسفورماتور یا انتخاب قرقره‌ی مناسب.

قرقره‌ی این ترانسفورماتور نیز به همان روش‌های قبلی طراحی می‌شود.

مقایسه روش اول و دوم: با توجه به مثال‌های گفته شده، در روش اول مقدار سیم مصرفی نسبت به روش دوم بیش‌تر (به دلیل زیاد شدن عدد دور بر ولت و هم‌چنین بزرگ شدن طول متوسط یک حلقه) و مقدار آهن مصرفی کم‌تر می‌شود.

در صورتی که استفاده از هسته‌ی استاندارد الزامی نباشد، پس از بررسی باید روشی را که اقتصادی‌تر باشد، انتخاب کنیم.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

سیم‌پیچی ترانسفورماتور با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور را با استفاده از جدول محاسبه کند.

۲ــ با استفاده از منحنی، سطح مقطع آهن موردنیاز را به‌دست آورد.

۳ــ با استفاده از منحنی، قطر سیم موردنیاز را به‌دست آورد.

۴ــ ترانسفورماتور یک فاز را براساس نیاز بازار سیم‌پیچی و آزمایش کند.

۳ــ سیم‌پیچی ترانسفورماتور با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها

در بحث‌های قبلی، روش محاسبه‌ی یک ترانسفورماتور را با استفاده از روابط و فرمول‌ها بیان کردیم. در این‌جا می‌خواهیم با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها، یک ترانسفورماتور را طراحی کنیم.

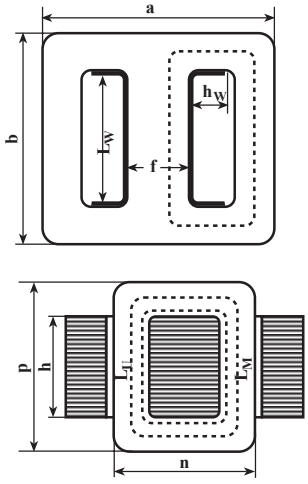
استفاده از این جداول و منحنی‌ها، برای ولتاژ و قدرت‌های متداول باعث صرفه‌جویی در وقت می شود. این جداول و منحنی‌ها را می‌توان در نمونه‌های مختلفی تهیه و از آن‌ها استفاده کرد.

البته ممکن است بعضی از این جداول یا منحنی‌ها با یک‌دیگر هماهنگ نباشند. برای مثال، سطح مقطع هسته در دو جدول مختلف، متفاوت باشد که این مسئله به‌دلیل تفاوتی است که در ضرایب محاسبه وجود داشته است ولی در هر حال نتیجه‌ی عمل یکسان خواهد بود ؛ زیرا مثلاً با زیاد شدن مقداری به سطح هسته‌ی آهن، تعداد دور بر ولت کم می‌شود و نتیجه را ثابت نگه می‌دارد.

در این‌جا چند نمونه محاسبه‌ی ترانسفورماتور توسط منحنی یا جدول آمده است.

در جدول ۱ــ۳ کلیه‌ی محاسبات و مشخصات مهم ترانسفورماتورهایی که دارای قدرت متداول تا ۳۵۰۰VA هستند، داده شده است.

در شکل ۱ــ۳ نیز همه‌ی مشخصات ورق ترانسفورماتور و قرقره که در این جدول به‌کار رفته، آمده است.



شکل ۱ــ۳ــ اندازه‌های ترانسفورماتور برای جدول ۱ــ۳

برای مثال، اگر بخواهیم یک ترانسفورماتور کوچک با قدرت ۱۲۵ ولت آمپر، ولتاژ اولیه‌ی ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه‌ی ۴ولت را محاسبه کنیم، از روی جدول۱ــ۳در ستون مربوط به عدد ۱۲۵VA، تعداد دور بر ولت ۳/۹۸ و درصد افت ولتاژ در بار کامل ۷/۵ درصد به‌دست می‌آید که ۴/۵ درصد را برای اولیه و ۳ درصد برای سیم‌پیچ ثانویه درنظر می‌گیریم.

جدول ۱ــ۳ــ مشخصات ترانسفورماتورهای از ۲۵ VA تا ۳۵۰۰ VA

اندازه‌های مختلف ورق	b	۵۵	۷۴	۸۸	۱۰۵		۱۲۰		۱۴۰		۱۸۰		۲۰۹		۳۰۰				
و قرقره مطابق شکل	a	۷۰	۹۲	۱۰۵	۱۳۰		۱۵۰		۱۷۰		۱۹۵		۲۹۱		۳۰۰				
ـــــ	h	۲۱/۷	۳۳/۵	۳۳/۵	۳۷/۷	۴۷/۷	۴۱/۷	۵۱/۷	۶۱/۷	۶۶/۷	۷۶/۷	۵۷/۷	۷۰/۷	۸۵/۷	۶۴/۷	۸۰/۷	۹۸/۷	۷۹/۷	
	f	۱۷	۲۳	۲۹	۳۵		۴۰		۴۵		۵۵		۶۵		۸۰				
	n	۵۱/۵	۶۲/۵	۷۵/۵	۹۲		۱۰۷		۱۲۱		۱۳۶		۱۵۹		۲۱۷				
	p	۶۲	۸۴	۸۸	۱۰۵	۱۱۵	۱۲۲	۱۳۲	۱۴۲	۱۶۱	۱۷۱	۱۶۲	۱۷۵	۱۹۰	۱۶۷	۱۸۳	۲۰۲	۲۳۵	
قدرت ثانویه P_2	VA	۲۵	۹۵	۱۲۵	۲۵۰	۳۲۰	۳۷۰	۴۵۰	۵۵۰	۷۵۰	۸۸۰	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۷۵۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۵۰۰	
طول مؤثر قرقره	mim	۳۳/۵	۴۴	۴۹	۶۵		۷۱		۸۵				۱۱۵		۱۳۱			۲۰۷	
ارتفاع سیم‌پیچ	mm	۱۶	۲۱	۲۱	۲۵/۵		۳۰/۵		۳۴/۵				۳۶/۵		۴۳			۶۴	
محیط سیم‌پیچ زیری L_u	m	۰/۰۸۹	۰/۱۲۴	۰/۱۳۵	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۸۷	۰/۲۰۷	۰/۲۲۷	۰/۲۵۲	۰/۲۷۲	۰/۲۵۶		۰/۳۱۱	۰/۲۸۸	۰/۳۲۰	۰/۳۶	۰/۳۵۴	
محیط متوسط سیم‌پیچ L_m	m	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۲۰۲	۰/۲۴۳	۰/۲۶۳	۰/۲۸۲	۰/۳۰۲	۰/۳۲۲	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۷		۰/۴۲۵	۰/۴۲۳	۰/۴۵۵	۰/۴۹۵	۰/۵۵۵	
طول مؤثر خطوط قوا	cm	۱۴/۶	۱۹/۴	۲۲	۲۷		۳۱		۳۶				۴۴/۵		۵۱/۹			۷۴	
سطح مقطع آهن	cm^2	۳/۳۳	۷/۸۷	۸/۷۱	۱۱/۸۵	۱۵	۱۵	۱۸/۵	۲۲/۲	۲۷	۳۱/۱	۲۸/۶	۳۵/۰	۴۲/۵	۳۷/۸	۴۷/۳	۵۸/۳	۵۷/۶	
وزن آهن	kg	۰/۳۴۷	۰/۹۸	۱/۴۱۹	۲/۳۵	۳/۰۱	۳/۴۹	۴/۳۷	۵/۲۱	۷/۳	۸/۳۹	۸/۳۵	۱۱/۴۸	۱۴/۰۲	۱۴/۸	۱۸/۴۵	۲۲/۷۴		
تعداد ورق آهن (ضخامت ۰/۵)	ــ	۳۹	۶۰	۶۰	۶۸	۸۷	۷۵	۹۴	۱۱۲	۱۲۰	۱۳۸	۱۰۲	۱۲۶	۱۵۳	۱۱۷	۱۴۵	۱۸۰	۴۳۸/۱۴۶	
تعداد ورق آهن (ضخامت ۰/۳۵)	ــ	۵۸	۸۵	۸۵	۹۷	۱۲۴	۱۰۷	۱۳۴	۱۵۰	۱۷۲	۱۹۷	۱۴۶	۱۸۰	۲۱۹	۱۶۷	۲۰۹	۲۵۸		
تلفات آهنی (ضخامت ۰/۵)	W	۱/۳۵	۳/۸	۵/۵	۱۰/۲۳	۱۲/۹	۱۵/۲۲	۱۸/۸۵	۲۲/۵	۳۱/۸	۳۶/۶	۴۱/۶	۵۰/۸	۶۱/۵	۶۳/۹	۷۹/۸	۹۹	۱۳۵	
تلفات آهنی (ضخامت ۰/۳۵)	W	۰/۲۷	۲/۴۶	۳/۵۶	۶/۴۶	۸/۱۷	۹/۸	۱۲/۱۲	۱۴/۴۵	۲۰/۴۵	۲۳/۵	۲۶/۸	۳۲/۷	۳۹/۶	۴۱/۱	۵۱/۳	۶۹/۷	۸۴	
ولت بر دور	V / Wdg.	۰/۰۹۶	۰/۱۹۹	۰/۲۵۲	۰/۳۴۳	۰/۴۳۳	۰/۴۳۳	۰/۵۳۶	۰/۶۴	۰/۷۷۹	۰/۸۹۷	۰/۸۲۵	۱/۰۱	۱/۲۲۸	۱/۰۹	۱/۳۵۵	۱/۶۸۲	۱/۶۶۶	
دور بر ولت	Wdg./V	۱۰/۴۲	۵/۰۲	۳/۹۸	۲/۹۲	۲/۳۱	۲/۳۱	۱/۸۶	۱/۵۶	۱/۲۸	۱/۱۱۳	۱/۲۱۲	۰/۹۱	۰/۸۱۵	۰/۹۱۸	۰/۷۳۳	۰/۵۹۵	۰/۵	
حداکثر تراکم جریان	A / mm^2	۲/۹	۲/۶۵	۲/۵۵	۲/۲	۲/۱	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳۵	۱/۲۵	۱/۱۵	۱/۱	۱/۰۵	۱	۰/۸۵	
درصد افت ولتاژ در بار ماکزیمم	٪	۱۵	۹	۷/۵	۶	۵	۵	۴	۴	۳	۲	۲	۱/۵	۱/۵	۲	۱/۵	۱/۵	۱	
درصد جریان بی‌باری نسبت به جریان نامی	٪	۲۲	۱۶	۱۵/۶	۱۴/۵	۱۲	۱۳/۱	۱۴/۴	۱۴/۱	۱۴/۶	۱۴/۱	۱۴/۳	۱۴/۱	۱۴/۲۵	۱۲/۶	۱۳/۸۵	۱۳/۷۵	۱۳	
درصد ضریب بهره	٪	۸۲/۶	۸۸/۸	۸۹/۶	۹۱	۹۲	۹۱/۴	۹۲/۶	۹۲/۸	۹۳/۷	۱۴/۱	۹۴/۱	۹۴	۹۴/۷	۹۴/۸	۹۴/۸	۹۵/۱	۹۵/۵	
ضریب قدرت اولیه $\cos\varphi$	ــ	۰/۹۷	۰/۹۷۵	۰/۹۷۹	۰/۹۹	۰/۹۹۱	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۴	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۵	۰/۹۹۱	۰/۹۹۲	
تلفات مسی	W	۳/۵	۸	۹	۱۳/۸	۱۶/۵	۱۷/۵	۱۸/۵	۲۰/۶	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲/۵	۲۹	۲۶	۲۷	۳۵	
وزن مس	kg	۰/۲۲	۰/۵۹	۰/۶۹	۱/۷	۲/۰۰	۲/۹	۳/۲	۳/۵	۵	۵/۶	۷/۰	۷/۹	۸/۷	۱۱/۵	۱۲/۲	۱۴/۵	۳۰/۷	
سطح مقطع کل سیم‌پیچ مسی	mm^2	۱۷۵	۳۵۲	۳۸۵	۷۸۰	۸۲۱	۱۰۸۵	۱۰۲۷	۱۰۳۸	۱۴۵۰	۱۵۵۶	۲۰۴۰	۲۲۰۰	۲۱۸۲	۲۹۰۰	۲۸۴۰	۳۰۹۰	۶۲۳۰	
فضای قابل استفاده‌ی قرقره	٪	۳۹	۳۷	۳۷/۵	۴۵/۲	۴۷/۸	۵۰	۴۷/۳	۴۸	۵۰	۵۲	۴۷/۳	۵۱	۵۱	۵۲	۵۱	۵۵	≈ ۵۰	

درنتیجه :

$$N_1 = U_1 \times n(1 - \Delta U_1 -)$$

دور ۸۴۰ & $N_1 = ۲۲۰ \times ۳/۹۸(۱ - ۰/۰۴۵)$

$$N_2 = n \times U_2(1 + \Delta U_2 -)$$

دور ۱۷ & $N_2 = ۳/۹۸ \times ۴(۱ + ۰/۰۳)$

اندازه‌های لازم دیگر برای هسته و ساختن قرقره نیز درهمین جدول آمده است.

علاوه‌بر جدول ۱ــ۳ از منحنی‌های شماره‌ی ۱ــ۳ و ۲ــ۳ و ۳ــ۳ نیز می‌توان برای طراحی یک ترانسفورماتور استفاده کرد. این منحنی‌ها برمبنای محاسبات ذکر شده طوری طراحی شده‌اند که محاسبه‌ی یک ترانسفورماتور در فرکانس ۵۰ هرتس و دو نوع اندوکسیون ۱۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ گوس به‌راحتی امکان‌پذیر باشد. در عمل می‌توان از اندوکسیون ۱۲۰۰۰ گوس استفاده کرد. در این محاسبات، ۲/۵ آمپر بر میلی‌متر مربع برای سیم‌مسی درنظر گرفته شده است.

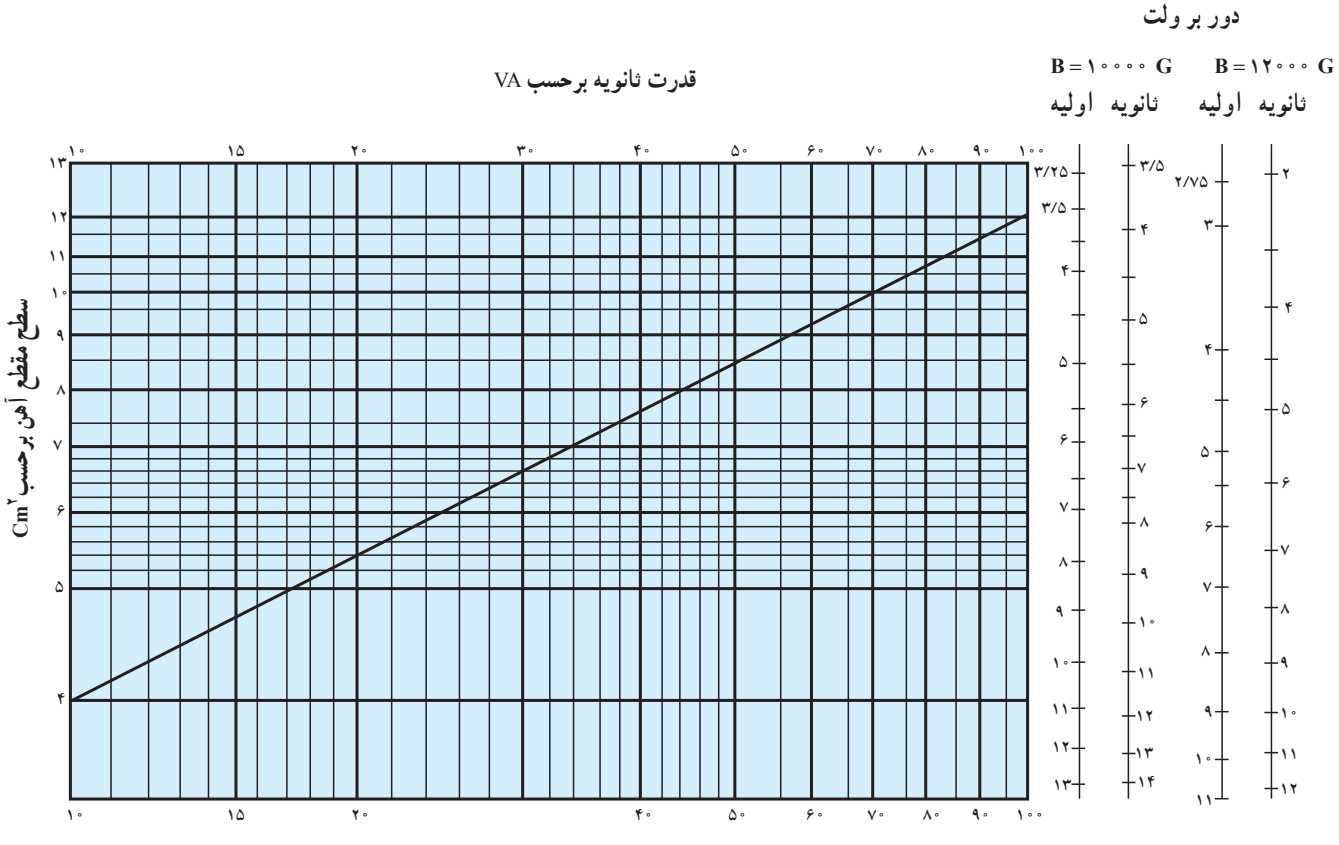
روش استفاده از این منحنی‌ها را با ذکر یک مثال روشن می‌کنیم.

مثال: مطلوب است محاسبه‌ی ترانسفورماتوری که در آن سیم‌پیچ اولیه به ولتاژ ۲۲۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتس وصل شود و ثانویه‌ی آن ولتاژی برابر با ۲۵۰ ولت با جریانی برابر ۶۰ میلی‌آمپر و هم‌چنین ولتاژ دیگر ۶/۳ ولت با جریان ۱/۲ آمپر بدهد.

راه حل: برای محاسبه‌ی این ترانسفورماتور، ابتدا باید قدرت ثانویه را به‌دست آوریم.

$$P_{S_2} = ۲۵۰ \times \frac{۶۰}{۱۰۰۰} + ۶/۳ \times ۱/۲ = ۲۲/۵۶ VA$$

در منحنی شماره‌ی ۱ــ۳ قدرت ثانویه‌ی به‌دست آمده را پیدا کرده و آن را در روی خط عمود دنبال می‌کنیم تا خط مورب جدول را قطع کند. در سمت چپ محل قطع شده، حداقل مقدار سطح مقطع آهن لازم داده شده است.



منحنی ۱ــ۳ــ سطح مقطع آهن به نسبت توان

برای این مثال، از منحنی ۱ــ۳ حداقل سطح مقطع آهن برابر با ۵/۷ سانتی‌متر مربع به‌دست می‌آید که ما ۶ سانتی‌متر مربع را انتخاب می‌کنیم.

در سمت راست این منحنی و در مقابل سطح مقطع آهن به‌دست آمده، مقدار دور بر ولت پریمر و زگندر (اولیه و ثانویه) برای اندوکسیون‌های مختلف داده شده است. بنابراین، با انتقال سطح مقطع آهن انتخاب شده به سمت راست منحنی، مقدار دور بر ولت اولیه ۵/۸ و دور بر ولت ثانویه ۶/۵، برای اندوکسیون ۱۲۰۰۰ گوس به‌دست می‌آید.

توجه داشته باشید که در این منحنی، افت ولتاژهای اولیه و ثانویه، در محاسبه‌ی دور بر ولت منظور شده است و مانند محاسبه‌های قبلی به پیدا کردن مجدد آن‌ها نیاز نیست. بنابراین، دور اولیه برابر است با :

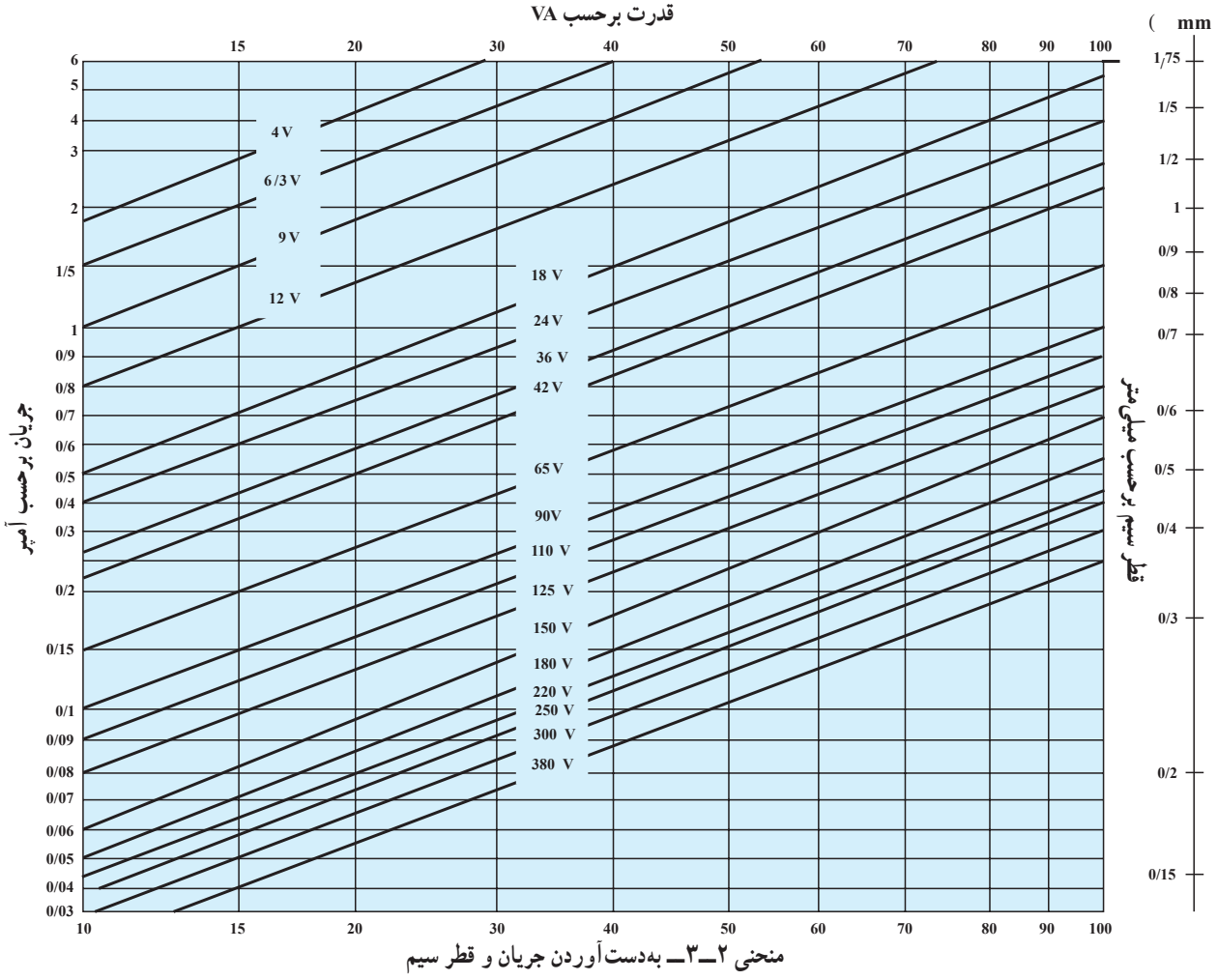
$$N_1 = ۵/۸ \times ۲۲۰ = ۱۲۷۶ \text{ دور}$$

برای تعداد دورهای ثانویه نیز از دو سیم‌پیچ مجزا استفاده می‌کنیم که تعداد دور آن‌ها برابر است با :

$$N_{21} = ۶/۳ \times ۶/۵ = ۴۱ \text{ دور}$$

$$N_{22} = ۲۵۰ \times ۶/۵ = ۱۶۲۵ \text{ دور}$$

برای به‌دست آوردن قطر سیم‌های اولیه و ثانویه می‌توانیم از منحنی شماره‌ی ۲ــ۳ استفاده کنیم.



منحنی ۲ــ۳ــ به‌دست‌آوردن جریان و قطر سیم

در این منحنی، با داشتن قدرت هر قسمت از سیم‌پیچ و ولتاژ موردنظر، جریان و قطر سیم برای چگالی جریان $۲/۵ \frac{A}{mm^2}$ به‌دست می‌آید. در صورت داشتن جریان هر قسمت نیز به‌سادگی می‌توان قطر سیم را پیدا کرد.

توجه داشته باشید که در این ترانسفورماتورها با اضافه کردن تقریبی ۲۰ درصد به قدرت ثانویه می‌توانید قدرت اولیه را به‌دست آورید. بنابراین، قدرت اولیه تقریباً برابر است با :

$$P_{S1} = P_{S2} + \text{-}\ ۲۰ \times P_{S2}$$

$$P_{S1} = ۲۲/۵۶ + \frac{۲۰}{۱۰۰} \times ۲۲/۵۶ = ۲۷ \text{ ولت آمپر}$$

حال می‌توانیم ۲۷ ولت‌آمپر را روی خط مدرج افقی بالای منحنی پیدا کنیم و آن را روی خط عمودی ادامه دهیم‌تا خط مورب مربوط به ۲۲۰ ولت را قطع کند. به این ترتیب، در سمت چپ، جریان اولیه و در سمت راست قطر سیم اولیه معلوم می‌شود.

با انجام دادن این کار، قطر سیم اولیه پس از استاندارد کردن $d_1 = ۰/۲۵$ میلی‌متر به دست می‌آید. قطر سیم‌های ثانویه نیز از روی جریان‌های ثانویه و با استفاده از همین دیاگرام مشخص می‌شود.

$$d_{21} = ۰/۸۰$$

سیم انتخابی ۰/۲۰ می‌باشد $\Rightarrow d_{22} = ۰/۱۷$

پس از تعیین قطر سیم‌ها، باید نوع ورق و قرقره را تعیین کرد. به‌علاوه، درصورت استفاده از قرقره‌ی استاندارد باید کنترل کنید که آیا سیم‌های به‌دست آمده با عایق در داخل قرقره جای می‌گیرند یا نه. به‌هر حال، برای هریک از این حالت‌ها مطابق آن‌چه در محاسبه‌های قبلی گفته شد، باید سطحی را که سیم‌ها اشغال می‌کنند، به‌دست آورد. برای این کار می‌توانیم از جدول ۱ــ۳ یا منحنی شماره‌ی ۳ــ۳ استفاده کنیم. روش استفاده از جدول را پیش از این گفته‌ایم و حال به بررسی منحنی ۳ــ۳ می‌پردازیم. در این منحنی، محور مدرج عمودی قطر سیم و محور مدرج افقی تعداد دوری را که در یک سانتی‌متر مربع می‌توان جای داد، نشان می‌دهد.

بنابراین، درمورد مثال موردنظر اعداد تقریبی زیر از منحنی ۳ــ۳ به‌دست می‌آیند.

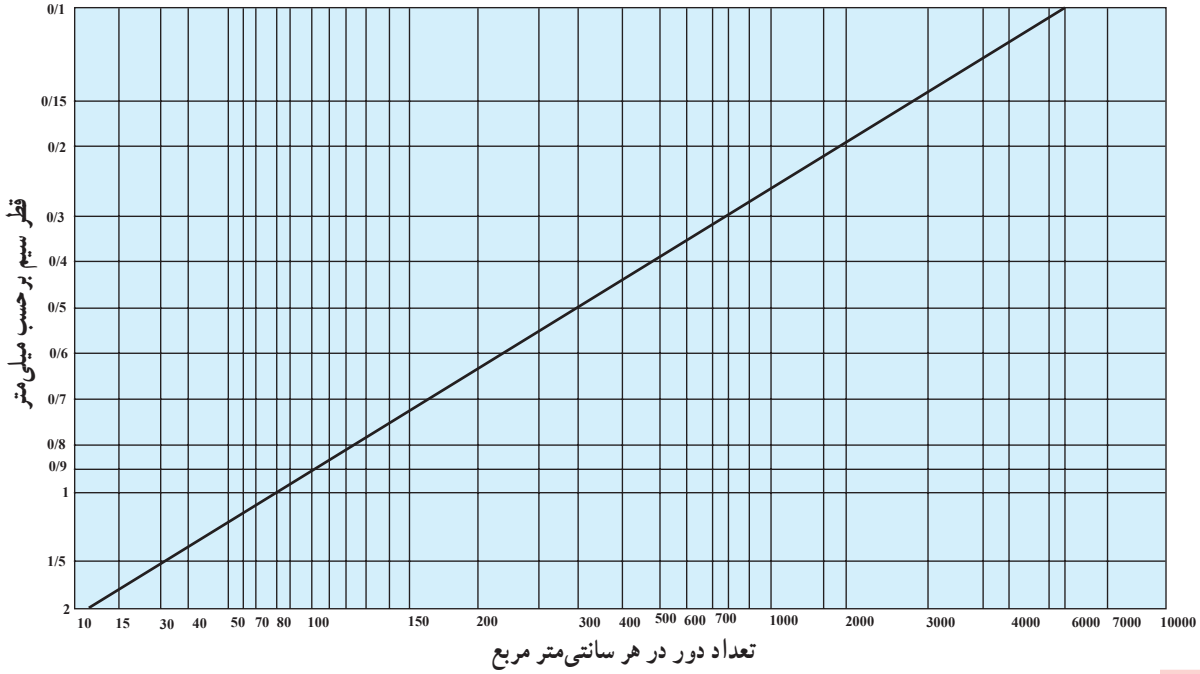
$$d = ۰/۲۵ \overset{\text{از منحنی}}{\Rightarrow} \frac{\text{دور}}{\text{سانتی‌متر مربع}} \quad ۱۱۰۰$$

$$d = ۰/۲۰ \overset{\text{از منحنی}}{\Rightarrow} \frac{\text{دور}}{\text{سانتی‌متر مربع}} \quad ۱۷۰۰$$

$$d = ۰/۸۰ \overset{\text{از منحنی}}{\Rightarrow} \frac{\text{دور}}{\text{سانتی‌متر مربع}} \quad ۱۲۰$$

سپس می‌توان به همان روشی که قبلاً گفته شد، سطح لازم برای هر قطر و سپس سطح پنجره‌ی لازم را به‌دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد.

سایر محاسبات نیز مطابق روش قبلی انجام می‌شود.



منحنی ۳ــ۳ــ به‌دست‌آوردن فضای اشغالی سیم‌پیچ

کار عملی ۱

ترانسفورماتوری بسازید که اولیه‌ی آن به ولتاژ ۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰Hz وصل شود و ثانویه‌ی آن دارای ولتاژ ۲۵ ولت و جریان دو آمپر باشد.

هنگام پیچیدن سیم ثانویه بر روی قرقره، یک سر سیم را از وسط آن خارج کنید تا بتوانید از همین ترانسفورماتور در کار عملی۳ نیز استفاده نمایید.

سؤالات

۱ــ محاسبات این ترانسفورماتور را به طور کامل بنویسید.

۲ــ اگر قطر سیم ثانویه را افزایش دهیم، چه تغییراتی در جریان یا ولتاژ ثانویه ایجاد می‌شود؟

۳ــ سر وسط سیم‌پیچ ثانویه در ترانسفورماتور چه نقشی دارد؟

۴ــ مشخصات این ترانسفورماتور را از طریق منحنی به دست آورید و با نتایج محاسبه‌های قبل مقایسه کنید.

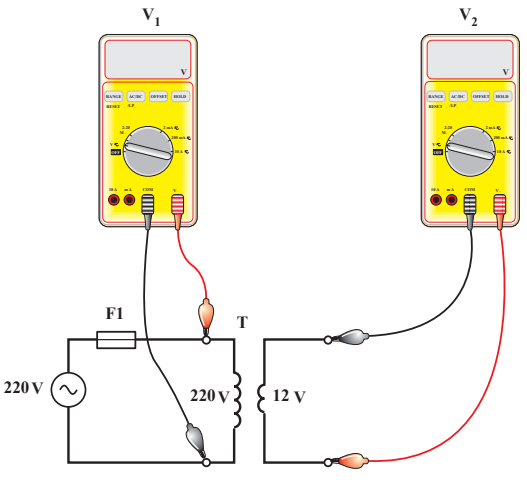
۵ــ افزایش سطح مقطع آهن این ترانسفورماتور چه تأثیری در نتایج محاسبات دارد؟

کار عملی ۲

ترانسفورماتور ساخته شده در فعالیت شماره‌ی یک را به صورت بی‌بار به‌ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل کنید و مراحل زیر را انجام دهید.

الف : سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور V ../V را مطابق شکل ۲ــ۳ به شبکه‌ی تک‌فاز ۲۲۰ ولت اتصال دهید.

الف



ب

شکل ۲ــ۳

◀ آوومتر را روی حالت ولت‌متر AC و با ضریب (رنج) بزرگ‌تر یا مساوی ۲۵۰ قرار دهید.

◀ فیش‌های هر دو آوومتر را به دو سر سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور اتصال دهید و ولتاژهای اولیه و ثانویه را درحالت بی‌باری اندازه‌گیری کنید.

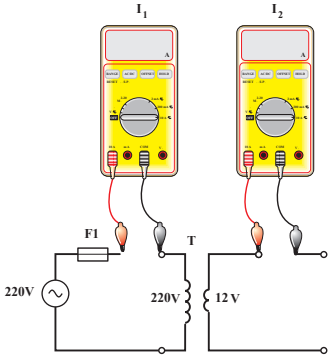
V_1 . ☐ V

V_2 . ☐ V

◀ مدار را قطع کنید و آوومتر را درحالت آمپرمتر AC با بیش‌ترین رنج جریانی قرار دهید.

◀ فیش‌های آوومترها را به‌صورت سری در مسیر سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه مطابق شکل ۳ــ۳ قرار دهید.

الف



ب

شکل ۳ــ۳

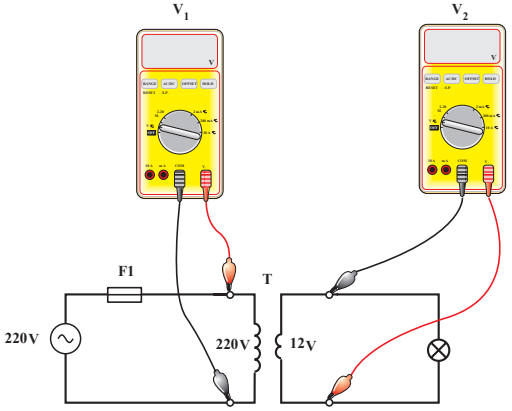
◀ مدار را وصل کنید و مقدار جریان سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را درحالت بی‌باری اندازه‌گیری نمایید.

I_1 . ☐ A

I_2 . ☐ A

ب : مدار را قطع کنید و یک لامپ ۱۲ ولت را طبق شکل ۴ــ۳ در مدار ثانویه‌ی ترانسفورماتور قرار دهید.

الف



ب

شکل ۴ــ۳

◀ آوومتر را درحالت ولت‌متر AC قرار دهید و ولتاژهای سیم‌پیچی اولیه و ثانویه را درحالت بارداری اندازه‌گیری کنید.

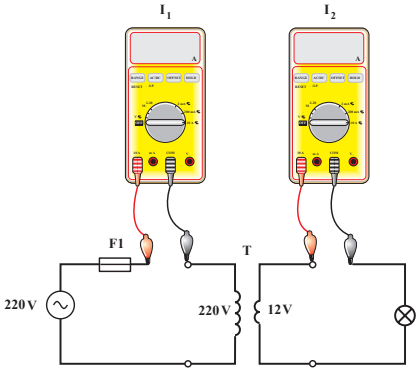
$V_{..}$. ☐ V

$V_{..}$. ☐ V

◀ مدار را قطع کنید و آوومتر را درحالت آمپرمتر AC با بیش‌ترین رنج قرار دهید.

◀ آوومتر را به‌صورت سری در مسیر سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه مطابق شکل ۵ــ۳ قرار دهید.

◀ مدار را وصل کنید و مقدار جریان سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه را درحالت بارداری اندازه‌گیری کنید.



شکل ۵ــ۳

$I_{..}$. ☐ A

$I_{..}$. ☐ A

سؤالات

۱ــ جریان بی‌باری چند درصد جریان نامی اولیه است؟

۲ــ آیا ترانسفورماتوری که ساخته‌اید، دقیقاً مطابق خواسته‌ها بوده است؟

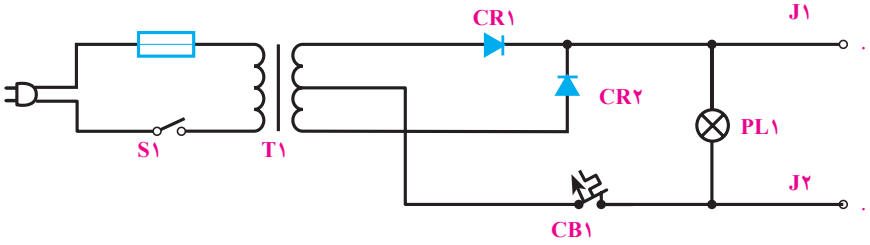
۳ــ افت ولتاژ ثانویه در بار نامی چند ولت است؟

کار عملی ۳

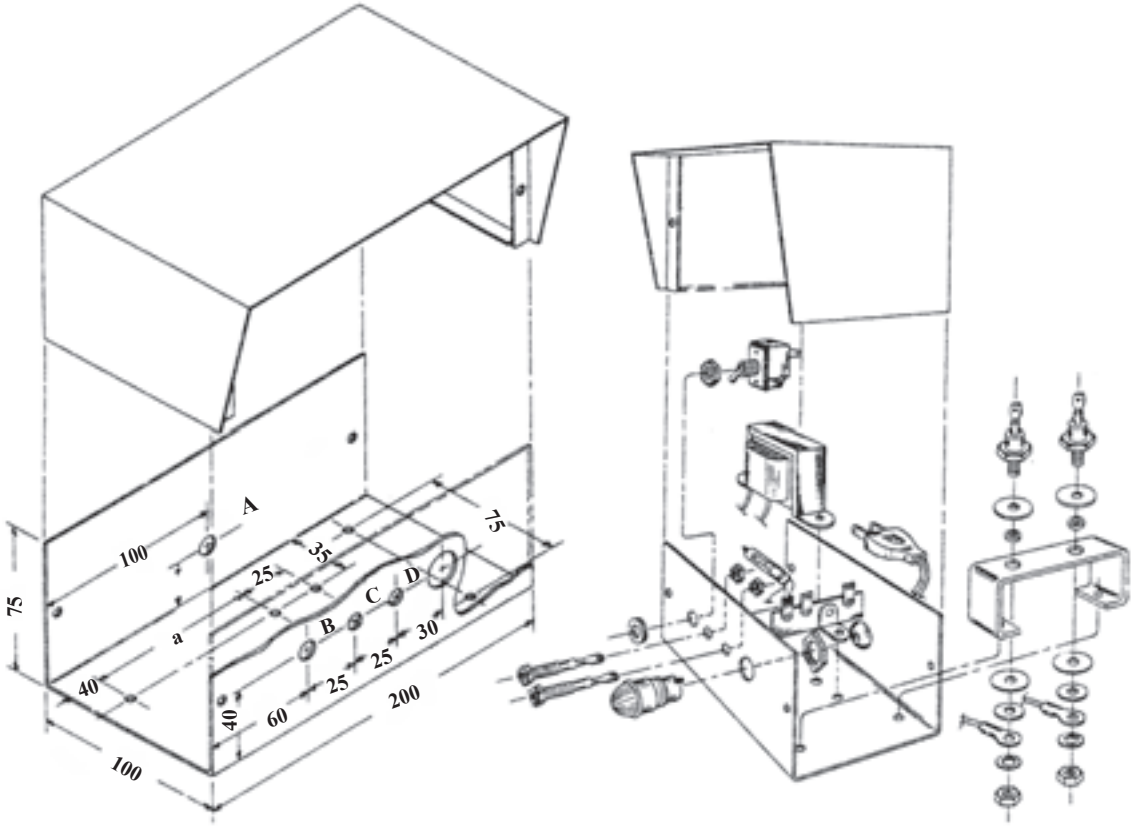
با استفاده از ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی۱، یک شارژر باتری ۱۲ ولتی که مدار اتصال آن در شکل ۶ــ۳ داده شده است، بسازید. نقشه‌ی محفظه‌ی این شارژر نیز در شکل ۷ــ۳ نشان داده شده است.

وسایل لازم:

۱	دیود (CR)P.I.V .. V . . A	۲ عدد	۶	مادگی قرمز (.) و مشکی (.)(j)	۲ عدد
۲	ترانسفورماتور (صفر وسط)(T_1)		۷	دوشاخه	۱ عدد
	$V_{..}$ / . V . . . . / . V و جریان A..	۱ عدد	۸	گیره‌ی سوسماری بزرگ قرمز ومشکی	۲عدد
۳	فیش قرمز (.) و مشکی (.)	۲ عدد	۹	سیم رابط نمره‌ی ۲/۵ مشکی و قرمز (از هر رنگ)	۲ متر
۴	کلید ۲۲۰ ولت، ۳ آمپر(S_1)	۱ عدد	۱۰	ورق آلومینیومی یک میلی‌متر یا ورق آهن۰/۶ میلی‌متر	
۵	لامپ ۱۴ ولت(PL_1)	۱ عدد	۱۱	فیوز کپسولی ۰/۵ آمپر با پایه	۱عدد



شکل ۶ ــ۳ــ قطعات جعبه‌ی ترانسفورماتور



پایه‌ی آلومینیمی برای خنک‌کردن دیودها

شکل ۷ــ۳ــ اندازه‌ی a با توجه به ترانسفورماتور ساخته شده و قطر سوراخ‌های A و B و C و D با توجه به اندازه‌ی وسایل موجود به‌دست می‌آید.

سؤالات

۱ــ ولتاژهای خروجی این ترانسفورماتور با یک‌دیگر چه تفاوتی دارند؟

۲ــ آیا می‌توان از تمامی قدرت ترانسفورماتور به کارگرفته شده در این مدار استفاده کرد؟

۳ــ در صورتی که بخواهیم برای این شارژر ترانسفورماتوری غیر از آن چه در کار عملی ۱ ساخته شده است بسازیم، قدرت آن چه تغییری می‌کند؟ آیا مشخصات آن نیز تغییر می‌کند؟

۴ــ اگر باتری خالی شده باشد و آن را به دو سر شارژر وصل کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا لامپ خاموش و روشن می‌شود؟

فصل چهارم

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱/۵	۱۶/۵	۱۸

محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم‌پیچ در اولیه یا ثانویه

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور با چند ورودی و خروجی را محاسبه کند.

۲ــ قطر سیم لاکی اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور با چند ورودی و چند خروجی را محاسبه کند.

۳ــ هسته و قرقره‌ی مناسب را در ترانسفورماتور انتخاب کند.

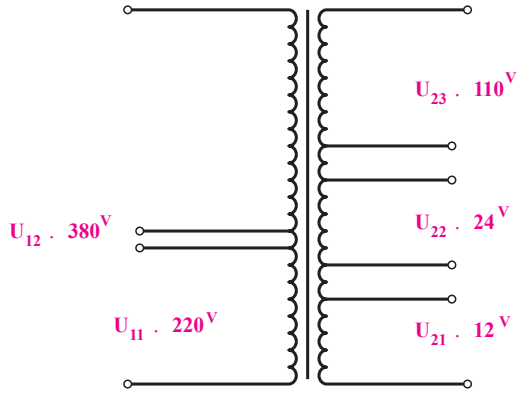
۴ــ ترانسفورماتور با یک ورودی و چند خروجی را سیم‌پیچی و آزمایش کند.

۴ــ محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم‌پیچ در اولیه یا ثانویه

گاهی لازم است ترانسفورماتور دارای چند ولتاژ خروجی باشد یا این‌که اولیه‌ی آن را بتوان به چند ولتاژ ورودی وصل کرد.

در این‌صورت، باید توجه داشت که همیشه تنها یکی از سیم‌پیچ‌های اولیه به شبکه وصل می‌شود اما همه‌ی سیم‌پیچ‌های ثانویه یا تعدادی از آن‌ها را می‌توان به‌مصرف کننده اتصال داد.

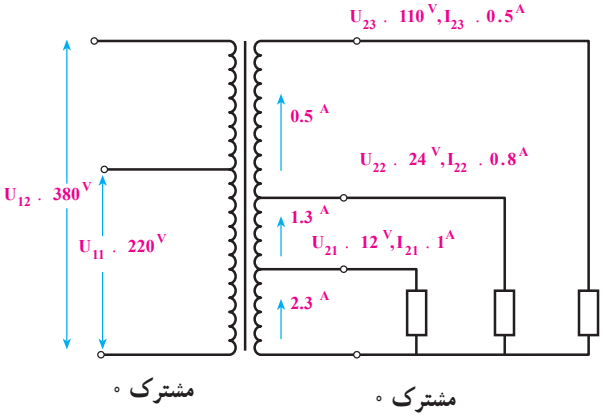
برای مثال، اگر ترانسفورماتوری دارای ورودی‌های ۲۲۰ و ۳۸۰ ولت و خروجی‌های ۱۲ و ۲۴ و ۱۱۰ ولت باشد، سیم‌پیچ اولیه‌ی آن باید به ولتاژ ۲۲۰ ولت یا ۳۸۰ ولت اتصال یابد اما از هر سه سیم‌پیچ ثانویه‌ی آن می‌توان به‌طور هم‌زمان یا غیرهم‌زمان بار گرفت. برای ساختن چنین ترانسفورماتوری، در مرحله‌ی اول این فکر به‌نظر می‌رسد که برای هریک از ولتاژهای ذکرشده‌ی اولیه و ثانویه، یک سیم‌پیچ جداگانه مطابق شکل ۱ــ۴ پیچیده شود.



شکل ۱ــ۴ــ نمایش سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور

به کارگیری این روش باعث افزایش حجم ترانسفورماتور می‌شود و بنابراین، اقتصادی نیست. می‌توان تعداد دور سیم‌پیچ اولیه را برای بالاترین ولتاژ در اولیه و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه را نیز برای بیش‌ترین ولتاژ ثانویه پیچید و برای ولتاژهای دیگر، در دورهای معین سر سیم‌پیچ‌ها را خارج کرد (شکل ۲ــ۴).

قطر سیم‌پیچ را نیز می‌توان بر مبنای بیش‌ترین جریانی که از سیم‌پیچ عبور می‌کند، انتخاب کرد و برای همه‌ی سیم‌پیچ‌های ثانویه یا اولیه یکی باشد اما چون جریان هر قسمت از سیم‌پیچ‌ها با قسمت‌های دیگر تفاوت دارد، بهتر است برای هر قسمت سیمی با قطر متفاوت پیچیده شود ؛ مگر این‌که جریان‌ها بسیار نزدیک به هم باشند.



شکل ۲ــ۴ــ نمایش جریان هر سیم‌پیچ

برای محاسبه‌ی قدرت ترانسفورماتورهایی که دارای چندین ولتاژ در ثانویه هستند، در صورتی که از همه‌ی خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان استفاده شود، می‌توان از جمع همه‌ی قدرت‌های خروجی، قدرت ثانویه و از روی آن قدرت اولیه را به‌دست آورد. اما اگر از همه‌ی ولتاژهای ثانویه به‌طور هم‌زمان استفاده نشود، باید با بررسی حالت‌های ممکن، بیش‌ترین توان خروجی را انتخاب کرد و محاسبات را بر مبنای آن انجام داد ؛ مثلاً اگر از مصرف‌کننده‌ی ۱۲ ولتی، جریان یک آمپر و از مصرف‌کننده‌ی ۲۴ ولتی، جریان ۰/۸ آمپر و از مصرف‌کننده‌ی ۱۱۰ ولتی، جریان ۰/۵ آمپر عبور کند و تمام مصرف‌کننده‌ها نیز هم‌زمان به ترانسفورماتور وصل شوند، توان کل خروجی برابر است با :

P . U . I . U . I . U . I

P . . . . . / . . . . . / .

. . / . VA

قطر سیم‌ها نیز برای قسمت اول (از صفر تا ۱۲ ولت) برمبنای جریان . / . (. / . . . / . .) آمپر و برای قسمت دوم (از ۱۲ تا ۲۴ ولت) برای جریان . / . (. / . . . / .) آمپر و برای قسمت سوم از (۲۴ تا ۱۱۰ ولت) برمبنای جریان ۰/۵ آمپر حساب می‌شود.

در این مثال، اگر فرض کنیم که از سه خروجی، تنها دو خروجی بتوانند به‌طور هم‌زمان کار کنند، باید قدرت‌های خروجی را دو به دو با یک‌دیگر جمع کنیم و مقدار بزرگ‌تر را برای قدرت خروجی ترانسفورماتور منظور در نظر بگیریم. بنابراین برای این ترانسفورماتور قدرت ثانویه‌ی VA / . . P به‌دست می‌آید. قطر سیم نیز با بررسی جریان‌ها در شرایط مختلف پیدا می‌شود. به‌طوری که از قسمت اول سیم‌پیچ، حداکثر ۱/۸ آمپر و از قسمت دوم آن حداکثر جریان ۱/۳ آمپر واز قسمت سوم نیز جریان ۰/۵ آمپر عبور می‌کند. با توجه به چگالی جریان، می‌توان قطر سیم‌ها را مشخص کرد.

سطح مقطع آهن خالص و دور بر ولت را می‌توان پس از محاسبه‌ی قدرت ترانسفورماتور از طریق روابط قبلی به‌دست آورد.

تعداد دورهای اولیه و ثانویه نیز به همان روش قبلی محاسبه می‌شود. لیکن در هنگام به‌دست آوردن درصد افت ولتاژ باید برای هر قسمت خروجی، قدرت همان قسمت را در جدول قرار دهیم و افت ولتاژ را پیدا کنیم. در هنگام سیم‌پیچی، ابتدا سیم با قطر d برای ولتاژ کم‌تر (یعنی U) و به اندازه‌ی N دورپیچیده شده و پس از بیرون آوردن یک سر خروجی، مجدداً برای دومین ولتاژ یعنی U، سیم با قطر d و به اندازه‌ی (N . N) دور پیچیده شود تا در هنگام وصل شدن به ولتاژ بیش‌تر، هر دو سیم‌پیچ (N) و (N . N) با یک‌دیگر سری شوند و مجموع حلقه‌های آن‌ها برابر با N شود. بدین‌ترتیب، در هر مرحله قطر سیم نیز کم‌تر می‌شود. برای سیم‌پیچ ثانویه، ابتدا ولتاژها را از کم به زیاد مرتب کرده و برای ولتاژ U تعداد دور N و برای ولتاژ U و U و ... تعداد دورهای N و N و ... را محاسبه می‌کنیم وسپس، مانند طرف اولیه عمل می‌نماییم.

در عمل باید دقت کنیم که سیم‌پیچ‌های ثانویه همه در یک جهت پیچیده شوند تا ولتاژ آن‌ها با یک‌دیگر جمع شود.

برای توضیح بیش‌تر به بررسی و حل کامل مثال ذکرشده می‌پردازیم.

سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور موردنظر باید به ولتاژ ۲۲۰ ولت یا ۳۸۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتس اتصال یابد و ثانویه‌ی آن نیز دارای سه خروجی ۱۲ ولت با جریان یک آمپر و ۲۴ ولت با جریان ۰/۸ آمپر و ۱۱۰ ولت با جریان ۰/۵ آمپر باشد. فرض می‌کنیم که از هر سه خروجی به‌طور هم‌زمان استفاده شود.

حل این مثال را در ۹ مرحله توضیح می‌دهیم.

راه‌حل

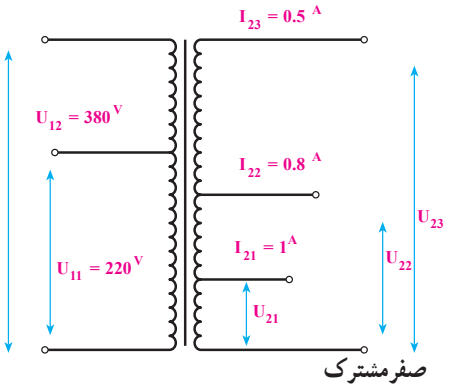
مرحله‌ی اول: در این مرحله، معلومات موردنیاز را مرتب کرده و شکل آن را رسم می‌کنیم (شکل ۳ــ۴).

$U_{..} = ... V$ و $U_{..} = ... V$

$U_{..} = .. V$ و $I_{...} = . . A$

$U_{..} = .. V$ و $I_{...} = . . / . A$

$U_{..} = ... V$ و $I_{...} = . . / . A$



شکل ۳ــ۴ــ نمایش معلومات موردنیاز ترانسفورماتور

مرحله‌ی دوم: قدرت اولیه‌ی ترانسفورماتور را با توجه به این‌که خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان مورداستفاده قرار می‌گیرند، محاسبه می‌کنیم.

$P_{..} = U_{..} \cdot I_{..} + U_{..} \cdot I_{..} + U_{..} \cdot I_{..}$

$P_{..} = .. \times . . / . + ... \times . . /$

$= .. / . VA$

همان‌طور که قبلاً گفتیم، ضریب بهره برای یک ترانسفورماتور با قدرت از ۲۰ ولت آمپر تا ۱۲۵ ولت آمپر حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد است. پس می‌توانیم برای این ترانسفورماتور ضریب بهره‌ی ۸۹ درصد را انتخاب کنیم.

$P_{۱} = \frac{P_{۲}}{.}$

هرگاه $P_{۱}$، $P_{S_{۱}}$ و $P_{S_{۲}}$، $P_{۲}$ درنظرگرفته‌شود می‌توان نوشت

$P_{S_{۱}} = \frac{P_{S_{۲}}}{.}$

$P_{S} = \frac{.. / .}{. / ..} \times .. / .. \simeq ..$ ولت آمپر

مرحله‌ی سوم: سطح مقطع واقعی هسته را با توجه به قدرت $P_{S_{۱}}$ به‌دست می‌آوریم.

$S_{Fe} = ۱/۲\sqrt{P_{S_{۱}}} = ۱/۲\sqrt{۹۷} = ۱۱/۸ cm^{۲}$

سطح مقطع ظاهری هسته برابر است با :

$S_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{K_{Fe}} = \frac{.. / .}{. / .} \times .. / .. cm$

مرحله‌ی چهارم: دور بر ولت برای این ترانسفورماتور برابر است با :

$n = \frac{.. / ..}{S} = \frac{.. / ..}{.. / .} \times . . / .. = \frac{\text{دور}}{\text{ولت}}$

مرحله‌ی پنجم: برای تعیین تعداد دورهای اولیه، باید ابتدا درصد افت ولتاژ را به‌دست آوریم. در جدول ۲ــ۲ درصد افت ولتاژ برای قدرت ۷۵ ولت آمپر ۱۰ درصد و برای قدرت ۱۰۰ ولت آمپر ۹ درصد است ؛ یعنی، با افزایش ۲۵ ولت آمپر به قدرت ترانسفورماتور یک درصد از افت ولتاژ کاسته شده است. قدرت خروجی ترانسفورماتور مورد نظر ۸۶ ولت آمپر است ؛ یعنی، از ۷۵ ولت‌آمپر .. (.. . .) ولت آمپر بیش‌تر است. با یک تناسب ساده، می‌توان مقدار کاهش افت ولتاژ را از ۱۰درصد به‌دست آورد که برابر با .. / . . $\frac{...}{...}$ می‌شود. بنابراین، افت ولتاژ برای این ترانسفورماتور برابر با .. / . . (.. . . / ..) درصد می‌شود. از این مقدار با توجه به نسبت تقریبی مقاومت سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه، حدود ۶ درصد برای اولیه و ۳/۵ درصد برای ثانویه منظور می‌کنیم. بنابراین، تعداد دور اولیه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با :

N . n . U (.. U -) . /.. . ... (../..)

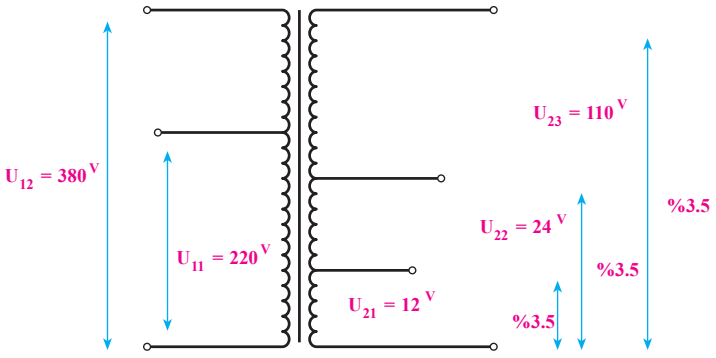
دور ۶۵۸ ≃ ۶۵۷/۶ .

N . n . U (.. U -) . /.. . ... .

دور ۱۱۳۶ . ۱۱۳۵/۹ . (۱. ۰/۰۶)

سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور دارای دو سیم‌پیچ سری است که قسمت اول ۶۵۸ دور و قسمت دوم ... (.... ...) دور می‌باشد.

مرحله‌ی ششم: چون از هر سه خروجی ترانسفورماتور به‌طور هم‌زمان استفاده می‌شود، درصد افت ولتاژ برای هر سه ولتاژ از سیم مشترک تا هریک از خروجی‌های ۱۲ و ۲۴ و ۱۱۰ ولت، ۳/۵ درصد برآورد می‌شود که در شکل ۴ــ۴ مشخص شده است.



شکل ۴ــ۴ــ نمایش درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتور

بنابراین، تعداد دور ثانویه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با :

N . n . U (.. U -) . /.. ... .

(.. ./..) . .. دور

N . n . U (.. U -)

N . . /.. ... . (.. ./..) . .. دور

N . n . U (.. U -) . /.. ... .

(.. ./..) . ... دور

بدین ترتیب، برای ۱۲ ولت باید ۳۸ دور و برای ۲۴ ولت (.. ..) . .. دور و برای ۱۱۰ ولت ... (.. ..) (... دور سیم به‌صورت سری پیچیده شود.

مرحله‌ی هفتم: ابتدا قطر سیم را برای سیم‌های اولیه حساب می‌کنیم. اگر اولیه را به ۲۲۰ ولت وصل کنیم، جریان آن برابر است با :

I . P/U . ../.. A

و اگر آن را به ۳۸۰ ولت وصل کنیم، جریان آن برابر خواهد شد با :

I . P/U . ../.. A

چگالی جریان برای قدرت ۵۰ تا ۱۰۰ ولت آمپر برابر با J . . /. A/mm² است. لذا قطر سیم‌قسمت اول برابر می‌شود با :

d .. /.. $\sqrt{I/J}$ . . /.. $\sqrt{./.././.}$

. . /.. mm

d .. /.. $\sqrt{I/J}$ . . /.. $\sqrt{./.././.}$

. . /.. mm

بنابراین، با توجه به تعداد دورهای اولیه باید ۶۵۸ دور از سیم ۰/۴۰ و به دنبال آن ۴۷۸ دور سیم ۰/۳۰ پیچیده شود.

مرحله‌ی هشتم: چگالی جریان برای ثانویه نیز برابر با ۳/۵ A/mm² است ؛ بنابراین، قطر سیم برای قسمت اول سیم‌پیچ که هر سه جریان از آن عبور می‌کند، برابر است با :

d .. /.. $\sqrt{I . I . I / J}$

d .. /.. $\sqrt{../../.././.}$ . . /.. mm

در این‌جا نیز با تقریب سیم ۰/۹۰ را انتخاب می‌کنیم.

از قسمت دوم سیم‌پیچ ثانویه مجموع جریان I ... و I عبور می‌کند. بنابراین، قطر آن برابر است با :

d .. /.. $\sqrt{I . I / J}$

d .. /.. $\sqrt{./.././.}$ . . /.. mm

برای این‌قسمت نیز با توجه به جدول ۳ــ۲ سیم استاندارد ۰/۷۰ را انتخاب می‌کنیم. از قسمت سوم سیم‌پیچ ثانویه، فقط جریان $I_{۲۳}$ عبور می‌کند. بنابراین قطر آن برابر است با :

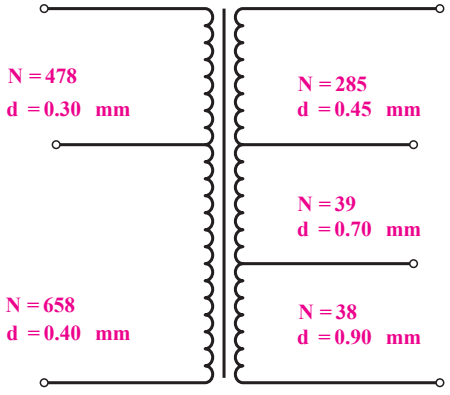
$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۳}}{J}}$$

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۵}{۳/۵}}$$

$$= ۰/۴۳mm \xrightarrow{\text{از جدول}} ۰/۴۵mm \text{ میلی‌متر}$$

مرحله‌ی نهم: دراین مرحله، بهتر است برای کاهش خطا در محاسبه، نتایج به‌دست آمده را برای پیچیدن ترانسفورماتور بر روی شکل بنویسیم و با توجه به آن، نوع ورق ترانسفورماتور را انتخاب کنیم.

نتایج محاسبات لازم برای سیم‌پیچی هر قسمت از ترانسفورماتور موردنظر، در شکل ۵ ــ۴ نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۴ ــ نمایش ترانسفورماتور با چند سر ورودی و چند سر خروجی

پس از مشخص‌کردن کامل تعداد دور سیم‌ها و قطر آن، باید سطح پنجره‌ی لازم برای آن‌ها را به‌دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد. سطح موردنیاز برای هر سیم پیچ به قرار زیر است.

$$d_{۱۱} = ۰/۴۰ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۴۵۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۱۱} = \frac{۶۵۸}{۴۵۰} = ۱/۴۶\,cm^۲$$

$$d_{۱۲} = ۰/۳۰ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۷۷۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۱۲} = \frac{۴۷۸}{۷۷۰} = ۰/۶۲\,cm^۲$$

$$d_{۲۱} = ۰/۹۰ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۱۰۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۲۱} = \frac{۳۸}{۱۰۰} = ۰/۳۸\,cm^۲$$

$$d_{۲۲} = ۰/۷۰ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۱۶۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۲۲} = \frac{۳۹}{۱۶۰} = ۰/۲۴\,cm^۲$$

$$d_{۲۳} = ۰/۴۵ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۳۷۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۲۳} = \frac{۲۸۵}{۳۷۰} = ۰/۷۷\,cm^۲$$

سطح کل موردنیاز برابر است با :

$$F_T = ۱/۳۵ \times F$$

$$F = F_{۱۱} + F_{۱۲} + F_{۲۱} + F_{۲۲} + F_{۲۳}$$

$$F = ۱/۴۶ + ۰/۶۲ + ۰/۳۸ + ۰/۲۴ + ۰/۷۷$$

$$= ۳/۴۷cm^۲$$

$$F_T = ۱/۳۵ \times ۳/۴۷ = ۴/۶۸cm^۲$$

با مراجعه به جدول ۶ــ۲ ورق (EI۷۸) که پنجره‌ی آن دارای ابعاد $e = ۳/۹$ و $g = ۱/۳$ سانتی‌متر است، به‌دست می‌آید.

$$g \times e \geq ۴/۶۸$$

$$۳/۹ \times ۱/۳ = ۵/۰۷ > ۴/۶۸\,cm^۲$$

پس از پیدا کردن نوع ورق، باید قرقره را مطابق روش‌های گذشته طراحی کرد.

کار عملی ۴

ترانسفورماتوری را طراحی کرده و بسازید که اولیه‌ی آن به ولتاژ ۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰Hz وصل شود و بتوان به طور هم‌زمان سه مصرف کننده‌ی زیر را به ثانویه‌ی آن وصل کرد.

۱ــ مصرف کننده‌ی اهمی با ولتاژ ۱۱۰ ولت و جریان ۲۵۰ میلی‌آمپر.

۲ــ مصرف کننده‌ی اهمی با ولتاژ ۴۲ ولت و جریان ۴۰۰ میلی‌آمپر.

۳ــ مصرف کننده‌ی اهمی با ولتاژ ۱۲ ولت و جریان ۰/۵ آمپر.

سؤالات

۱ــ محاسبات این ترانسفورماتور را به طور کامل بنویسید.

۲ــ مشخصات این ترانسفورماتور را از طریق منحنی به دست آورید و با نتایج محاسبات قبلی مقایسه کنید.

۳ــ این ترانسفورماتور را برای حالتی که فقط از دو خروجی آن بتوان به‌طور هم‌زمان استفاده کرد نیز محاسبه کنید.

کار عملی ۵

الف : ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی۴ را به صورت بی‌بار به ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل کنید و ولتاژ ثانویه و جریان بی‌باری آن را اندازه بگیرید.

ب : مقاومت‌های متغیر را که در ماکزیمم قرار دارند، به ثانویه‌ی ترانسفورماتور وصل کرده و سپس اولیه‌ی آن را به ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل کنید. آن‌گاه با تغییر مقاومت‌های متغیر، جریان هر یک از مصرف کننده‌ها را در مقدار نامی خود تنظیم کنید و پس از آن ولتاژهای خروجی و جریان اولیه را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

سؤالات

۱ــ مدار اتصال آزمایش حالت الف را رسم کنید.

۲ــ مدار اتصال آزمایش حالت ب را رسم کنید.

۳ــ نسبت تبدیل‌های ترانسفورماتور چه‌قدر است؟

۴ــ چرا باید در ابتدای آزمایش بارداری، مقاومت‌های بار را در حداکثر قرار داد؟

۵ــ اگر از ولتاژهای خروجی به‌طور هم‌زمان استفاده نشود، آیا در مقادیر آن‌ها تغییری به‌وجود می‌آید؟

فصل پنجم

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

اتوترانسفورماتور

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ ساختمان اتوترانسفورماتور را توضیح دهد.

۲ــ توان تیپ و توان انتقالی را توضیح دهد.

۳ــ سطح مقطع هسته‌ی یک اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.

۴ــ قطر سیم قسمت‌های مختلف اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.

۵ ــ تعداد دور قسمت‌های مختلف اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.

۶ ــ یک اتوترانسفورماتور یک فاز را براساس نیاز بازار محاسبه و سیم‌پیچی و آزمایش کند.

۵ ــ اتوترانسفورماتور

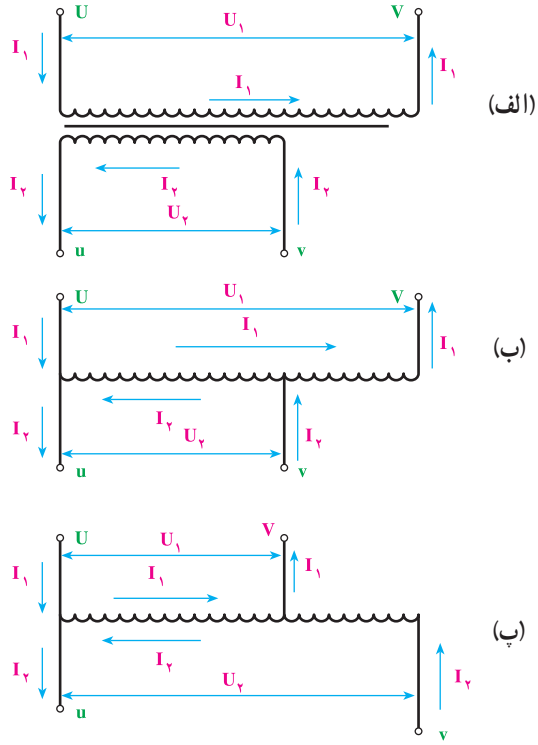
۱ــ ۵ ــ اتوترانسفورماتور (ترانسفورماتور صرفه‌ای)

در مواردی که از ترانسفورماتور به‌عنوان وسیله‌ی حفاظتی (ترانسفورماتور جداکننده و ترانسفورماتور ولتاژ کم) استفاده نمی‌شود یا اصولاً الزامی برای جدا بودن سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه‌ی آن وجود ندارد ــ مانند ترانسفورماتورهای راه‌اندازی موتورهای آسنکرون ــ می‌توان از اتوترانسفورماتور استفاده کرد. به‌علت صرفه‌جویی در حجم آهن هسته و هم‌چنین مقدار سیم مصرفی، به این ترانسفورماتورها، **ترانسفورماتور صرفه‌ای** نیز گفته می‌شود.

تفاوت ترانسفورماتورهای معمولی با اتوترانسفورماتور دراین است که ترانسفورماتورهای معمولی دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی مجزا از یک‌دیگر دارند اما در اتوترانسفورماتور سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ کم‌تر حذف شده است و به‌جای آن از قسمتی از سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ بیش‌تر استفاده می‌شود.

در شکل ۱ــ ۵ ــ الف یک ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه و در شکل۱ــ ۵ ــ ب همان ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مشترک نشان داده شده است. در این شکل، ولتاژ اولیه از ولتاژ خروجی بیش‌تر است. در شکل ۱ــ ۵ ــ پ اتوترانسفورماتوری را می‌بینید که ولتاژ ثانویه‌ی آن از ولتاژ اولیه‌اش بیش‌تر است.

در ترانسفورماتورهای صرفه‌ای، دو سیم‌پیچ ازنظر الکتریکی با یک‌دیگر در ارتباط هستند و لذا نمی‌توان از آن‌ها



شکل ۱ــ۵ــ تفاوت ترانسفورماتور و اتو ترانسفورماتور

به‌عنوان ترانسفورماتور حفاظت، حتی در ولتاژهای کم استفاده کرد.

قدرتی که هسته‌ی آهن ترانسفورماتورهای صرفه‌ای برمبنای آن حساب می‌شود، با قدرت خروجی یا ورودی تفاوت دارد و از آن‌ها کم‌تر است. محاسباتی که در این‌جا بیان می‌شود تنها برای به‌دست آوردن قدرتی است که برای محاسبه‌ی هسته باید از آن استفاده کرد. به‌این قدرت در اصطلاح قدرت **تیپ ترانسفورماتور** می‌گویند و آن را با P_T نشان می‌دهند. قدرت خروجی ترانسفورماتور صرفه‌ای برابر است با $P_{ST} = U_2 \cdot I_2$ که آن را می‌توان با قدرت ورودی تقریباً برابر گرفت.

همان‌طورکه در شکل ۱ــ۵ــ ب مشاهده می‌کنید، از قسمت u . v سیم‌پیچ که به بار وصل می‌شود و دارای اختلاف پتانسیل U_2 است، جریان I_2 و در جهت I_2 عبور می‌کند. درحالی که از قسمت v . V که دارای اختلاف پتانسیل $U_1 - U_2$ است، جریان I_1 عبور می‌کند.

بنابراین، قسمت u . v سیم‌پیچ که از آن به‌عنوان ثانویه نیز استفاده می‌شود، دارای قدرت ظاهری $(I_1 - I_2) \cdot U_2$ و باقی‌مانده‌ی سیم‌پیچ ــ یعنی قسمت v . V ــ دارای قدرت ظاهری $I_1(U_1 - U_2)$ است. این دو قدرت با یک دیگر برابرند و هسته‌ی آهن ترانسفورماتور بر مبنای یکی از آن‌ها محاسبه می‌شود.

بنابراین :

$$P_{ST} = U_2(I_2 - I_1) + I_1(U_1 - U_2)$$
$$P_{S_2} = U_2 \cdot I_2$$

$$\frac{P_{ST}}{P_{S_2}} = \frac{U_2(I_2 - I_1)}{U_2 \cdot I_2} \qquad \boxed{P_{ST} = P_{S_2} \cdot \frac{I_2 - I_1}{I_2}}$$

با استفاده از رابطه‌ی $P_2 \simeq P_1 = U_1 \cdot I_1$ نیز می‌توان نوشت :

$$\frac{P_{ST}}{P_{S_2}} = \frac{I_1(U_1 - U_2)}{U_1 \cdot I_1} \qquad \boxed{P_{ST} = P_{S_2} \frac{U_1 - U_2}{U_1}}$$

اگر U_2 از U_1 کوچک‌تر باشد(مانند شکل ۱ــ۵ ــ پ) رابطه‌ی بالا به‌صورت زیر درمی‌آید.

$$P_{ST} = P_{S_2} \frac{U_2 - U_1}{U_2}$$

یعنی در ترانسفورماتور صرفه‌ای، نسبت قدرت تیپ به‌قدرت ورودی برابر نسبت تفاوت اختلاف سطح‌ها به اختلاف سطح بزرگ‌تر است. بنابراین، هرچه تفاوت دو ولتاژ کم‌تر باشد، قدرت تیپ نیز کاهش می‌یابد. درنتیجه، برای ساختن ترانسفورماتورهایی که تفاوت ولتاژ اولیه و ثانویه‌ی آن‌ها کم است، استفاده از این روش بسیار باصرفه خواهد بود ؛ زیرا علاوه بر قیمت ارزان، تلفات الکتریکی آن نیز از ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه کم‌تر خواهد شد.

با مشخص‌کردن قدرت تیپ ترانسفورماتور و محاسبه‌ی سطح مقطع آهن از روی آن، سایر محاسبات را می‌توان بر اساس روش گذشته انجام داد. با این تفاوت که در این‌جا برای پیدا کردن چگالی جریان از جدول ۲ــ۲ به‌جای P، قدرت تیپ (P_T) را درنظر می‌گیریم.

برای مثال، در یک اتوترانسفورماتور با ولتاژ خروجی ۱۵۰ ولت و قدرت ۳ کیلوولت آمپر و ولتاژ ورودی ۲۲۰ ولت، قدرتی که باید برای محاسبه‌ی سطح مقطع آهن (قدرت تیپ) به‌دست آید برابر است با :

$$P_{ST} = P_{S_2} = \frac{U_1 \cdot U_2}{U_1}$$

$$P_{ST} = ۳۰۰۰ = \frac{۲۲۰ \cdot ۱۵۰}{۲۲۰} = ۹۵۴VA$$

جریان‌های اولیه و ثانویه‌ی آن نیز با فرض $P_S = P_S$ برابر است با :

$$I = \frac{P_S}{U} = \frac{۳۰۰۰}{۲۲۰} = ۱۳/۶۳ \ A$$

$$I = \frac{P_S}{U} = \frac{۳۰۰۰}{۲} = ۱۵۰ \ A$$

بدین ترتیب، این اتوترانسفورماتور دارای سطح مقطع آهن

$$S_{Fe} = ۱/۱ \sqrt{۳۰۰۰} = ۶۰ \ cm$$

است و سطح مقطع سیم قسمت مشترک سیم‌پیچ اولیه و ثانویه باید بر مبنای جریان ($۱۳/۶۳ + ۱۵۰ = ۱۶۳/۶۳$) آمپر و قسمت بعدی ــ که فقط جریان اولیه از آن عبور می‌کند ــ بر مبنای ۱۳/۶۳ آمپر محاسبه شود.

با دقت در این مثال، متوجه می‌شوید که استفاده از این نوع ترانسفورماتور خصوصاً در حالتی که اختلاف ولتاژ اولیه و ثانویه کم باشد، تا چه حد مقرون به صرفه است. برای ساختن ترانسفورماتورهای قابل‌تنظیم نیز از این روش استفاده می‌شود.

مطالعه‌ی آزاد

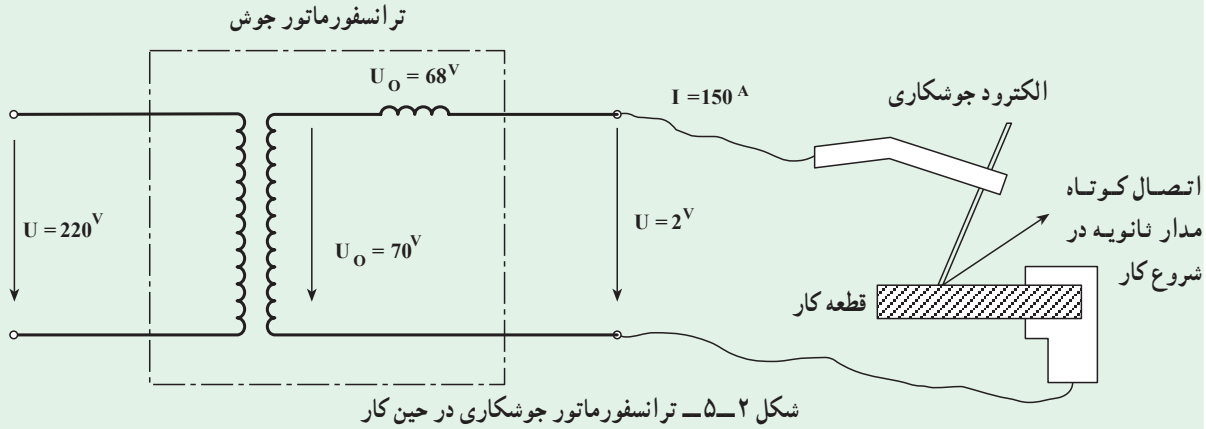
۲ــ ۵ ــ ترانسفورماتورهای جوشکاری

یکی از روش‌های جوشکاری فلزات، استفاده از حرارتی است که توسط قوس الکتریکی ایجاد می‌شود.

برای تشکیل قوس الکتریکی می‌توان از ترانسفورماتور استفاده کرد.

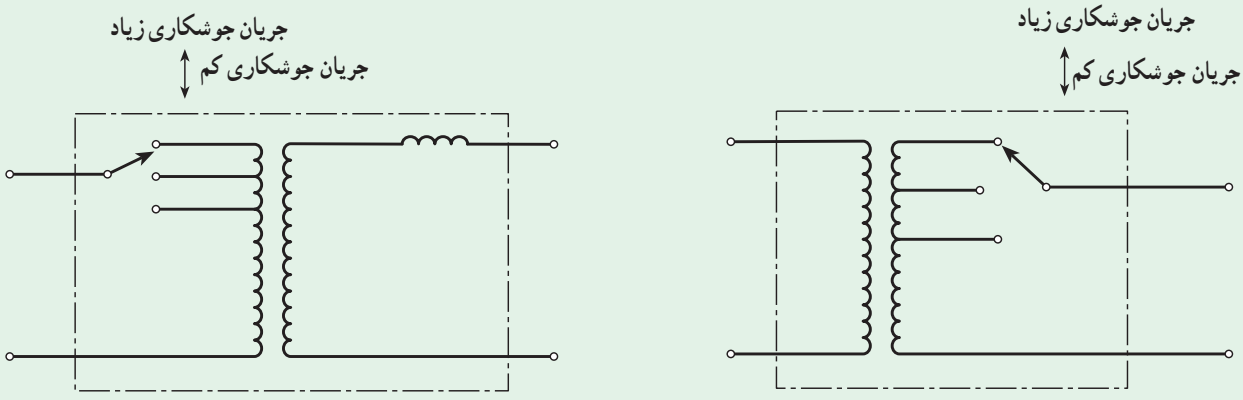
ترانسفورماتورهایی که در جوشکاری از آن‌ها استفاده می‌شود، باید علاوه‌بر داشتن خصوصیات یک ترانسفورماتور معمولی، سیستمی برای تغییر جریان ثانویه و هم‌چنین کاهش ولتاژ کار داشته باشند. بنابراین، علاوه‌بر مطالب گفته‌شده درمورد ساخت ترانسفورماتورها، لازم است به نکات زیر نیز توجه کنیم.

ولتاژ ترانسفورماتور جوشکاری در حالت بی‌باری نباید از ۷۰ ولت بیش‌تر باشد. پس از ایجاد قوس الکتریکی، این ولتاژ باید تنزل کند. به‌طوری که حداکثر مقدار آن ۳۰ ولت باشد. مدار ثانویه‌ی ترانسفورماتورهای جوشکاری، در هنگام تولید جرقه برای ایجاد قوس الکتریکی به‌صورت اتصال کوتاه درمی‌آید. برای این‌که ترانسفورماتور در این حالت صدمه نبیند، باید یک سلف را با مدار ثانویه به‌صورت سری قرار داد (شکل ۲ــ ۵) یا این‌که از ترانسفورماتورهایی با پراکندگی زیاد استفاده کرد. به همین جهت، ضریب قدرت ترانسفورماتورهای جوشکاری پایین است و برای بالابردن آن باید از خازن استفاده کرد.



شکل ۲ــ۵ــ ترانسفورماتور جوشکاری در حین کار

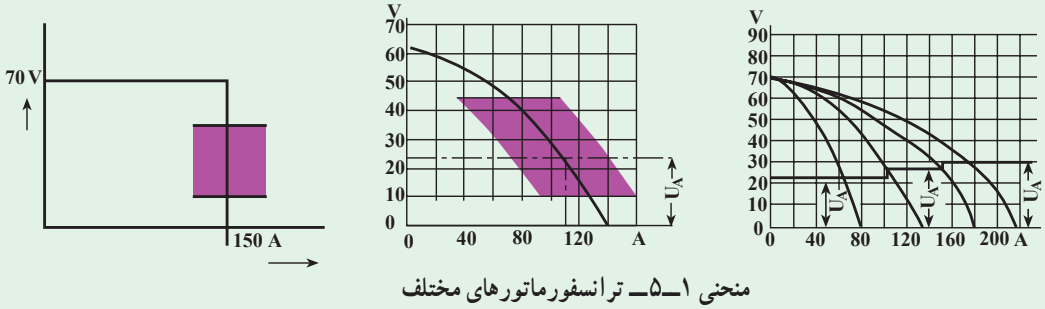
همان‌طور که می‌دانیم برای جوشکاری قطعات مختلف باید جریان جوشکاری قابل‌تنظیم باشد. برای مثال، جهت افزایش آن باید ولتاژ ثانویه را افزایش داد. این عمل با کاهش تعداد دور سیم‌پیچ اولیه توسط یک کلید پله‌ای یا افزایش تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه ازطریق تغییر اتصال آن امکان‌پذیر می‌شود (شکل ۳ــ ۵).



شکل ۳ــ۵ــ دو نوع ترانسفورماتور جوش متغیر

در این روش، نسبت تبدیل ترانسفورماتور تغییر می‌کند ؛ بنابراین، ولتاژ بی‌باری آن نیز تغییر خواهد کرد.

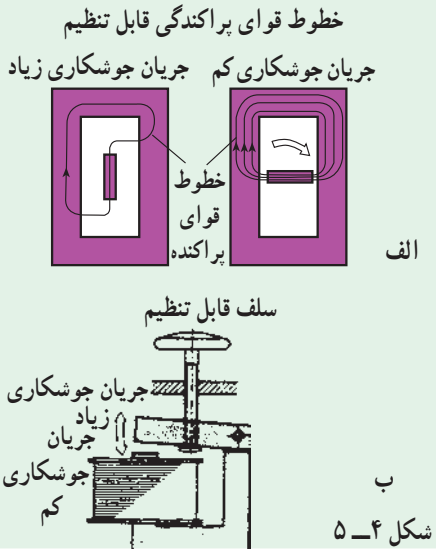
برای این‌که با تغییر جریان جوشکاری، ولتاژ حالت بی‌باری تغییر نکند، می‌توان نسبت تبدیل ترانسفورماتور را تغییر نداد و در عوض، با ایجاد افت ولتاژ در ثانویه، ولتاژ خروجی را در حالت کار پایین آورد. بنابراین، در ولتاژ بی‌باری ثابت با زیاد کردن افت ولتاژ، جریان جوشکاری کاهش می‌یابد و با کم‌کردن آن، جریان جوشکاری افزایش می‌یابد. (منحنی ۱ــ ۵).



منحنی ۱ــ۵ــ ترانسفورماتورهای مختلف

افت ولتاژ را می‌توان با تغییر مقاومت داخلی ترانسفورماتور جوشکاری به وسیله‌ی یک سلف قابل‌تنظیم یا یوغ ــ که مقدار پراکندگی را تغییر می‌دهد ــ به‌دست آورد. در شکل‌های ۴ــ ۵ دو روش عمل تغییرفوران پراکندگی و تغییر سلف نشان داده شده است.

در ترانسفورماتورهای جوشکاری با قدرت کم، اغلب تغییر افت ولتاژ با چرخاندن یک دستگیره و در ترانسفورماتورهای با قدرت متوسط و زیاد با استفاده از سیستم‌های دیگری مانند به‌کار بردن جریان مستقیم و غیره انجام گیرد.



شکل ۴ــ ۵

با دقت در توضیحات ارائه شده، تفاوت ترانسفورماتورهای جوشکاری و ترانسفورماتور معمولی مشخص می‌شود.

مشخصات و نتایج محاسبه برای ساختن یک ترانسفورماتور کوچک جوشکاری با جریان حداکثر ۱۳۰ آمپر در زیر آمده است. برای این‌که شما هنرجویان نیز بتوانید با حداقل وسایل این ترانسفورماتور را بسازید. تغییرات جریان ثانویه را به‌وسیله‌ی تغییر دادن تعداد دور سیم‌پیچ اولیه در پنج مرحله درنظر گرفته‌ایم.

مشخصات خارجی ترانسفورماتور

ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت

قدرت ترانسفورماتور ۳/۲ کیلوولت‌آمپر

کسینوس فی ۰/۵

جریان ثانویه A .../ ..

اختلاف سطح بی‌باری V ..

اختلاف سطح در هنگام جوشکاری V ..

جریان نامی فیوز اولیه A ..

سطح مقطع کابل اتصال به شبکه : ۱/۵ میلی‌متر مربع

سطح مقطع کابل اتصال ثانویه به الکترود و قطعه کار : ۱۶ میلی‌متر مربع

قطر الکترودهای جوشکاری : ۳/۲۵ــ ۲/۵ــ۲ــ ۱/۵ میلی‌متر

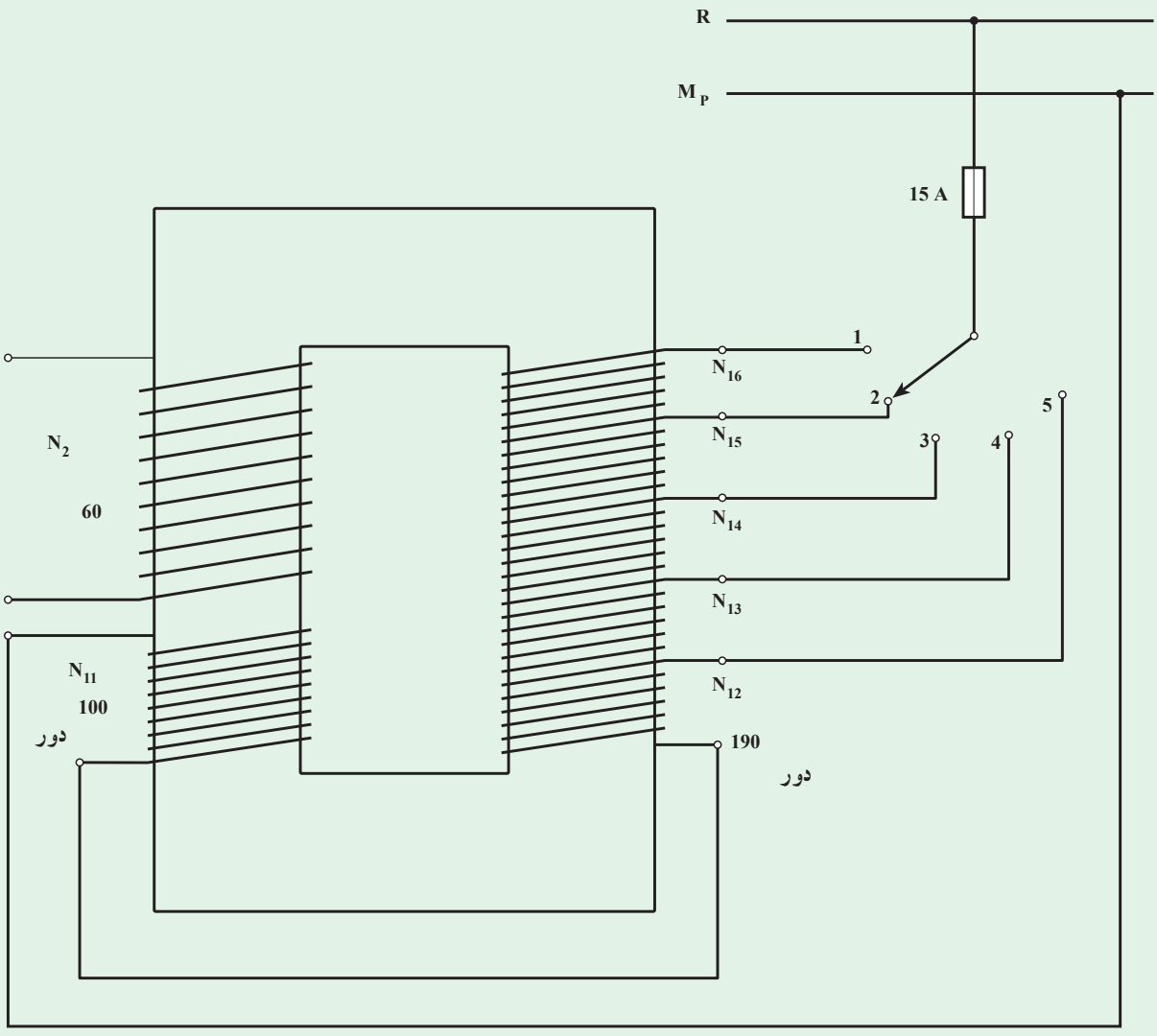
وزن تقریبی : ۱۷ کیلوگرم

مشخصات سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه

قطر سیم اولیه	d . . /. mm
تعداد دور کل اولیه	N . ... دور
طول سیم لاکی لازم برای اولیه	I . ... m
قطر سیم ثانویه	d . . mm
تعداد دور ثانویه	N . .. دور
طول سیم لاکی لازم برای ثانویه	I . .. m

سیم‌پیچ اولیه از شش سیم‌پیچ با تعداد دورهای ... . N و ... . N و .. . N و .. . N و .. . N و .. . N که مجموع آن‌ها ... . N دور می‌شود، تشکیل شده است.

سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه باید بر روی دو قرقره پیچیده شوند. بر روی یک قرقره قسمتی از سیم‌پیچ اولیه ... . N دور و سیم‌پیچ ثانویه پیچیده شده و بر روی قرقره‌ی دوم نیز سایر سیم‌پیچ‌های مربوط به اولیه پیچیده می‌شوند. بنابراین، در روی یک قرقره باید ... . دور از سیم mm . / . . d پیچیده شده و به‌ترتیب در دورهای اول و ۱۹۰ و ۲۰۵ و ۲۳۰ و ۲۶۵ و ۳۲۵، یک سر از قرقره خارج شود. چگونگی خارج‌شدن سرها و سیم‌پیچ‌هایی که باید بر روی هریک از دو قرقره پیچیده شوند، در شکل ۵ ــ ۵ نشان داده شده است.

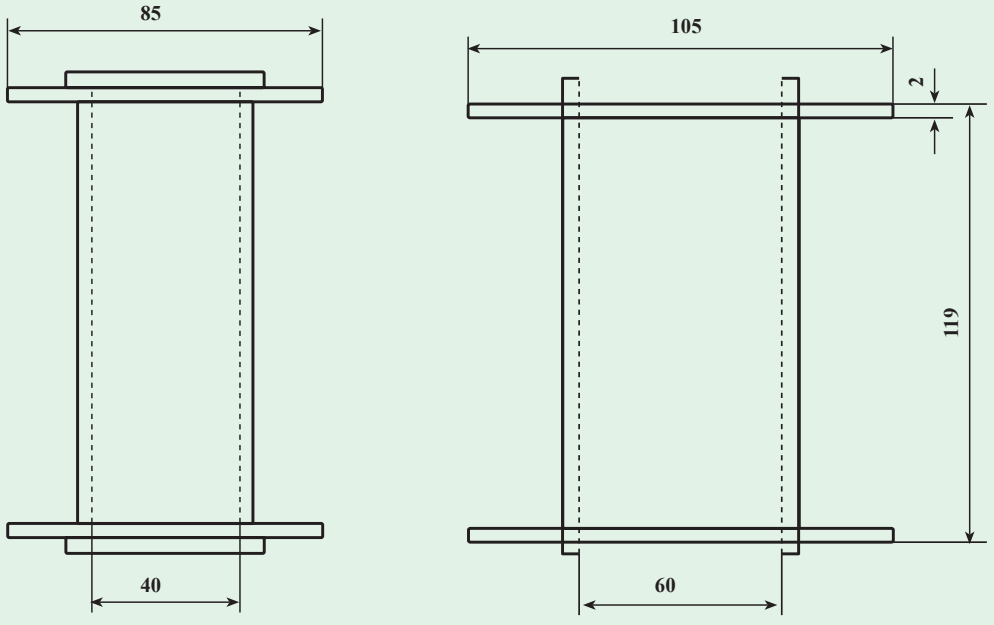


شکل ۵ــ۵ــ ترانسفورماتور متغیر

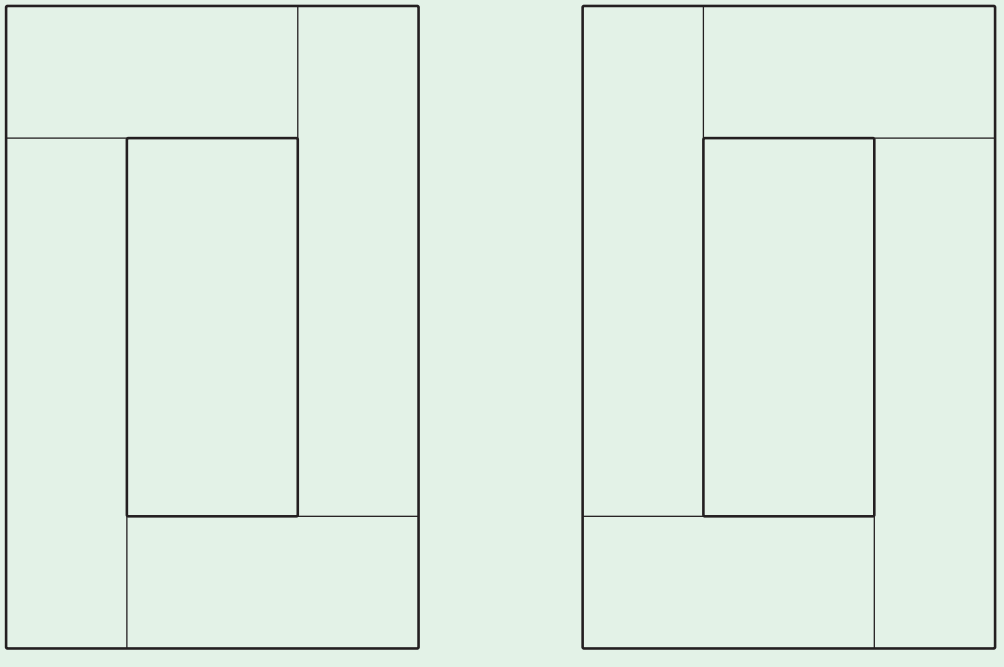
اندازه‌ی ورقه‌های دینامو‌بلش و قرقره: ورقه‌های آهن که دراین ترانسفورماتور از آن استفاده می‌شود، به‌شکل مستطیل و در دو اندازه‌ی ... و ... میلی‌متر است تا با کنارهم قراردادن آن‌ها، یک مدار بسته ایجاد شود. سطح آهن موردنیاز ۲۴۰۰ میلی‌متر مربع است و بنابراین، ارتفاع ورقه‌ها برابر با $\frac{\cdots}{\cdots}$. h میلی‌متر خواهد شد. بنابراین، در قرقره‌ای که ساخته می‌شود، باید ورقه‌هایی به پهنای ۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۶۰ میلی‌متر، جای گیرد.

در شکل ۶ــ ۵ دو نمای قرقره نشان داده شده است. طراحی هریک از اجزای تشکیل‌دهنده‌ی قرقره، به‌عهده‌ی شما هنرجویان عزیز است.

اگر در این ترانسفورماتور از ورقه‌های دینامو به ضخامت ۰/۳۵ میلی‌متر استفاده کنیم، تعداد ورقه‌های موردنیاز برای هر بازو ... / ... قطعه است. چون هر دو بازوی روبه‌رو مشابه یک دیگرند، در مجموع تعداد ۳۵۴ قطعه به هریک از اندازه‌های ذکرشده، موردنیاز است. طریقه‌ی چیدن و قراردادن ورقه‌ها در داخل قرقره بر روی یک‌دیگر مانند شکل ۷ــ ۵ است.



شکل ۶ــ۵ــ دو نمای قرقره



شکل ۷ــ۵ــ طریقه‌ی چیدن ورقه‌های دینامو‌بلش

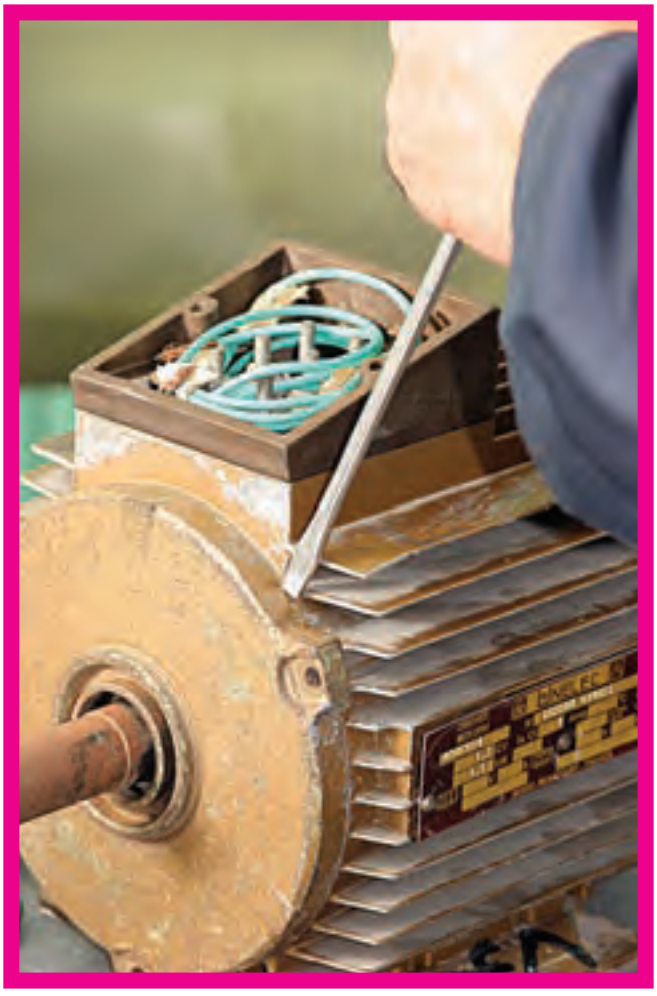
در هنگام سیم‌پیچی، باید تمام نکات ایمنی را رعایت کرد و بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه و همه‌ی طبقات سیم‌پیچی حتماً عایق قرارداد. پس از جازدن ورقه‌ها در داخل قرقره نیز باید بین دو قرقره، عایق قرار دهیم. برای محکم‌کردن ورقه‌های دینامو‌بلش در داخل قرقره و جلوگیری از پاشیدگی آن‌ها، می‌توان از بست ــ که طراحی آن به‌عهده‌ی خود هنرجویان است ــ استفاده کرد. محفظه‌ای که ترانسفورماتور درون آن قرار می‌گیرد نیز باید دارای منافذی برای تهویه و خنک شدن ترانسفورماتور باشد.

کار عملی ۶

یک ترانسفورماتور با چند سرثانویه و ولتاژ اولیه ۲۲۰V و ولتاژهای ثانویه ۱۱۰V، ۲۳۰V و ۲۴۰V با قدرت ۱۰KVA را محاسبه و سیم‌پیچی کنید.

کار عملی ۷

ترانسفورماتور کار عملی ۶ را از نظر بی‌باری و اتصال کوتاه و بارداری آزمایش کنید و نتایج به‌دست آمده را بررسی نمایید.



فصل ششم

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱/۵	۱۶/۵	۱۸

تجدید سیم‌پیچی موتورهای جریان متناوب

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ قطعات موتور را از یک‌دیگر جدا کند.

۲ــ از روی پلاک موتور مشخصات آن‌را برداشت کند.

۳ــ سیم‌های سوخته را از داخل شیار خارج کند.

۴ــ قطر سیم را اندازه‌گیری کند و تعداد دور کلاف‌ها را بشمارد.

۵ ــ داخل شیارها را عایق‌کاری کند.

۶ــ کلاف‌ها را اندازه بگیرد و قالب مناسب را انتخاب کند.

۷ــ کلاف‌ها را بپیچد.

۸ ــ کلاف‌ها را در شیارها جا بزند.

۹ــ سیم‌ها را در داخل شیار محکم کند.

۱۰ــ کلاف‌های موتور را سربندی کند.

۱۱ــ کلاف‌ها را نواربندی کند.

۱۲ــ آزمایش‌های مقدماتی را انجام دهد.

۱۳ــ قسمت‌های مکانیکی موتور را مونتاژ کند.

۱۴ــ موتور را به وسیله‌ی برق آزمایش کند.

۱۵ــ موتور را باز کرده مجدداً بازبینی کند.

۱۶ــ به سیم‌پیچ‌های موتور شارلاک بزند.

۱۷ــ موتور را سوار و مجدداً آزمایش کند.

۶ــ تجدید سیم‌پیچی موتورهای جریان متناوب

ترتیب کار برای تجدید سیم‌پیچی یک موتور سوخته

۱ــ جدا کردن رتور از استاتور (باز کردن موتور)
۲ــ برداشتن مشخصات و نقشه از روی سیم‌پیچی استاتور
۳ــ خارج کردن سیم‌های سوخته از داخل شیارها
۴ــ اندازه‌گیری قطر سیم و تعداد دور کلاف‌ها
۵ ــ عایقکاری داخل شیارها
۶ــ ساختن قالب برای تهیه‌ی کلاف‌ها
۷ــ پیچیدن کلاف‌ها
۸ ــ جا زدن کلاف‌ها در داخل شیار
۹ــ محکم کردن سیم‌ها در داخل شیار
۱۰ــ سربندی کلاف‌های موتور
۱۱ــ نواربندی کلاف‌های موتور
۱۲ــ آزمایش موتور توسط وسایل اندازه‌گیری
۱۳ــ سوار کردن موتور به‌طور موقت
۱۴ــ آزمایش موتور به وسیله‌ی اتصال به برق
۱۵ــ باز کردن مجدد موتور و کنترل عایق‌بندی و نوارپیچی آن
۱۶ــ لاک زدن موتور
۱۷ــ سوار کردن کامل موتور و آزمایش مجدد

درصورتی که بخواهیم خصوصیات یک موتور ازقبیل تعداد دور، ولتاژ و ... را با سیم‌پیچی مجدد تغییر دهیم، باید علاوه‌بر اجرای مراحل گفته شده قبل از ساختن قالب برای تهیه‌ی کلاف‌ها، مراحل زیر را نیز انجام دهیم.

۱ــ طراحی نقشه‌ی مناسب برای سیم‌پیچی
۲ــ محاسبه‌ی تعداد دور و قطر سیم
۳ــ بررسی این‌که آیا سیم‌ها در داخل شیار استاتور جای می‌گیرند یا نه؟

حال به شرح هریک از مراحل ذکر شده برای تعویض سیم‌پیچی موتوری که سیم‌پیچ آن سوخته است، می‌پردازیم.

۱ــ۶ــ جدا کردن رتور از استاتور (باز کردن موتور)

برای بازکردن موتور، قبل از هر کاری باید موتور را به‌دقت بررسی کرده و نحوه‌ی باز کردن قطعات آن را طرح‌ریزی کنید. قطعات مشابه یا خاص موتور را باید قبل از بازکردن علامت‌گذاری کنید تا درموقع سوار کردن، مجدداً به‌طور صحیح در جای خود قرار گیرند.

یکی از قسمت‌های مهم موتور درپوش‌های آن است که می‌توان محل هرکدام را با علامت‌گذاری (مثلاً توسط سنبه یا سوزن خط‌کش) روی درپوش و پوسته‌ی موتور مشخص کرد. درموقع باز کردن موتور، باید دقت کافی داشته باشیم که هر قطعه را چگونه و از کدام محل جدا می‌کنیم. قطعات جداشده را بعد از تمیز کردن، درون جعبه‌ی مخصوص قرار می‌دهیم تا گم نشوند یا درموقع سوارکردن مجدد آن‌ها به مشکلی برخورد نکنیم.

در شکل‌های ۱ــ۶ ترتیب بازکردن یک موتور نشان داده شده است.

الف ــ باز کردن پیچ‌های موتور

ب ــ درآوردن پروانه

پ ــ جدا کردن قالپاق‌ها

ت ــ جدا کردن قطعات موتور

شکل ۱ــ۶

۲ ــ۶ ــ برداشتن مشخصات و نقشه از روی سیم‌پیچی استاتور

برای تجدید سیم‌پیچی، باید از روی سیم‌پیچی معیوب نقشه برداریم و مشخصات لازم را یادداشت کنیم. مشخصات و نقشه باید به‌نحوی برداشته شود که قابل استفاده باشد و برای دوباره‌پیچی و سربندی کلاف‌ها ما را راهنمایی کند. برای این‌منظور باید به نکات زیر دقت کرد :

۱ : یک فاز یا سه فاز بودن موتور

۲ : تعداد سرهای خروجی موتور

۳ : نوع سیم‌پیچی موتور (یک طبقه یا چند طبقه)

۴ : نوع اتصال موتور (ستاره ــ مثلث ــ یک دور یا چند دور)

۵ : تعداد کلاف‌های موتور

۶ : تعداد کلاف‌های هر فاز

۷ : اتصال کلاف‌های هر فاز (سری یا موازی)

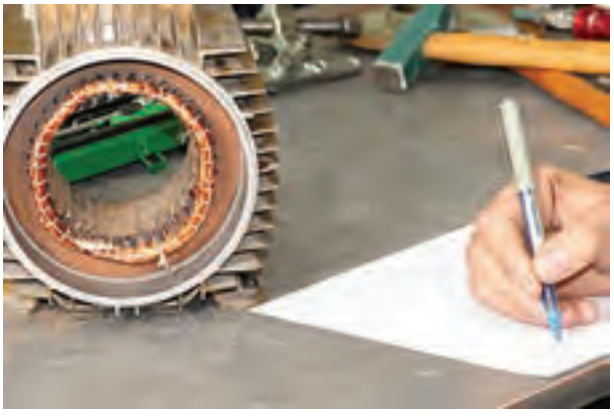
۸ : گام کلاف‌ها

۹ : تعداد سیم‌های موازی

۱۰ : تعداد دور هر کلاف

۱۱ : قطر سیم

روش ترسیم نقشه‌ی سیم‌پیچی، در فصل بعدی کتاب توضیح داده خواهد شد.



شکل ۲ــ۶ ــ برداشتن مشخصات و نقشه

۳ــ۶ــ خارج کردن سیم‌های سوخته از داخل شیار

برای خارج کردن سیم‌های سوخته از داخل شیار، باید ابتدا گوه‌ی عایق را که در روی سیم‌ها قرار دارد، از شیار خارج کرد. بدین‌منظور می‌توان از یک تیغ اره‌ی آهن‌بر استفاده کرد و با فروبردن دندانه‌های آن در جهت طول گوه و ضربه‌زدن به انتهای آن، گوه را خارج نمود. پس از آن اگر سیم‌های موتور کاملاً نسوخته و به یک‌دیگر و به جداره‌ی شیار نچسبیده باشند، می‌توان آن‌ها را به راحتی از شیار خارج کرد. اما چون معمولاً کلاف‌ها توسط لاک یک‌پارچه می‌شوند و به جداره‌ی شیار نیز می‌چسبند، باید آن‌ها را به وسیله‌ی عبور جریان الکتریسیته کاملاً سوزاند. برای این منظور، از یک ترانسفورماتور با ولتاژ کم و جریان زیاد استفاده می‌شود.

پس از سوزاندن لاک سیم‌ها، با دقت تمام سیم‌ها را از داخل شیارها خارج می‌کنیم. گاهی لازم است یک طرف کلاف‌ها را با اره یا قلم ببریم و سیم‌ها را به‌وسیله‌ی سنبه‌ی سرتخت از شیار خارج کنیم. در این‌صورت باید دقت کرد که ورقه‌های دینامو‌بلش یا پوسته‌ی موتور صدمه‌ای نبینند.

با قرار دادن سیم‌ها در داخل تری‌کلراتیلن (C_2HCl_3) به مدت چند ساعت نیز می‌توان لاک سیم‌ها را نرم کرد و آن‌ها را به‌راحتی از شیار خارج ساخت.

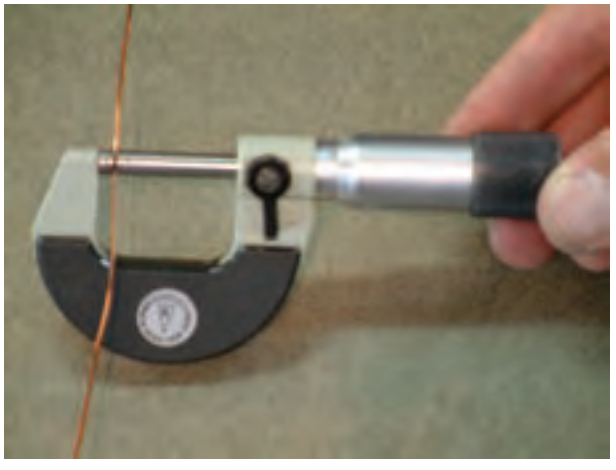
(الف)

(ب)

شکل ۳ــ۶

۴ــ۶ــ اندازه‌گیری قطر سیم و تعداد دور کلاف‌ها

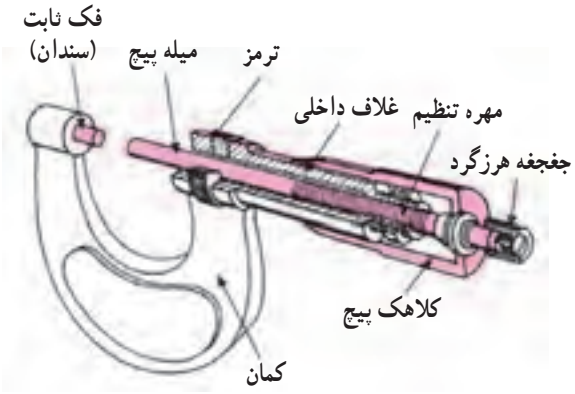
میکرومتر دستگاهی است که می‌توان با آن، ضخامت ورق‌ها و قطر سیم‌های نازک را تا دقت یک صدم میلی‌متر، اندازه‌گیری کرد.



شکل ۴ــ۶

میکرومتر اساساً از یک میله و یک پیچ درست شده است. در این وسیله، میله استوانه‌ای توخالی است که سطح خارجی آن برحسب میلی‌متر مدرج شده است. روی پیچ، کلاهکی قرار دارد که می‌تواند در امتداد غلاف جابه‌جا شود. کلاهک پیچ روی سطح خارجی میله حرکت می‌کند. با پیچاندن جغجغه هرزگرد کلاهک بر روی میله جابه‌جا می‌شود. در شکل (۵ــ۶) قسمت‌های مختلف یک میکرومتر معرفی شده است.

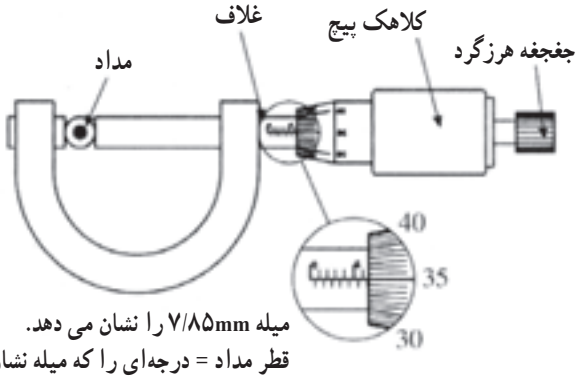
اگر کلاهک یک دور بچرخد زبانه متحرک نیم میلی‌متر جابه‌جا می‌شود (گام پیچ نیم میلی‌متر است). لبه کلاهک به ۵۰ قسمت تقسیم شده است بنابراین هر درجه موجود بر روی کلاهک یک صدم میلی‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۵ــ۶

برای اندازه‌گیری قطر سیم، سیم را بین دو فک میکرومتر قرار می‌دهیم و جغجغه هرزگرد را آن‌قدر می‌چرخانیم تا دو فک، سیم را در میان بگیرند. در این حالت جغجغه هرزگرد با چرخش خود صدایی تولید می‌کند و فک‌ها دیگر پیش نمی‌روند. از خط‌کش مهره غلاف، میلی‌متر و از لبه کلاهک صدم میلی‌متر را می‌خوانیم.

مثلاً در شکل (۶ــ۶) قطر مداد $۷/۸۵mm = ۷/۵ + ۰/۳۵$ قرائت می‌شود.



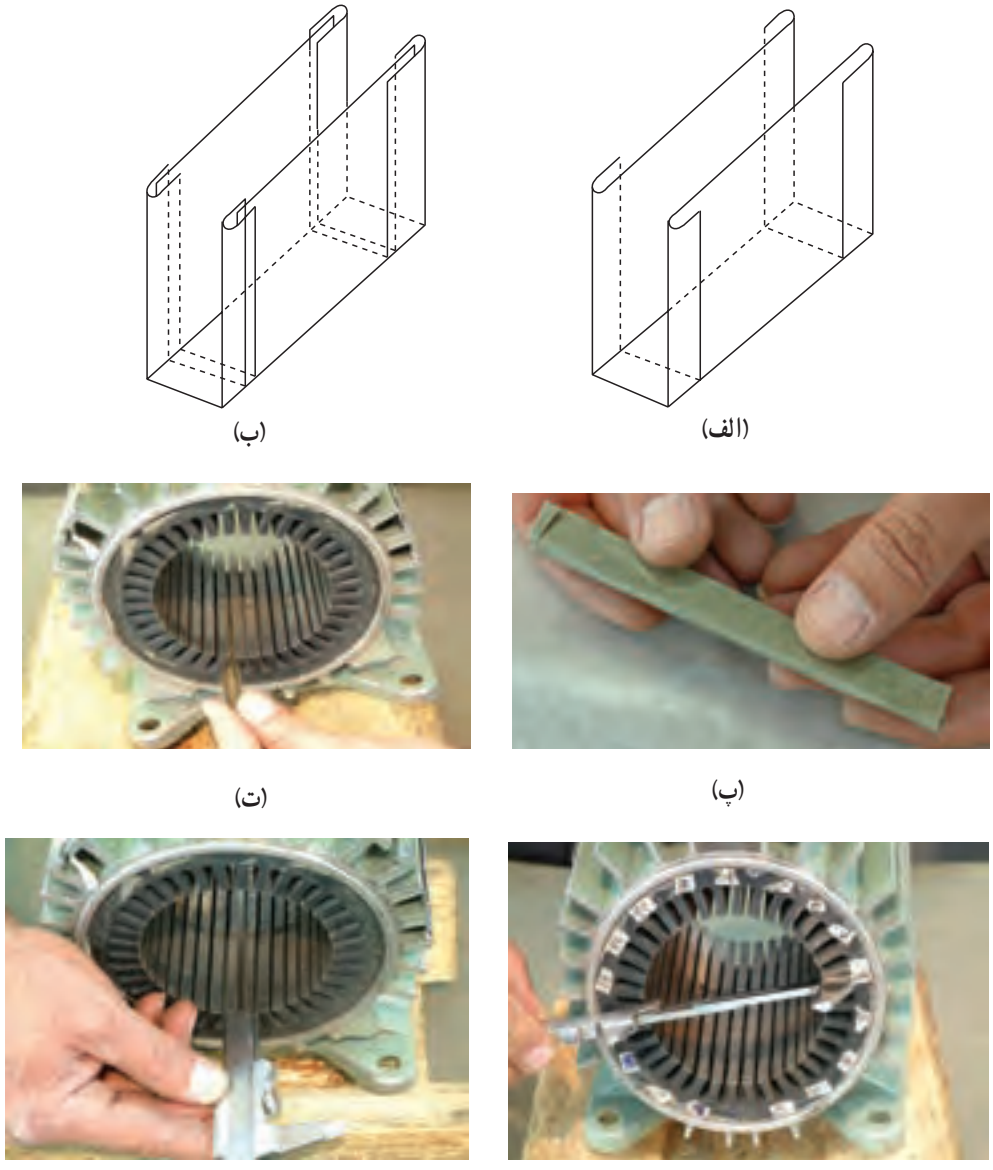
میله ۷/۸۵mm را نشان می دهد.
قطر مداد = درجه‌ای را که میله نشان می دهد.
به علاوه درجه‌ای که کلاهک نشان می‌دهد.
قطر مداد=۷/۸۵mm

شکل ۶ــ۶

۵ــ۶ــ عایقکاری داخل شیارها

دلیل عایق کردن داخل شیارها این است که سیم‌های داخل شیار، با بدنه‌ی موتور اتصال پیدا نکنند. ممکن است در هنگام پیچیدن کلاف یا جا زدن سیم‌ها در داخل شیارها، لاک روی سیم زخمی شود. بنابراین، باید حتماً داخل شیارها را عایقکاری کرد. قبل از این کار باید با وسایل مناسب شیارها را تمیز کنیم و قطعات و ذرات مربوط به عایق‌های قبلی یا لاک و غیره را که احتمالاً داخل شیار چسبیده است، ازبین ببریم.

طول عایق معمولاً ۶ تا ۱۰ میلی‌متر بیش‌تر از طول شیار و عرض آن مطابق فرم شیار استاتور انتخاب می‌شود. لبه‌های عایق را می‌توان از دو طرف شیار به‌طرف خارج تا زد. در این‌صورت، از حرکت عایق در درون شیار جلوگیری می‌شود و استحکام مکانیکی عایق در آن قسمت افزایش می‌یابد و درموقع فرم دادن به سیم‌پیچ پاره نمی‌شود. به این منظور باید طول عایق را به اندازه‌ی لبه‌های تاشده، بیش‌تر از حالتی که تا نمی‌زنیم، انتخاب کرد (شکل۷ــ۶).



شکل ۷ــ۶ــ عایق شیار

پس از قراردادن عایق در درون شیار، باید قالبی را که به‌شکل و اندازه‌ی شیار است و معمولاً از چوب ساخته می‌شود، در داخل شیار جا زد تا عایق، کاملاً به‌فرم شیار درآید و فضای خالی کافی، برای قراردادن سیم ایجاد شود.

جنس عایق معمولاً از کاغذ آغشته به روغن یا کاغذ برش‌مان (شومیز) است و ضخامت آن به اندازه‌ی شیار و ولتاژ سیم‌پیچ بستگی دارد که در جدول ۱ــ۶ برای موتورهای با قدرت متوسط داده شده است.

جدول ۱ ــ۶ ــ کاغذ برش‌مان مناسب برای ولتاژهای مختلف

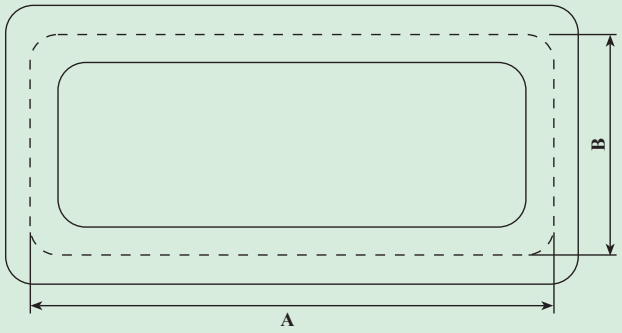
ولتاژ فازی [V]	۰ــ۱۰۰	۱۰۰ــ۲۰۰	۲۰۰ــ۳۰۰	۳۰۰ ــ ۴۵۰	۴۵۰ــ۶۰۰	۶۰۰ ــ ۸۰۰	۸۰۰ــ۱۰۰۰
ضخامت عایق [mm]	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۱

مطالعه‌ی آزاد

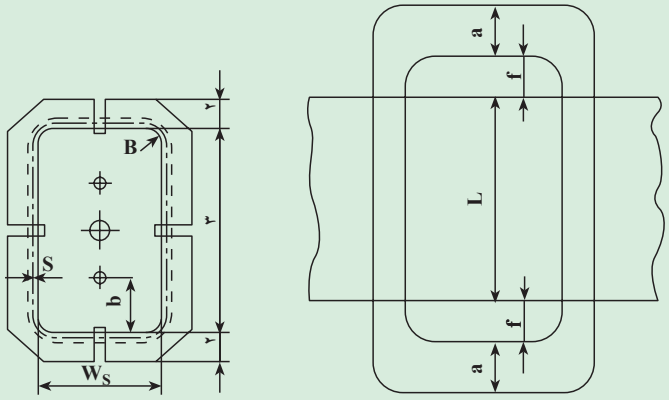
۶ ــ۶ ــ ساختن قالب برای تهیه‌ی کلاف‌ها

کلاف‌های موتور باید ابتدا بر روی یک قالب مناسب پیچیده شده و سپس در شیارها جا زده شوند. قالب کلاف را به چند روش می‌توان تهیه کرد.

روش اول: برای تهیه‌ی قالب بدین‌صورت است که ابتدا کلافی را که از موتور بیرون آمده فرم می‌دهیم تا شکل مشخصی پیدا کند. سپس طول و عرض متوسط آن را مانند شکل زیر اندازه می‌گیریم و مطابق این اندازه یک قالب چوبی می‌سازیم. ضخامت چوبی که برای ساختن قالب از آن استفاده می‌شود، باید در حدود $\frac{۳}{۴}$ ارتفاع شیار باشد.



روش دوم: قالب‌های چهارگوش را می‌توان از روی اندازه‌های استاتور و گام سیم‌پیچی مانند شکل زیر نیز ساخت. در این شکل اندازه‌های لازم داده شده است.



پهنای قالب (W_s) باید کمی از فاصله‌ی لازم بین بازوهای کلاف در استاتور بیش‌تر باشد.

درازای قالب را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد :

$$l_s = l + ۲f + ۲a$$

در این رابطه l طول شیار استاتور است و در صورتی که موتور برای اولین بار سیم‌پیچی می‌شود، باید متناسب با بزرگی موتور ۲ الی ۵ میلی‌متر برای باز شدن احتمالی ورقه‌ها و افزایش ظاهری شیارها به آن افزود.

f نیز فاصله‌ی بین ورقه‌های استاتور تا پیشانی کلاف کوچک‌تر است و مقدار آن به فضای خالی بین ورقه‌ها و درپوش موتور و تجهیزات واقع در این فضا ــ مانند پروانه، کلید گریز از مرکز و ... ــ بستگی دارد.

a نیز فاصله‌ی بین پیشانی کلاف‌های یک گروه کلاف است. در موتورهای کوچک اگر پیشانی کلاف‌ها روی هم واقع شوند، می‌تواند مقدار a صفر باشد.

شعاع r_s ، به قطر سیم و کلفتی کلاف (S) بستگی دارد. حداقل مقدار r_s ، معمولاً ۱۵ میلی‌متر است.

در شکل صفحه‌ی قبل علاوه بر قالب اصلی، یک قطعه‌ی دیگر از فیبر یا چوب به اندازه‌ی l_2 در هر طرف از قالب اصلی بزرگ‌تر رسم شده است.

وظیفه‌ی این قطعه که باید در دو طرف قالب این قطعه قرار گیرد، نگهداری سیم‌ها در هنگام پیچیدن کلاف است.

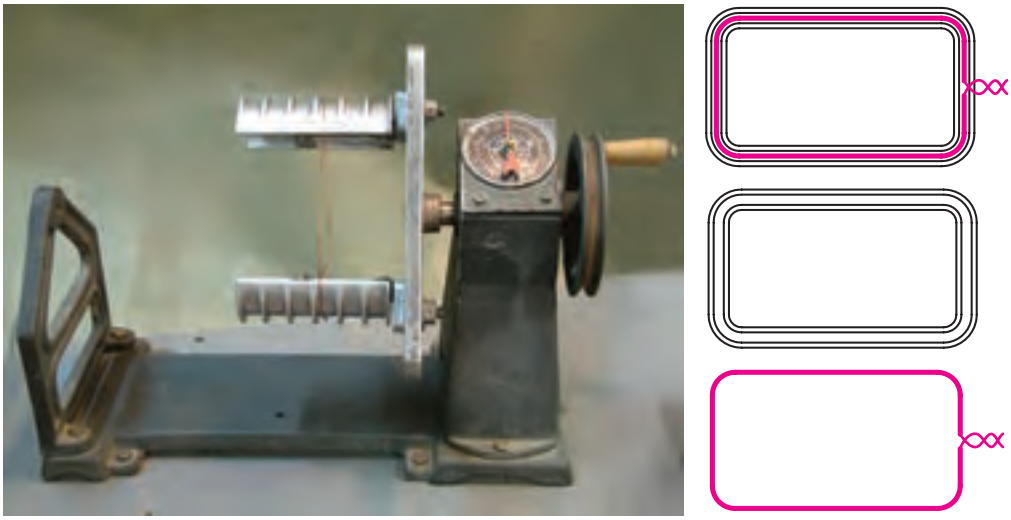
روش سوم (تجربی): استفاده از قالب متغیر (قابل تنظیم) است. برای تنظیم این قالب، ابتدا یکی از شیارهای استاتور را به‌عنوان شیار شماره‌ی یک انتخاب می‌کنیم. سپس شیار بعدی را با توجه به گام سیم‌پیچی، مشخص می‌کنیم و پس از آن، مطابق شکل ۸ــ۶ قطعه سیمی را در دو شیار مشخص شده قرار می‌دهیم و به سیم مزبور، فرم و اندازه‌ی کلاف‌ها را می‌دهیم. سپس دو سر سیم را به هم نزدیک می‌کنیم و می‌تابانیم.

شکل ۸ ــ۶ــ طریقه‌ی اندازه‌گیری کلاف‌ها با توجه به گام کلاف

دقت داشته باشید که اگر محیط سیم (حلقه) کم باشد، برای جا انداختن کلاف‌ها در داخل استاتور با مشکل روبه‌رو می‌شویم. اگر محیط سیم (حلقه) نیز زیاد باشد، فرم مجموعه‌ی سیم‌بندی شده به‌هم می‌خورد و فضای زیادی را اشغال می‌کند. در عین‌حال، مقاومت سیم‌پیچی و حجم سیم به‌کار رفته افزایش می‌یابد و احتمالاً برای جا انداختن درپوش‌های موتور، با مشکل مواجه خواهیم شد.

پس از آن‌که سیم به فرم یک حلقه‌ی مناسب درآمد، آن‌را از داخل استاتور خارج می‌کنیم و مانند شکل ۹ــ۶ بر روی دو نیم قالب متحرک قرار می‌دهیم. قطعات نیم‌قالب را آن‌قدر از یک‌دیگر دور می‌کنیم تا سیم به حالت کاملاً کشیده درآید. سپس مهره‌های نیم‌قالب را محکم می‌کنیم. در صورت لزوم برای کسب اطمینان از نزدیک شدن دو نیم قالب به یک‌دیگر یا یکسان بودن اندازه‌ی کلاف‌های بعدی و ساده‌تر شدن تنظیم نیم قالب‌ها، می‌توان

یک قطعه چوب مناسب را در فاصله‌ی بین دو نیم‌قالب قرار داد. هم‌چنین می‌توان قالب‌ها را چند طبقه ساخت و چند کلاف را بر روی قالب پیچید. نکته‌ی مهمی که در تهیه‌ی قالب باید به آن توجه کرد، شیبی است که لازم است در ضخامت قالب به‌وجود آید. درصورت وجود این شیب هنگامی که سیم دور قالب پیچیده می‌شود، به آسانی می‌توان کلاف را از قالب جدا کرد.

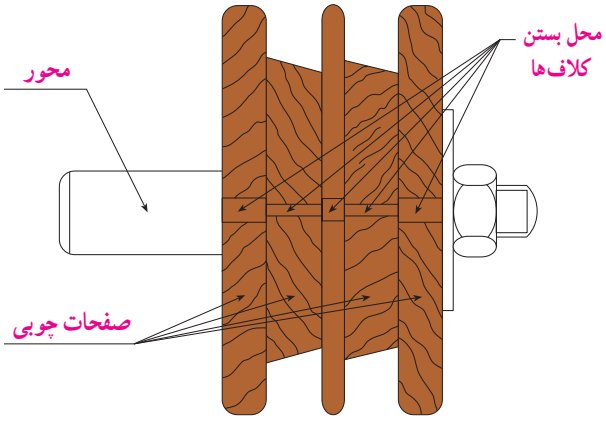


شکل ۹ــ۶ــ طریقه‌ی اندازه‌کردن بوبین در کلاف‌پیچ

پس از تهیه‌ی قالب، باید قطعات نگهدارنده‌ی طرفین قالب را ساخت. جنس این قطعات چوب نازک یا فیبربخاری و اندازه‌ی آن‌ها بزرگ‌تر از قالب اصلی و به‌شکل همان قالب است.

در دو سر نگهدارنده‌ها (دیواره‌ها) باید شکافی برای قراردادن نوار یا سیم به‌منظور بستن سیم‌های کلاف پیش‌بینی کرد. در شکل ۱۰ــ۶ طرز قرارگرفتن قالب و نگهدارنده‌ها بر روی محورشان نشان داده شده است.

در شکل ۱۰ــ۶ نیز علاوه بر قالب اصلی، نگهدارنده نیز رسم شده است که در هر طرف آن یک شیار برای بستن کلاف وجود دارد.



شکل ۱۰ــ۶ــ طریقه‌ی قرار گرفتن قالب و نگهدارنده‌ها

۷ــ۶ــ پیچیدن کلاف‌ها

پس از ساختن قالب‌ها باید آن‌ها را به همراه نگهدارنده‌ها بر روی محور دستگاه سیم‌پیچی سوار کنیم و قرقره‌ی سیم را نیز در پایه‌ی مخصوص خود جای دهیم. پس از کسب اطمینان از ثابت‌ماندن قرقره‌ی سیم، ابتدای سیم را به قالب می‌بندیم و شروع به پیچیدن سیم می‌کنیم.

در هنگام پیچیدن سیم باید دقت کرد که سیم‌ها به موازات یک‌دیگر پیچیده شوند و از روی هم عبور نکنند ؛ چون در این‌صورت جازدن آن‌ها در داخل شیار دشوار است. علاوه بر این، احتمال ساییدگی سیم‌ها بر هم افزایش می‌یابد و در اثر از بین رفتن عایق، خطر اتصال کوتاه حلقه‌ها به یک‌دیگر نیز وجود دارد.

در شکل ۱۱ــ۶ یک کلاف را که به‌طور غلط پیچیده شده و حلقه‌های آن در هم است، مشاهده می‌کنید.

الف ــ غلط

ب ــ صحیح

شکل ۱۱ــ۶ــ طریقه‌ی کلاف‌پیچی

پس از کامل شدن تعداد دور یک کلاف، باید طرفین آن را با نوار پارچه‌ای، نخ یا سیم در محل شیارهایی که در دوسر قالب و دیواره‌های فیبری ایجاد شده است یا در محل خاص بین دو قطعه قالب متحرک، به‌طور آزاد ببندیم. سپس قالب‌ها را باز کنیم و کلاف‌ها را در جهت شیب قالب از داخل قالب‌ها خارج سازیم.

در شکل ۱۲ــ۶ یک کلاف آماده نشان داده شده است.

استقامت حرارتی و ضخامت عایق سیمی که از آن برای پیچیدن کلاف استفاده می‌شود، باید مشابه سیم اصلی موتور یا بیش‌تر از آن باشد.

شکل۱۲ــ۶ــ کلاف پیچیده شده

۸ ــ۶ ــ طرز جازدن کلاف‌ها در شیارها

پس از آماده‌شدن کلاف‌ها و عایق کردن شیارها، کلاف‌ها را در داخل شیار جا می‌زنیم. این کار باید به‌ترتیب خاص و با حوصله و دقت کافی انجام گیرد تا سیم‌ها زخمی نشوند و کلاف در درون شیار جای گیرد.

برای این‌کار ابتدا استاتور را بر روی یک پایه‌ی مناسب قرار می‌دهیم. سپس یکی از کلاف‌ها را طوری در دست می‌گیریم که مثلاً دو سر کلاف به‌طرف راست باشد.

پس از آن، نوار یا سیم نگهدارنده‌ی یک بازوی کلاف را به سمت چپ یا راست حرکت می‌دهیم تا تمام سیم‌های یک بازوی کلاف آزادانه در بین انگشتان قرار گیرند. آن‌گاه کلاف را به‌دقت به داخل استاتور می‌بریم و به آرامی شروع به قراردادن سیم‌ها در داخل شیار استاتور می‌کنیم. معمولاً ضخامت یک کلاف از دهانه‌ی یک شیار بیش‌تر است. بازوی کلاف را نمی‌توان یک‌باره درون شیار قرار داد. به همین دلیل، هادی‌های بازوی کلاف را در دسته‌های چندتایی در درون شیار جای می‌دهیم.

به این‌ترتیب که هر سمت کلاف را بین انگشت شست و انگشت نشانه‌ی دو دست می‌گیریم و با حرکت انگشتان نشانه‌ی دو دست به‌طور متناوب به بالا و آن را در درون شیار قرار می‌دهیم.

در ضمن باید با انگشت شست فشار بسیار کمی بر روی سیم‌ها وارد کرد.

برای تمرین کردن شیوه‌ی انجام این کار ابتدا انگشتان خود را مطابق شکل ۱۳ــ۶ طوری قرار دهید که نوک انگشتان اشاره (سبابه) بر روی شست قرار گیرد و سه انگشت دیگر به کف دست بچسبد. سپس مطابق شکل ۱۴ــ۶ دو انگشت نشانه را به آهستگی به‌طرف پایین حرکت دهید. این حرکت برای تخت و صاف کردن بازویی از کلاف است که باید درون شیار جای گیرد و در شکل ۱۵ــ۶ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که این عمل به‌همراه کلاف در داخل استاتور انجام می‌گیرد. پس از آن، چند سیم را که تعداد آن‌ها به بزرگی دهانه‌ی شیار و قطر سیم بستگی دارد (مانند شکل ۱۶ــ۶) از کلاف جدا می‌کنیم و با دقت در داخل شیار قرار می‌دهیم. این عمل را آن‌قدر تکرار می‌کنیم تا تمام هادی‌های بازوی کلاف در داخل شیار استاتور قرار گیرند.

برای قرار دادن بازوی دوم کلاف و هم‌چنین سایر کلاف‌ها نیز باید به همین ترتیب عمل کرد. ترتیب قراردادن بازوها نیز بسته به نوع سیم‌پیچی و گام کلاف، در قسمت‌های بعد توضیح داده می‌شود.

در هنگام جدا کردن یا قراردادن سیم‌ها در درون شیار استاتور، باید دقت داشت که مانند شکل ۱۷ــ۶ــالف یک یا چند حلقه از کلاف کشیده نشود یا به‌صورت متقاطع قرار نگیرد ؛ زیرا در این‌صورت، علاوه بر این‌که زیبایی سیم‌پیچ ازبین می‌رود، خطر پاره‌شدن یا اتصال کوتاه بین سیم‌ها نیز وجود دارد. در عین‌حال، زمان بیش‌تری صرف جازدن بازوها در داخل شیار خواهد شد.

پس از قرار دادن اولین کلاف در استاتور، بررسی می‌کنیم که اندازه‌ی کلاف مناسب باشد. در غیر این‌صورت، باید اندازه‌ی قالب سیم‌پیچی را متناسب با اندازه‌ی جدید تغییر دهیم.

شکل ۱۳ــ۶ــ حالت دست در کلاف‌گذاری (۱)

شکل ۱۴ــ۶ ــ حالت دست در کلاف‌گذاری (۲)

شکل ۱۵ــ۶ــ طریقه در دست گرفتن کلاف

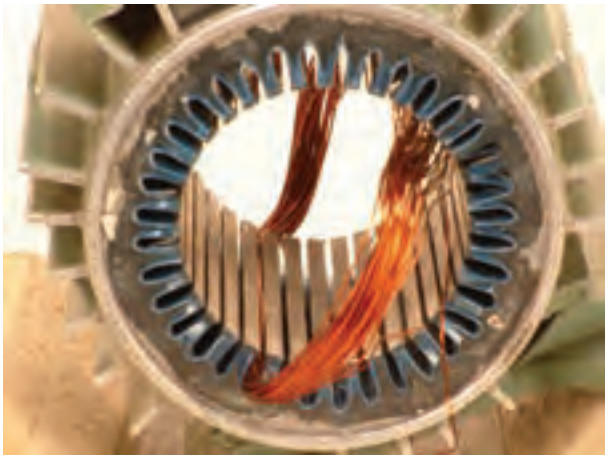
شکل ۱۶ــ۶ــ مرتب کردن سیم‌ها جهت کلاف‌گذاری

الف ــ غلط

ب ــ صحیح

شکل ۱۷ــ۶ــ طریقه‌ی کلاف‌گذاری

پس از جازدن هر کلاف، برای این‌که برای کلاف‌های بعدی جا باشد و علاوه بر آن، در هنگام جازدن و چرخیدن موتور نیز به سیم‌ها صدمه‌ای وارد نشود، باید به کمک انگشتان شست و سبابه (مانند شکل ۱۸ــ۶) در دو محلی که کلاف از شیار خارج می‌شود، کلاف را به سمت خارج از استاتور فشار دهیم تا کلاف در دو لبه‌ی شیار، تا بخورد و فضای خالی مناسب برای کلاف‌های بعدی ایجاد شود.



شکل ۱۸ــ۶ــ طریقه‌ی کلاف‌گذاری

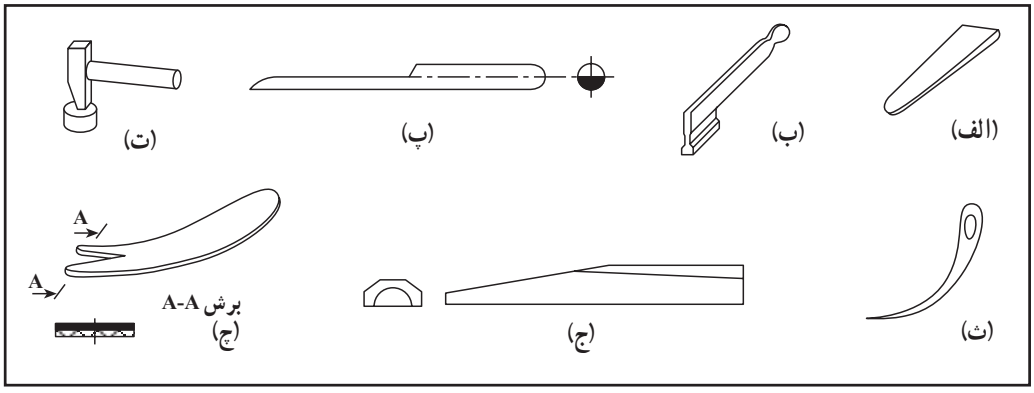
سرعت عمل جازدن کلاف در درون شیار و مدت زمانی که برای این کار صرف می‌شود، تا حدود زیادی به نسبت پهنای دهانه‌ی شیار (b) و به قطر سیم (d) بستگی دارد. هرچه این نسبت کم‌تر باشد، انجام این کار مشکل‌تر خواهد بود. حاصل $\frac{b}{d}$ باید از ۱/۵ بزرگ‌تر باشد. اگر این نسبت از ۲ بیش‌تر باشد، سیم‌های متقاطع نیز به‌راحتی در درون شیار جای خواهند گرفت و سرعت عمل بیش‌تر خواهد شد.

طول شیار و قطر دهانه‌ی استاتور و قطر سیم نیز در سرعت انجام کار تأثیر دارند. هرچه طول شیار کوچک‌تر و دهانه‌ی استاتور بزرگ‌تر باشد، بازوهای کلاف‌ها، راحت‌تر در درون شیارها قرار می‌گیرند. سیم‌های با قطر متوسط را بهتر از سیم‌های با قطر خیلی کم یا با قطر خیلی زیاد، می‌توان در درون شیارها جای داد.

در موارد خاص، می‌توان با مالیدن پارافین به سیم‌ها آن‌ها را راحت‌تر در داخل شیار قرار داد. مقدار پارافین باید کم باشد تا در هنگام لاک‌زدن مشکلی ایجاد نکند.

برای این‌که هادی‌ها در داخل شیار بهتر جای بگیرند، باید گوه‌ی مخصوص شیار (کاردک) را که جنس آن معمولاً از فیبر و یا غیرفلز دیگری است، (شکل ۱۹ــ۶ــ الف) در امتداد دهانه‌ی شیار بر روی سیم‌های داخل شیار کشید تا جا برای سیم‌های باقی‌مانده باز شود.

از وسایل دیگری نیز برای باز کردن جا در داخل شیار، استفاده می‌شود که دو نوع آن در شکل‌های ۱۹ــ۶ــ ب و ۱۹ــ۶ــ پ نشان داده شده است. با قراردادن قسمت تخت آهن T (شکل ۱۹ــ۶ــ ب) در داخل شیار و کشیدن آن در امتداد شیار بر روی سیم‌ها و وارد آوردن فشار بر روی آن، می‌توان سیم‌های داخل شیار را فشرده کرد تا برای بقیه‌ی سیم‌ها جا باز شود. این کار را با واردکردن میله‌ی شیار (شکل ۱۹ــ۶ــ پ) به داخل شیار در جهت محور آن نیز می‌توان انجام داد. مقطع میله‌ی شیار به‌صورت نیم‌دایره و سر آن گرد است تا عایق سیم‌ها را ازبین نبرد. در شکل ۱۹ــ۶ تعدادی از ابزارهایی را که در مراحل مختلف سیم‌پیچی موردنیاز است، می‌بینید.



شکل ۱۹ــ۶ــ ابزار جا زدن کلاف در شیار

۹ــ۶ ــ محکم‌کردن سیم‌ها در داخل شیار

سیم‌ها باید در داخل شیار موتور کاملاً محکم شوند تا از ارتعاش یا خارج شدن آن‌ها از داخل شیار جلوگیری شود. برای این‌منظور، پس از آن‌که کلاف در درون شیار قرار گرفت یک عایق ضخیم روی آن قرار می‌گیرد. سپس (مانند شکل ۲۰ــ۶) در مرحله‌ی آخر یک گوه‌ی عایق (معمولاً چوبی) که به فرم فضای داخلی بالای شیار است، قرار می‌دهند. این گوه علاوه بر عایق بودن، باید تحمل درجه‌ی حرارت موتور را داشته باشد.

شکل ۲۰ــ۶ــ محکم کردن سیم‌ها در داخل شیار با گوه‌ی عایق

۱۰ــ۶ ــ سربندی کلاف‌های موتور

پس از قراردادن گروه کلاف‌ها در شیارهای استاتور، مطابق نقشه باید اقدام به سربندی کلاف‌ها کرد. برای این‌کار، ابتدا سربندی کلاف‌های مربوط به یک فاز را انجام می‌دهیم و ابتدا و انتهای آن‌را مشخص می‌کنیم. سپس، دو فاز دیگر را به‌ترتیب سربندی می‌کنیم و پس از آن، اتصالات را به‌دقت لحیم کرده یا به یک دیگر جوش می‌دهیم تا اتصالات محکم و کامل شوند. سرهای خروجی هر فاز را نیز بهتر است با سیم‌های افشان و عایق مقاوم در مقابل حرارت به جعبه‌ی ترمینال موتور وصل کنیم.

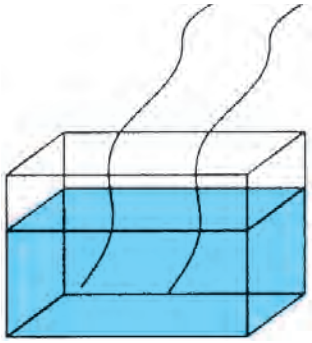
برای مشخص‌کردن ابتدا و انتهای هر کلاف یا فاز می‌توان از اهم‌متر یا لامپ آزمایش استفاده کرد.

برای اتصال کلاف‌ها به یک‌دیگر باید سر سیم‌ها را از لاک پاک کنیم.

لاک روی سیم‌های لاکی با قطر بیش‌تر از ۰/۶ میلی‌متر را می‌توان با چاقو ازبین برد. این کار به تجربه و مهارت زیادی نیاز دارد تا در حین عمل، سیم زخمی نشود و بعداً در اثر خمیدگی یا تابیده‌شدن نشکند.

لاک روی بعضی از سیم‌ها را می‌توان به‌روش شیمیایی نیز از بین برد. انتخاب محلول شیمیایی بستگی به جنس لاک روی سیم دارد.

(الف)



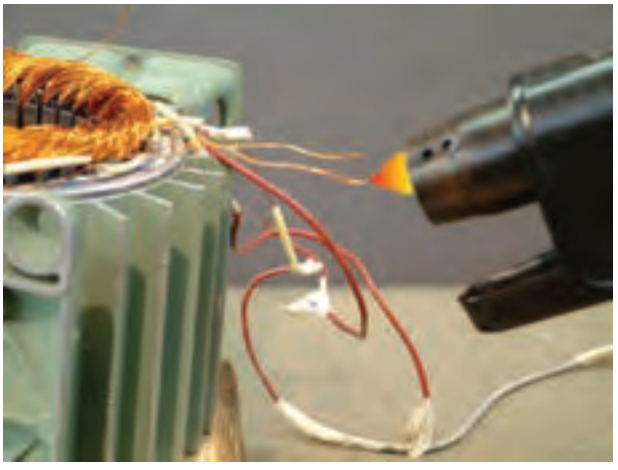
(ب)

شکل ۲۱ــ۶

روش دیگری که برای پاک‌کردن و از بین‌بردن لاک روی سیم از آن استفاده می‌شود، روش حرارتی است. بدین‌منظور، باید سر سیم را مدت کوتاهی روی شعله‌ی گاز بگیریم تا عایق آن بسوزد. پس از سوزاندن لاک سیم را در محلول الکل و آب با نسبت مساوی فرومی‌بریم تا سیم سخت شود.

پس از آن‌که لاک روی سیم‌ها ازبین رفت، سیم‌هایی را که با یک‌دیگر اتصال می‌یابند، به‌هم تاب می‌دهیم. سپس سیم‌پیچ‌های هر فاز را با اهم‌متر امتحان می‌کنیم و درصورت سالم‌بودن، محل‌های اتصال را لحیم کرده یا جوش می‌دهیم.

هنگام اتصال سیم‌های مسی به یک‌دیگر، برای این‌که از اکسید شدن محل لحیم‌کاری جلوگیری شود، باید ابتدا محل تابیده شده را در محلول الکل و کلوفونیم فرو ببریم و سپس با قلع ۴۰ تا ۶۰ درصد (LSn 40-LSn60) توسط هویه و یا حمام (ظرف) قلع مذاب، عمل لحیم‌کاری را انجام دهیم.



شکل ۲۲ــ۶

در سری کاری[1]، اگر حرارت حمام قلع ۲۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد، سرعت عمل بسیار زیاد خواهد بود.

برای جلوگیری از ورود ذرات مس به درون ظرف قلع که باعث بالارفتن درجه‌ی ذوب قلع می‌شود، باید مدت قراردادن مس در داخل قلع مذاب، تاحد ممکن کوتاه باشد.

در لحیم‌کاری سیم‌های ضخیم و تسمه‌ها به یک‌دیگر، بهتر است هریک از سیم‌ها جداگانه قلع‌اندود و سپس به یک‌دیگر لحیم شوند.

در هنگام لحیم‌کردن سیم‌های آلومینیومی به یک‌دیگر به‌سرعت در سطح کار اکسیدآلومینیوم Al_2O_3 تشکیل می‌شود. برای جلوگیری از تشکیل این لایه، می‌توان ابتدا هریک ازسیم‌ها را در حمام قلع LSn60 با کشیدن یک شابر یا برس سیمی بر روی آن، قلع‌اندود کرد و پس از تابانیدن به یک‌دیگر، آن‌ها را مشابه سیم‌های مسی لحیم نمود.

در صورتی‌که درجه‌ی حرارت کار موتور بالا باشد، نمی‌توان با لحیم‌کردن معمولی کلاف‌ها را به یک‌دیگر یا به ترمینال‌های خروجی اتصال داد.

برای چنین موتورهایی می‌توان از لحیم فسفر مس (LCuP8) با درجه ذوب ۷۰۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و درجه حرارت لحیم‌کاری ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد یا لحیم فسفرنقره (LAg15P) با درجه ذوب ۶۴۶ تا ۷۱۰درجه‌ی سانتی‌گراد یا لحیم نقره (LAg45) در درجه حرارت کار ۶۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد استفاده کرد.

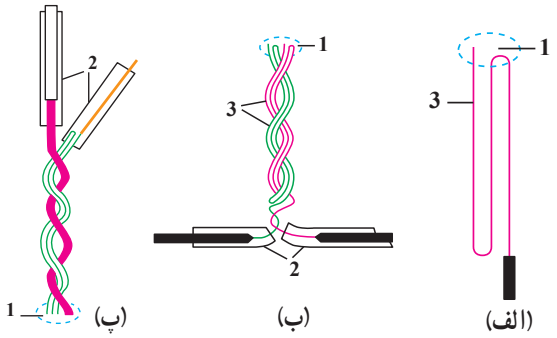
علاوه بر روش‌های ذکرشده از جوش نیز می‌توان به جای لحیم استفاده کرد.

در این‌صورت، خوردگی الکتریکی حاصل از لحیم‌کاری دیگر پیش نمی‌آید. علاوه‌بر این، در درجه حرارت‌های بالا نیز اتصال سیم‌ها از یک‌دیگر بازنمی‌شود و در سیم‌های لاکی نیز اغلب به ازبین‌بردن لاک روی سیم نیازی نیست. در همه‌ی روش‌هایی که برای جوش‌کاری سیم‌ها به یک‌دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، لازم است محلّ جوش به قدرکافی ضخیم باشد.

در صورتی‌که قطر هریک از سیم‌ها از یک میلی‌متر کم‌تر باشد، باید سیم‌ها را با خم‌کردن مجدد، آن‌چنان پهلوی هم قرارداد که سطح جوشکاری از ۰/۷۵ میلی‌متر مربع کم‌تر نباشد.

در سیم‌هایی که قطر آن‌ها از یک میلی‌متر کم‌تر است، باید مطابق شکل ۲۳ــ۶ هریک از سیم‌ها را چند بار خم کنیم ؛ به‌طوری‌که سر آن‌ها درمحل جوش قرار گیرد (شکل ۲۳ــ۶ــ الف). سپس مطابق شکل ۲۳ــ۶ــ ب، دو سیم را در محل تاخورده، به یک‌دیگر بتابانیم و سپس سر آن‌ها را جوش بدهیم.

در شکل۲۳ــ۶ــ پ چگونگی قرارگرفتن و اتصال سیم لاکی و سیم‌رابط را برای اتصال به ترمینال‌های موتور مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۳ــ۶ــ طریقه‌ی اتصال سیم‌ها با قطر کم‌تر از یک میلی‌متر

سیم‌های با قطر بیش‌تر از یک میلی‌متر را می‌توان بدون تاکردن به یک‌دیگر تاباند و سپس جوش داد. طول لازم برای تاباندن سیم‌های با قطر کم‌تر از یک میلی‌متر، حدود ۱۵ میلی‌متر و برای سیم‌های با قطر بین یک تا دو میلی‌متر، حدود ۲۰ میلی‌متر است.

برای جوش دادن سیم‌های مسی با قطر بیش از ۰/۴ میلی‌متر، می‌توان از شعله‌ی استیلن یا پروپان با اکسیژن استفاده کرد.

برای این کار، انتهای دو سیم را به یک‌دیگر می‌تابانیم و سپس با شعله، در سر آن یک نقطه‌ی جوش به‌وجود می‌آوریم.

برای جوش‌دادن سیم‌های آلومینیمی با قطر ۰/۶ تا یک میلی‌متر از شعله‌ی استیلن با هیدروژن یا پروپان یا بنزن با اکسیژن و برای سیم‌های با قطر بیش‌تر از یک میلی‌متر از شعله‌ی استیلن با اکسیژن استفاده می‌شود.

۱ــ روش سری‌کاری تولید انبوه محصولاتی که نیاز به فرآیند کاری متعدد دارند استفاده می‌شود. در این روش عملیات مونتاژ طی چند مرحله توسط افراد یا دستگاه‌های مختلف صورت می‌گیرد.

یک انتخابی برای جوش آلومینیم، باید یک شماره از یک انتخابی برای جوش مس کم‌تر باشد. روش دیگر جوش‌دادن سیم‌ها به یک‌دیگر، جوش‌کاری به طریقه‌ی مقاومت الکتریکی است. به کمک یک ترانسفورماتور و با تاباندن سیم‌ها به یک‌دیگر و عبور دادن جریان الکتریکی توسط یک انبردستی از قسمت‌هایی که باید به یک‌دیگر اتصال یابند، دو سیم به یک‌دیگر جوش داده می‌شوند.

برای اتصال سرهای خروجی سیم‌پیچ‌های موتور به جعبه کلم نیز باید از سیمی استفاده کرد که سطح مقطع آن متناسب با جریان موتور باشد.

در موتورهای کوچک که جعبه کلم (ترمینال) ندارند، از سیم‌هایی با رویوش بافته شده استفاده می‌شود. جنس هادی این سیم‌ها در سیم‌پیچ‌های مسی از مس و در سیم‌پیچ‌های آلومینیمی از جنس آلومینیم مس‌اندود شده است.

اگر سطح مقطع سیم زیاد باشد، می‌توان از کابل‌های NYA یا NCA یا NGAF استفاده کرد.

محل اتصال سیم به کلاف را نیز باید لحیم‌کاری کرد یا جوش داد.

در روی جعبه کلم باید سیم‌ها را به‌صورت حلقه درآورد و یا توسط کابل‌شو در زیر پیچ‌ها محکم کـرد. این سیم‌ها باید به‌طریقی در روی ترمینال‌ها بسته شوند که برای اتصال سیم‌های ورودی شبکه، به بازکردن مجدد آن‌ها نیازی نباشد.

بدین‌منظور، معمولاً از یک مهره برای بستن سر کلاف‌ها و از مهره‌ی دیگر برای بستن سیم‌های شبکه استفاده می‌کنند.

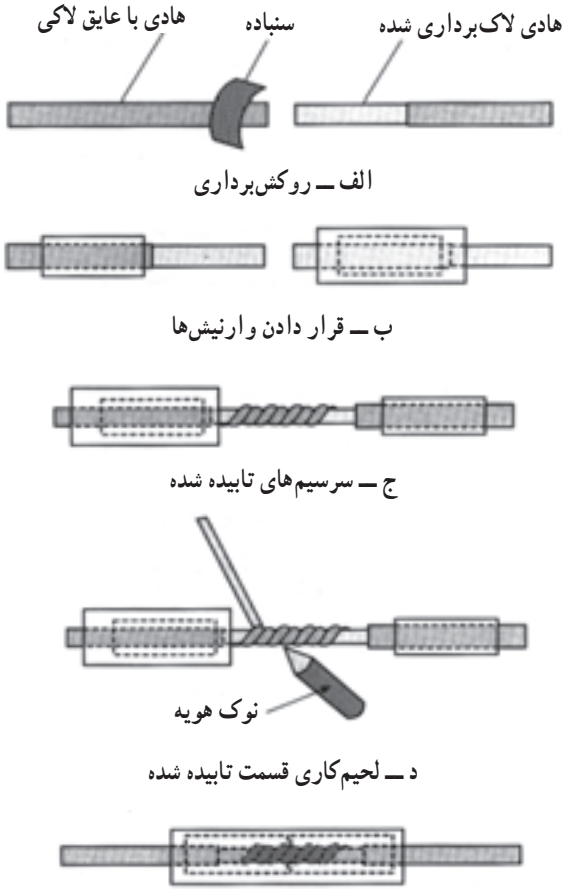
به‌طور کلی در اتصال سیم‌ها به یک‌دیگر دو نکته را باید درنظر داشت :

۱ــ کمی مقاومت الکتریکی درمحل اتصال دو سیم تا دراثر عبور جریان حرارت ایجاد نشود.

۲ــ وجود استقامت مکانیکی کافی.

لازم به تذکراست که تمام قسمت‌هایی که به یک‌دیگر لحیم شده یا جوش داده می‌شوند، باید توسط لوله‌های عایق (ماکارونی یا وارنیش) از سایر قسمت‌ها جدا شوند.

این لوله‌ها که قبل از اتصال دو انتهای سیم به یک‌دیگر در روی سیم‌ها جا زده می شوند، باید مانند شکل ۲۴ــ۶ در قسمت تابیده‌شده رانده شوند. این کار علاوه‌بر عایق‌کردن، از خوردگی الکتریکی که تحت‌تأثیر مواد لحیم‌کاری و قرارگرفتن محل اتصال برروی سیم‌های دیگر ایجاد می‌شود، جلوگیری می‌کند.



شکل ۲۴ــ۶ــ نحوه‌ی وارنیش (ماکارونی) گذاری

۱۱ــ۶ــ نواربندی کلاف‌ها

پس از آن‌که سربندی کلاف‌ها پایان یافت و محل خروج سر سیم‌ها مشخص شد، بست‌های سیمی و یا نواری روی پیشانی کلاف‌ها را که از قبل مانده است، باز کرده و کلاف‌های موتور را در هر دو طرف مرتب می‌کنیم و فرم می‌دهیم. آن‌گاه با نخ یا نوار مخصوص موتورپیچی، آن‌ها را نوارپیچی و محکم می‌کنیم.

در هنگام نوارپیچی موتورهای یک فاز، باید بین کلاف‌های سیم‌پیچی اصلی و سیم‌پیچ راه انداز کاغذ عایق قرار داد تا از اتصال این دو سیم‌پیچ به یک‌دیگر جلوگیری شود.

این عمل در موتورهای سه‌فاز بدین‌صورت انجام می‌گیرد که هر کلاف یا گروه کلاف که مربوط به فازهای مختلف هستند، از یک‌دیگر عایق می‌شوند.

در موتورهای آسنکرون، پیشانی کلاف‌های فازهای مختلف با نوارهای کنفی ــ روپوش نخ‌پنبه‌ای (لوله‌ای شکل)، نخ پرلون یا باند پنبه‌ای به‌صورت بانداژ مانند تصاویر شکل ۲۵ــ۶ محکم به یک‌دیگر بسته می‌شوند.

برای عبور دادن نخ یا باند از زیر پیشانی و لابه‌لای کلاف‌ها، می‌توان از سوزن قوس‌دار مخصوص (مانند شکل ۲۵ــ۶ــ الف) استفاده کرد.

(الف)

(ب)

شکل ۲۵ــ۶ــ روش نواربندی

۱۲ــ۶ ــ آزمایش مقدماتی موتور

سر و ته کلاف‌ها یا گروه کلاف‌ها را به وسیله‌ی اهم‌متر آزمایش می‌کنیم تا اگر درموقع نوارپیچی و فرم‌دادن، سیمی قطع شده است، آن را پیدا کنیم و عیب را برطرف نماییم. پس از کسب اطمینان از این که کلاف‌ها پاره نشده‌اند، به وسیله‌ی مگر عایق‌سیم‌ها را نسبت به یک‌دیگر و نسبت به بدنه آزمایش می‌کنیم. در صورتی‌که نتیجه‌ی هر دو آزمایش مثبت باشد، موتور برای آزمایش با برق آماده است.

۱۳ــ۶ ــ سوار کردن موتور

پس از کسب اطمینان کامل از سالم‌بودن سیم‌پیچی، لازم است موتور را برای زمان کوتاهی با اتصال به برق آزمایش کنیم تا اگر دراتصال کلاف‌ها و سرهای خروجی اشکالی وجود دارد، رفع شود.

برای این کار باید قطعات موتور را به همان ترتیبی که باز کرده‌ایم دوباره با دقت زیاد سوار کنیم. دقت داشته باشید که محور موتور باید کاملاً روان بگردد.

درپوش‌های موتور را باید کاملاً در جای خود قرار دهیم و دقت کنیم که در اطراف درپوش‌ها، در هیچ‌جا فاصله‌ای به‌وجود نیاید، زیرا این امر باعث لنگی محور و گیرکردن آن می‌شود.

خلاصی بیش‌از حد رتور، خمیدگی محور رتور و گیرکردن آن به استاتور نیز می‌تواند مانع راه‌افتادن موتور شود.

۱۴ــ۶ ــ آزمایش موتور به‌وسیله‌ی اتصال به برق

با توجه به نوع اتصال سیم‌پیچ‌های موتور، سرهای خروجی را اتصال می‌دهیم. سپس آمپرمتر را در مسیر فازها قرارداده و موتور را به شبکه‌ی با ولتاژ نامی موتور اتصال می‌دهیم.

اگر موتور سالم باشد، جریان بی‌باری آن (که هر آمپرمتر نشان می‌دهد) در مقایسه با آمپری که روی پلاک موتور نوشته شده، کم‌تر است. علاوه‌بر این، در موتورهای سه‌فاز باید جریان هر سه فاز با یک‌دیگر برابر باشد.

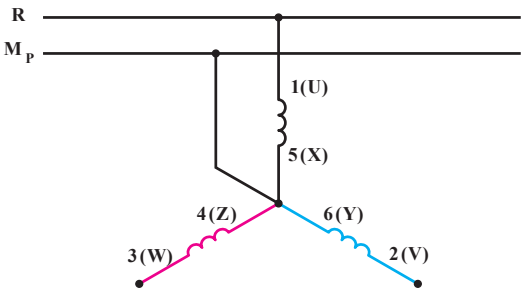
آزمایش دیگری که برای موتور لازم است، اندازه‌گیری دور آن به‌وسیله‌ی دستگاه دورسنج است.

این عدد را با تعداد دور ثبت‌شده روی پلاک موتور مقایسه می‌کنیم که باید در حدود آن و در حالت بی‌باری، کمی بیش‌تر از آن باشد.

در این‌صورت، موتور از هرنظر سالم است و باید آن را برای لاک‌ریزی آماده کرد.

لازم به‌تذکر است که پیش از لاک‌ریزی نباید موتور را برای مدت زیادی به برق اتصال داد.

گاهی در هنگام سیم‌پیچی موتورهای سه‌فازه، براثر سهل‌انگاری حروف مشخص‌کننده‌ی سرهای خروجی نامشخص می‌شوند. گاهی نیز در روی جعبه کلم یک موتور سه فازه، هرشش سر نامشخص‌اند. در این‌صورت، اگر نخواهیم موتور را مجدداً باز کرده و از روی سیم‌پیچی، سرهای خروجی را مشخص کنیم یا اصولاً این کار امکان نداشته باشد، می‌توانیم به روش زیر، سرها را حروف‌گذاری و مشخص کنیم.



شکل ۲۶ــ۶ــ آزمایش سرهای موتور

ابتدا سرهای موتور را به دلخواه از یک تا شش، شماره‌گذاری کرده و سپس با لامپ آزمایش یا اهم‌متر (مانند شکل ۲۶ــ۶) دو سر کلاف‌های هر فاز را مشخص می‌کنیم.

از سه سیم‌پیچ مشخص‌شده، دو سر یکی از آن‌ها (مثلاً سیم‌پیچ شماره ۵ ــ۱) را به دلخواه با U یا X مشخص می‌کنیم و سپس، یک سر هریک از سیم‌پیچ‌های دو فاز دیگر (مثلاً ۴ و ۶) را با X اتصال می‌دهیم.

اگر سیم‌پیچ U-X را با ولتاژ متناوب تغذیه کنیم، در سیم‌پیچ ۴ــ۳ و ۶ــ۲، نصف ولتاژ تغذیه، القا خواهد شد.

اگر اختلاف سطح بین ۲ــ۱ و ۳ــ۱ حدود ۱/۵ برابر ولتاژ تغذیه U-X باشد، اتصال صحیح است. در این‌صورت، اختلاف پتانسیل بین ترمینال‌های ۲ و ۳ صفر خواهد بود.

بدین ترتیب، می‌توان شماره‌ی ۳ را با W و ۲ را با V و ۴ را با Z و ۶ را با Y مشخص کرد.

اگر مثلاً اختلاف سطح بین دو سر ۱ و ۳ از اختلاف سطح تغذیه کم‌تر باشد، باید ابتدا و انتهای سیم‌پیچ ۴ــ۳ را با یک‌دیگر عوض کرد.

در صورتی که اتصال سیم‌پیچ‌ها به‌صورت مثلث موردنظر باشد، باید ابتدا سیم‌پیچ‌ها را به‌صورت ستاره اتصال داد و سرها را به روش ذکر شده مشخص نمود. آن‌گاه سیم‌پیچ‌ها را مجدداً به‌صورت مثلث اتصال داد.

۱۵ــ۶ــ باز کردن مجدد و کنترل عایق‌بندی و نوارپیچی موتور

پس از آزمایش مقدماتی، باید مجدداً درپوش‌ها و محور موتور را باز کرده و یک بار دیگر سیم‌بندی را کنترل کنیم تا درصورتی که پروانه یا رتور، به سیم‌بندی گیر کرده باشد، عیب آن رفع شود. پس از کسب اطمینان از مناسب‌بودن سیم‌بندی و عایق‌ها و نوارپیچی باید موتور را برای لاک‌زدن آماده کنیم.

۱۶ــ۶ــ لاک‌زدن موتور

هادی‌های مجاور هم در موتور، بسته به جهت جریان در آن‌ها یک‌دیگر را جذب یا دفع می‌کنند. هرچه شدت جریان و طول هادی بیش‌تر و فاصله‌ی سیم‌ها کم‌تر باشد، خطر برخورد سیم‌ها و کلاف‌ها به یک‌دیگر یا با بدنه‌ی موتور بیش‌تر خواهد بود. ممکن است در موقع جازدن سیم‌ها لاک روی آن‌ها ریخته شده باشد یا سیم‌ها زخمی شده باشند. هم‌چنین باید سیم‌ها در داخل شیار یا قسمت خارجی شیار کاملاً محکم و یک‌پارچه باشند تا از ارتعاش و حرکت آن‌ها جلوگیری شود. بنابرآن‌چه گفته شد، باید سیم‌پیچی را بعد از اتمام سیم‌بندی و آزمایش اول،

لاک زد. نوع لاکی که برای این کار به‌کار می‌رود، به نوع لاک به‌کار رفته برای عایق سیم بستگی دارد.

برای لاک زدن چند روش وجود دارد. در یکی از این روش‌ها استاتور را در داخل فر (گرم‌کن) مخصوص قرار می‌دهیم و آن‌را گرم می‌کنیم. حرارت گرم‌کن باید در حدود ۱۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد.

وقتی‌که استاتور به این درجه حرارت رسید، لاک مخصوص را آماده می‌کنیم. بهتر است لاک نیز کمی رقیق و گرم باشد تا حالت نفوذی آن بیش‌تر شود (باید دقت کرد که لاک آتش نگیرد).

پس از این‌که موتور گرم و لاک آماده شد، موتور را از گرم‌کن خارج می‌کنیم و از یک‌طرف به‌صورت عمودی قرار می‌دهیم آن‌گاه لاک را به‌آرامی روی سیم‌ها و در داخل شیارها و پیشانی کلاف‌ها می‌ریزیم. هم‌چنین می‌توان استاتور را در یک ظرف پر از لاک فرو برد تا لاک به‌خوبی در بین سیم‌ها نفوذ کند.

پس از آن‌که تمام قسمت‌ها لاک زده شد، باید قسمت‌های داخل استاتور و لبه‌های پوسته و قسمت‌های خارجی را با پارچه‌ی آغشته به تینر پاک کنیم تا لاک، روی این قسمت‌ها باقی نماند و رتور و درپوش موتور به‌راحتی در جای خود قرار گیرند.

پس از تمیز کردن پوسته، استاتور را به همان حالت عمودی قرار می‌دهیم تا لاک‌های اضافی آن خارج شود. پس از آن‌که دیگر لاکی از موتور چکه نکرد، موتور برای پخت لاک آماده است.

عمل پخت برای سخت‌شدن لاک، انجام می‌پذیرد. برای این منظور پوسته را به‌حالت عمودی مجدداً به مدت چند ساعت در داخل گرم‌کن قرار می‌دهیم و پس از آن‌که رنگ لاک تا حدودی عوض شد و سطح سیم‌ها دیگر چسبندگی نداشت، گرم‌کن را خاموش می‌کنیم. پس از مدتی استاتور را از آن درمی‌آوریم و می‌گذاریم تا سرد شود.

در کارگاه‌هایی که برای گرم‌کردن استاتور و پخت لاک گرم‌کن (فر) وجود ندارد، می‌توان با عبور دادن جریان برق از سیم‌پیچ‌ها آن‌ها را گرم کرد. برای این‌کار، سیم‌پیچ‌ها را با هم

(الف)

(ب)

(پ)

(ت)

شکل ۲۷ــ۶

سری یا موازی کرده و به ولتاژ کم وصل می‌کنند. هنگامی‌که حرارت سیم‌ها به حد کافی رسید، جریان را قطع می‌کنند و به روش گفته‌شده سیم‌پیچی را لاک می‌زنند.

در پایان کار نیز به همین روش از جریان برق برای پخت و خشک‌کردن لاک استفاده می‌کنند.

در این روش باید دقت کرد که جریان زیادی از سیم‌پیچ عبور نکند و زمان خشک‌کردن لاک نیز خیلی طولانی نشود ؛ زیرا در این‌صورت، لاک عایقی سیم‌پیچی می‌سوزد.

باید یادآوری کنیم که لاک‌زدن تنها و بدون نوارپیچی پیشانی کلاف‌ها، برای حفاظت از تکان‌خوردن پیشانی کلاف‌ها کافی نیست.

در کارگاه سیم‌پیچی، خصوصاً در هنگام لاک‌زدن موتور باید از انجام‌دادن کارهای مکانیکی که باعث پراکنده شدن ذرات فلز در محیط کارگاه می‌شود، پرهیز کرد تا ذرات فلز در درون سیم‌پیچی نفوذ نکند و از خاصیت عایقی آن نکاهد.

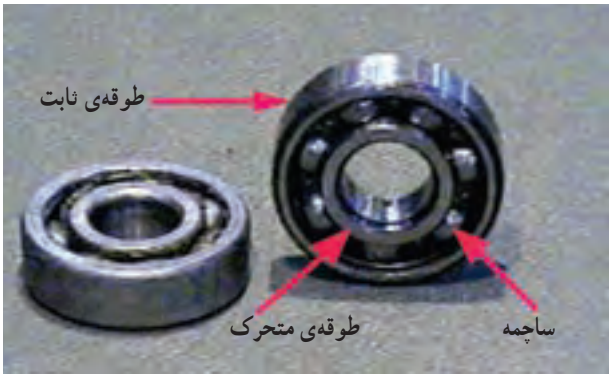
۱۷ــ۶ــ سوار کردن نهایی موتور و آزمایش مجدد

برای سوار کردن نهایی باید دقت داشت که موتور به همان فرم اول پیش از باز کردن، سوار شود.

هنگام سوار کردن موتور، باید بلبرینگ‌ها یا بوش‌های دو سر موتور را کنترل کنیم و در صورت معیوب بودن، آن‌ها را تعویض نماییم. شکل ۲۸ــ۶ یک نمونه بلبرینگ و بوش را نشان می‌دهد.

برای تشخیص معیوب بودن بلبرینگ‌ها، پس از بررسی ظاهری و کسب اطمینان از سالم‌بودن بدنه و ساچمه‌های آن، بلبرینگ را (مانند شکل ۲۹ــ۶) در یک دست می‌گیریم و با دست دیگر، طوقه‌ی خارجی آن را به‌سرعت می‌چرخانیم. در صورتی‌که بلبرینگ هنگام گردش صدایی غیرعادی بدهد، خراب است و باید تعویض شود. هم‌چنین اگر طوقه‌ی خارجی در روی ساچمه‌ها لقی داشته باشد، باید آن را تعویض کرد.

تشخیص معیوب بودن بلبرینگ با استفاده از این روش، به تجربه نیاز دارد.



شکل ۲۸ــ۶

شکل ۲۹ــ۶ــ آزمایش بلبرینگ

در بعضی از موتورهای با قدرت کم، به‌جای بلبرینگ از بوش استفاده می‌کنند. بوش نیز در اثر زیاد کار کردن گشاد شده و باعث لقی محور می‌شود.

در این‌گونه موتورها نیز با حرکت‌دادن محور موتور به سمت بالا و پایین می‌توان وجود لقی را تشخیص داد و بوش را تعویض کرد.

موتورهایی را که بلبرینگ آن‌ها خراب شده یا بوش گشاد کرده‌اند، باید آزمایش کرد تا لنگی نداشته باشند (مانند شکل ۳۰ــ۶).

شکل ۳۰ــ۶ ــ آزمایش لنگی (لقی) بوش‌ها یا بلبرینگ‌ها

قبل از سوار کردن موتور محل‌هایی را که به روغن و گریس احتیاج دارند، روغن‌کاری می‌کنیم. پس از سوار کردن کامل موتور، باید دقت کنیم که درپوش (قالپاق)های موتور کاملاً در جای خود قرار گیرند و با پوسته‌ی موتور، چفت شوند.

برای این‌که بفهمیم رتور به استاتور گیر دارد یا نه، محور موتور را با دست می‌چرخانیم.

علاوه بر این بررسی‌ها، باید رتور را به سمت جلو و عقب (درجهت محور موتور) حرکت دهیم. در صورتی که ببینیم زیاد بازی می‌کند، با اضافه‌کردن یک واشر مناسب می‌توانیم آن را کاملاً در داخل استاتور جای دهیم.

پس از انجام‌دادن آزمایش‌های گفته‌شده و سوار کردن کامل موتور، باید سیم‌های خروجی موتور را به فرم استاندارد و متناسب با پلاک موتور، به جعبه کلم اتصال داد.

پس از این‌کار، آزمایش مقاومت عایقی موتور ضروری است. مقاومت عایقی بین سیم‌پیچ‌ها و بدنه و هم‌چنین بین سیم‌پیچ‌های مختلف را باید با دستگاه اندازه‌گیری مقاومت عایقی (مگر) یا به‌روش‌های مناسب دیگر از روی جعبه کلم موتور اندازه‌گیری کرد.

مقاومت عایقی ماشین‌هایی را که ولتاژ نامی آن‌ها از ۱۰۰۰ ولت کم‌تر است، با یک مگر ۵۰۰ ولت می‌توان اندازه‌گیری کرد.

مقدار مقاومت عایقی، به اندازه‌های ماشین، اختلاف سطح نامی، درجه حرارت و مقدار رطوبت در سیم‌پیچی بستگی دارد.

برای سیم‌پیچی استاتور با وضعیت مناسب و درجه حرارت داخلی ۱۰ تا ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و ولتاژ کم، مقاومت عایقی باید تا ۲ مگا اهم باشد.

پس از انجام مراحل گفته‌شده، اتصال مجدد موتور به برق صددرصد لازم و ضروری است. موتور حداقل باید یک‌ساعت بدون بار کار کند. پس از این آزمایش، موتور برای نصب در محل اول خود آماده است.

فصل هفتم

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۷	۸۳	۹۰

ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی موتورها

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ مشخصات لازم برای طراحی و سیم‌پیچی موتور را توضیح دهد.
۲ــ انواع سیم‌پیچی را از نظر شکل کلاف‌ها توضیح دهد.
۳ــ شیوه‌های مختلف ترسیم نقشه‌ی سیم‌پیچی را شرح دهد.
۴ــ روش‌های مختلف طراحی دیاگرام گسترده‌ی موتورهای آسنکرون سه‌فاز یک سرعته را توضیح دهد.
۵ــ روش سیم‌پیچی موتورهای دو دور سه‌فاز (دالاندر) را توضیح دهد.
۶ــ روش سیم‌پیچی موتورهای یک فاز روتور قفسی را توضیح دهد.
۷ــ موتورهای سه‌فاز و یک فاز آسنکرون یک طبقه را سیم‌پیچی کند.
۸ــ موتورهای دو طبقه گام کوتاه سه‌فاز و یک فاز را سیم‌پیچی کند.
۹ــ موتورهای دو دور دالاندر سه‌فاز را سیم‌پیچی کند.
۱۰ــ موتورهای دو دور دالاندر یک‌فاز را سیم‌پیچی کند.

۷ــ ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی موتورها

۱ــ۷ــ مشخصات لازم برای طراحی و سیم‌پیچی موتور

برای محاسبه و سیم‌پیچی یک موتور، معلومات زیر موردنیاز است که از روی پلاک و پوسته‌ی موتور یا با توجه به‌نیاز و از طریق محاسبه به‌دست می‌آید.

تعداد شیارهای استاتور: که آن را با z نشان می‌دهند و از روی پوسته‌ی موتور قابل شمارش است.

تعداد فازها: موتورهایی که در صنعت از آن‌ها استفاده می‌شود، معمولاً به‌صورت یک فاز و سه فاز هستند. تعداد فازها را با m نشان می‌دهند.

تعداد قطب‌های موتور (2P): تعداد قطب‌های موتور را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد :

$$P = \frac{60 \cdot f}{n_s}$$

در این رابطه n_s دور سنکرون میدان استاتور است که مقدار آن از دور رتور (n_r) که بر روی پلاک موتور نوشته می‌شود، کمی بیش‌تر است.

گام قطبی y: که عبارت است از فاصله‌ی بین مرکز دو قطب غیر همنام مجاور برحسب تعداد شیار. گام قطبی را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد :

$$y_p = \frac{z}{2p}$$

گام سیم‌بندی y_z: عبارت است از فاصله‌ی بین دو بازوی یک کلاف برحسب تعداد شیار. روش به‌دست آوردن گام سیم‌بندی را در سیم بندی‌های مختلف، در آینده توضیح خواهیم داد.

تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز q: حداقل تعداد کلاف‌ها برای ایجاد یک جفت قطب در جریان متناوب به اندازه‌ی تعداد فازهاست. اگر بخواهیم در یک ماشین، تعداد قطب‌ها از ۲ بیش‌تر و برابر با ۲P باشد، حداقل تعداد کلاف‌های لازم برابر با P.m است و چون در سیم‌پیچی یک طبقه، هر کلاف دو شیار را پر می‌کند، حداقل تعداد شیارهای لازم برای تشکیل ۲P قطب توسط m فاز، برابر است با :

$$z_{min} = 2P.m$$

همان‌طورکه گفته شد، این تعداد شیار حداقل تعداد شیارهای لازم است و در هریک از قطب‌ها، یک شیار به هر فاز اختصاص می‌یابد اما اگر هریک از بازوهای کلاف‌ها را در چندین شیار مجاور هم پخش کنیم و تعداد این شیارها را ــ که عبارت از تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز است ــ با q نشان دهیم، تعداد شیارهای لازم برای تشکیل ۲P قطب توسط m فاز، برابر خواهد شد با :

$$z = 2P.m.q$$

بدین ترتیب با مشخص کردن تعداد شیارها و تعداد قطب‌ها، می‌توان مقدار q را به‌دست آورد :

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

در صورتی که q عدد صحیح ۱ و ۲ و ۳ و ... باشد، سیم‌پیچی با شیار کامل و اگر یک عدد کسری باشد، سیم‌پیچی با شیار کسری نامیده می‌شود.

تعداد کلاف‌های لازم برای هر فاز: در سیم‌پیچ‌های هریک از فازهای ماشین الکتریکی، باید ولتاژهای یکسان القا شود. یا این سیم‌پیچ‌ها به ولتاژهای برابر اتصال یابند. بنابراین، تعداد کلاف‌های هریک از فازها باید با هم برابر باشند و هم‌چنین مجموع تعداد حلقه‌های کلاف‌های هر فاز نیز یکسان باشد.

تعداد کلاف‌های مربوط به هر فاز باید یک عدد صحیح مثلاً ۱ و ۲ و ۳ و... باشد. چون در سیم‌پیچی یک طبقه هریک از شیارها توسط یک بازوی کلاف پر می‌شود ؛ بنابراین، هر کلاف دو شیار را پر می‌کند و برای m فاز، رابطه‌ی زیر برقرار خواهد بود :

$$z = 2.1m$$

در این رابطه، ۱ . تعداد کلاف‌های هر فاز در سیم‌پیچی یک طبقه و برابر با عدد صحیح و بدون اعشاری $\frac{z}{2m}$ است. اگر در یک استاتور، به‌جای سیم‌پیچی یک طبقه از سیم‌پیچی دو طبقه استفاده شود، در این حالت، تعداد دور هر کلاف نصف حالت یک طبقه است و در عوض، هر شیار توسط دو بازوی دو کلاف مختلف پر می‌شود. بنابراین، تعداد کلاف‌های مربوط به هر فاز نیز دو برابر تعداد کلاف‌ها در سیم‌پیچی یک طبقه می‌شود و مقدار آن ــ یعنی ۲ . ــ برابر است با :

$$\frac{z}{m}$$

شیارهای استاتور، توسط کلاف‌های مربوط به تمام فازها پر می‌شوند. هر چند کلاف از یک فاز با هم تشکیل یک گروه کلاف را می‌دهند و بازوهای دو طرف هر گروه کلاف نیز در دو قطب مخالف (در یک جفت قطب) قرار می‌گیرند. بنابراین، تعداد گروه کلاف‌های مربوط به هریک از فازها در سیم‌پیچ یک طبقه برابر با تعداد جفت قطب‌هاست.

به‌عبارت دیگر، در هر جفت قطب مجموعاً m گروه کلاف و درمجموع برای ۲P قطب تعداد m.P گروه کلاف لازم است. اگر سیم‌پیچی یک طبقه، سه فاز باشد، مجموع گروه کلاف‌های لازم برای هر سه فاز ۱/۵ برابر تعداد قطب‌ها خواهد بود.

زاویه‌ی الکتریکی بین دو شیار مجاور (e_z): محیط یک دایره، ۳۶۰ درجه‌ی هندسی است. استاتور نیز به‌صورت دایره است ؛ پس زاویه‌ی هندسی بین دو شیار مجاور هم برابر با $\frac{360}{z}$. z . درجه می‌شود.

در یک سیم‌پیچی سه‌فازه دو قطب هریک قسمت از گروه

کلاف‌های مربوط به هر فاز، $\frac{۱}{۶}$ محیط استاتور ــ یعنی ۶۰ درجه هندسی ــ را پر می‌کند. به‌عبارت دیگر، هر قطب که ۱۸۰ درجه‌ی الکتریکی است، به اندازه‌ی ۱۸۰ . ۶۰ . ۳ درجه هندسی را دربرمی‌گیرد.

اگر تعداد قطب‌ها بیش‌تر از دو باشد، زاویه‌ی هندسی مربوط به هر قطب از ۱۸۰ درجه کم‌تر می‌شود. مثلاً اگر استاتور، ۶ قطب سیم‌پیچی شود فقط ۲۰ درجه از محیط آن توسط یک سمت هر گروه کلاف هر فاز پر می‌شود. به بیان دیگر، هر قطب که ۱۸۰ درجه‌ی الکتریکی است، در $\frac{۱}{۶}$ محیط استاتور یا ۶۰ درجه‌ی هندسی جای می‌گیرد ؛ یعنی، هر $\frac{۱}{۶}$ از محیط استاتور معادل ۱۸۰ درجه‌ی الکتریکی و کل محیط استاتور معادل ۱۰۸۰ . ۱۸۰ . ۶ درجه‌ی الکتریکی است.

بنابراین، زاویه‌ی الکتریکی محیط استاتور برخلاف زاویه‌ی هندسی، عدد ثابتی نیست و به تعداد قطب‌های ماشین بستگی دارد. به‌طوری که اگر ماشین دو قطب باشد، زاویه‌ی الکتریکی محیط استاتور برابر با ۳۶۰ . $_{e}$. درجه‌ی الکتریکی خواهد بود ؛ یعنی، هرگام قطبی ۱۸۰ درجه‌ی الکتریکی می‌شود و اگر ماشینی چهار قطب باشد، محیط استاتور دارای ۷۲۰ . $_{e}$. درجه‌ی الکتریکی خواهد شد (۷۲۰ . ۱۸۰ . ۴) . بدین‌ترتیب، در هرحالت می‌توان زاویه‌ی الکتریکی کل را از رابطه‌ی ۳۶۰ . P . $_{e}$. به‌دست آورد. در این‌صورت، برخلاف زاویه‌ی هندسی بین دو شیار مجاور که همیشه ثابت است، زاویه‌ی الکتریکی بین دو شیار مجاور به تعداد قطب‌ها بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید :

$$\cdot ez \cdot \frac{۳۶۰ . P}{z}$$

شیار شروع فازهای R و S و T: در یک سیم‌پیچی نرمال، شروع فازها همیشه می‌تواند بدون وابستگی به تعداد قطب‌ها روی یک جفت قطب یا ۳۶۰ درجه‌ی الکتریکی تقسیم شود.

در جریان سه فازه، بین هر دو فاز ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز وجود دارد.

لذا شروع فاز S باید از شیاری انتخاب شود که نسبت به فاز R به اندازه‌ی ۱۲۰ درجه‌ی الکتریکی ($\frac{۱۲۰}{\cdot ez}$ شیار) و شروع فاز T نیز نسبت به شروع S به اندازه‌ی ۱۲۰ درجه‌ی الکتریکی یا نسبت به شروع فاز R به اندازه‌ی ($\frac{۲۴۰}{\cdot ez}$ شیار) فاصله داشته باشد. در هر قطب تنها شروع یک فاز را نیز می‌توان قرار داد.

مثلاً شروع فاز R را از شیار یک در قطب اول و شروع فاز T را از ۲۴۰ درجه بعد از آن در قطب دوم و شروع فاز S را نیز از ۲۴۰ درجه بعد از شروع فاز T و در قطب سوم قرار می‌دهیم.

ولتاژ کار موتور: عبارت است از ولتاژ بین دو فاز شبکه که باید موتور به آن ولتاژ اتصال یابد. این ولتاژ به‌همراه نوع اتصال برروی پلاک موتور نوشته می‌شود یا با توجه به محل استفاده به‌دست می‌آید.

اگر بر روی پلاک موتور نوشته شده باشد(220 V .) ، بدین معنی است که سیم‌پیچ‌های هر فاز موتور، حداکثر ولتاژ ۲۲۰ ولت را می‌توانند تحمل کنند. در صورتی که اتصال سیم‌پیچ‌ها به‌صورت ستاره بسته شود، می‌توان آن را به شبکه‌ی ۳۸۰ ولتی اتصال داد.

گاهی برروی پلاک موتورهای سه فاز، دو ولتاژ ثبت می‌شود ؛ برای مثال 220 / 380V . در این صورت ولتاژ کم‌تر، ولتاژ مجاز هر سیم‌پیچ است و در صورت بستن سیم‌پیچ‌ها به‌صورت مثلث باید آن را به ولتاژ سه فازه ۲۲۰ ولتی متصل کرد. برای اتصال به ولتاژ سه فازه‌ی ۳۸۰ ولتی نیز، باید حتماً سیم‌پیچ‌ها را به‌صورت ستاره اتصال داد.

قدرت نامی موتور: توان مکانیکی یا خروجی موتور ($P_۲$) در حالت کار نامی، روی پلاک موتور برحسب کیلووات (KW) یا اسب بخار (P_s) نوشته می‌شود و براساس آن می‌توان قدرت ورودی موتور را حساب کرد.

با توجه به قدرت ورودی و ولتاژ نامی می‌توان جریان هریک از سیم‌پیچ‌ها را حساب کرد و از روی آن، قطر سیم را به‌دست آورد.

جریان خط: جریان خط نیز بر روی پلاک موتور ثبت می‌شود یا از طریق محاسبه به‌دست می‌آید. با توجه به آن می‌توان

جریان هریک از سیم‌پیچ‌ها را به‌دست آورد و هم چنین وسایل حفاظتی مناسب را برای موتور به‌کار گرفت.

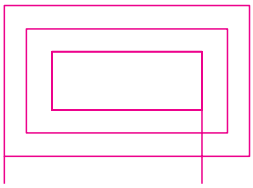
۲ــ۷ــ فرم کلاف‌های سیم‌پیچی

کلاف‌های یک گروه کلاف در اندازه‌های نامساوی یا مساوی پیچیده می‌شوند. حالت اول را سیم‌پیچی متحدالمرکز و حالت دوم را سیم‌پیچی زنجیری می‌نامند.

۱ــ۲ــ۷ــ سیم‌پیچی متحدالمرکز: در سیم‌پیچی متحدالمرکز، گام کلاف‌های مربوط به هر گروه کلاف با یک‌دیگر تفاوت دارد و هر کلاف بزرگ، کلاف کوچک‌تر را احاطه می‌کند.

بدین‌ترتیب در یک گروه کلاف، گام کلاف بزرگ‌تر از گام کلاف قبلی خود به اندازه دو شیار بیش‌تر است.

در شکل ۱ــ۷ سه کلاف را که به‌صورت متحدالمرکز پیچیده شده‌اند، می‌بینید.



شکل ۱ــ۷ــ گروه کلاف متحدالمرکز

در این شکل، هر سه کلاف با یک‌دیگر سری شده‌اند و مجموعاً یک گروه کلاف را تشکیل می‌دهند.

اتصال موازی کلاف‌های یک گروه کلاف به‌دلیل مساوی نبودن طول حلقه‌ی کلاف‌ها صحیح نیست اما می‌توان گروه کلاف‌های یک فاز را با هم موازی کرد. از این مورد در موتورهای با قدرت زیاد و ولتاژ کم استفاده می‌شود.

در این نوع سیم‌پیچی برای پیچیدن کلاف‌های یک گروه کلاف، باید از قالب‌های نامساوی استفاده کرد.

۲ــ۲ــ۷ــ سیم‌پیچی زنجیری: سیم‌پیچی زنجیری یا با گام مساوی به نوعی از سیم پیچی گفته می‌شود که در آن همه‌ی کلاف‌های یک گروه کلاف و درنتیجه همه‌ی کلاف‌هایی که درون شیارهای استاتور جای می‌گیرند، به یک اندازه‌اند. برای پیچیدن این کلاف‌ها از یک قالب (یا قالب‌های یک اندازه) استفاده می‌شود.

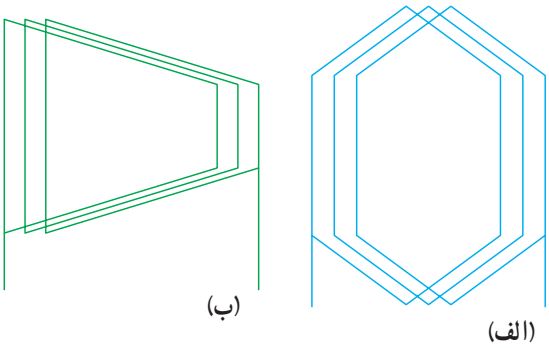
به‌علت مشابه بودن کلاف‌ها با یک‌دیگر، زمان لازم برای تهیه‌ی قالب و پیچیدن و جا زدن کلاف‌ها در داخل شیارها کم‌تر از حالت متحدالمرکز است. علاوه براین، طول متوسط کلاف نیز در نوع سیم‌پیچی، کوتاه‌تر از نوع متحدالمرکز می‌باشد. به‌همین دلیل در این حالت، در مصرف سیم نیز صرفه‌جویی می‌شود.

امکان اتصال موازی کلاف‌های هر گروه کلاف یا هرچند کلاف با یک‌دیگر نیز در این حالت وجود دارد.

در سیم‌پیچی زنجیری، پیشانی کلاف‌های فازهای مختلف در پیرامون استاتور از روی هم عبور می‌کند و برای جلوگیری از اتصال کوتاه بین آن‌ها باید حتماً به‌خوبی از یک‌دیگر عایق شوند.

در شکل ۲ــ۷ سه کلاف که به‌صورت زنجیری پیچیده شده و یک گروه کلاف را تشکیل می‌دهند، نشان داده شده است.

در رسم دیاگرام گسترده‌ی این نوع سیم‌پیچی، کلاف‌ها را به هردو صورت شکل الف و ب می‌توان نشان داد.



شکل ۲ــ۷ــ گروه کلاف متساوی (زنجیره‌ای)

۳ــ۷ــ روش‌های ترسیم نقشه‌ی سیم‌پیچی

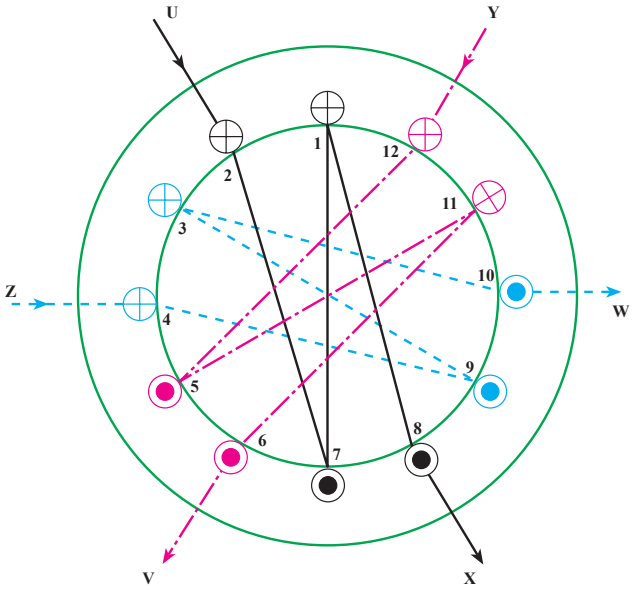
برای نشان دادن نوع سیم‌پیچی، فرم کلاف‌ها، ترتیب قرار گرفتن کلاف‌ها در شیارها، اتصال کلاف‌ها به یک‌دیگر و هم‌چنین اتصال آن‌ها به ترمینال‌های موتور از نقشه‌ی سیم‌پیچی استفاده می‌شود.

نقشه‌ی سیم‌پیچی را می‌توان از روی سیم‌پیچی موتور معیوب برداشت یا با طراحی مناسب آن را رسم کرد.

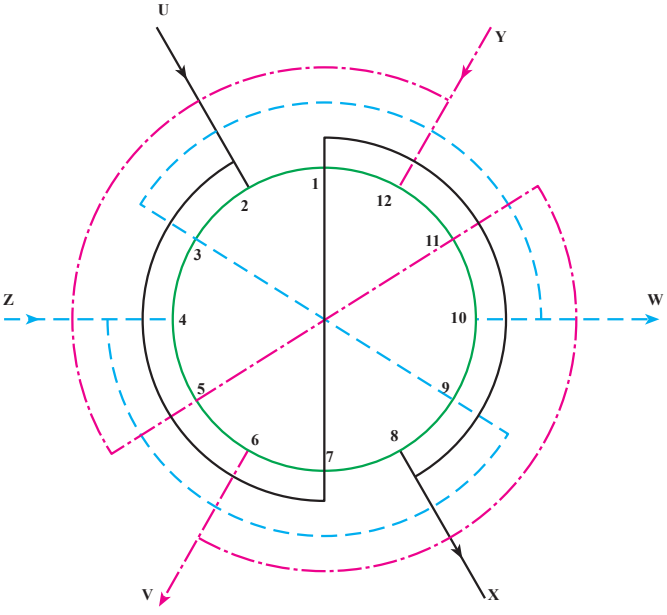
برای ترسیم نقشه‌ی سیم‌پیچی روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها، ترسیم نقشه به‌طریقه‌ی دیاگرام گسترده است. از روش دیاگرام مدور نیز برای کشیدن نقشه‌ی سیم‌پیچی استفاده می‌شود.

روش دیاگرام مدور: در این روش، مقطع استاتور به‌همان صورت واقعی دایره‌ای نشان داده شده و محل شیارها

در روی آن مشخص می‌شود. کلاف‌های واقع در شیارها نیز به‌وسیله‌ی خطوطی در داخل دایره، (مانند شکل ۳ــ۷) یا خارج آن (مانند شکل ۴ــ۷) ترسیم خواهند شد.



شکل ۳ــ۷ــ دیاگرام مدور موتور سه‌فاز با ۱۲ شیار و ۲ قطب



شکل ۴ــ۷ــ دیاگرام مدور موتور سه‌فاز با ۱۲ شیار و ۲ قطب

در این دو شکل، دیاگرام مدور برای یک موتور سه فازه‌ی ۱۲ شیار ۲ قطب نشان داده شده است. در روش دیاگرام مدور با نگاه کردن به نقشه، می‌توان از محل کلاف‌ها و تعداد قطب‌ها تصویر خوبی به‌دست آورد.

در این روش، نمایش اتصال کلاف‌ها به یک‌دیگر مشکل است و مخصوصاً نشان دادن سیم‌پیچی دو طبقه‌ی اتصال کلاف‌ها به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. به‌همین دلیل، از روش دیاگرام مدور کم‌تر استفاده می‌شود.

روش دیاگرام گسترده: در ترسیم نقشه به‌روش دیاگرام گسترده فرض می‌شود که استاتور در جهت یکی از شیارها بریده شده و سپس در روی یک صفحه باز شده و ترسیم می‌شود.

بدین ترتیب، شیارها در مجاور هم و در یک ردیف ترسیم می‌شوند. اشکال این نوع نقشه این است که اولین شیار و آخرین شیاری که روی آن ترسیم می‌شوند، با وجود این که در استاتور در مجاورت هم هستند اما بر روی کاغذ در دو طرف نقشه قرار می‌گیرند. کلاف‌ها نیز در این قسمت به‌صورت بریده نشان داده می‌شوند.

با وجود این اکثر نقشه‌های سیم‌پیچی را به‌صورت دیاگرام گسترده ترسیم می‌کنند.

در این کتاب نیز تمام نقشه‌های داده شده به روش دیاگرام گسترده است و روش ترسیم آن‌ها بعداً توضیح داده خواهد شد. برای مشخص شدن کلاف‌های فازهای مختلف از یک‌دیگر، باید در صورت امکان، سیم‌های هر فاز را با یک رنگ ترسیم کرد یا برای ترسیم کلاف‌های فازهای مختلف از خط پر، خط نقطه و خط‌چین استفاده نمود.

۴ــ۷ــ روش‌های طراحی دیاگرام گسترده‌ی موتورهای آسنکرون سه‌فازه‌ی یک دور

برای سیم‌پیچی یک موتور، ابتدا باید دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچی را کشید و سپس با کمک آن استاتور را سیم‌پیچی کرد. برای ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌پیچی، روش‌های متفاوتی وجود دارد. نتیجه‌ی نهایی همه‌ی این روش‌ها یکسان است و به‌کمک آن‌ها یک سیم‌پیچی کاملاً متقارن یا در حد قابل قبول به‌دست می‌آید. در هریک از این روش‌ها، سعی می‌شود شیارهای استاتور توسط سه دسته سیم‌پیچی مساوی پر شده و به‌طریق صحیح به‌یک‌دیگر اتصال یابند تا در حد امکان یک میدان دوار متقارن (سیمتریک) به‌وجود آید.

گاهی با به‌کارگیری چند قاعده‌ی ساده یا با استفاده از یک جدول می‌توان به این هدف دست یافت اما گاهی نیز باید از روش‌های خاصی استفاده کرد و دیاگرام گسترده‌ی مطلوب را رسم نمود.

در این کتاب تنها به‌بررسی معمول‌ترین روش‌هایی که برای ترسیم دیاگرام گسترده‌ی موتورهای سه‌فازه باشیار کامل، متداول است می‌پردازیم. شما هنرجویان برای یادگیری روش‌های ترسیم دیاگرام گسترده‌ی موتورهای با شیار کسری می‌توانید به کتاب‌هایی که در این زمینه موجود است، مراجعه کنید.

۱ــ۴ــ۷ ــ سیم‌پیچی یک طبقه‌ی موتورهای سه‌فاز با شیار کامل:

در صورتی که تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب ــ یعنی q ــ عدد صحیح و بدون اعشاری (۱ و ۲ و ۳ و ...) باشد، سیم‌پیچی با شیار کامل نامیده می‌شود.

در سیم‌پیچی یک طبقه، تعداد کلاف‌های به‌کار رفته در موتور $\frac{z}{۲}$ و تعداد کلاف‌های مربوط به هر فاز برابر با $\frac{z}{۲m}$. ۱۰ و تعداد گروه کلاف‌های مورد استفاده برای هر سه فاز یک و نیم برابر تعداد قطب‌هایی است که باید در شیارهای استاتور به‌طور صحیح جای گیرند.

محل قرار گرفتن گروه کلاف‌های مربوط به هریک از فازها را می‌توان با استفاده از جدول شیارها به‌دست آورد. برای توضیح این روش به توضیح یک مثال می‌پردازیم.

مثال ۱: استاتوری دارای ۲۴ شیار است و باید به‌صورت سه فاز ۴ قطب یک طبقه سیم‌پیچی شود. برای ترسیم دیاگرام گسترده‌ی این استاتور به روش زیر عمل می‌کنیم.

در سیم‌پیچی یک طبقه، کلاف‌ها را می‌توان به‌صورت متحدالمرکز یا زنجیری پیچید. در هر دو صورت، گام قطبی برابر است با :

$$y \cdot \frac{z}{۲P} \cdot \frac{۲۴}{۴} \cdot ۶$$

پس هر شش شیار، یک قطب را تشکیل می‌دهند و باید توسط سه فاز پر شوند ؛ بنابراین :

$$q \cdot \frac{z}{۲pm} \cdot \frac{۲۴}{۴ \cdot ۳} \cdot ۲$$

چون q عدد صحیحی است، سیم‌پیچی با شیار کامل می‌باشد. در این مثال ۲ . q یعنی، هر گروه کلاف از دو کلاف تشکیل می‌شود.

یک روش ساده برای پیدا کردن شیارهای مربوط به شروع هر فاز، استفاده از زاویه‌ی الکتریکی بین هر دو شیار است. در این مثال، زاویه‌ی الکتریکی بین دو شیار مجاور، برابر است با :

$$\cdot ez \cdot \frac{۳۶۰ \cdot p}{z} \cdot \frac{۳۶۰ \cdot ۲}{۲۴} \cdot ۳۰^\circ$$

اگر فاز R از شیار یک شروع شود، شروع فاز S می‌تواند از شیار ۵ . $\frac{۱۲۰}{۳۰}$. ۱ و شروع فاز T نیز از شیار ۹ . $\frac{۲۴۰}{۳۰}$. ۱ باشد.

شروع فازها می‌تواند از شیارهای دیگری باشد که در قطب‌های مختلف قرار گرفته‌اند ؛ مثلاً شروع فاز R از شیار یک و شروع فاز T از شیار ۹ و شروع فاز S از شیار ۱۷ (۲۴۰ درجه بعد از فاز T) باشد.

بدین ترتیب، درمورد فاز R چون تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز برابر با ۲است، شیار شماره‌ی ۱ و ۲ باید توسط بازوی کلاف مربوط به فاز R است، پر شوند.

دو شیار ابتدای قطب بعدی ــ یعنی شیارهای شماره ۷ . ۶ . ۱۰ و ۸ . ۶ . ۲۰ ــ نیز به فاز R مربوط‌اند. به همین ترتیب، در دو قطب باقی مانده نیز شیارهای مربوط به فاز R عبارت خواهند بود از شیارهای ۱۳ . ۶ . ۷۰ و ۱۴ . ۶ . ۸۰ در قطب سوم و شیارهای ۱۹ . ۶ . ۱۳۰ و ۲۰ . ۶ . ۱۴۰ در قطب چهارم. پس شیارهای ۲ــ۱، ۸ــ۷، ۱۴ــ۱۳ و ۲۰ــ۱۹ به فاز R تعلق دارند.

شروع فاز S نیز ــ همان‌طور که توضیح داده شد ــ از شیار شماره‌ی ۵ است و شیارهای مربوط به آن در هر چهار قطب عبارت‌اند از : ۶ــ۵، ۱۲ــ۱۱، ۱۸ــ۱۷ و ۲۴ــ۲۳.

درمورد فاز T نیز که شروع آن از شیار ۹ است، می‌توان شیارهای مربوط به آن را به‌ترتیب ۱۰ــ۹، ۱۶ــ۱۵، ۲۲ــ۲۱ و ۴ــ۳ نوشت.

با مشخص شدن شیارهای مربوط به هر سه فاز، می‌توان آن‌ها را مطابق جدول ۱ــ۷ مرتب کرد.

جدول ۱ــ۷ــ جدول ابتدایی موتور سه‌فاز با ۲۴ شیار و ۴ قطب

	شیارهای فاز R	شیارهای فاز S	شیارهای فاز T
N	۲ و ۱	۶ و ۵	۱۰ و ۹
S	۸ و ۷	۱۲ و ۱۱	۱۶ و ۱۵
N	۱۴ و ۱۳	۱۸ و ۱۷	۲۲ و ۲۱
S	۲۰ و۱۹	۲۴ و ۲۳	۴ و۳

با کمی دقت درجدول ۱ــ۷، مشاهده می‌شود که اگر محل ستون مربوط به فاز S را با ستون مربوط به فاز T عوض کنیم، به‌راحتی می‌توانیم جدول ۲ــ۷ را که شیارهای مربوط به هریک از فازها را مشخص می‌کند، تنها با دانستن ۲ . q و به‌ترتیب از ۱ تا ۲۴ بنویسیم :

جدول ۲ــ۷ــ جدول موتور سه‌فاز با ۲۴ شیار و ۴ قطب

	شیارهای فاز R	شیارهای فاز T	شیارهای فاز S
N	۲ و ۱	۴ و۳	۶ و ۵
S	۸ و ۷	۱۰ و ۹	۱۲ و ۱۱
N	۱۴ و ۱۳	۱۶ و ۱۵	۱۸ و ۱۷
S	۲۰ و ۱۹	۲۲ و ۲۱	۲۴ و ۲۳

در این جدول، اعداد به‌ترتیب از ۱ تا ۲۴ در چهار سطر (۴ . ۲p) نوشته شده‌اند. هریک از سطرها، مشخص کننده‌ی یک قطب است. برای مثال، اگر سطر اول و سوم نشان دهنده‌ی قطب N باشند، سطرهای دوم و چهارم نشان دهنده‌ی قطب S خواهند بود.

با توجه به ستون مربوط به فاز R در جدول، مشاهده می‌شود که در شیارهای ۲ــ۱ و ۱۴ــ۱۳ باید جهت جریان هم‌جهت و مثلاًبه‌سمت بالا و در شیارهای ۸ــ۷ و ۲۰ــ۱۹ به‌سمت پایین باشد تا قطب‌های N و S تشکیل شود.

درمورد بقیه‌ی فازها نیز به‌همین ترتیب شیارهای هم‌جهت مشخص می‌شوند و می‌توان با ترسیم بازوها در شیارها و مشخص کردن جهت جریان آن‌ها، قطب‌ها را مشخص کرد (شکل ۵ــ۷ــپ). ترسیم کلاف‌ها نیز با توجه به نوع گروه کلاف ــ یعنی متحدالمرکز یا زنجیری بودن آن‌ها ــ انجام می‌گیرد. برای این منظور می‌توان پس از مشخص کردن جهت جریان در شیارها، دو بازوی غیر هم جهت نزدیک به‌هم را که مربوط به یک فاز هستند، به‌طریقی به یک‌دیگر وصل کرد تا گروه کلاف متحدالمرکز یا زنجیری ایجاد شود. در عین حال، می‌توان پیشانی کلاف‌ها را نیز در طبقات (ردیف) کم‌تری قرار داد تا گروه کلاف‌های هر سه فاز اندازه‌ی یکسانی داشته باشند.

دیاگرام گسترده را به‌صورت متحدالمرکز به‌روش زیر می‌توانیم ترسیم کنیم.

مطابق شکل ۵ــ۷ــ الف ابتدا اولین گروه کلاف را در شیارهای ۲ــ۱ و ۸ــ۷ به طریقی رسم می‌کنیم که کلاف کوچک‌تر در شیارهای ۷ ــ۲ و کلاف بزرگ‌تر در شیارهای ۸ــ۱ واقع شوند. پس از آن گروه کلاف دوم را در شیارهای ۱۶ــ۹ و ۱۵ــ۱۰ که مربوط به فاز سوم (T) است، مجاور گروه کلاف اول ترسیم می‌کنیم. و به‌همین ترتیب، گروه کلاف سوم در شیارهای ۲۴ــ۱۷ و ۲۳ــ۱۸ که مربوط به فاز دوم (S) است، در مجاورت گروه کلاف دوم رسم می‌شود. بدین ترتیب، سه گروه کلاف با اندازه‌ی مساوی در مجاورت یک‌دیگر رسم می‌شوند و پیشانی این سه گروه کلاف نیز در یک ردیف (یک طبقه) قرار می‌گیرند.

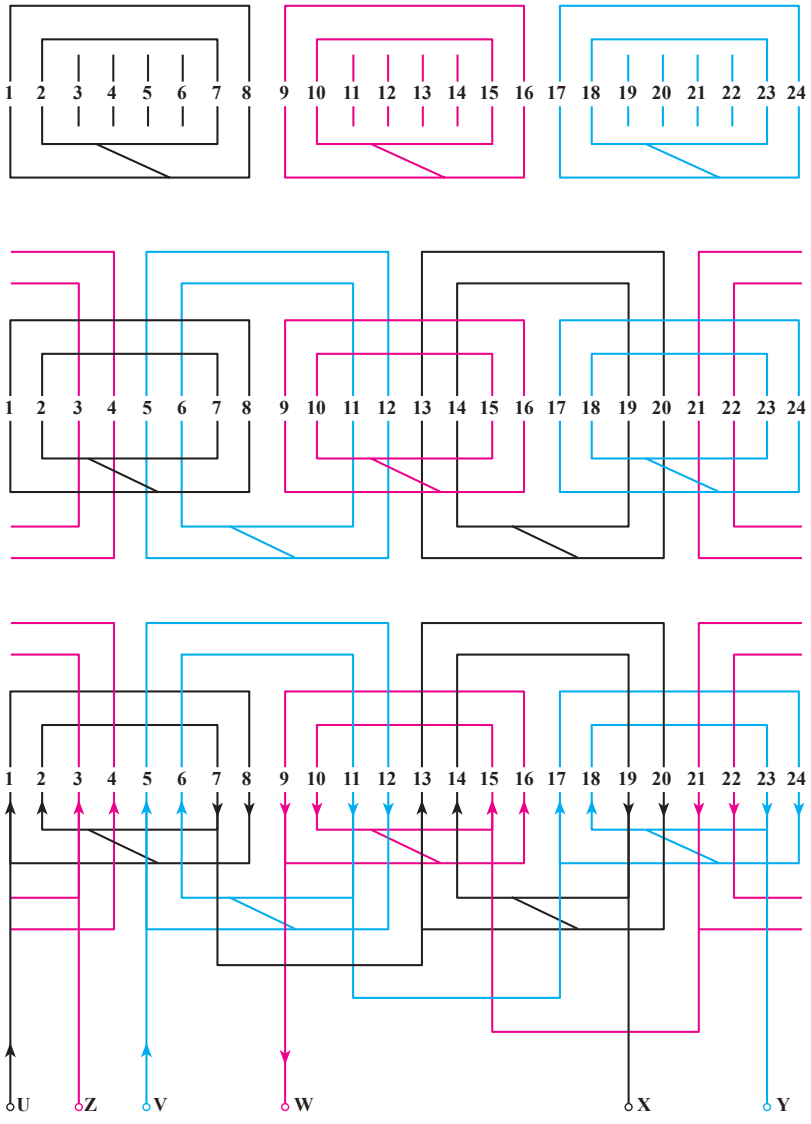
برای ترسیم بقیه‌ی دیاگرام نیز باید گروه کلاف‌ها را به‌طریقی در ۱۲ شیار باقی مانده قرار دهیم که گام آن مشابه گام کلاف‌های قبلی باشد و کوتاه‌ترین مسیر نیز طی شود.

برای این منظور باید یک طرف چهارمین گروه کلاف را در شیارهای ۶ــ۵ و طرف دیگر آن را در شیارهای ۱۲ــ۱۱ قرار دهیم.

برای پنجمین گروه کلاف نیز شیارهای ۱۴ــ۱۳ و ۲۰ــ۱۹ و برای ششمین گروه کلاف، شیارهای ۲۲ــ۲۱ و ۴ــ۳ اختصاص می‌یابد. با ترسیم ششمین گروه کلاف تمام شیارهای استاتور مانند شکل ۵ــ۷ــ ب پر می‌شوند. در این هنگام، باید کلاف‌ها را سربندی کرد.

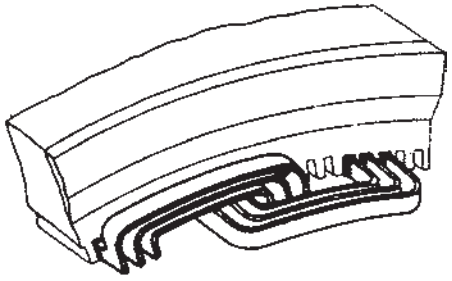
در هنگام سیم‌پیچی موتور نیز باید به‌همان ترتیب گفته شده، کلاف‌ها را درون شیارهای استاتور قرار داد.

همان‌طورکه در شکل ۵ــ۷ــ ب می‌بینید، سه گروه کلاف اول در اندازه‌ی کوچک و سه گروه کلاف دوم با بازوی بزرگ‌تر ترسیم شده‌اند. در سیم‌پیچی موتورهای کوچک که از سیم‌های لاکی با مقطع گرد و قطر کم استفاده می‌شود، بهتر است گروه کلاف‌ها نیز در دو اندازه‌ی کوچک و بزرگ پیچیده شوند و اگر



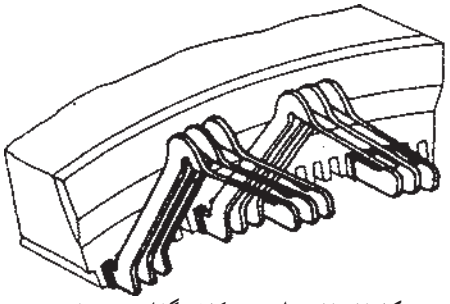
شکل ۵ــ۷ــ ترتیب قرارگیری کلاف‌ها در موتور و سربندی متحدالمرکز

این گروه کلاف‌ها در یک اندازه پیچیده شوند، مشکلی پیش نخواهد آمد. در ماشین‌های بزرگ که به‌جای سیم‌هایی با مقطع گرد از شمش‌های هادی استفاده می‌شود، گروه کلاف‌ها مطابق شکل ۶ــ۷ در اندازه‌های کوچک و بزرگ خواهند بود و چون برخلاف سیم‌های گرد و با مقطع کم ، این تسمه‌ها را به‌سادگی نمی‌توان به‌فرم دلخواه درآورد، بنابراین، قبلاً در خارج از ماشین آن‌ها را فرم می‌دهند و سپس در داخل شیارها می‌گذارند. در سیم‌پیچی نوع زنجیری نیز اگر از هادی تسمه‌ای استفاده شود، باید قبلاً تسمه‌ها را در خارج ماشین فرم داد و سپس مانند شکل ۷ــ۷ در داخل شیارها جاگذاری کرد.

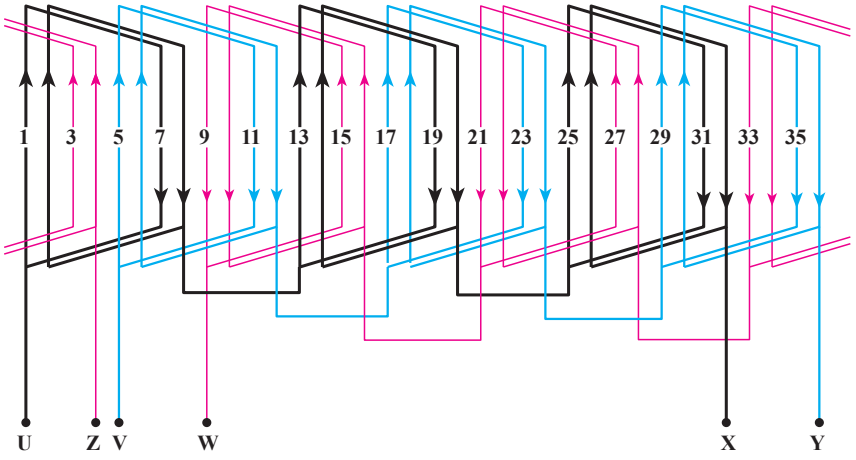


شکل ۶ــ۷ــ طریقه‌ی کلاف‌گذاری متحدالمرکز

در صورتی که بخواهیم سیم‌پیچی به‌صورت زنجیری یا با کلاف‌های یک اندازه انجام شود، برای ترسیم دیاگرام سیم‌پیچی یا قرار دادن کلاف‌ها در داخل شیارها می‌توانیم مانند شکل ۸ــ۷ کلاف‌های یک گروه کلاف را به‌ترتیب در کنار یک‌دیگر جا بزنیم یا این که بدون توجه به تعداد کلاف‌های یک گروه کلاف به‌ترتیبی که بعداً توضیح داده می‌شود، کلاف‌ها را به‌صورت یک درمیان در شیارها جابزنیم و سپس سربندی کنیم.



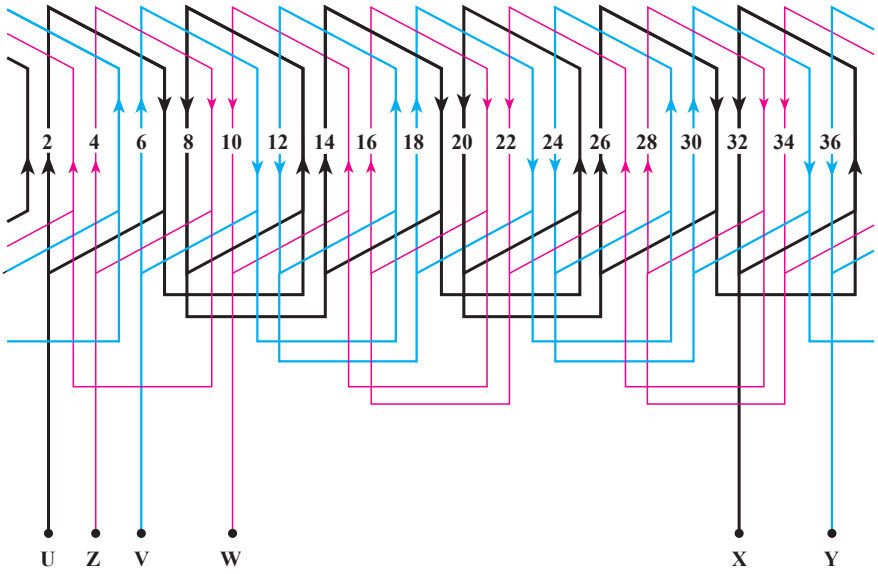
شکل ۷ــ۷ــ طریقه‌ی کلاف‌گذاری متساوی



شکل ۸ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی به‌صورت زنجیره‌ای یک طبقه

درمورد اول، باید پس از جازدن اولین گروه کلاف، شیارهای مربوط به گروه کلاف دوم را خالی بگذاریم و سومین گروه کلاف را در شیارهای مربوطه جا بزنیم. این عمل را به‌همین ترتیب ادامه می‌دهیم تا همه‌ی شیارها پرشوند.

درمورد دوم نیز باید مطابق شکل ۹ــ۷ کلاف‌ها را در شیارها به‌صورت یک درمیان جا زد ؛ به‌طوری که بازوی سمت چپ کلاف‌ها که معمولاً در دیاگرام بلندتر از بازوی سمت راست کشیده می‌شود، در شیارهای فرد و بازوی سمت راست در شیارهای زوج قرار گیرند تا سیم‌بندی حالتی متقارن داشته باشد.



شکل ۹ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور سه‌فاز با ۳۶ شیار و ۶ قطب $\frac{9}{2}$ گام کوتاه

برای این که این حالت بدون اشکال انجام گیرد، باید گام سیم‌پیچی عدد فرد باشد.

در صورتی که گام قطبی زوج باشد، با کم کردن یک شیار از آن می‌توان گام را فرد کرد و دیاگرام سیم‌بندی را با توجه به گام فرد ترسیم نمود.

در این حالت، شروع سیم‌بندی از شیار شماره‌ی ۲ است. درصورت استفاده از گام کوتاه شده، در مصرف سیم صرفه‌جویی می‌شود و در اطراف شیارها نیز فضای کم‌تری برای پیشانی کلاف‌ها لازم خواهد بود.

همان‌طور که توضیح داده‌شد، روش محاسبه‌ی پارامترهای موردنیاز (به‌جز گام سیم‌پیچی) و نوشتن جدول درمورد سیم‌پیچی زنجیری و سیم‌پیچی متحدالمرکز یکی است. برای آشنایی بیش‌تر شما با توضیحات داده شده به‌ذکر دو مثال درمورد سیم‌پیچی زنجیری می‌پردازیم.

مثال ۲: مطلوب است ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌بندی یک موتور سه فاز ۳۶ شیار چهار قطب به‌طریقه‌ی زنجیری.

راه حل: گام قطبی برابر با $\frac{z}{2P} = \frac{۳۶}{۴} = ۹$ و تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز برابر با $q = \frac{z}{2Pm} = \frac{۳۶}{۴ \times ۳} = ۳$ است. چون گام قطبی فرد است، گام سیم‌پیچی را برابر با گام قطبی انتخاب می‌کنیم و به کوتاه کردن گام نیازی نیست.

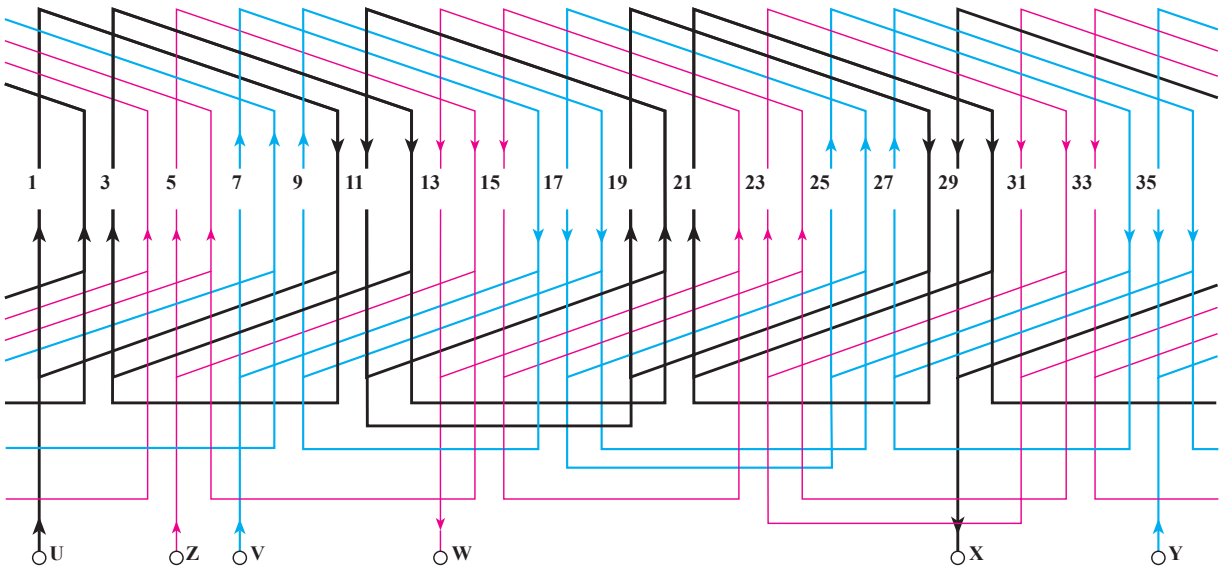
زاویه‌ی الکتریکی بین هر دو شیار برابر با $\alpha_{ez} = \frac{۳۶۰ \times ۲}{۳۶} = ۲۰$ درجه است و شروع فازها می‌تواند از شیارهای ۱، ۷ و ۱۳ باشد.

جدول مشخص کننده‌ی شیارهای هر فاز را نیز می‌توان به‌همان روشی که ذکر شد، مطابق جدول ۳ــ۷ ترسیم کرد.

ترتیب قرار گرفتن کلاف‌ها در داخل شیارها به‌صورت ۱ به ۱۰ و ۳ به ۱۲ و ۵ به ۱۴ و ۷ به ۱۶ و... است که دیاگرام گسترده و کامل آن در شکل ۱۰ــ۷ کشیده شده است.

جدول ۳ــ۷ــ جدول موتور سه‌فاز با ۳۶ شیار و ۴ قطب یک طبقه

شیارهای فاز S	شیارهای فاز T	شیارهای فاز R
۷ــ۸ــ۹	۴ــ۵ــ۶	۱ــ۲ــ۳
۱۶ــ۱۷ــ۱۸	۱۳ــ۱۴ــ۱۵	۱۰ــ۱۱ــ۱۲
۲۵ــ۲۶ــ۲۷	۲۲ــ۲۳ــ۲۴	۱۹ــ۲۰ــ۲۱
۳۴ــ۳۵ــ۳۶	۳۱ــ۳۲ــ۳۳	۲۸ــ۲۹ــ۳۰



شکل ۱۰ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۴ قطب یک طبقه

ترتیب سربندی و اتصال کلاف‌های هر فاز را به یک‌دیگر می‌توان با توجه به قطب‌ها و جهت جریان در شیارها نیز به‌دست آورد.

با کمی توجه و دقت می‌توان دریافت که همیشه برای سری کردن کلاف‌ها با یک‌دیگر، انتهای کلاف به انتهای کلاف بعدی و ابتدای کلاف به ابتدای کلاف بعدی متصل می‌شود.

مثال ۳: اگر بخواهیم موتور ۳۶ شیار را ۶ قطب و سه فاز به‌طریقه‌ی زنجیری سیم‌بندی کنیم، گام قطبی $\frac{۳۶}{۶}$. ۶ . $\frac{z}{۲P}$. y و تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز ۲ . q می‌شود. این سیم‌پیچی را می‌توان با همان گام زوج و با قرار دادن کلاف‌های یک گروه کلاف در مجاورت هم مانند (شکل ۸ــ۷) انجام داد اما اگر بخواهیم سیم‌بندی را به فرم مثال قبل انجام دهیم، امکان ندارد مگر آن که گام سیم‌پیچی را با کم کردن یک واحد از گام کامل به ۵ . ۱ . ۶ تبدیل کنیم. در این صورت، محیط کلاف‌ها نیز کوچک‌تر می‌شود و اقتصادی‌تر است. بدین‌ترتیب، دیاگرام سیم‌بندی مانند شکل ۹ــ۷ به‌دست می‌آید. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اگر سیم‌بندی را از شیار یک که به فاز R مربوط است، شروع کنیم، طرف بعدی کلاف در شیار ۶ . ۵ . ۱ که به فاز S در همان قطب مربوط است، قرار خواهد گرفت. لذا باید شیار شماره‌ی ۲ را برای شروع سیم‌پیچی انتخاب کنیم تا بازوی دیگر کلاف در شیار ۷ . ۵ . ۲ قرار گیرد که مربوط به همان فاز و در قطب بعدی است. شروع دو فاز دیگر را نیز می‌توان شیار شماره‌ی ۶ برای فاز S و شیار شماره‌ی ۱۰ برای فاز T انتخاب کرد.

برای سربندی کلاف‌های مثال‌های ذکر شده ساده‌ترین راه این است که به روش زیر عمل کنیم :

ابتدا با توجه به گام قطبی، شیارهای مجاور هم را که تشکیل یک قطب می‌دهند، جدا می‌سازیم و جهت جریان را در آن‌ها مشخص می‌کنیم. مثلاً، در مثال اول که گام قطبی آن ۶ بود، از شیار یک تا شش جهت جریان به‌سمت بالا بوده و پس از آن از شیار ۷ تا ۱۲ به‌سمت پایین و به‌همین ترتیب از ۱۳ تا ۱۸ مجدداً به‌سمت بالا و از شیارهای ۱۹ تا ۲۴ به‌سمت پایین خواهد بود تا ۴ قطب مشخص شوند.

در شکل ۵ــ۷ــ پ این مطالب نشان داده شده است.

پس از مشخص کردن جهت جریان در بازوهای کلاف‌ها، باید با توجه به این جهت‌ها کلاف‌های مربوط به هر فاز را به‌یک‌دیگر متصل کنیم.

کلاف‌های هر فاز را می‌توان با یک‌دیگر سری یا موازی کرد که هر یک در مورد خاصی به‌کار گرفته می‌شود. در صورتی که بخواهیم گروه کلاف‌ها با یک‌دیگر به‌صورت سری قرار بگیرند، باید بازوهایی را که دارای جهت جریان مخالف هم هستند و از دو گروه کلاف مجاور هم به یک فاز تعلق دارند، به یک‌دیگر متصل کنیم.

اگر بخواهیم گروه کلاف‌های هر فاز موازی یک‌دیگر قرار بگیرند، باید بازوهایی را که دارای جهت جریان مشابه‌اند، به هم اتصال دهیم.

مثلاً درمورد اتصال گروه کلاف‌های مربوط به فاز R در مثال اول، ابتدای فاز R در شیار یک را با U مشخص می‌کنیم و خروجی گروه کلاف اول ــ یعنی شیار ۷ ــ را به ابتدای دومین گروه کلاف مربوط به‌همین فاز ــ که جهت جریان آن مخالف جهت جریان بازوی واقع در شیار ۷ است ــ متصل می‌کنیم. انتهای گروه کلاف دوم ــ یعنی شیار ۱۹ ــ نیز خروجی فاز R است که آن را با X مشخص می‌کنیم. بدین ترتیب، اتصال کلاف‌های فاز اول به‌صورت سری کامل می‌شود. ابتدای فاز دوم که آن را با V نشان می‌دهند، با توجه به توضیحات بالا شیار ۵ انتخاب شده است.

کلاف‌های مربوط به این فاز را نیز مانند فاز اول به‌یک‌دیگر اتصال می‌دهیم ؛ یعنی، انتهای اولین گروه کلاف مربوط به فاز S را که در شیار ۱۱ است، به ابتدای دومین گروه کلاف از همین فاز ــ یعنی شیار ۱۷ ــ متصل می‌کنیم شیار ۲۳ خروجی این فاز می‌شود که آن را با Y نشان می‌دهند. شروع فاز سوم نیز به‌همین‌ترتیب از شیار ۹ و انتهای آن در شیار ۳ است که در شکل ۵ــ۷ــ پ نشان داده شده است.

ابتدای فاز سوم را با W و انتهای آن را با Z نشان می‌دهند.

در جریان سه فازه‌ی سه سیمه، جمع جریان‌های لحظه‌ای هر سه‌فاز برابر با صفر است. برای مثال، در صورتی که در دو فاز جریان به‌سمت مصرف کننده باشد، در فاز سوم جهت جریان از مصرف کننده به سمت خارج است و مقدار جریان خروجی نیز

در همان لحظه با جمع جریان‌های ورودی برابر خواهد بود.

برای بررسی دیاگرام گسترده و اتصال کلاف‌ها در دیاگرام نیز جریان‌ها به‌صورت لحظه‌ای درنظر گرفته می‌شوند.

برای سادگی کار باید جریان‌های لحظه‌ای را در گروه کلاف‌های مربوط به سه‌فاز به طریقی انتخاب کرد که مثلاً در دو فاز از ابتدا به سمت انتها و در گروه کلاف فاز سوم از انتها به‌سمت ابتدا باشد یا به‌عکس، در یکی از گروه کلاف‌ها از ابتدا به‌سمت انتها و در دو گروه کلاف دو فاز دیگر از انتها به‌سمت ابتدا باشد.

در مثال ذکر شده نیز چون جهت جریان فاز اول و دوم را در شیار ۱ و ۵ به‌سمت بالا انتخاب کردیم (از ابتدا به انتها) جهت جریان در فاز سوم از انتها به ابتدا و بنابراین، جهت جریان در شیار ۹ حتماً به سمت پایین خواهد بود.

در چنین حالتی چهار قطب مجاور هم در شیارهای استاتور تشکیل خواهند شد. مسلم است که برای لحظات دیگر که مقدار جریان و جهت آن برای هر فاز تغییر می‌کند، مکان قطب‌ها نیز تغییر خواهد کرد.

در مثال ذکر شده گروه کلاف‌های مربوط به هر فاز با هم به‌صورت سری قرار گرفتند. با کمی توجه به مطالب گفته شده ملاحظه می‌کنید که برای سری کردن گروه کلاف‌ها، انتهای هر گروه کلاف به ابتدای گروه کلاف بعدی همان فاز اتصال یافت. از این قاعده نیز بدون درنظر گرفتن جهت جریان در شیارها، می‌توان برای اتصال گروه کلاف‌ها به یک‌دیگر استفاده کرد.

گروه کلاف‌های مربوط به هر فاز را در صورت مشابه بودن، به‌طور موازی نیز می‌توان با یک‌دیگر اتصال داد.

در این صورت نیز باید با توجه به جهت جریان، کلاف‌ها را با هم موازی کرد که ابتدای گروه کلاف‌ها به یک‌دیگر و انتهای آن‌ها نیز به‌یک دیگر اتصال یابند.

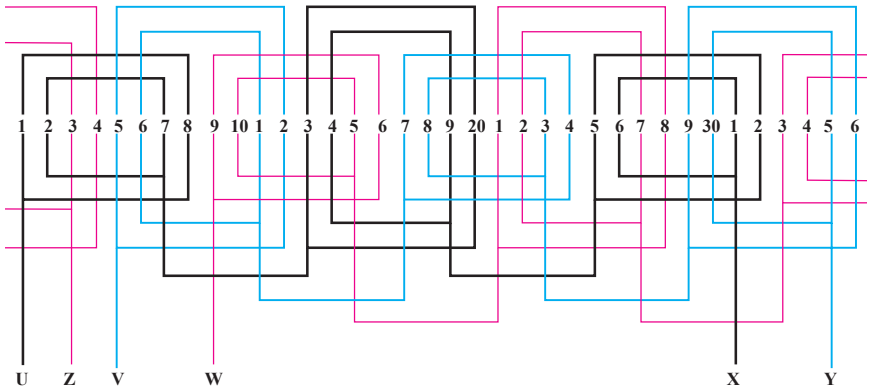
در موتور چهار قطب، دو گروه کلاف و در موتور شش قطب سه گروه کلاف به‌صورت موازی با هم قرار می‌گیرند.

اتصال موازی کلاف‌ها به یک‌دیگر این مزیت را دارد که سطح مقطع سیم به‌کار رفته نسبت به حالت سری کم‌تر است اما در عوض، تعداد دور سیم افزایش می‌یابد.

مثلاً سطح مقطع سیم درصورت اتصال موازی گروه کلاف‌ها در موتور چهار قطب، $\frac{۱}{۲}$ و در موتور شش قطب، $\frac{۱}{۳}$ سطح مقطع سیم در حالت سری است اما در عوض تعداد دور سیم نیز دو و سه برابر می‌شود. در ماشین‌های جریان زیاد، می‌توان کلاف‌ها را به‌صورت موازی بست تا قطر سیم کاهش یابد و فرم دادن به آن‌ها آسان‌تر شود.

سیم‌پیچی متحدالمرکز با کلاف ذوزنقه‌ای: در ماشین‌هایی که تعداد جفت قطب‌های آن (P) فرد است، در هنگام ترسیم دیاگرام گسترده به‌صورت متحدالمرکز، یکی از گروه کلاف‌ها دارای دو بازوی نامساوی شده و یک بازوی آن کوتاه و دیگری بلند ترسیم می‌شود.

این موضوع در ماشین‌هایی که قدرت کمی دارند و در آن‌ها از سیم‌های گرد استفاده می‌شود، مشکلی ایجاد نمی‌کند و عملاً می‌توان تمام کلاف‌ها را به یک فرم درآورد. اما در ماشین‌های بزرگ که از تسمه‌های مسی به‌عنوان هادی در شیارها استفاده می‌شود، چون هادی‌ها باید در خارج از ماشین فرم داده شوند و سپس در شیارها قرار گیرند، از نظر سادگی و صرفه‌جویی مشکل ایجاد خواهد شد ؛ زیرا اندازه و فرم یک گروه کلاف با اندازه و فرم سایر گروه کلاف‌ها متفاوت خواهد شد و باید یک بازو در زیر و بازوی دیگر در رو قرار بگیرد. در شکل ۱۱ــ۷ دیاگرام



شکل ۱۱ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور سه‌فاز با ۳۶ شیار، ۶ قطب و ۱ کلاف ذوزنقه‌ای

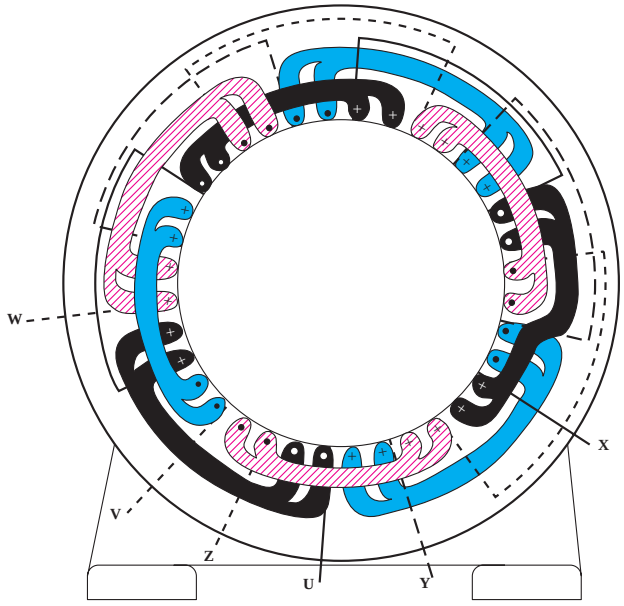
گسترده‌ی یک موتور ۳۶ شیار شش قطب و در شکل ۱۲ــ۷ــ الف استاتور این ماشین که سیم‌پیچی شده است و یک کلاف ذوزنقه دارد، نشان داده شده است.

در این گونه ماشین‌ها، می‌توان با تقسیم هر گروه کلاف به دو قسمت و در عوض با دو برابر کردن تعداد گروه کلاف‌ها، بدون این که تعداد شیارهای زیر هر قطب مربوط به هر فاز تغییر کند، این اشکال را برطرف کرد.

برای مثال، در استاتور موردنظر که ۳۶ شیار ۶ قطب بوده و دارای ۹=۱/۵×۶ گروه کلاف است، هریک از این گروه کلاف‌ها دو کلاف دارند که یکی از آن‌ها دارای دو بازوی نامساوی و به فرم ذوزنقه است.

در شکل ۱۲ــ۷ــ ب استاتور یک موتور آسنکرون ۶ قطب با ۷۲ شیار و q=۴ که در آن یکی از گروه کلاف‌ها به‌صورت ذوزنقه می‌باشد، نشان داده شده است.

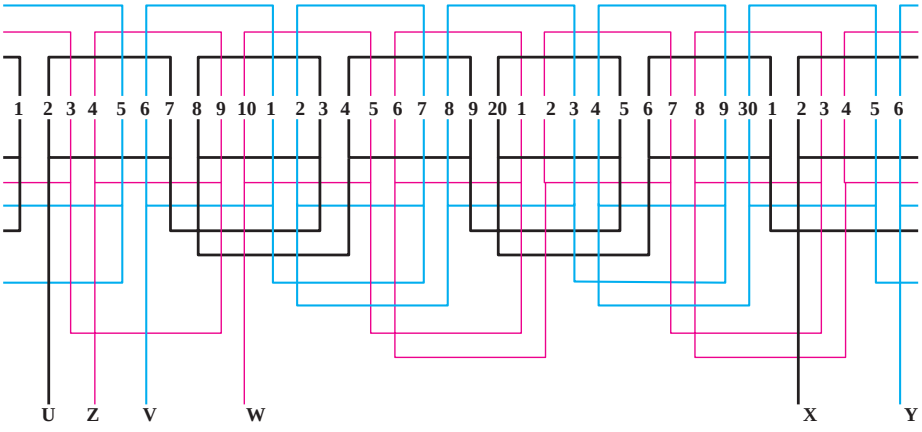
(ب)



(الف)

شکل ۱۲ــ۷ ــ کلاف‌گذاری موتور به‌صورت ذوزنقه‌ای

اگر مطابق دیاگرام گسترده‌ی شکل ۱۳ــ ۷، تعداد گروه کلاف‌ها را به (۱۸=۹×۲) برسانیم و تعداد کلاف هر گروه کلاف را نیز نصف کنیم، دیگر گروه کلاف به‌صورت ذوزنقه نخواهیم داشت و در مجموع از ۱۸ کلاف تکی استفاده می‌شود.



شکل ۱۳ــ۷ ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور سه‌فاز با ۳۶ شیار، ۶ قطب یک طبقه $\frac{q}{2}$ گام کوتاه

بدین ترتیب، گام کلاف‌ها کوتاه‌تر و سیم‌پیچی اقتصادی‌تر می‌شود.

۲ــ۴ــ۷ــ سیم‌پیچی دو طبقه‌ی موتورهای سه‌فاز:

در سیم‌پیچی دو طبقه در هر شیار استاتور، دو بازوی مربوط به دو کلاف مختلف قرار می‌گیرند. اگر دو بازوی یک کلاف به‌اندازه‌ی یک گام قطبی از یک‌دیگر فاصله داشته باشند، دراین‌صورت دو بازوی واقع در یک شیار حتماً مربوط به یک فاز خواهند بود اما اگر این فاصله با گام قطبی برابر نباشد، دراین‌صورت دو بازوی واقع در یک شیار می‌توانند مربوط به دو فاز مختلف نیز باشند. این‌گونه سیم‌پیچی را با گام کوتاه شده یا با گام کسری می‌نامند.

سیم‌پیچی دو طبقه که در آن گام کلاف‌ها برابر با گام قطبی است (گام کوتاه نشده)، در عمل به‌ندرت پیش می‌آید و معمولاً سیم‌پیچی دو طبقه با گام کوتاه شده (گام کسری) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این نوع سیم‌پیچی در ژنراتورها و موتورهای با قدرت کم تا قدرت‌های بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. موتورهایی که دارای سیم‌پیچی دو طبقه با گام کوتاه شده هستند، مزایای زیر را دارند :

الف: با کوتاه کردن گام سیم‌پیچی پیشانی کلاف‌ها کوتاه‌تر و مصرف سیم کم‌تر می‌شود. مخصوصاً در موتورهای دو قطب که گام سیم‌پیچی $\frac{۳}{۴}$ یا $\frac{۲}{۳}$ گام کامل انتخاب می‌شود، این موضوع را بهتر می‌توان دید.

ب: در یک سیم‌پیچی دو طبقه با شیار کامل، می‌توان کلاف‌های سیم‌پیچی را به اندازه‌ی $۲p$ مرتبه با یک‌دیگر به‌طور موازی اتصال داد که این موضوع یکی از مزایای آن است ؛ زیرا در ماشین‌های بزرگ با اختلاف سطح کم و جریان زیاد که باید سطح مقطع هادی‌های آن زیاد باشد، این امر باعث کم شدن سطح مقطع هادی‌ها می‌شود.

پ: در سیم‌پیچی دو طبقه، تعداد حلقه‌های هر کلاف نصف تعداد حلقه‌های کلاف سیم‌پیچی یک طبقه است و یک بازوی کلاف در کف شیار و بازوی دیگر در بالای شیار قرار می‌گیرد.

بدین‌ترتیب، سیم‌پیچی دو طبقه از سیم‌پیچی یک طبقه بهتر تهویه و خنک می‌شود ؛ بنابراین، توان ماشین افزایش می‌یابد. علاوه‌براین، چون تلفات اضافی ماشین در اثر تضعیف هارمونی‌ها کاهش می‌یابد، درنتیجه سیم‌پیچی دو طبقه با گام کوتاه شده در مقابل سیم‌پیچی یک طبقه‌ی معمولی مشابه دارای افزایش قدرت حدود ۱۰ درصد است. این مطلب را درصورت تعویض سیم‌پیچی موتورهای یک طبقه‌ی قدیمی و تبدیل آن‌ها به دو طبقه، باید درنظر داشت.

با کوتاه کردن گام سیم‌پیچی، ضریب ولتاژ سیم‌پیچی نیز کاهش می‌یابد.

مثلاً درصورت استفاده از ضریب $\frac{۵}{۶}$ برای گام کلاف‌ها (مقدار کوتاهی گام به اندازه $\frac{۱}{۶}$ گام کامل) باید تعداد حلقه‌های کلاف را به اندازه‌ی ۵ درصد زیادتر پیچید تا نسبت‌های مغناطیسی ثابت باقی بماند. درصورت استفاده از ضریب $\frac{۲}{۳}$ برای گام کلاف‌ها نیز باید مقدار افزایش حلقه‌ها را ۱۵ درصد انتخاب کرد.

بنابراین، هنگام تعویض سیم‌پیچی یک موتور سوخته اگر بخواهیم، گام سیم‌پیچی آن را تغییر دهیم، باید به این موضوع توجه کنیم که درصورت کوتاه کردن گام، باید تعداد دور سیم‌پیچ را نسبت به حالت اول افزایش دهیم و درصورت زیاد کردن گام، از تعداد دور سیم‌پیچ نسبت به حالت اول بکاهیم. بدین‌ترتیب، دیگر افزایش جریان بی‌باری موتور که علت آن برعکس شدن جریان لحظه‌ای بازوی کلاف‌های واقع در بعضی از شیارها به‌خاطر فشردگی گام است، نیز پدید نخواهد آمد.

برای انتخاب گام سیم‌پیچی از ضریب . استفاده می‌شود که مقدار آن معمولاً $\frac{۵}{۶}$ . . است و با ضرب کردن آن در y، گام سیم‌پیچی y_z به‌دست می‌آید. y_z . . y

با کوتاه شدن گام در سیم‌پیچی دو طبقه، دو بازوی قرار گرفته در پاره‌ای از شیارها به دو فاز مختلف مربوط می‌شوند ؛ بنابراین، باید آن‌ها را به‌خوبی نسبت به یک‌دیگر عایق کرد.

در سیم‌پیچی دو طبقه تعداد کلاف‌ها دو برابر تعداد آن‌ها در سیم‌پیچی یک طبقه است. تعداد گروه کلاف‌ها نیز سه برابر تعداد قطب‌ها و برابر با $۶p$ می‌باشد.

روابطی که برای سیم‌بندی یک طبقه موتورهای سه فازه گفته شد، در این‌جا نیز صادق است. تنها همان‌طور که توضیح داده شد، در موتورهای دو طبقه، گام سیم‌بندی از رابطه‌ی $y_z=\varepsilon y$ به‌دست می‌آید.

طریقه‌ی قرار دادن کلاف‌ها در داخل شیارها نیز متفاوت است. باید کلاف‌ها را در داخل شیارهای استاتور به‌ترتیب و پشت سرهم طوری جا زد که یک بازوی کلاف در زیر و بازوی دیگر آن در بالای شیار قرار گیرد. در این صورت، فرم ظاهری سیم پیچی‌ها زیباتر می‌شود در هنگام سربندی نیز امکان اشتباه کم‌تر است.

ترسیم دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچی دو طبقه نیز به روش‌های مختلف امکان‌پذیر است که در این‌جا با ذکر یک مثال به معرفی متداول‌ترین آن‌ها یعنی روش استفاده از جدول می‌پردازیم.

مثال : مطلوب است دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچی یک موتور سه فازه‌ی ۳۶ شیار با ۴ قطب به‌صورت دو طبقه.

راه حل : برای رسم دیاگرام گسترده، ابتدا y، q، α_{ez} را حساب می‌کنیم.

$$y=\frac{z}{2p}=\frac{36}{4}=9$$

$$q=\frac{z}{2pm}=3$$

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

با مشخص شدن $\alpha_{ez}=20^\circ$ شروع فازها از شیارهای ۱ و ۷ و ۱۳ خواهد بود.

گام سیم‌بندی در صورتی که $\varepsilon=\frac{5}{6}$ انتخاب شود، برابر است با :

$$y_z=\varepsilon.y=\frac{5}{6}\times 9=7/5$$

چون گام به‌دست آمده عدد صحیح نیست، می‌توان گام سیم‌بندی را ۷ یا ۸ انتخاب کرد.

برای ادامه‌ی سیم‌پیچی، گام سیم‌بندی را ۷ انتخاب می‌کنیم

به این ترتیب، ε از $\frac{5}{6}$ کوچک‌تر خواهد شد.

جدولی که برای تشخیص شیارهای مربوط به هر فاز نوشته می‌شود، باید به گونه‌ای باشد که بتواند بازوهای رو و زیر واقع در هر شیار را نیز نمایش دهد.

بدین منظور، جدول را به‌صورت زیر تکمیل می‌کنیم.

تعداد سطرهای جدول برابر با تعداد قطب‌ها ــ یعنی ۴ــ است.

اعداد را مانند روش قبلی از ۱ تا ۳۶ و با توجه به q=۳ در جدول می‌نویسیم. هریک از این اعداد مشخص کننده‌ی بازوی رویی یک کلاف نیز هست.

بازوی دیگر هر کلاف، باید به اندازه‌ی $y_z=7$ شیار با طرف اول آن فاصله داشته باشد.

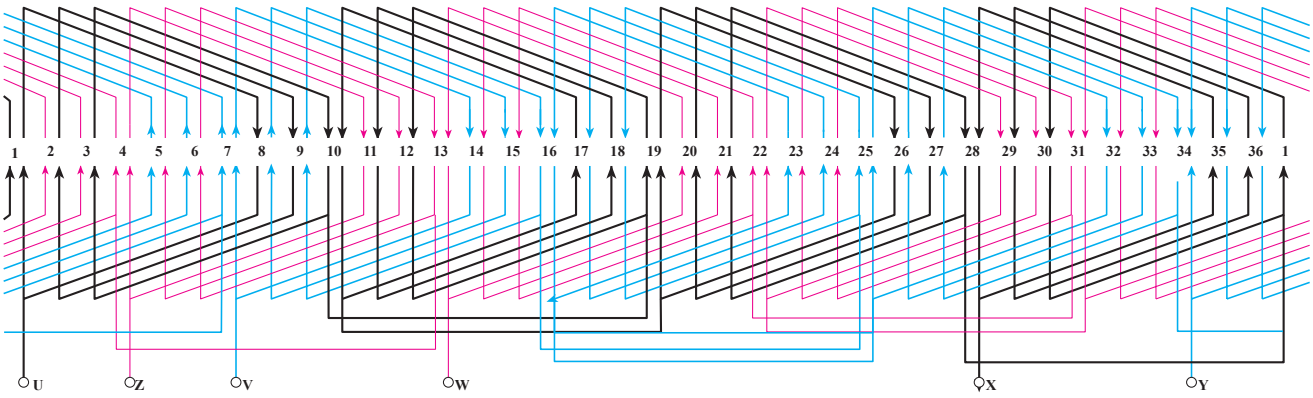
شیاری را که بازوی دوم کلاف در آن واقع می‌شود، با توجه به گام سیم‌بندی در کنار همان عدد قبلی مربوط به بازوی اول کلاف و به‌صورت پریم‌دار می‌نویسیم تا جدول سیم‌پیچی مطابق جدول ۴ــ۷ کامل شود.

با دقت در جدول، مشاهده می‌شود که اعداد پریم‌دار نیز که مشخص کننده‌ی بازوهای زیری کلاف‌ها هستند، به‌ترتیب و پشت سرهم مانند جداول قبلی نوشته شده است.

دیاگرام گسترده‌ی این مثال که با کمک جدول ۴ــ۷ ترسیم شده، در شکل ۱۴ــ۷ نشان داده شده است.

جدول ۴ــ۷ ــ نحوه‌ی قرار دادن بازوهای کلاف در شیارها

S	T	R
۷→۱۴′ , ۸→۱۵′ ,۹→۱۶′	۴→۱۱′ , ۵→۱۲′ ,۶→۱۳′	۱→۸′ , ۲→۹′ ,۳→۱۰′
۱۶→۲۳′ , ۱۷→۲۴′ ,۱۸→۲۵′	۱۳→۲۰′ , ۱۴→۲۱′ ,۱۵→۲۲′	۱۰→۱۷′ , ۱۱→۱۸′ ,۱۲→۱۹′
۲۵→۳۲′ , ۲۶→۳۳′ ,۲۷→۳۴′	۲۲→۲۹′ , ۲۳→۳۰′ ,۲۴→۳۱′	۱۹→۲۶′ , ۲۰→۲۷′ ,۲۱→۲۸′
۳۴→۵′ , ۳۵→۶′ ,۳۶→۷′	۳۱→۲′ , ۳۲→۳′ ,۳۳→۴′	۲۸→۳۵′ , ۲۹→۳۶′ ,۳۰→۱′



شکل ۱۴ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور سه‌فاز با ۳۶ شیار و ۴ قطب، دو طبقه با گام کوتاه

ترتیب سربندی گروه کلاف‌های هر فاز نیز همانند روش‌های قبلی با توجه به جهت جریان در بازوهای رویی است.

در این‌جا نیز برای هر فاز، انتهای گروه کلاف به انتهای گروه کلاف بعدی و ابتدای آن به ابتدای گروه کلاف بعدی متصل می‌شود.

با کمی دقت در دیاگرام ملاحظه خواهید کرد که بین هر دو قطب، در دو شیار مجاور، جهت جریان لحظه‌ای بازوهای واقع در هر شیار برعکس یک‌دیگر است.

پس از رسم دیاگرام گسترده، باید دقت کرد که این شیارها از نظر مکانی متقارن باشند.

تعداد این شیارها به مقدار کوتاهی گام بستگی دارد و در هر منطقه، قطبی از رابطه‌ی $y_z \cdot y$ به‌دست می‌آید.

اگر گام سیم‌بندی را برابر $y_z \cdot ۸$ انتخاب کنیم، تنها یک شیار در بین هر دو قطب این خاصیت را پیدا خواهد کرد.

این موضوع باعث افزایش جریان بی‌باری موتور می‌شود و برای رفع آن ــ همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد ــ باید تعداد دور سیم‌پیچی را افزایش داد.

۵ــ۷ــ سیم‌پیچی موتورهای دو دور سه فاز (دالاندر)

مابین فرکانس f و دور سنکرون ماشین n_s و تعداد جفت قطب‌های ماشین 2p رابطه‌ی $n_s \cdot \frac{۶۰ \cdot f}{P}$ برقرار است.

از این رابطه می‌توان استفاده کرد و در ژنراتورهای سنکرون با مشخص بودن تعداد دور ماشینی که ژنراتور را می‌چرخاند، فرکانس f را به‌دست آورد و در موتورهای سنکرون و آسنکرون با داشتن فرکانس شبکه‌ی سه‌فاز، دور سنکرون n_s را پیدا کرد.

در موتورهای سنکرون، دور میدان دوار (n_s) با دور موتور یکی است اما در موتورهای آسنکرون، دور موتور از دور میدان دوار کم‌تر است و لغزش یا عقب ماندگی نیز دارد.

در این موتورها، لغزش نامی معمولاً بین ۱ تا ۵ درصد است و در موتورهای با قدرت بالا، لغزش حتی از یک درصد نیز کم‌تر می‌شود.

درصورت استفاده از موتور آسنکرون با رتور سیم‌پیچی شده و راه‌اندازی قابل تنظیم می‌توان دور موتور را در مقیاس کوچکی نیز تغییر داد اما این روش اقتصادی نیست و تلفاتی به‌همراه دارد.

از توضیحات بیان شده چنین نتیجه می‌گیریم که دور موتورهای آسنکرون، تقریباً ثابت است ؛ مگر آن که فرکانس یا تعداد قطب‌های ماشین تغییر کند. ساده‌ترین حالت این است که برای تغییر دور، تعداد قطب‌های موتور را تغییر دهیم.

اگر استاتور یک ماشین را با دو یا چند سیم‌پیچ جداگانه و برای قطب‌های مختلف سیم‌پیچی کرده و هرکدام از آن‌ها را جداگانه (غیر هم‌زمان) به شبکه‌ی سه فاز وصل کنیم، می‌توانیم دورهای مختلفی را به‌دست آوریم.

مثلاً می‌توان یک استاتور ۳۶ شیار را برای ۲ و ۴ و ۶ قطب سیم‌پیچی کرد و با اتصال جداگانه‌ی هریک از سیم‌پیچ‌ها به‌شبکه، به دور نزدیک ۳۰۰۰ــ۱۵۰۰ یا ۱۰۰۰ دور در دقیقه رسید.

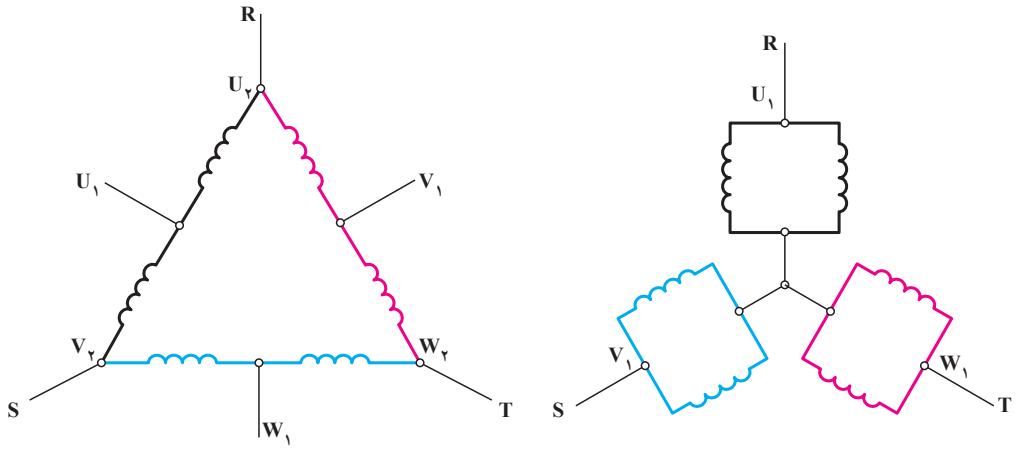
در صورتی که نسبت تغییر قطب $\frac{۲}{۱}$ باشد، به‌جای این که در استاتور برای دو سرعت مختلف از دو سیم‌پیچ مجزا استفاده کنیم، می‌توانیم از یک سیم‌پیچ با اتصال خاص استفاده کنیم و با تغییر دادن اتصال کلاف‌ها به یک‌دیگر دور را تغییر دهیم.

امروزه از موتورهایی که دارای این‌گونه سیم‌پیچی هستند و با تغییر اتصال سیم‌پیچی، قطب‌های آن را تغییر می‌دهند و سرعت آن را دو برابر یا نصف می‌کنند، فراوان استفاده می‌شود.

چنین موتورهایی به موتورهای با **سیم‌پیچ دالاندر** معروف‌اند.

مزایای این موتورها کم بودن تلفات راه‌اندازی و پایین بودن درجه حرارت کار آن‌هاست که سبب بالا رفتن بازده (راندمان) می‌شود.

تعداد گروه کلاف‌های موتور دالاندر را باید طوری محاسبه کرد که تا ایجاد قطب بیش‌تر نیز امکان‌پذیر باشد. مجموعه‌ی گروه کلاف‌های هریک از سه فاز، به‌دو قسمت تقسیم شده‌اند و در حالت قطب زیاد به‌صورت سری و در حالت قطب کم به‌صورت موازی با یک‌دیگر قرار می‌گیرند. درنتیجه، سیم پیچ‌های هر سه فاز در حالت دور کم (قطب زیاد) به‌صورت مثلث و در حالت دور زیاد به‌صورت ستاره‌ی دوبل (..) مانند شکل ۱۵ــ۷ اتصال می‌یابند.



شکل ۱۵ــ۷ــ اتصال مثلث با دور کم و قطب زیاد و اتصال ستاره دوبل با دور زیاد و قطب کم

برای این که هنگام تغییر اتصال، جهت گردش رتور تغییری نکند، باید محل اتصال $V_۲$ و $W_۲$ را در ترمینال‌های موتور با یک‌دیگر تعویض کرد.

اگر بخواهیم سیم‌پیچی یک موتور سه‌فاز یک سرعته را تغییر دهیم و به‌صورت دو دور دالاندر سیم‌پیچی کنیم. باید دقت داشته باشیم که سطح قطب‌های استاتور برای دور بیش‌تر از دور نامی موتور کافی نیست و نمی‌توان این موتور را برای تعداد قطب کم‌تر سیم‌پیچی کرد و در صورت لزوم باید محاسبات مجدد را برای سیم‌پیچی انجام داد.

به‌عکس می‌توان همین موتور را برای تعداد دور کم‌تر (قطب بیش‌تر) سیم‌پیچی کرد. برای مثال، یک موتور یک سرعته‌ی ۴ قطب را می‌توان برای ۸ و ۴ قطب سیم‌پیچی کرد.

در حالت ۸ قطب، گام قطبی و درنتیجه سطح زیر هر قطب نصف حالت ۴ قطب است. درضمن، چون تعداد دور کم‌تر می‌شود، تهویه‌ی موتور خوب کار نمی‌کند و موتور به‌خوبی خنک نمی‌شود. در این حالت، قدرت ماشین با قطب بیش‌تر حدود ۴۵٪ کم‌تر از قدرت همان ماشین در حالت قطب کم‌تر می‌باشد.

در موتور دالاندر برای این که تقسیم منحنی مغناطیسی در فاصله هوایی کاملاً سیمتریک باشد، باید گام سیم‌پیچی y_z را چنان انتخاب کرد که برای تعداد قطب بیش‌تر، یک گام کامل و برابر با گام قطبی باشد.

بنابراین، اگر تعداد قطب موتور را در حالت دور بیش‌تر (قطب کم‌تر) با $2P_1$ و در حالت دور کم‌تر (قطب بیش‌تر) با $2P_2$ نشان دهیم، در این صورت گام سیم‌پیچی برابر می‌شود با :

$$y_z = \frac{z}{2P_2}$$

در یک سیم‌پیچی دالاندر، تعداد کل گروه کلاف‌های سه‌فاز، برابر با $2P_1m$ است و در حالتی که $P_1 = 1$ باشد، تعداد گروه کلاف‌ها برابر با ۶ خواهد شد. بنابراین، در این سیم‌پیچی رابطه‌ی $z = 2P_1mq = P_2m.q$ برقرار است.

در این‌صورت مقدار q که مشخص کننده‌ی تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف نیز هست، به‌صورت زیر به‌دست می‌آید :

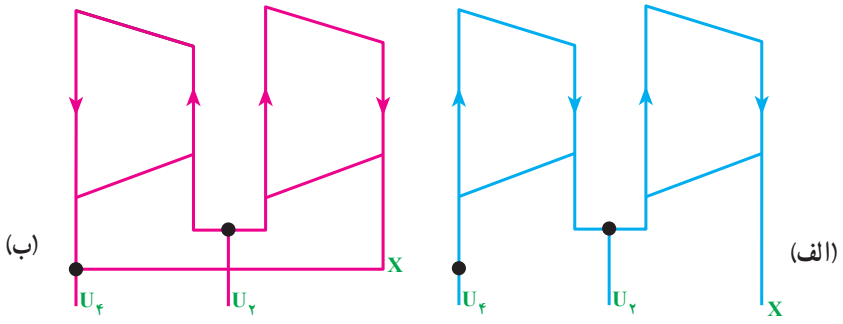
$$y_z = \frac{z}{2p_2} = \frac{P_2m.q}{2P_2}$$

$$y = \frac{2}{3}y_z \qquad y_z = \frac{m}{2}q = 1/5q$$

بدین‌ترتیب، با انتخاب گام سیم‌پیچی مناسب که با گام قطبی برای حالت قطب زیاد برابر است، می‌توان یک منحنی مغناطیسی سیمتریک به‌دست آورد.

شرط لازم برای این کار ــ با توجه به رابطه‌ی اخیر ــ این است که q عدد زوج باشد. در حالتی که q عدد فرد باشد، گام سیم‌پیچی با گام قطبی یکی نیست و درنتیجه، میدان مغناطیسی نیز سیمتریک نخواهد شد.

در شکل ۱۶ــ۷ــ الف دو گروه کلاف که با یک‌دیگر به‌صورت سری قرار گرفته‌اند و به یک فاز مربوط‌اند، نشان داده شده است. در صورتی که جریان از U_4 وارد و از X خارج شود و ترمینال U_2 آزاد بماند، در مجموع چهار قطب تشکیل می‌شود.

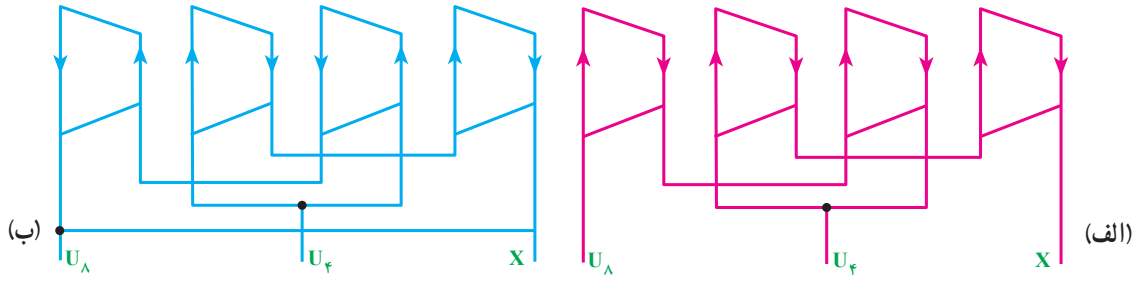


شکل ۱۶ــ۷ــ سربندی کلاف‌های یک فاز موتور دالاندر ۴ قطب و ۲ قطب

چنان چه این دو گروه کلاف مانند شکل ۱۶ــ۷ــ ب با اتصال X و U_4 با یک‌دیگر موازی شوند و جریان از U_2 وارد و از U_4 خارج شود، جهت جریان در کلاف شماره‌ی یک معکوس می‌شود و در مجموع، دو قطب تشکیل می‌دهد.

در شکل ۱۷ــ۷ــ الف چهار گروه کلاف که با یک‌دیگر سری شده و ۸ قطب را تشکیل داده‌اند، نشان داده شده است.

ترتیب سری شدن کلاف‌ها طوری است که بتوان با اتصال X به U_8 یک اتصال موازی که در یک شاخه، گروه کلاف یک و سه و در شاخه دیگر، گروه کلاف‌های دو و چهار قرار گرفته‌اند، مانند شکل ۱۷ــ۷ــ ب ایجاد نمود.

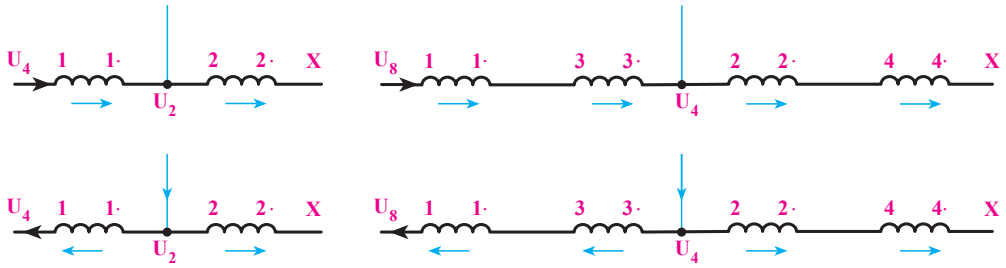


شکل ۱۷ــ۷ــ دیاگرام سربندی کلاف‌های موتور دالاندر ۸ قطب و ۴ قطب

در چنین حالتی چهار قطب ایجاد می‌شود.

برای تبدیل قطب‌ها از ۸ به ۴ ــ همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود ــ جهت جریان در گروه کلاف‌های شماره یک و سه معکوس شده است.

اگر برای سادگی، هریک از کلاف‌ها را به‌صورت یک سیم‌پیچ و سر ورودی آن را با شماره‌ی همان کلاف و خروجی آن را نیز با شماره‌ی پریم‌دار همان کلاف نشان داده و گروه کلاف‌های سری شده را نیز به‌ترتیب ــ مانند شکل ۱۸ــ۷ــ پشت سرهم قرار دهیم، در این صورت کلاف‌های با شماره‌ی فرد در یک سمت و کلاف‌های با شماره‌ی زوج در سمت دیگر قرار می‌گیرند.



شکل ۱۸ــ۷ــ سربندی کلاف‌های یک فاز موتور دالاندر ۸/۴ قطب و ۴/۲ قطب

در اتصال با قطب زیادتر، جهت جریان در گروه کلاف‌های فرد و زوج هم جهت است اما در اتصال با قطب کم‌تر، جهت جریان در کلاف‌های فرد معکوس می‌شود.

سیم‌پیچی دالاندر معمولاً به‌صورت دو طبقه انجام می‌گیرد. با توجه به این موضوع و مطالب گفته شده، می‌توان سیم‌پیچ‌های هر سه فاز را به‌ترتیب زیر شماره‌گذاری کرد و گروه کلاف‌هایی را که باید جهت جریان در آن‌ها با تغییر قطب تعویض شوند، مشخص نمود.

فرض می‌کنیم استاتوری مجموعاً دارای ۱۲ گروه کلاف است. در این صورت، اگر هریک از گروه کلاف‌های فاز اول (R) را با U_X و گروه کلاف‌های فاز دوم (S) را با V_ Y و فاز سوم (T) را با W_ Z نشان دهیم، ترتیب قرار گرفتن گروه کلاف‌های سه‌فاز در یک سیم‌پیچی دو طبقه به‌صورت زیر خواهد بود که در جدول ۵ــ۷ نیز مشخص شده است.

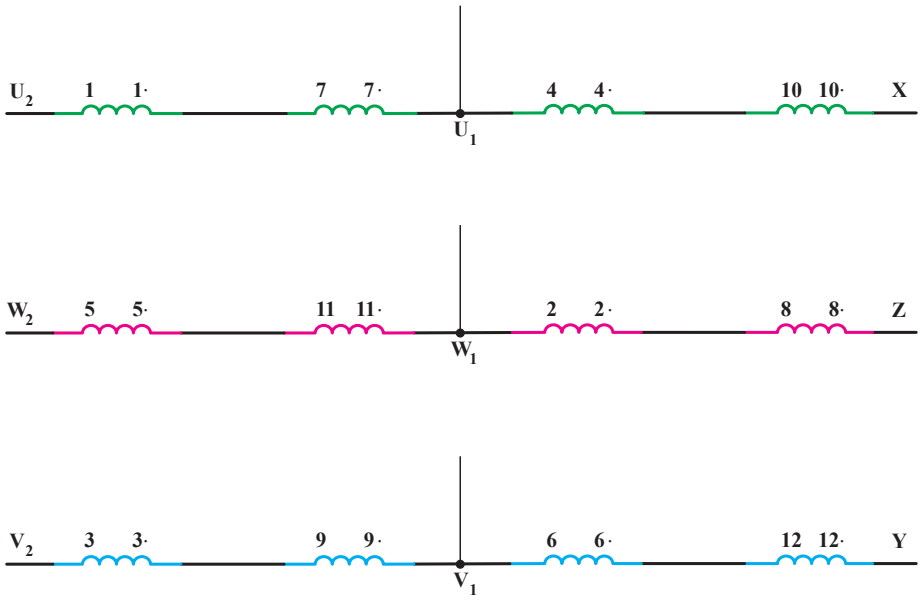
U . X	W . Z	V . Y	U . X	W . Z	V . Y
۱	۲	۳	۴	۵	۶
U . X	W . Z	V . Y	U . X	W . Z	V . Y
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲

با توجه به آن چه گفته شد، گروه کلاف‌های مربوط به هر فاز را به‌صورت شکل ۱۹ــ۷ با هم سری می‌کنیم.

جدول ۵ــ۷ــ گروه کلاف‌های هر فاز موتور دالاندر

	فاز اول	فاز دوم	فاز سوم
گروه کلاف‌هایی که جهت جریان در آن‌ها تغییر می‌کند.	۱ــ۷	۵ــ۱۱	۳ــ۹
گروه کلاف‌هایی که جهت جریان در آن‌ها تغییر نمی‌کند.	۴ــ۱۰	۲ــ۸	۶ــ۱۲

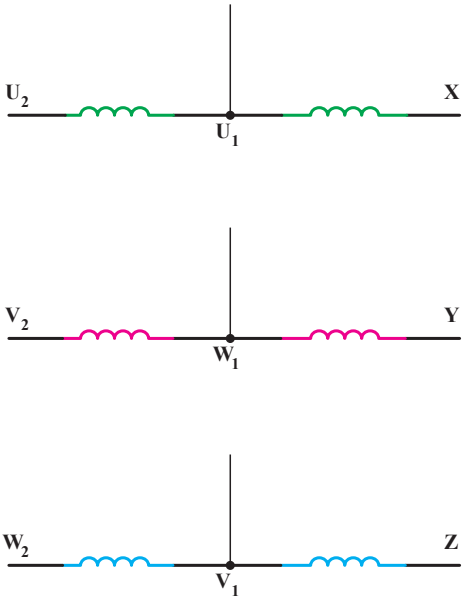
برای اتصال مثلث، باید Z را به U_2 ، Y را به W_2 و X را به V_2 متصل کرد و سه فاز را به‌ترتیب R را به U_2 ، S را به V_2 و T را به W_2 وصل نمود. برای اتصال ستاره‌ی دوبل، کافی است که U_2 ، V_2 و W_2 را به یک‌دیگر متصل کنیم و سه‌فاز را به U_1 ، V_1 و W_1 اتصال دهیم. در این حالت، اگر R به U_1 و S به V_1 و T به W_1 وصل شود، جهت گردش رتور نیز عوض می‌شود ؛ یعنی، اگر موتور در حالت دور کم راست‌گرد باشد، در حالت دور زیاد چپ‌گرد خواهد شد.



شکل ۱۹ــ۷ــ سربندی گروه کلاف‌های هر فاز موتور دالاندر

برای رفع این اشکال باید در هنگام تغییر قطب، فاز S را به‌وسط گروه کلاف‌های مربوط به فاز سوم (W_1) و فاز T را به‌وسط گروه کلاف‌های مربوط به فاز دوم (V_1) متصل کنیم.

برای این که در هنگام اتصال موتور به شبکه‌ی سه‌فاز، درروی جعبه کلم اشکال و اشتباهی پیش نیاید، باید شخصی که موتور را سیم‌پیچی می‌کند، سر وسط گروه کلاف‌های فاز سوم را به‌جای اتصال به ترمینال W_1 جعبه کلم، به ترمینال V_1 و سر وسط گروه کلاف‌های مربوط به فاز دوم را به‌جای اتصال به ترمینال V_1 به ترمینال W_1 متصل کند (به‌طور خلاصه نام V_1 و W_1 را مانند شکل ۲۰ــ۷ با یک‌دیگر عوض نماید). بدین‌ترتیب، با اتصال R به U_1 و S به V_1 جدید و T به W_1 جدید، موتور به‌راحتی به‌شبکه اتصال می‌یابد و جهت گردش آن نیز تغییری نمی‌کند.



شکل ۲۰ــ۷ــ تغییر نام وسط کلاف در موتور دالاندر

برای این که مطالب گفته شده را بهتر درک کنید، به‌ذکر یک مثال می‌پردازیم.

مثال: مطلوب است دیاگرام گسترده‌ی یک موتور سه‌فاز دالاندر ۳۶ شیار ۴ و ۸ قطب.

راه حل: در این مثال $2P_2 = 8$ و $2P_1 = 4$ است، برای رسم دیاگرام این سیم‌بندی، ابتدا تعداد شیارهای زیر هر قطب مربوط به هر فاز را برای قطب کم‌تر حساب می‌کنیم.

$$q = \frac{z}{2P_1 m} = \frac{z}{P_2 m}$$

$$q = \frac{36}{4 \times 3} = 3$$

مقدار q عدد فرد است. بنابراین و با توجه به توضیحات داده شده، گام سیم‌بندی برابر با گام قطبی نخواهد بود و تقسیم منحنی مغناطیسی، غیر سیمتریک می‌شود.

$$y_z = 1/5q = 1/5 \times 3 = 4/5$$

گام سیم‌بندی را می‌توان ۴ یا ۵ انتخاب کرد.

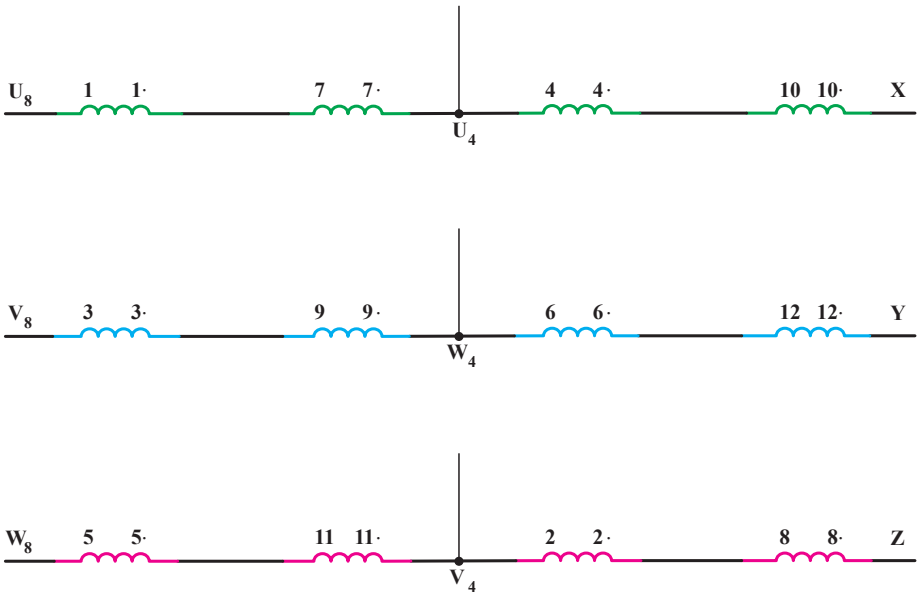
در این‌جا ما گام را برابر با ۵ انتخاب می‌کنیم. تعداد گروه کلاف‌های مورد نیاز برای این موتور برابر با $2P_1m$ یعنی $12 = 2 \times 3 \times 2$ است. شماره گروه کلاف‌های مربوط به هر فاز را مشخص کرده و گروه کلاف‌های فرد یا زوج را مانند جدول ۶ــ۷ جدا می‌کنیم.

U . X	W . Z	V . Y	U . X	W . Z	V . Y
۱	۲	۳	۴	۵	۶
U . X	W . Z	V . Y	U . X	W . Z	V . Y
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲

با توجه به جدول ۶ــ۷ دیاگرام سربندی گروه کلاف‌ها به‌صورت شکل ۲۱ــ۷ خواهد بود.

جدول ۶ــ۷ــ گروه کلاف‌های هر فاز موتور دالاندر با ۴ یا ۸ قطب سه‌فاز

	فاز R	فاز T	فاز S
گروه کلاف‌های فرد	۷ و ۱	۱۱ و ۵	۹ و ۳
گروه کلاف‌های زوج	۱۰ و ۴	۸ و ۲	۱۲ و ۶

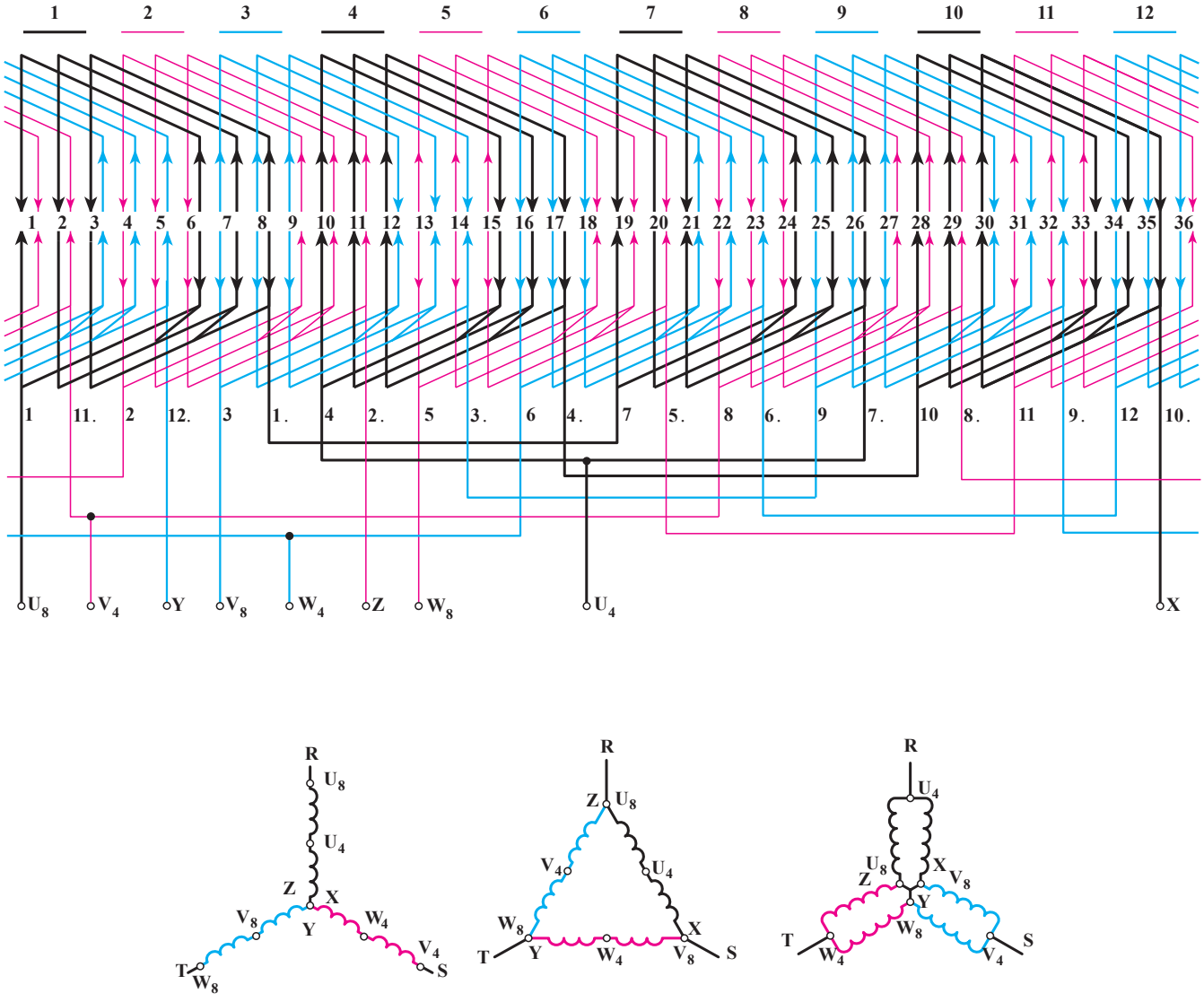


شکل ۲۱ــ۷ــ سربندی گروه کلاف‌های هر فاز موتور دالاندر با ۴ یا ۸ قطب سه‌فاز

دیاگرام سربندی، طریقه‌ی اتصال گروه کلاف‌های هر فاز را به یک‌دیگر و سرهای خروجی را مشخص می‌کند. مثلاً درمورد فاز اول ابتدای گروه کلاف (۱) به ترمینال U_8 متصل می‌شود و انتهای همین گروه کلاف (۱۰) به ابتدای گروه کلاف شماره‌ی ۷ که باز هم به‌همین فاز مربوط می‌شود و در شیارهای ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ قرار گرفته است، متصل شده و خروجی این گروه کلاف به ابتدای گروه کلاف شماره‌ی ۴ اتصال می‌یابد.

به‌همین ترتیب، انتهای گروه کلاف ۴ نیز به ابتدای گروه کلاف ۱۰ متصل می‌شود و انتهای آن نیز خارج شده و به ترمینال X وصل می‌شود. از محل اتصال دو گروه کلاف ۷ و ۴ نیز یک سرخارج می‌شود که باید به ترمینال U_4 اتصال پیدا کند.

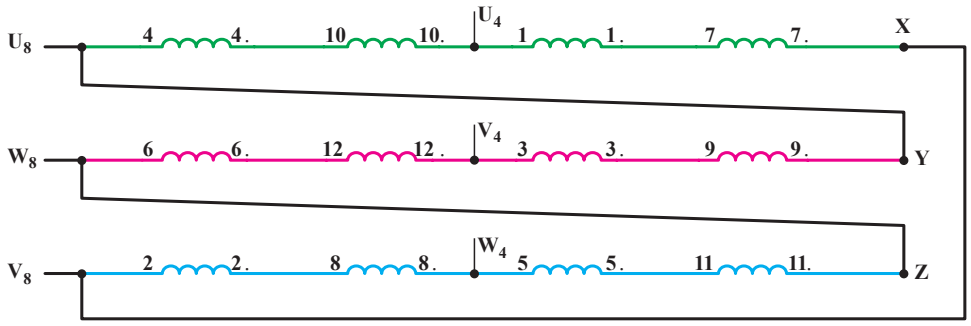
با دانستن گام سیم‌پیچی و نوع گروه کلاف‌ها یا دیاگرام سربندی، می‌توان دیاگرام گسترده‌ی کامل این موتور را رسم کرد. در شکل ۲۲ــ۷ این دیاگرام نشان داده شده است.



شکل ۲۲ــ۷ــ دیاگرام سیم‌پیچی موتور سه‌فاز دو دور (دالاندر) با ۴ یا ۸ قطب و ۳۶ شیار

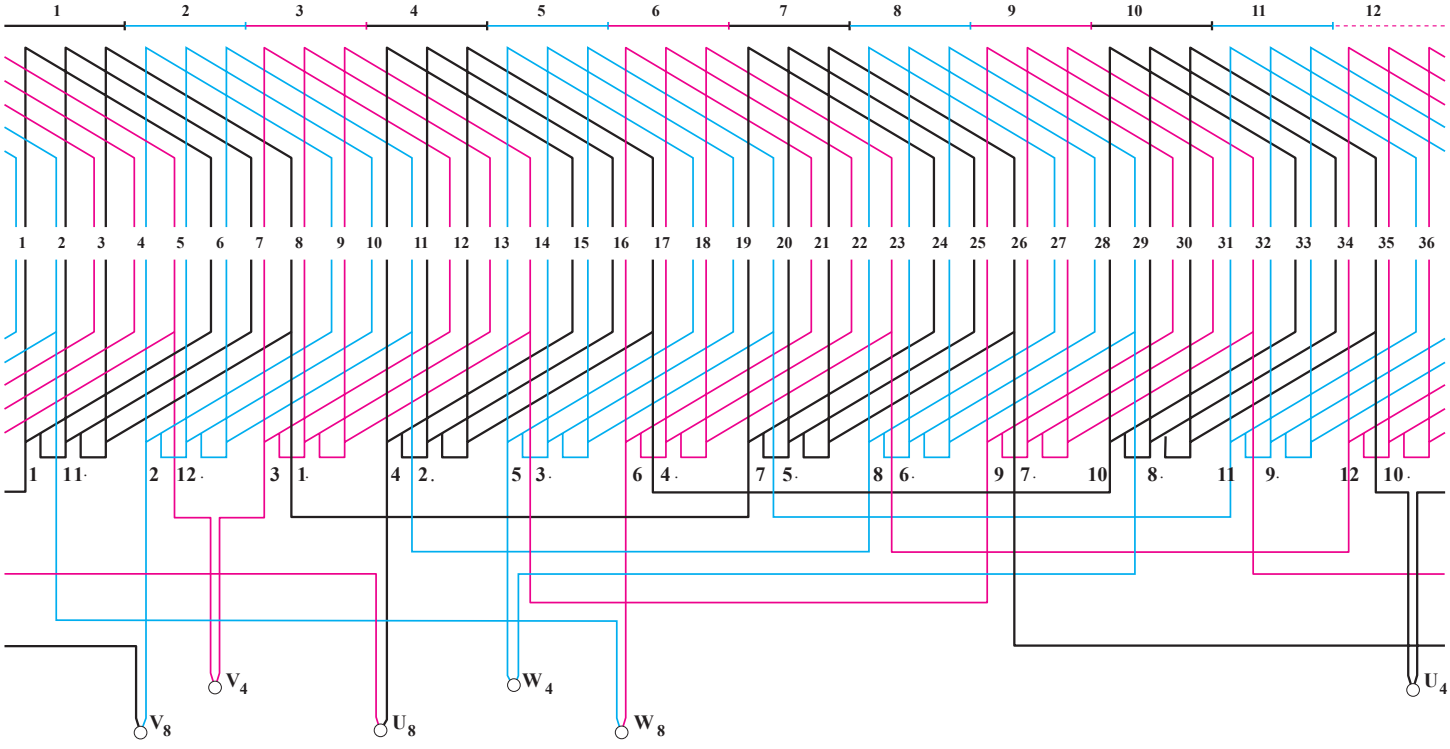
سربندی گروه کلاف‌ها را می‌توان به‌طریقی انجام داد که در هنگام تغییر قطب، جهت جریان به‌جای گروه کلاف‌های فرد در گروه کلاف‌های زوج عوض شده و به‌جای تعویض V_4 و W_4 با یک‌دیگر جای V_8 و W_8 با هم عوض شود.

دیاگرام سربندی مثال ذکر شده با این شرط که جهت جریان در کلاف‌های زوج تغییر کند، در شکل ۲۳ــ۷ و دیاگرام گسترده‌ی آن در شکل ۲۴ــ۷ نشان داده شده است.



شکل ۲۳ــ۷ــ سربندی کلاف‌های موتور سه‌فاز دو دور دالاندر با ۴ یا ۸ قطب به‌صورت مثلث

در شکل ۲۲ــ۷ امکان راه اندازی موتور به‌صورت ستاره‌ی مثلث نیز وجود دارد لیکن در شکل ۲۴ــ۷ به‌علت این که سیم‌پیچی در داخل موتور به‌صورت مثلث اتصال یافته و شش سر خارج شده است، این امکان وجود ندارد.



شکل ۲۴ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور سه فاز دو دور (دالاندر) با اتصال مثلث

۶ــ۷ــ سیم‌پیچی موتورهای یک فاز رتور قفسی

درصورتی که استاتور یک موتور آسنکرون تنها با یک گروه کلاف سیم‌پیچی شود و به یک منبع یک فازه اتصال یابد، یک میدان متغیر ایجاد می‌شود و برعکسِ سیم‌پیچی سه فازه، دیگر میدان دوار نخواهیم داشت.

اگر در یک موتور سه فاز، X و Y را به یک‌دیگر و U–V را به شبکه‌ی یک فاز متصل کنیم و ترمینال‌های W و Z را نیز آزاد بگذاریم، رتور شروع به لرزش می‌کند و به‌خودی خود نمی‌چرخد اما اگر رتور را با دست به چپ یا راست بگردانیم، در همان جهت به‌گردش خود ادامه خواهد داد.

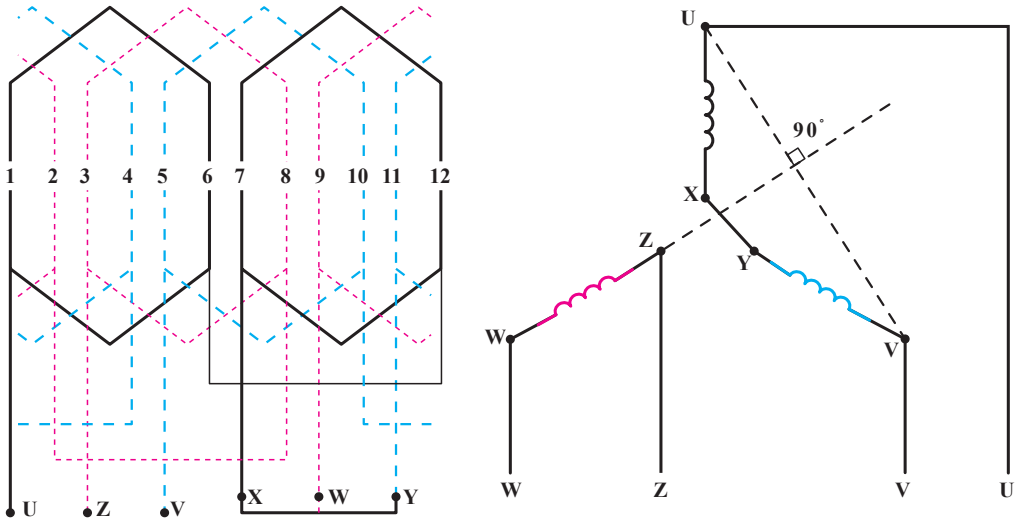
اگر در موتور سه‌فازه‌ی گفته شده، ترمینال‌های X و Y را به یک‌دیگر اتصال دهیم و چهار ترمینال باقی‌مانده U–V و W–Z را به یک جریان دو فازه متصل کنیم، رتور به‌گردش خواهد افتاد. همان‌طور که در شکل ۲۵ــ۷ دیده می‌شود، محور سیم‌پیچ U–V با محور سیم‌پیچ W–Z به اندازه‌ی ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند و اگر توسط یک جریان دو فازه با اختلاف فاز ۹۰ درجه تغذیه شوند، میدان دوار ایجاد می‌شود و موتور به‌خودی خود به‌گردش خواهد افتاد. موتورهای یک فازی که در صنعت از آن‌ها استفاده می‌شود و رتور قفسی دارند، برای این که پس از اتصال به شبکه‌ی یک فازه مانند سیم‌پیچی دو فازه‌ی گفته شده به‌خودی خود بگردند، دارای دو سیم‌پیچ جدا از یک‌دیگر هستند.

با اضافه کردن خازن، مقاومت اهمی و به‌ندرت مقاومت سلفی در مدار یکی از سیم‌پیچ‌ها (سیم‌پیچ کمکی) اختلاف فاز لازم را بین جریانهای دو سیم‌پیچ به‌وجود می‌آورند. از خازن‌های الکترولیتی فقط برای راه‌اندازی استفاده می‌شود و آن‌ها نباید بیش‌تر از چند ثانیه در مدار باشند. درصورتی که بخواهیم خازن راه انداز را تعویض کنیم، باید خازنی را به‌کار بگیریم که همان مشخصات خازن اصلی را داشته و ظرفیت و ولتاژ آن برابر با ظرفیت و ولتاژ خازن معیوب باشد. خازن با ولتاژ بیش‌تر را می‌توان جایگزین خازن با ولتاژ کم‌تر کرد اما عکس این حالت صادق نیست.

اگر بخواهیم سیم‌پیچی یک موتور یک فاز را که با ولتاژ U_1 کار می‌کند و توسط خازن C_1 راه‌اندازی شده است تعویض کرده آن را برای ولتاژ جدید U_2 سیم‌پیچی کنیم، می‌توانیم ظرفیت خازن جدید را از رابطه‌ی زیر به‌دست آوریم.

$$C_2 = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \cdot C_1$$

سیم‌پیچ کمکی پس از راه‌اندازی می‌تواند از شبکه قطع شود یا این که به آن متصل باقی بماند. مقدار مقاومت اهمی که با سیم‌پیچ راه‌انداز سری می‌شود، تقریباً بین ۴ تا ۸ برابر مقاومت سیم‌پیچ راه‌انداز است. و این مقاومت را می‌توان با زیاد کردن تعداد دور سیم‌پیچ راه‌انداز و کم کردن سطح مقطع آن یا استفاده از یک سیم با مقاومت مخصوص بیش‌تر (نسبت به سیم‌پیچ اصلی)



شکل ۲۵ــ۷ــ اتصال موتور سه‌فاز برای راه‌اندازی با جریان دو فازه

ــ مانند سیم آلومینیمی یا آهنی قلع‌اندود ــ به‌دست آورد. اغلب، یک قسمت از سیم‌پیچ کمکی را به‌صورت بیفیلار می‌پیچند (معمولاً $\frac{۲}{۳}$ حلقه‌های کلاف در یک جهت و $\frac{۱}{۳}$ در جهت دیگر). بدین ترتیب، مقاومت اهمی سیم‌پیچی مؤثرتر می‌شود. ابتدا و انتهای سیم‌پیچ اصلی را با توجه به شکل (۲۵ــ۷) با دو حرف U–V و سیم‌پیچ کمکی یا راه‌انداز را با دو حرف W– Z، نشان می‌دهند.

استاتور موتورهای یک فاز را می‌توان به‌صورت یک طبقه یا دو طبقه و یک یا دو دور سیم پیچی کرد. در این‌جا به شرح هریک از آن‌ها می‌پردازیم.

۱ــ۶ ــ۷ــ سیم پیچی یک طبقه‌ی یک فاز:

درصورتی که سیم‌پیچ کمکی، پس از راه‌اندازی در مدار باقی بماند، می‌توانیم تعداد شیارهای استاتور را به نسبت مساوی بین دو سیم‌پیچ تقسیم کنیم و برای ترسیم دیاگرام سیم‌پیچی نیز ــ چه به‌صورت یک طبقه و چه به‌صوررت دو طبقه ــ از روابطی که برای موتورهای سه‌فاز گفته شده و قواعدی که در آن مورد به‌کار می‌رفت، استفاده کنیم. با توجه به این که در این‌جا ۲ . m (در سه‌فاز ۳ . m) است، از تمام شیارهای استاتور در حالت کار دایمی استفاده می‌شود. در موتورهای یک فاز صنعتی، اغلب سیم‌پیچ کمکی پس از راه‌اندازی موتور از مدار خارج می‌شود. در چنین حالتی، معمولاً سیم‌پیچی به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد. در ساده‌ترین حالت، سیم‌پیچی به‌صورت یک طبقه انجام می‌گیرد و $\frac{۲}{۳}$ شیارها را برای سیم پیچ اصلی و $\frac{۱}{۳}$ باقی‌مانده را برای سیم‌پیچ کمکی ــ که در این حالت فقط برای راه‌اندازی به‌کار می‌رود ــ اختصاص می‌دهند.

در این حالت، راه‌اندازی به‌خوبی امکان‌پذیر است و سیم‌پیچی از نظر اقتصادی نیز مقرون به‌صرفه می‌باشد.

برای ترسیم دیاگرام گسترده‌ی این سیم‌پیچی، باید تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی را برابر با تعداد قطب‌ها درنظر بگیریم. در این صورت، تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف، کوچک خواهد شد. تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچ راه‌انداز نیز می‌تواند با تعداد قطب‌ها یا با تعداد جفت قطب‌ها باشد.

چون بازوهای هر گروه کلاف باید دو قطب بسازند و تعداد گروه کلاف‌های اصلی نیز برابر با تعداد قطب‌ها درنظر گرفته می‌شود، باید در نصف شیارهای زیر هر قطب مربوط به سیم‌پیچ اصلی یک طرف گروه کلاف و در نیم باقی‌مانده، گروه کلاف دیگر قرار بگیرد.

این موضوع بدین معناست که گروه کلاف‌های اصلی باید در مجاورت هم و بدون این‌که بین آن‌ها شیار خالی باشد، جا زده شوند.

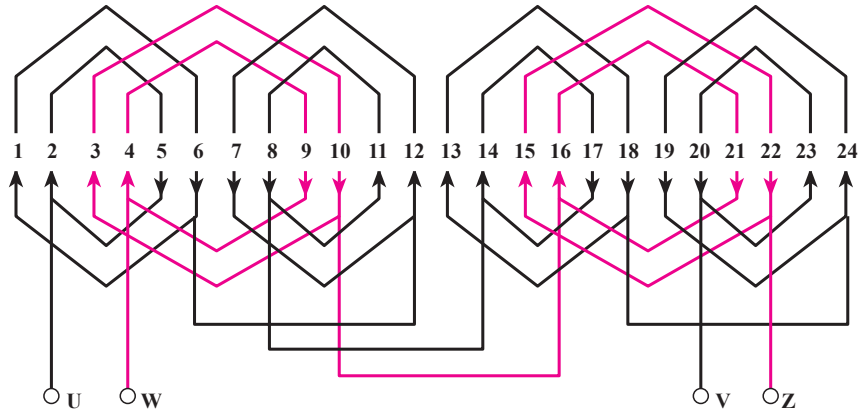
برای رسیدن به این هدف، باید گام بزرگ‌ترین کلاف اصلی از گام قطبی یک شیار کوچک‌تر باشد. کلاف‌های راه‌انداز نیز در شیارهای خالی بین گروه کلاف‌های اصلی جای می‌گیرند. شروع سیم‌بندی راه‌انداز باید به اندازه‌ی $\frac{۹۰^\circ}{\cdot ez}$ ۱ . از شروع سیم‌بندی اصلی فاصله داشته باشد.

مثال ۱: می‌خواهیم استاتور یک ماشین ۲۴ شیار را به‌صورت یک طبقه‌ی یک فاز با سیم‌پیچ راه‌انداز و ۴ قطب سیم‌بندی کنیم. شمای گسترده‌ی سیم‌پیچی آن را رسم کنید.

تعداد شیارهای اصلی ۱۶ . $\frac{۲}{۳}$. ۲۴ و تعداد شیارهای راه‌انداز ۸ . $\frac{۱}{۳}$. ۲۴ شیار است. گام قطبی برابر با ۶ . $\frac{۲۴}{۴}$. $\frac{z}{۲P}$. y و $\frac{۲}{۳}$ گام قطبی، یعنی ۴ شیار مربوط به سیم‌پیچ اصلی و $\frac{۱}{۳}$ آن که ۲ شیار است، به راه‌انداز مربوط می‌شود.

تعداد گروه کلاف‌های اصلی ۴ . ۲P است. هر گروه کلاف نیز باید دارای دو کلاف باشد تا در مجموع ۱۶ شیار پر شود (تعداد کلاف‌های گروه کلاف‌های اصلی را می‌توان با نصف کردن تعداد شیارهای زیر هر قطب مربوط به سیم‌پیچ اصلی نیز به‌دست آورد).

اگر تعداد گروه کلاف‌های راه‌اندازی را برابر با ۴ بگیریم، تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف، یکی است که در مجموع ۴ کلاف می‌شود و ۸ شیار را پر می‌کند. تعداد گروه کلاف‌های راه‌انداز را برابر با ۲ نیز می‌توانیم بگیریم. در این‌صورت، نوع گروه کلاف‌ها ۲ تایی خواهد شد و تمام گروه کلاف‌های اصلی و راه‌اندازی، دوتایی می‌شوند (شکل ۲۶ــ۷).

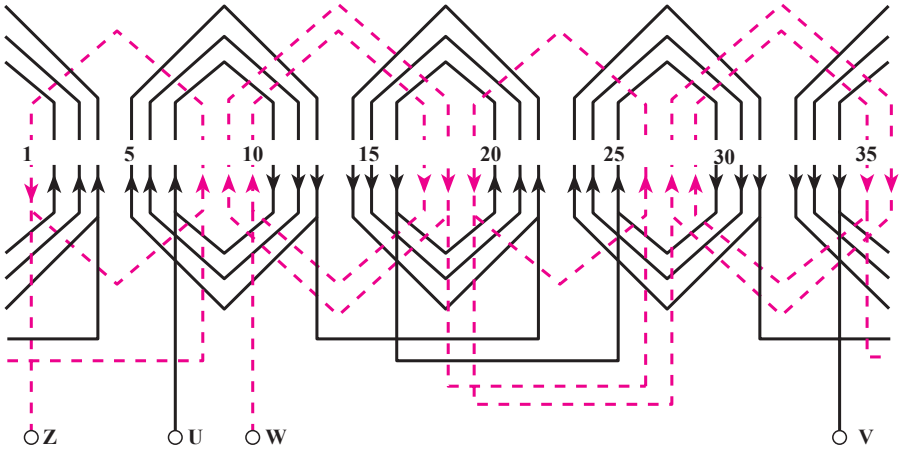


شکل ۲۶ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۴ قطب و ۲۴ شیار

زاویه‌ی الکتریکی بین دو شیار مجاور $\frac{۳۶۰ . ۲}{۲۴} = ۳۰ . ez$ می‌شود. شروع فاز اصلی از شیار ۲ و شروع فاز دوم یا سیم‌پیچ راه‌انداز از شیار $\frac{۹۰}{۳۰} = ۲ .$ ۵ است.

با دقت در شکل، ملاحظه می‌شود که شیار ۵ و ۶ مربوط به سیم‌پیچ اصلی است. بنابراین، در این‌جا باید سیم‌پیچ راه انداز را از شیار ۴ شروع کنیم. دیاگرام کامل این سیم‌بندی، در شکل ۲۶ــ۷ با چهار گروه کلاف اصلی و دو گروه کلاف راه‌انداز مشخص شده است.

مثال ۲: دیاگرام گسترده‌ی یک موتور یک فاز ۳۶ شیار ۴ قطب یک طبقه، در شکل ۲۷ــ۷ نشان داده شده است. تعداد شیارهای سیم‌پیچ اصلی $\frac{۲}{۳} = ۳۶ .$ ۲۴ و تعداد شیارهای راه‌انداز $\frac{۱}{۳} = ۳۶ .$ ۱۲ است.



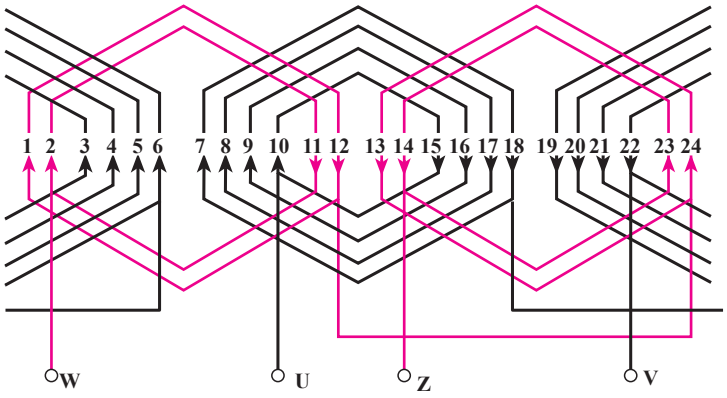
شکل ۲۷ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۴ قطب و ۳۶ شیار

سیم‌پیچ اصلی دارای چهار گروه کلاف سه‌تایی و در مجموع $۴ . ۳ . ۱۲$ کلاف است. هر کلاف دو شیار را پرمی‌کند؛ بنابراین، در مجموع ۲۴ شیار توسط سیم‌پیچ اصلی پر می‌شود.

تعداد گروه کلاف‌های راه‌انداز نیز چهار تاست و در مجموع باید ۱۲ شیار را پر کنند؛ یعنی، این چهار گروه کلاف مجموعاً باید شامل $۶ . ۲ . ۱۲$ کلاف باشند. با کمی دقت در این مسئله که شش کلاف باید چهار گروه کلاف را تشکیل بدهند، نتیجه

می‌گیریم که باید دو گروه کلاف دوتایی و دو گروه دیگر تکی باشند.

گام قطبی ۹ و گام بزرگ‌ترین کلاف اصلی، ۸ . ۱ . ۹ است و گروه کلاف‌های اصلی تماماً پهلوی یک‌دیگر جا زده شده‌اند. در شکل ۲۸ــ۷ نیز سیم‌پیچی یک موتور یک فاز یک طبقه‌ی ۲۴ شیار ۲ قطب را می‌بینید که به همان روش گفته شده ترسیم شده است.



شکل ۲۸ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۲ قطب و ۲۴ شیار

۲ــ۶ــ۷ــ سیم‌پیچی دو طبقه‌ی موتورهای یک فاز:

در مثال‌های گفته شده $\frac{۲}{۳}$ کل شیارها به سیم‌پیچ اصلی و $\frac{۱}{۳}$ شیارهای باقی‌مانده به شیارهای راه‌اندازی اختصاص داده شد اما در بسیاری از موتورهای یک فاز، تعداد شیارهای اصلی از $\frac{۲}{۳}$ و شیارهای راه‌انداز از $\frac{۱}{۳}$ کل شیارها بیش‌تر است و درنتیجه، به اجبار تعدادی از شیارها به‌صورت دو طبقه پر می‌شوند.

در شیارهای دو طبقه، می‌توان دو بازوی مربوط به کلاف‌های اصلی یا کلاف‌های فرعی را قرار داد یا این که یک بازو از کلاف اصلی و یک بازو از کلاف راه‌انداز یا ترکیبی از حالت‌های گفته شده را در هر شیار دو طبقه جا زد. معمولاً پهنا و عمق این شیارها از سایر شیارها بیش‌تر است. در بعضی موارد نیز تعداد حلقه‌های کلاف‌های مربوط به یک گروه کلاف، با یک‌دیگر متفاوت‌اند. این موضوع بر هارمونی‌ها تأثیر می‌گذارد و نیز صدای موتور را هنگام کار کاهش می‌دهد. تعداد شیارهای اصلی و راه‌انداز در این‌گونه موتورها از قاعده‌ی خاصی به‌دست نمی‌آید و معمولاً تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ اصلی به‌طور تجربی برابر با تعداد کل شیارها یا به اندازه‌ی تعداد قطب‌ها و کم‌تر از آن است.

تعداد شیارهای اصلی، عدد دیگری نیز می‌تواند باشد اما در هر صورت شیارها را باید به اندازه‌ای انتخاب کرد که تقسیم‌بندی گروه کلاف‌ها در اطراف استاتور و داخل شیارها به‌صورت متقارن امکان‌پذیر باشد، تعداد قطب‌های لازم ایجاد شود و راه‌اندازی نیز به‌خوبی انجام پذیرد.

طریقه‌ی محاسبه و رسم دیاگرام سیم‌بندی این‌گونه موتورها را با ذکر چند مثال توضیح می‌دهیم.

مثال ۱: استاتور یک موتور یک فاز دارای ۳۰ شیار است و باید به‌صورت شش قطب سیم‌پیچی شود. درصورتی که تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ اصلی ۲۴ . Z_A و تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ راه‌انداز ۱۲ . Z_B باشد، دیاگرام گسترده‌ی این موتورها را رسم کنید.

راه حل: با توجه به اعداد داده شده، مجموع شیارهای اصلی و راه‌انداز از تعداد شیارهای موجود بیش‌تر است. بنابراین، به‌ناچار باید تعدادی از شیارها را به‌صورت دو طبقه سیم‌پیچی کنیم. برای این مثال، در شیارهای دو طبقه می‌توان دو بازوی مربوط به کلاف‌های اصلی یا فرعی را قرار داد که در این‌جا به‌شرح آن‌ها می‌پردازیم.

حالت اول: در این حالت، مثال را به فرض این که در شیارهای دو طبقه، دو بازوی کلاف اصلی قرار می‌گیرند حل می‌کنیم. اگر هر شیار دو طبقه را دو شیار فرض کنیم، در مجموع با شیارهای یک طبقه، باید ۲۴ شیار برای سیم‌پیچ اصلی درنظر

بگیریم. به‌دلیل شش قطب بودن موتور، تعداد گروه کلاف‌ها نیز برابر شش می‌شود که بایستی ۲۴ شیار را پر کنند. حال با توجه به این که هر کلاف دو شیار را پر می‌کند، نتیجه می‌گیریم که گروه کلاف‌ها باید دوتایی باشند؛ زیرا اگر تعداد کلاف‌های یک گروه کلاف را با X نمایش دهیم، از رابطه‌ی زیر خواهیم داشت :

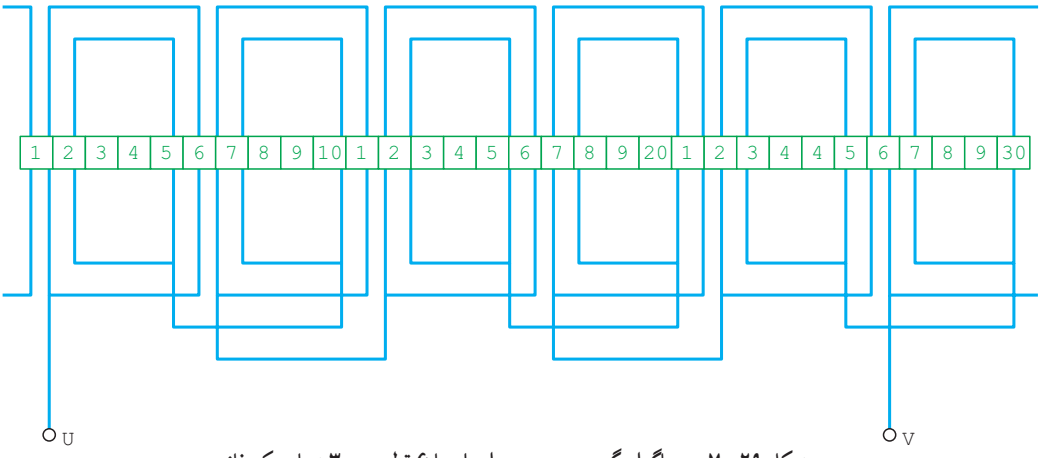
$$۲۴=۶\times۲\times X \Rightarrow X=۲$$

از ۳۰ شیار موجود در استاتور، ۱۲ تای آن یک طبقه و مربوط به راه‌اندازی است. درنتیجه، ۱۸ شیار باقی می‌ماند که باید آن را ۲۴ شیار فرض کرد پس تعداد (۶=۱۸−۲۴) شیار باید دو طبقه پیچیده شوند.

برای این که سیم‌پیچی متقارن باشد، باید این شش شیار در محیط استاتور فواصل یکسانی از یک‌دیگر داشته باشند.

فاصله‌ی بین هر دو شیار دو طبقه یا گام شیارهای دو طبقه را می‌توان از رابطه‌ی $\frac{Z}{\text{تعداد شیارهای دو طبقه}}$ به‌دست آورد. بنابراین، در این‌جا گام شیارهای دو طبقه برابر با $\frac{۳۰}{۶}=۵$ می‌شود. بدین‌ترتیب، شیارهای ۱، ۶، ۱۱، ۱۶، ۲۱ و ۲۶ را دو طبقه انتخاب می‌کنیم.

گام بزرگ‌ترین کلاف از سیم‌پیچ اصلی را باید در این سیم‌پیچی برابر با گام قطبی انتخاب کرد؛ زیرا شیارهای دو طبقه در این سیم‌پیچی وجود دارد. بنابراین و با توجه به آن چه پیش از این درمورد سیم‌پیچی موتورهای یک طبقه گفته شد، درمورد این مثال می‌توانیم دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ اصلی را رسم کنیم. در شکل ۲۹ــ۷ این دیاگرام گسترده نشان داده شده است.



شکل ۲۹ــ۷ ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ اصلی با ۶ قطب و ۳۰ شیار یک فاز

همان‌طورکه در مثال گفته شد، تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ راه‌انداز ۱۲ است و باید با ۶ گروه کلاف پر شود و چون هر کلاف دو شیار را پر می‌کند، پس تعداد کل کلاف‌ها نیز ۶ خواهد شد. نتیجه می‌گیریم که هر گروه کلاف از یک کلاف تشکیل شده است و بدین ترتیب، از ۶ گروه کلاف تکی برای راه‌اندازی استفاده می‌شود.

$$۱۲=۶\times۲\times X \Rightarrow X=۱$$

شروع سیم‌پیچ راه‌انداز باید از شیاری باشد که نسبت به سیم‌پیچ اصلی، ۹۰ درجه‌ی الکتریکی اختلاف فاز ایجاد کند.

پس شروع سیم‌پیچ راه‌انداز را حساب می‌کنیم.

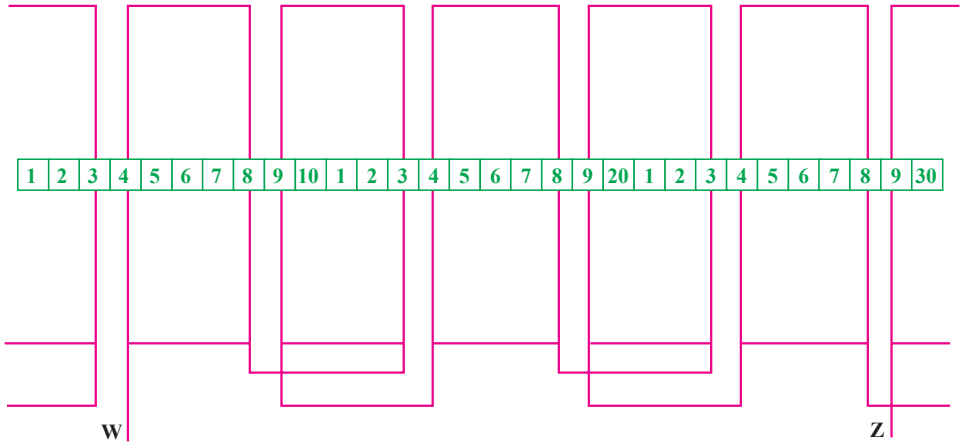
$$\text{ez} = \frac{۳۶۰\times P}{Z} = \frac{۳۶۰\times ۳}{۳۰} = ۳۶^\circ$$

$$۱+\frac{۹۰}{۳۶}=۱+۲/۵=۳/۵ \begin{cases} ۴ \\ ۳ \end{cases}$$ شروع راه‌انداز .

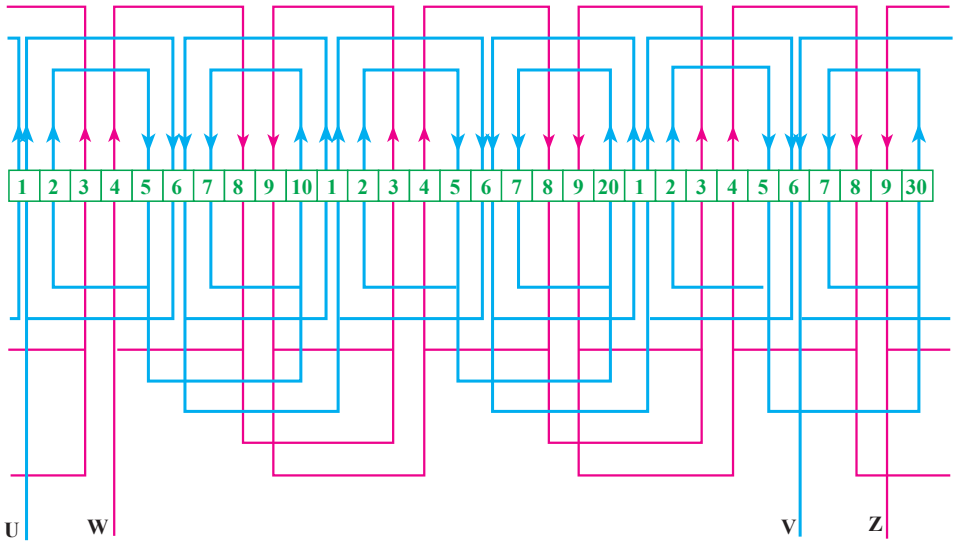
با دانستن شروع سیم‌بندی راه‌انداز و نوع گروه کلاف‌های آن می‌توانیم دیاگرام گسترده‌ی سیم‌بندی راه‌انداز را رسم کنیم. گام سیم‌پیچ راه‌انداز را می‌توانیم از روی شیارهای خالی مربوط به سیم‌پیچ راه‌انداز (۳، ۴، ۸، ۹، ۱۳، ۱۴ و...) و تکی بودن

گروه کلاف‌ها یا از روی رابطه‌ی $y_z \cdot y \cdot 1 \cdot 4$ (چون سیم‌پیچ راه‌انداز یک طبقه است) نیز به‌دست آوریم.

در شکل ۳۰ــ۷ دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ راه‌انداز به تنهایی نشان داده شده است.



شکل ۳۰ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز با ۶ قطب و ۳۰ شیار یک فاز



شکل ۳۱ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۶ قطب و ۳۰ شیار

می‌توانیم از انطباق دو دیاگرام گسترده‌ی مربوط به سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ راه‌انداز، دیاگرام گسترده و کامل موتور را مانند شکل ۳۱ــ۷ به‌دست آوریم.

حالت دوم: این بار سیم‌پیچی را طوری انجام می‌دهیم که در شیارهای دو طبقه یک بازو از کلاف اصلی و یک بازو از سیم‌پیچ راه‌انداز قرار بگیرد.

در این‌جا نیز ابتدا دیاگرام گسترده‌ی هریک از دو سیم‌پیچ را به‌طور جداگانه ترسیم می‌کنیم و سپس از انطباق آن دو بریک‌دیگر، دیاگرام گسترده‌ی کامل را به‌دست می‌آوریم.

نوع گروه کلاف‌های اصلی ــ به‌همان روش حالت قبل ــ در این‌جا نیز دوتایی به‌دست می‌آید.

در این روش، تعداد شیارهای خالی را نسبت به سیم‌پیچ اصلی به‌دست می‌آوریم و آنها را به‌صورت یک‌نواخت در بین سیم‌پیچ‌های اصلی تقسیم می‌کنیم. چون در هر شیار تنها یک

بازو از کلاف‌های اصلی قرار می‌گیرد، پس فقط ۶ شیار خالی باقی می‌ماند ؛ زیرا :

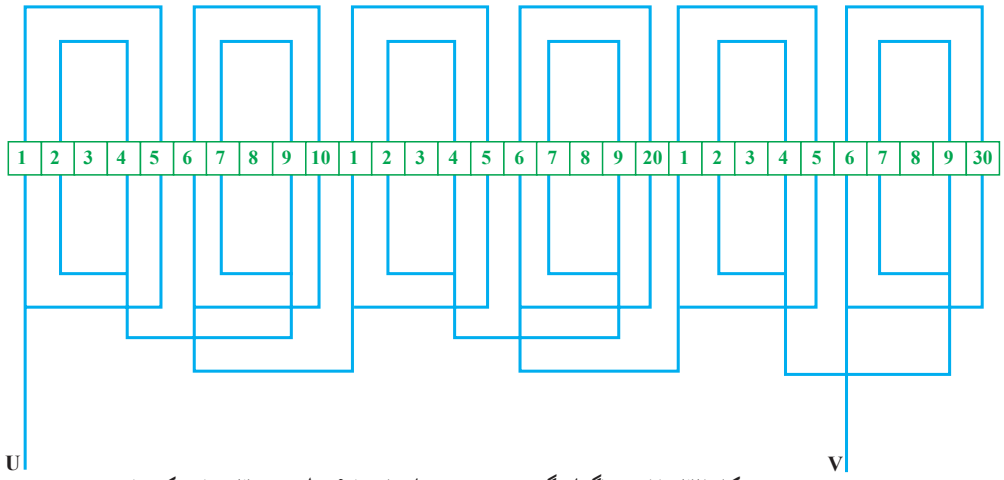
شیار ۶ . ۲۴ . ۳۰ . Z_A . Z . Z_A .

این شیارها (Z_A .) باید در بین گروه کلاف‌های اصلی قرار بگیرند. می‌توان تعداد شیارهای خالی را که بین هریک از گروه کلاف‌ها قرار می‌گیرد (N_A)، از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد :

$$N_A = \frac{Z_A}{\text{تعداد گروه کلاف اصلی}} - \frac{۶}{۶} - ۱$$

یا چون تعداد گروه کلاف‌های اصلی ۶ است، پس هریک از این ۶ شیار خالی باید در بین یک گروه کلاف اصلی قرار بگیرد. در این جا که شیار دو طبقه‌ی اصلی نداریم، می‌توانیم گام بزرگ‌ترین کلاف را از رابطه‌ی ۱ . y . y_1A به‌دست آوریم.

بدین ترتیب، گام بزرگ‌ترین کلاف از سیم‌پیچ اصلی، برابر با ۴ . ۱ . ۵ . y_1A است که با دانستن آن و آگاهی از نوع گروه کلاف، می‌توانیم دیاگرام گسترده‌ی مربوط به سیم‌پیچ اصلی را رسم کنیم. این دیاگرام در شکل ۳۲ــ۷ نشان داده شده است.



شکل ۳۲ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ اصلی با ۶ قطب و ۳۰ شیار یک فاز

همان‌طور که در دیاگرام ملاحظه می‌کنید، شیارهای ۳، ۸، ۱۳، ۱۸، ۲۳ و ۲۸ با گام پنج و در بین گروه کلاف‌های اصلی، خالی مانده است که باید با سیم‌پیچ راه انداز پر شود. سیم‌پیچ راه‌انداز نیز مشابه سیم‌پیچ اصلی رسم می‌شود. بدین منظور ابتدا نوع گروه کلاف‌های آن را به‌دست می‌آوریم که همانند حالت اول در این‌جا نیز ۱ به‌دست می‌آید.

۱ . X . X . ۲ . ۶ . ۱۲

سپس تعداد شیارهای خالی را نسبت به سیم‌پیچ راه‌انداز پیدا می‌کنیم. از ۳۰ شیار استاتور ۱۲ تای آن مربوط به سیم‌پیچ راه‌انداز است و بنابراین، ۱۸ شیار باقی می‌ماند.

. Z_B . Z . Z_B

شیار ۱۸ . ۱۲ . ۳۰ . Z_B .

این ۱۸ شیار نیز باید به‌طور مساوی در بین گروه کلاف‌های راه‌انداز تقسیم شوند. بنابراین، در بین هریک از گروه کلاف‌های اصلی باید سه شیار خالی وجود داشته باشد یا این که از رابطه‌ی

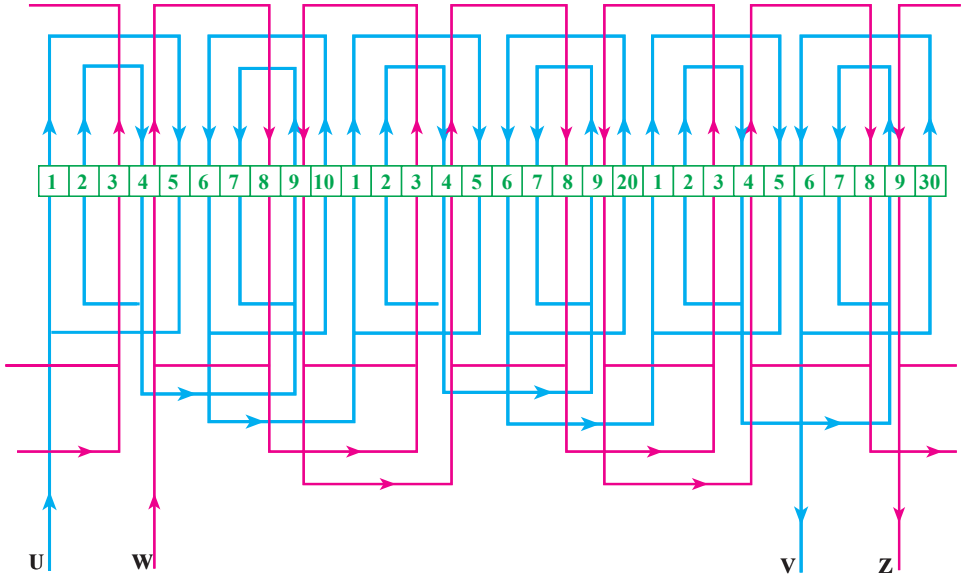
$$N_B = \frac{Z_B}{\text{تعداد گروه کلاف‌های راه‌انداز}}$$ نیز $N_B = \frac{۱۸}{۶} = ۳$

به‌دست می‌آید :

گام سیم‌پیچی از رابطه‌ی ۱ . y . y_1B برابر با ۴ می‌شود. شروع سیم‌پیچی راه‌انداز نیز مطابق حالت قبل و با توجه به ez . ، ۳۶° شیار ۳ یا ۴ است.

اکنون با توجه به توضیحات داده شده و مقادیر به‌دست آمده، می‌توانیم دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ راه‌انداز را ترسیم کنیم که چون با روش اول تفاوتی ندارد، همان دیاگرام گسترده‌ی شکل ۳۰ــ۷ به‌دست می‌آید.

با انطباق دو دیاگرام گسترده‌ی مربوط به سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ راه انداز، دیاگرام گسترده‌ی سیم‌بندی کامل ماشین مانند شکل ۳۳ــ۷ به‌دست می‌آید.



شکل ۳۳ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۶ قطب و ۳۰ شیار

همان‌طور که در این روش ملاحظه کردید، شیارهای دو طبقه پس از رسم دیاگرام گسترده‌ی کامل استاتور، به‌دست می‌آیند. در این مثال، شیارهای ۴، ۹، ۱۴، ۱۹، ۲۴ و ۲۹ و با گام پنج دو طبقه شده‌اند. در اکثر موتورها شیاری که دو طبقه پیچیده می‌شود، از شیارهای دیگر بزرگ‌تر است. بنابراین، در هنگام سیم‌پیچی باید شیار شماره‌ی یک را طوری در روی پوسته‌ی استاتور انتخاب کنیم که شیار بزرگ‌تر همان شیار دو طبقه بشود.

مثال ۲: استاتور موتور یک فازه‌ای ۳۶ شیار دارد و باید به صورت چهار قطب سیم‌پیچی شود. درصورتی که تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ اصلی Z_A . ۲۸ و تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ راه‌انداز Z_B . ۲۴ باشد، دیاگرام گسترده‌ی کامل آن را طوری رسم کنید که در شیارهای دو طبقه، یک بازو از کلاف اصلی و یک بازو از کلاف راه‌انداز قرار گیرد.

راه حل: تعداد گروه کلاف‌های اصلی و راه‌انداز در این مثال نیز برابر با $2P$. ۴ است. برای پیدا کردن نوع (تعداد کلاف) گروه کلاف‌های اصلی از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم :

$$Z_A \cdot ۲۸ \cdot ۴ \cdot ۲ \cdot X \cdot \quad X \cdot \frac{۲۸}{۴ \cdot ۲} \cdot ۳/۵$$

عدد به‌دست آمده نشان می‌دهد که باید از چهار گروه کلاف که هر گروه آن از ۳/۵ کلاف تشکیل شده و در مجموع ۲۸ شیار را پر می‌کند، برای سیم‌پیچ اصلی استفاده کرد. اما همان‌طور که می‌دانید، گروه کلاف‌های ۳/۵ تایی بی معناست. با کمی دقت در عدد به‌دست آمده می‌توانیم چهار گروه کلاف را به دو گروه کلاف سه‌تایی و دو گروه کلاف چهارتایی تقسیم کنیم که باز درمجموع، چهار گروه کلاف می‌شود، چهار قطب را تشکیل می‌دهد و مجموعاً ۲۸ شیار را پر می‌کند. در هنگام ترسیم دیاگرام گسترده باید برای حفظ تقارن، گروه کلاف‌های سه‌تایی یا چهارتایی مجاور هم جا زده نشوند.

تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف را می‌توان به‌صورت زیر حساب کرد :

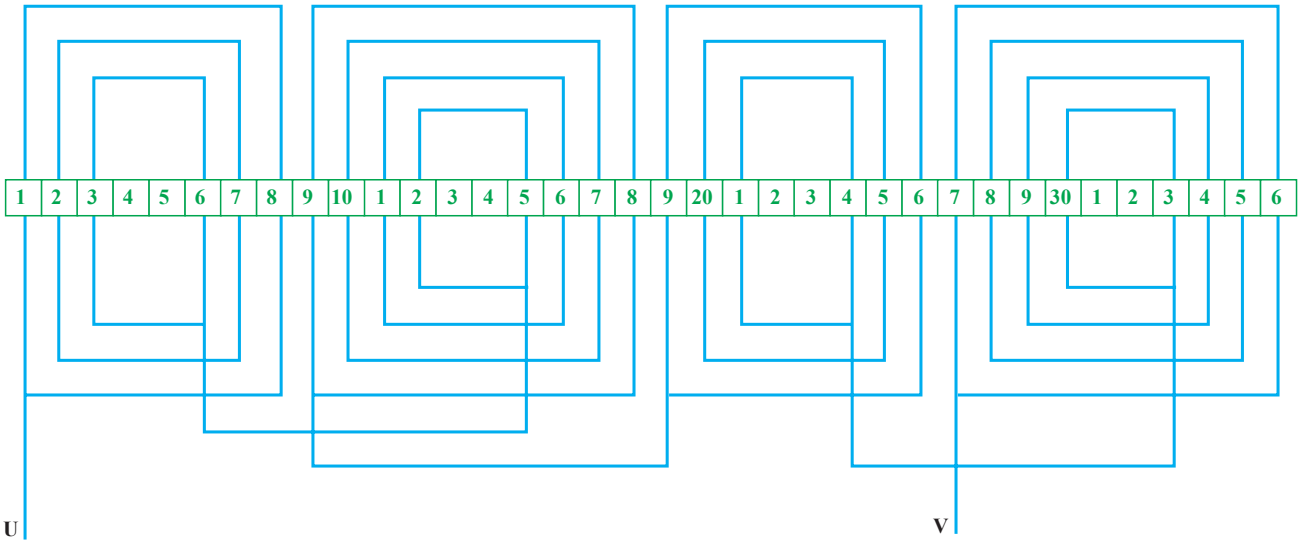
$$N_A \cdot \frac{\cdot Z_A}{\text{تعداد گروه کلاف‌های اصلی}} \cdot \frac{۸}{۴} \cdot ۲$$

$$\cdot Z_A \cdot Z \cdot Z_A \cdot ۳۶ \cdot ۲۸ \cdot ۸$$

گام بزرگ‌ترین کلاف را اگر از رابطه‌ی $y_A \cdot y \cdot ۱$ حساب کنیم، عدد ۸ به‌دست می‌آید. اگر همه‌ی گروه کلاف‌های

اصلی دارای تعداد مساوی کلاف بود، این عدد نیز پذیرفتنی می‌شد اما چون دو نوع گروه کلاف سه‌تایی و چهارتایی دارد، برای این که تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف نیز دوتا و سیم‌پیچی متقارن باشد، گام بزرگ‌ترین کلاف هر گروه کلاف سه‌تایی یا چهارتایی باید تفاوت داشته باشد ولی در هر حال میانگین آن باید همان عدد ۸ . ۱ . y باشد. در عین حال، چون تفاوت کلاف‌های گروه کلاف‌های سه‌تایی و چهارتایی یکی است، پس در گام بزرگ‌ترین کلاف نیز باید دو شیار تفاوت وجود داشته باشد. بدین ترتیب باید گام بزرگ‌ترین کلاف را برای گروه کلاف چهارتایی عدد ۹ و برای گروه کلاف سه‌تایی عدد ۷ انتخاب کرد.

حال می‌توانیم با مشخصات به‌دست آمده، دیاگرام گسترده‌ی مربوط به سیم‌پیچ اصلی را مطابق شکل ۳۴ــ۷ رسم کنیم.



شکل ۳۴ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ اصلی با ۴ قطب و ۳۶ شیار یک فاز

برای سیم‌پیچ راه‌انداز نیز تعداد گروه کلاف‌ها را برابر با تعداد قطب‌ها درنظر می‌گیریم و بدین‌ترتیب، با دانستن Z_B . ۲۴ ، نوع گروه کلاف‌ها را به‌دست می‌آوریم.

۲۴ . ۴ . ۲ . X . X . ۳

تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف راه‌انداز نیز از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید :

شیار ۱۲ . ۲۴ . ۳۶ . Z_B .

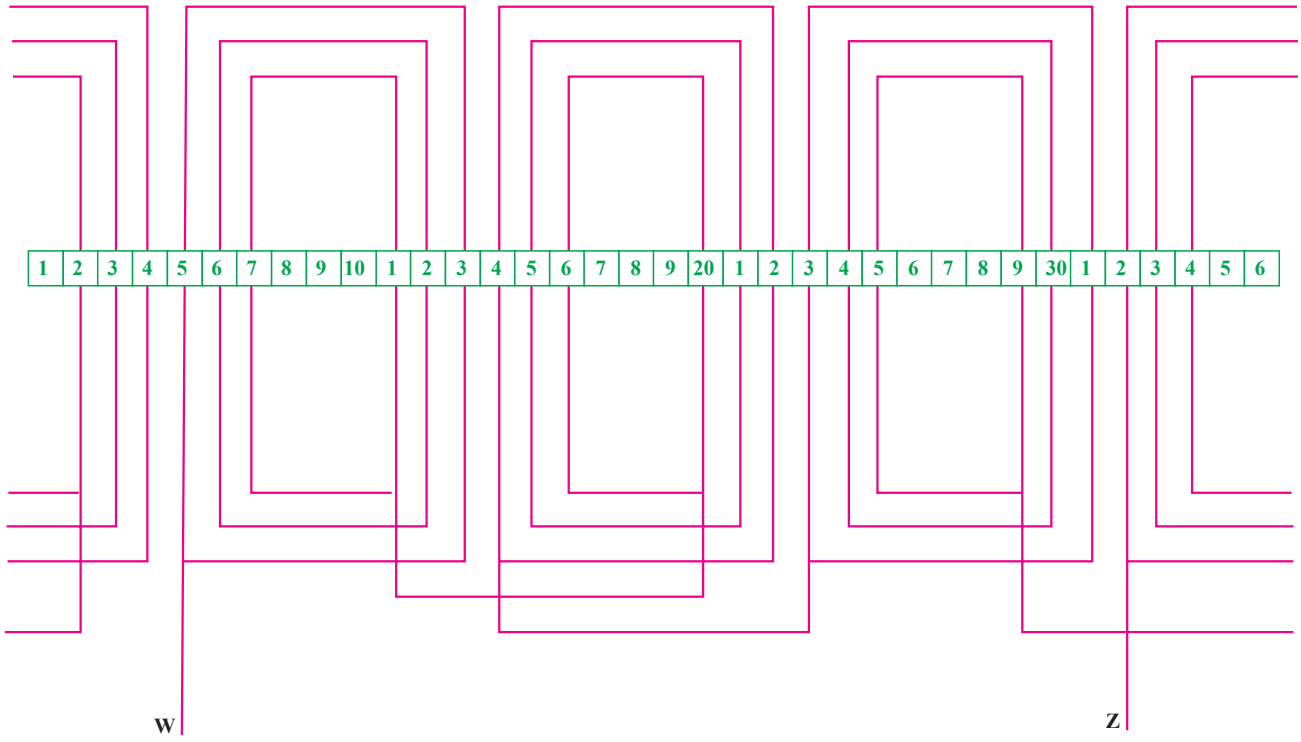
$$N_B = \frac{Z_B}{\text{تعداد گروه کلاف‌های راه‌انداز}} = \frac{۱۲}{۴} = ۳$$

چون همه‌ی گروه کلاف‌های راه‌انداز با یک‌دیگر مشابه‌اند، بنابراین، گام بزرگ‌ترین کلاف آن را می‌توانیم از رابطه‌ی $y_{۱B} = y$. ۱ به‌دست‌آوریم. نتیجه ۸ . ۱ . $\frac{۳۶}{۴}$ = $y_{۱B}$ خواهدشد.

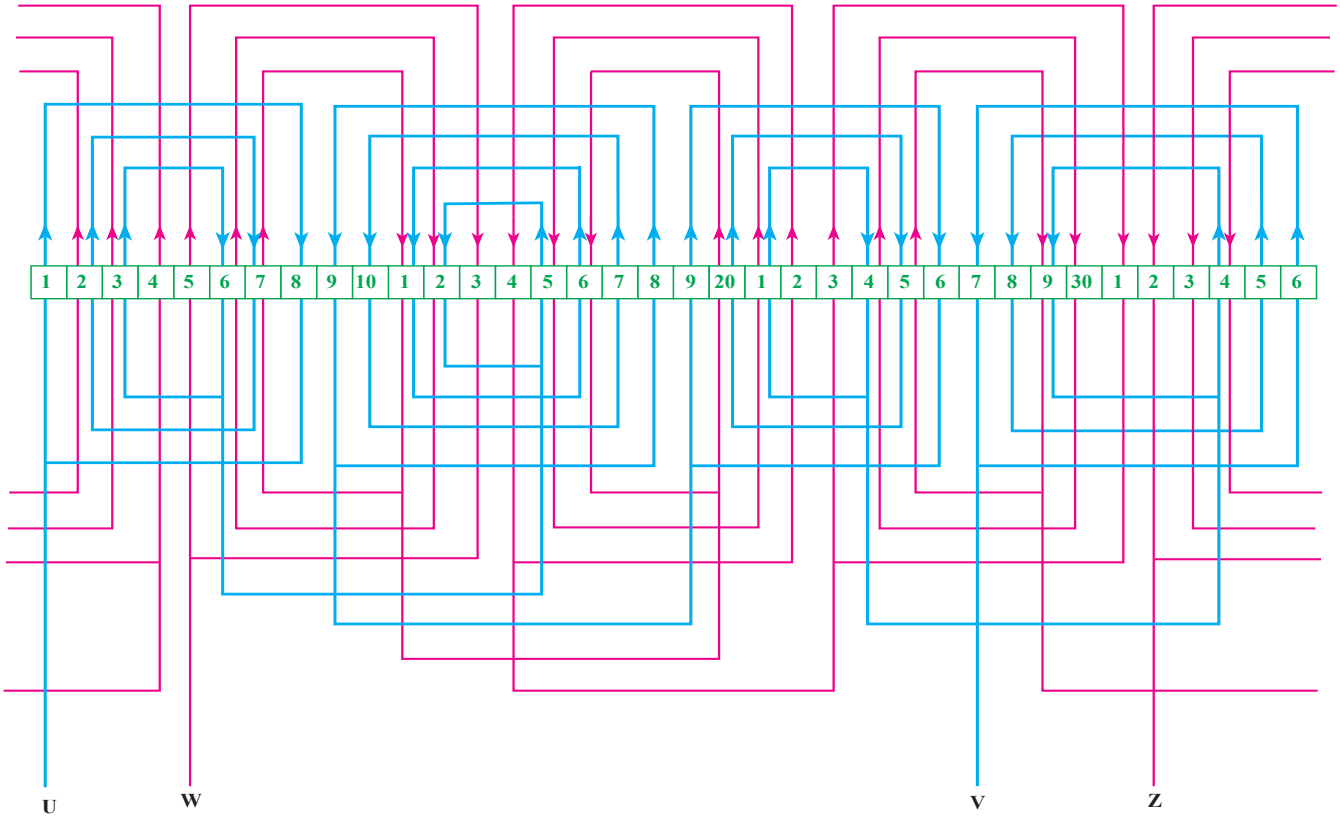
زاویه‌ی الکتریکی بین هر دو شیار برابر با ۲۰° . $\frac{۳۶۰ . ۲}{۳۶}$ = $_{ez}$. می‌شود. بنابراین، شروع سیم‌پیچ راه‌انداز از شیار ۵/۵ . ۴/۵ . ۱ . $\frac{۹۰}{_{ez}}$. ۱ خواهد شد.

با توجه به عدد به‌دست آمده، شیار پنج را برای شروع سیم‌پیچ راه‌انداز انتخاب می‌کنیم. در شکل ۳۵ــ۷ دیاگرام گسترده‌ی سیم‌بندی راه‌انداز و در شکل ۳۶ــ۷ دیاگرام گسترده‌ی کامل این موتور که از انطباق دو دیاگرام گسترده‌ی مربوط به سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ راه‌انداز به‌دست آمده، نشان داده شده است.

در این مثال نیز پس از انطباق دو دیاگرام گسترده برروی یک‌دیگر، شیارهای دوطبقه شونده مشخص می‌شوند. همان‌طورکه در این مثال‌ها دیدید، برای ترسیم دیاگرام گسترده‌ی کامل موتور



شکل ۳۵ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز با ۴ قطب و ۳۶ شیار یک فاز



شکل ۳۶ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۴ قطب و ۳۶ شیار

ابتدا دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ اصلی را ترسیم کرده و سپس، گروه کلاف‌های راه‌انداز را رسم می‌کنیم.

برای جا زدن کلاف‌ها در داخل شیارهای استاتور بهتر است ابتدا گروه کلاف‌های اصلی را مجاور هم در شیارها جا زده (در زیر) و پس از آن، گروه کلاف‌های مربوط به سیم‌پیچ راه‌انداز را در روی آن‌ها جا بزنیم.

در مثال اول در هر شیار دو طبقه، بازوهای مربوط به کلاف اصلی و در مثال دوم یک بازو از کلاف اصلی و یک بازو از کلاف راه‌انداز در هر شیار دو طبقه واقع می‌شد. موتورهای یک فازی نیز وجود دارند که در تعدادی از شیارهای دو طبقه‌ی آن‌ها، یک بازو از کلاف اصلی و یک بازو از کلاف راه‌انداز قرار گرفته و در تعدادی دیگر از شیارهای دو طبقه نیز دو بازوی مربوط به کلاف‌های راه‌انداز یا اصلی قرار می‌گیرد. مثال زیر در این مورد است.

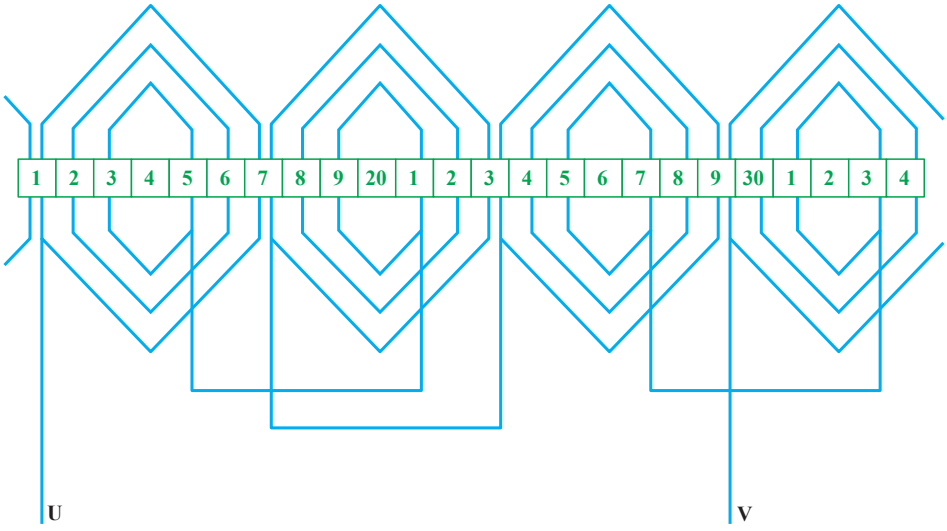
مثال ۳: استاتور یک موتور یک فاز ۲۴ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ راه‌انداز را طوری سیم‌پیچی کنید که تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ اصلی ۲۴ شیار و تعداد شیارهای مربوط به راه‌انداز ۱۶ شیار باشد. در شیارهای دو طبقه نیز بازوهای کلاف‌های اصلی یا راه‌انداز یا هر دوی آن‌ها واقع شده باشد.

راه‌حل: درصورتی که بخواهیم در این موتور هیچ شیاری دو طبقه نباشد، به ۴۰ . ۱۶ . ۲۴ شیار نیاز داریم. پس در این‌جا باید ۱۶ . ۲۴ . ۴۰ . Z . ۴۰ شیار به‌صورت دو طبقه پیچیده شود. تعداد شیارهای دو طبقه را که دو بازو از کلاف‌های اصلی در آن‌ها قرار می‌گیرد، با تعداد قطب‌ها (۴ . ۲P) برابر می‌گیریم. پس باید ۲۴ بازو از کلاف‌های اصلی را در ۲۰ شیار جای دهیم. بدین ترتیب، گام شیارهای دو طبقه‌ی مربوط به کلاف‌های اصلی برابر با ۶ . $\frac{۲۴}{۴}$ می‌شود ؛ یعنی، باید شیارهای ۱، ۷، ۱۳ و ۱۹ توسط دو بازوی مربوط به کلاف‌های اصلی پر شوند.

تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی با تعداد قطب‌ها برابر است و تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف نیز با ۳ برابر می‌شود ؛

زیرا : ۲۴ . ۴ . ۲ . X . X . ۳

گام بزرگ‌ترین کلاف سیم‌پیچ اصلی مانند مثال‌های قبلی، برابر با گام قطبی یعنی ۴ است. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده می‌توان دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ اصلی را مانند شکل ۳۷ــ۷ ترسیم کرد.



شکل ۳۷ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ اصلی با ۴ قطب و ۲۴ شیار یک فاز

درمورد سیم‌پیچ راه‌انداز نیز به‌همین روش عمل می‌کنیم ؛ یعنی، در چهار شیار دو طبقه فقط بازوهای مربوط به کلاف‌های راه‌انداز را قرار می‌دهیم. بدین‌ترتیب، کلاف‌های راه‌انداز به‌جای قرار گرفتن در ۱۶ شیار یک طبقه، در ۱۲ شیار که بعضی از آن‌ها دو طبقه هستند واقع می‌شوند. گام شیارهای دو طبقه‌ی مربوط به راه‌انداز برابر با ۶ . ۴ . ۲۴ می‌شود.

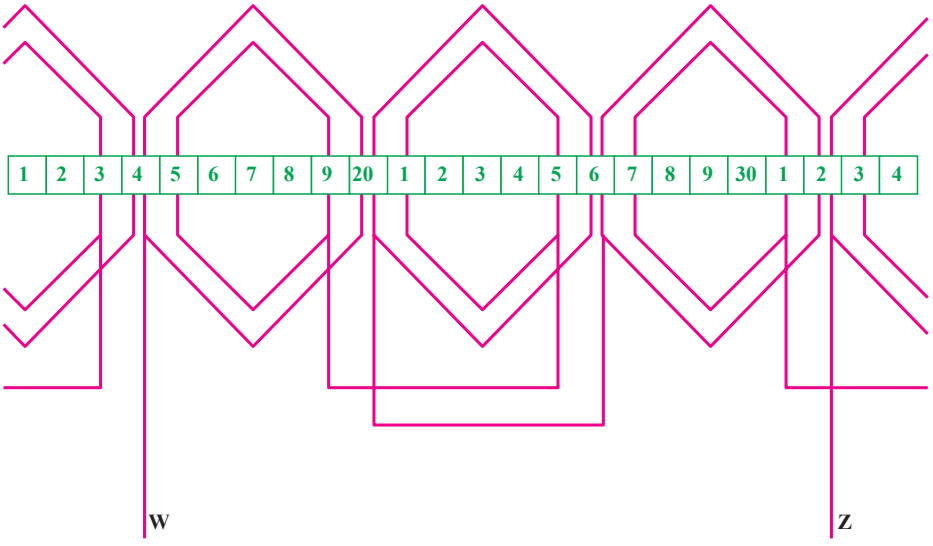
شروع سیم‌پیچ راه‌انداز را ۹۰ درجه‌ی الکتریکی بعد از شروع سیم‌پیچ اصلی یعنی از شیار ۴ باید گرفت. بنابراین، شیارهای ۴، ۱۰، ۱۶ و ۲۲ باید توسط دو بازوی کلاف راه‌انداز پر شوند.

تعداد گروه کلاف‌های راه‌انداز نیز با تعداد قطب‌ها، یعنی ۴ و تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف نیز ۲ می‌شود ؛ زیرا :

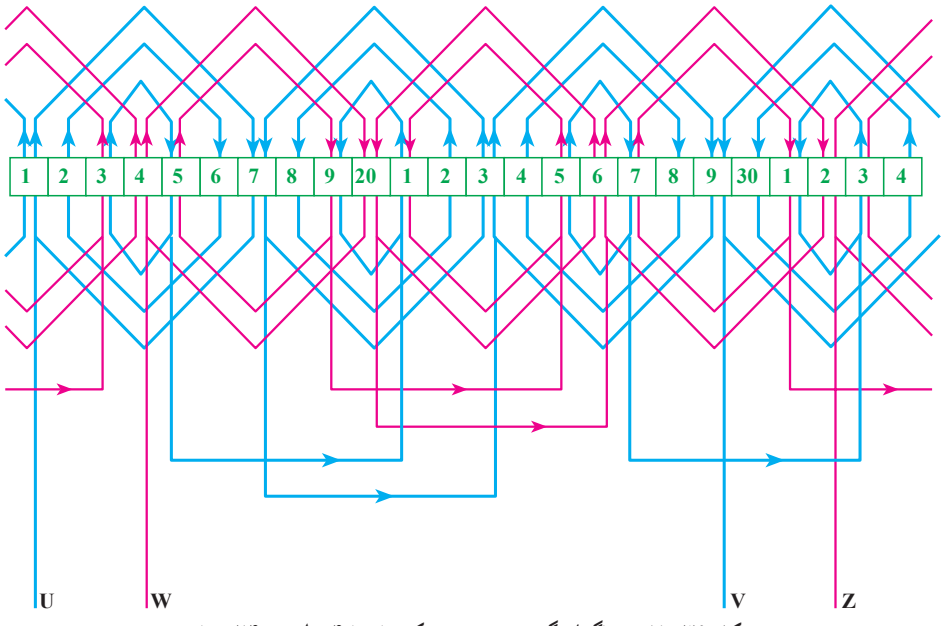
۱۶ . ۴ . ۲ . X . X . ۲

با انتخاب گام بزرگ‌ترین کلاف راه‌انداز برابر با گام قطبی یعنی ۶، می‌توانیم دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ راه‌انداز را مانند شکل ۳۸ــ۷ رسم کنیم.

بدین ترتیب، از انطباق دیاگرام گسترده‌ی ۳۷ــ۷ و ۳۸ــ۷ برروی یک‌دیگر، می‌توان دیاگرام گسترده‌ی کامل موتور را به‌دست آورد. این دیاگرام در شکل ۳۹ــ۷ نشان داده شده است.



شکل ۳۸ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز با ۴ قطب و ۲۴ شیار یک فاز



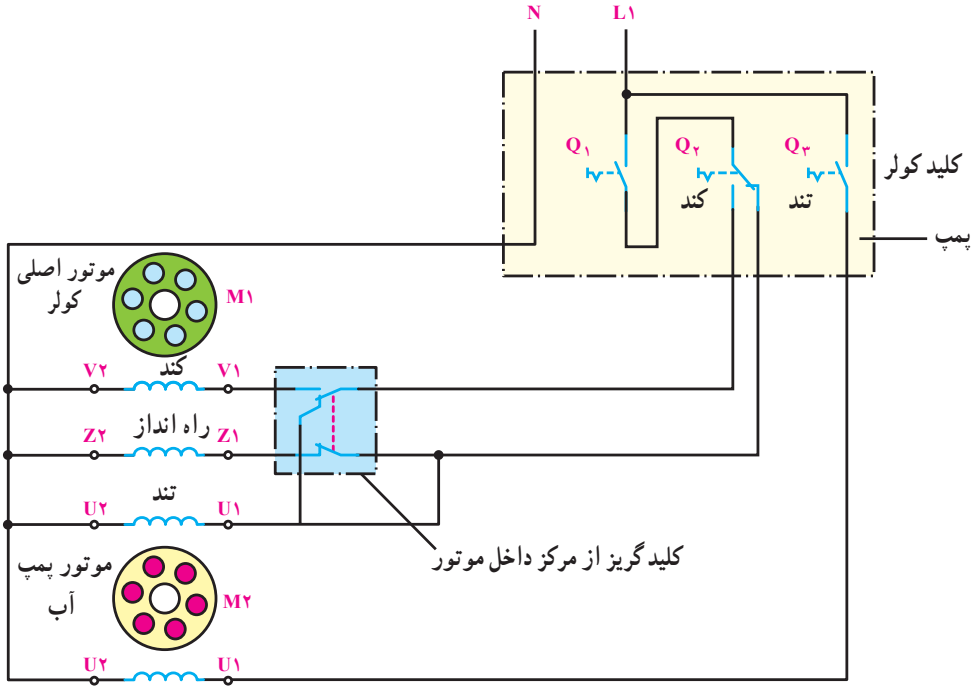
شکل ۳۹ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۴ قطب و ۲۴ شیار

۳ــ۶ــ۷ــ سیم‌پیچی موتورهای دو دور یک فاز:

تغییر تعداد دور یک موتور یک فاز از طریق تغییر امپدانس سیم‌پیچی، تغییر تعداد قطب سیم‌پیچی با تعویض و تغییر سربندی سیم‌پیچ و تغییر تعداد قطب‌های سیم‌پیچی با استفاده از سیم‌پیچ‌های جدا از هم امکان‌پذیر است.

بیش‌تر موتورهایی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند و به‌صورت دو دور هستند، دو سیم‌پیچ اصلی برای تغییر قطب و یک سیم‌پیچ برای راه‌اندازی دارند. در حالتی که موتور به شبکه وصل است، تنها یکی از سیم‌پیچ‌های اصلی در مدار قرار می‌گیرد و سیم‌پیچ اصلی دیگر قطع است.

در این‌گونه موتورها، برای دور تند و کند تنها از یک راه‌انداز استفاده می‌شود و مانند موتورهای یک دور با سیم‌پیچ راه‌انداز، پس از این که دور موتور به حدود ۷۰ درصد مقدار نامی رسید، این سیم‌پیچ توسط کلید از مدار خارج می‌شود (موتورهای یک فازی نیز ساخته می‌شود که هر سیم‌پیچ اصلی یک سیم‌پیچ راه‌انداز دارد). سیم‌پیچ راه‌انداز را برای تعداد قطب کم تر (دور بیش‌تر) می‌پیچند. درصورتی که بخواهیم موتور با دور کند کار کند، با اتصال کلید روی دور کُند ابتدا سیم‌پیچ اصلی دورتند و سیم‌پیچ راه‌انداز در مدار قرار می‌گیرد و راه‌اندازی می‌شود. پس از رسیدن دور به حدود ۷۰ درصد دور کند، سیم‌پیچی دورتند و سیم‌پیچ راه‌انداز توسط کلید گریز از مرکز یا رله از مدار خارج می‌شود و تنها سیم‌پیچ اصلی دور کند در مدار قرار می‌گیرد. از این پس موتور با دور کند به‌گردش خود ادامه می‌دهد. مدار اتصال سیم‌پیچ‌های اصلی و راه‌انداز و کلید در شکل ۴۰ــ۷ رسم شده است.



شکل ۴۰ــ۷ــ مدار اتصال سیم‌پیچ‌های اصلی، راه‌انداز و کلید موتور با دو دور (کولر)

همان‌طورکه در این مدار مشاهده می‌کنید. با قرار دادن کلید در وضعیت تند، سیم‌پیچ دور تند و سیم‌پیچ راه‌انداز در مدار قرار می‌گیرند. پس از رسیدن دوربه حدود $\frac{۳}{۴}$ دور نامی، کلید گریز از مرکز، مدار سیم‌پیچ راه‌انداز را قطع می‌کند و موتور با دورتند به‌گردش خود ادامه می‌دهد. اگر کلید در وضعیت دور کند قرار گیرد، باز سیم‌پیچ دورتند و سیم‌پیچ راه انداز در مدار قرار می‌گیرند و موتور با دور تند راه‌اندازی می‌شود. پس از رسیدن دور به مقدار ذکر شده، کلید گریز از مرکز، مدار سیم‌پیچ راه‌انداز و سیم‌پیچ اصلی دورتند را قطع می‌کند. این بار سیم‌پیچ مربوط به دور کند را به مدار وصل می‌کند و موتور با دور کم

به‌گردش خود ادامه می‌دهد. در این موتورها، معمولاً اندازه‌ی شیارها متفاوت است. به این دلیل که بعضی از شیارها سه طبقه و بعضی دیگر دو طبقه و تعدادی نیز یک طبقه سیم‌پیچی می‌شوند. سیم‌پیچی این گونه موتورها به‌صورت متحدالمرکز است و معمولاً سیم‌پیچ راه‌انداز روی دو سیم‌پیچ دیگر جا زده می‌شود.

طریقه‌ی ترسیم دیاگرام گسترده در این گونه موتورها، مانند مثال‌های قبلی است که درمورد موتورهای یک فاز یک دور شرح داده شد و باید ابتدا دیاگرام گسترده‌ی هریک از سیم‌پیچ‌ها را جداگانه رسم کنیم و سپس از انطباق آن‌ها بر یک‌دیگر، دیاگرام گسترده‌ی کامل موتور را به دست آورد.

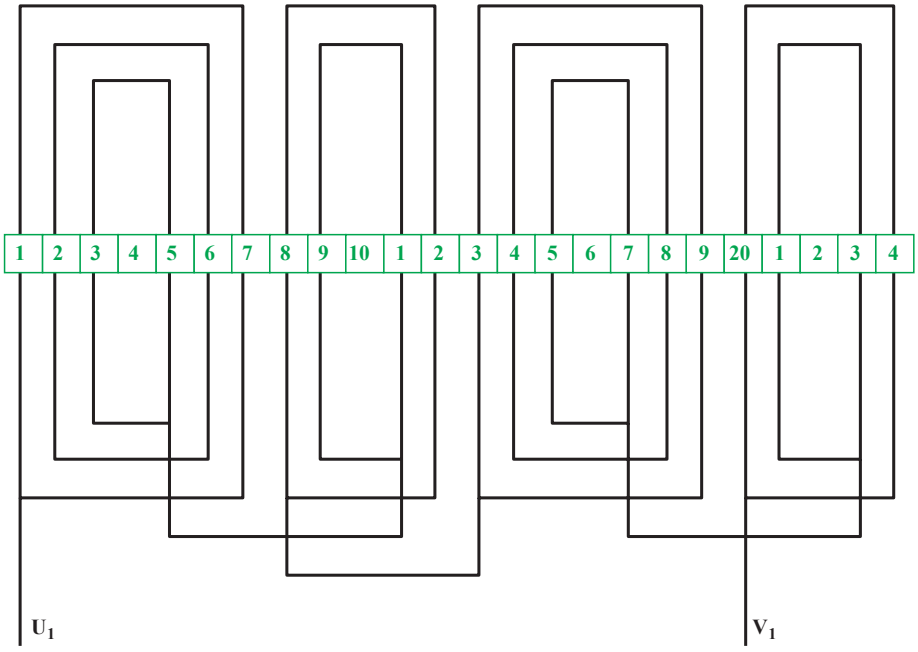
مثال ۱: استاتور یک موتور کولر دارای ۲۴ شیار است و باید به‌صورت ۴ قطب و ۶ قطب سیم‌پیچی شود. در صورتی که تعداد شیارهای سیم‌پیچ دور تند، $Z_{A1} = ۲۰$ باشد و برای سیم‌پیچ دور کند $Z_{A2} = ۱۸$ شیار و برای سیم‌پیچ راه‌انداز نیز $Z_B = ۱۶$ شیار در نظر گرفته شود، دیاگرام گسترده‌ی آن را رسم کنید.

راه حل: ابتدا محاسبات مربوط به دور تند را انجام می‌دهیم و دیاگرام گسترده‌ی این قسمت را ترسیم می‌کنیم. تعداد گروه کلاف‌های دور تند برابر با $2P_1 = ۴$ است و چون ۲۰ شیار متعلق به این سیم‌پیچی است، پس هر گروه کلاف شامل $\frac{۲۰}{۴} = ۵$ کلاف خواهد بود.

در این‌جا نیز چون عدد ۲/۵ نوع گروه کلاف را مشخص می‌کند، برای پر کردن ۲۰ شیار توسط چهار گروه کلاف کاملاً مشابه، باید هر گروه کلاف از ۲/۵ کلاف تشکیل شود که چنین چیزی امکان ندارد. پس می‌توان از این چهار گروه کلاف، دو گروه کلاف را دوتایی و دو گروه کلاف دیگر را سه‌تایی انتخاب کرد که میانگین آن همان ۲/۵ می‌شود. تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف برابر است با :

$$N_{A1} = \frac{۲۴ - ۲۰}{۴} = ۱$$

در صورتی که تمام گروه کلاف‌ها با یک‌دیگر مشابه بودند، گام بزرگ‌ترین از رابطه‌ی $y_{A1} = y - ۱$، پنج به‌دست می‌آمد. دراین‌جا گروه کلاف‌ها با یک‌دیگر متفاوت‌اند و دو نوع دوتایی و سه‌تایی هستند. گام بزرگ‌ترین کلاف آن‌ها نیز با یک‌دیگر متفاوت است اما در هر صورت، میانگین آن باید عدد پنج باشد و چون تنها یک کلاف با یک‌دیگر تفاوت دارند. پس تفاوت گام بزرگ‌ترین کلاف آن‌ها نیز دو است. بنابراین، برای گروه کلاف دوتایی عدد ۴ و برای گروه کلاف سه‌تایی عدد ۶ به‌عنوان گام بزرگ‌ترین کلاف به‌دست می‌آید که میانگین آن‌ها پنج و تفاوت آن‌ها نیز دو است. دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ دورتند مانند شکل ۴۱ــ۷ به‌دست می‌آید.



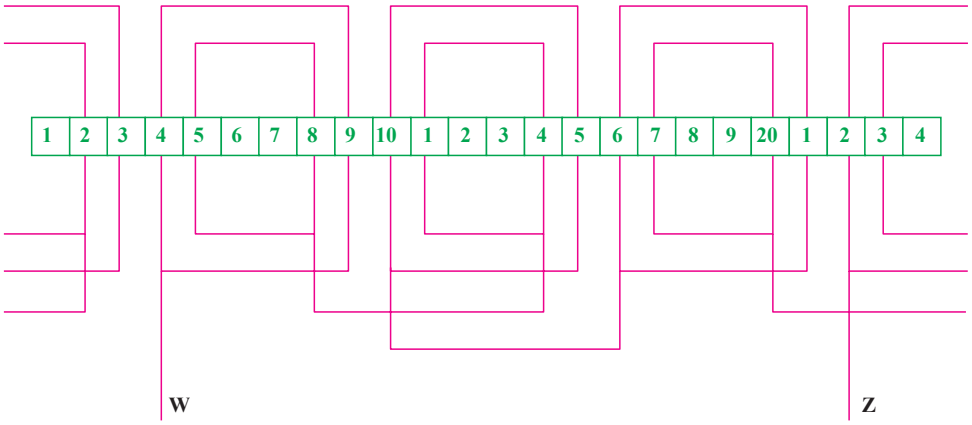
شکل ۴۱ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ دورتند با ۴ قطب و ۲۴ شیار یک فاز (کولر)

همان‌طورکه پیش از این نیز گفتیم، در این‌گونه موتورها سیم‌پیچ راه‌انداز برای دورتند طراحی می‌شود. بنابراین، سیم‌پیچ راه‌انداز نیز ۴ قطب بوده و تعداد شیارهای آن طبق صورت مسئله ۱۶ است. تعداد گروه کلاف‌های مربوط به این سیم‌پیچ با تعداد قطب‌ها (۴ . ۲P) برابر درنظر گرفته می‌شود و تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف نیز برابر است با :

$$۲ . X . ۲ . ۴ . ۱۶$$

چون تمام گروه کلاف‌ها مشابه یک‌دیگر و دوتایی هستند، پس گام بزرگ‌ترین کلاف راه‌انداز y_B . y . ۱ . ۵ می‌شود.

شیار شروع سیم‌پیچ فرعی باید ۹۰ درجه‌ی الکتریکی از شروع سیم‌پیچ دورتند فاصله داشته باشد. چون ez . ۳۰° است، پس شروع راه‌انداز از شیار $\frac{۹۰}{۳۰}$. ۱ . ۴ خواهد بود. تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف راه‌انداز نیز برابر با N_B . $\frac{۲۴ . ۱۶}{۴}$. ۲ است، بدین‌ترتیب، دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز نیز مانند شکل ۴۲ــ۷ به‌دست می‌آید.



شکل ۴۲ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه انداز با ۴ قطب و ۲۴ شیار یک فاز (کولر)

تعداد گروه کلاف‌های مربوط به سیم‌پیچ دور کند، برابر با $۲P_۲$. ۶ است. تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف برابر است با :

$$۱۸ . ۶ . ۲ . X . X . ۱/۵$$

با همان استدلالی که درمورد نوع گروه کلاف‌های دورتند بیان شد، در این‌جا نیز سه گروه کلاف دوتایی و سه گروه کلاف تکی برای سیم‌پیچ دور کند انتخاب می‌کنیم تا درمجموع شش قطب را بسازند و ۱۸ شیار را پر کنند. گام بزرگ‌ترین کلاف نیز از رابطه‌ی $y_{۲A}$. y . ۱ عدد ۳ به‌دست می‌آید که باز چون نوع گروه کلاف‌ها متفاوت است، باید عدد ۲ را برای گروه کلاف‌های تکی و عدد چهار را برای گروه کلاف دوتایی انتخاب کنیم.

تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف نیز یکی به‌دست می‌آید.

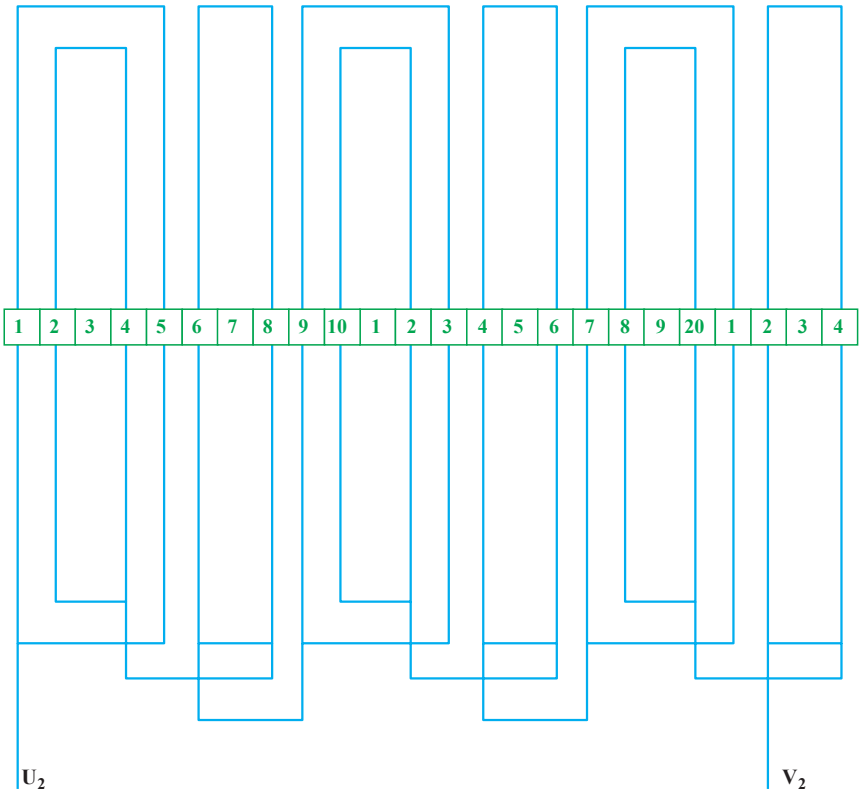
در صورتی که حجم همه‌ی شیارها یکسان باشد، شروع سیم‌پیچ دور کند، هیچ ارتباطی با دو سیم‌پیچ دیگر نخواهد داشت اما اگر سطح شیارها با یک‌دیگر برابر نباشد، باید با توجه به قرار گرفتن تعداد کلاف‌ها در هر شیار محل شروع سیم‌پیچ دور کند را پیدا کنیم.

در شکل ۴۳ــ۷ دیاگرام گسترده‌ی دور کند و در شکل ۴۴ــ۷ دیاگرام گسترده‌ی کامل این موتور را که از انطباق سه دیاگرام گسترده‌ی گفته شده به‌دست آمده است، می‌بینید.

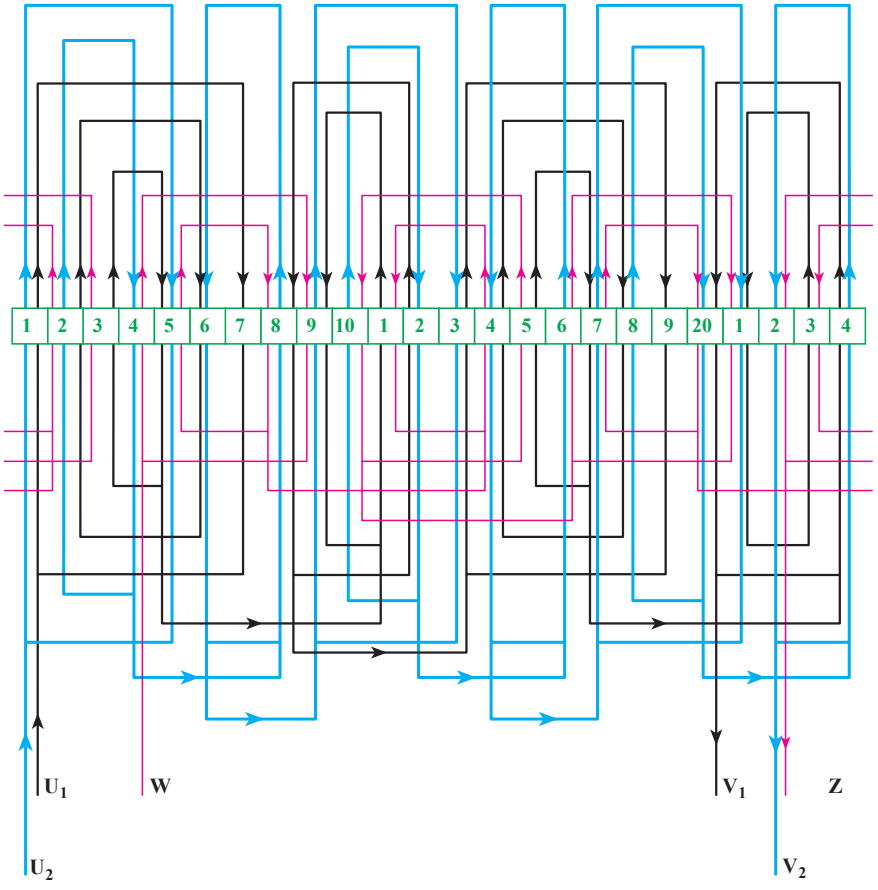
مثال ۲: استاتور یک موتور کولر ۳۶ شیار دارد و باید به‌صورت ۴ قطب و ۶ قطب سیم‌پیچی شود. دیاگرام گسترده‌ی کامل این موتور را رسم کنید. درصورتی که تعداد شیارهای دور تند و دورکند هرکدام ۲۴ و تعداد شیارهای راه‌انداز ۲۸ باشد، سیم‌پیچ راه‌انداز نیز پس از راه افتادن موتور، از مدار خارج می‌شود.

راه حل: مانند مثال قبل، ابتدا دیاگرام گسترده‌ی هر یک از سیم پیچ‌ها را جداگانه ترسیم می کنیم و سپس با انطباق آن‌ها بر یک‌دیگر، دیاگرام کامل موتور را به‌دست می‌آوریم.

سیم‌پیچ دورتند این موتور ۲۴ شیار و ۴ قطب دارد. تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی مربوط به دورتند را باید برابر با



شکل ۴۳ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ دور کند با ۶ قطب و ۲۴ شیار یک فاز (کولر)

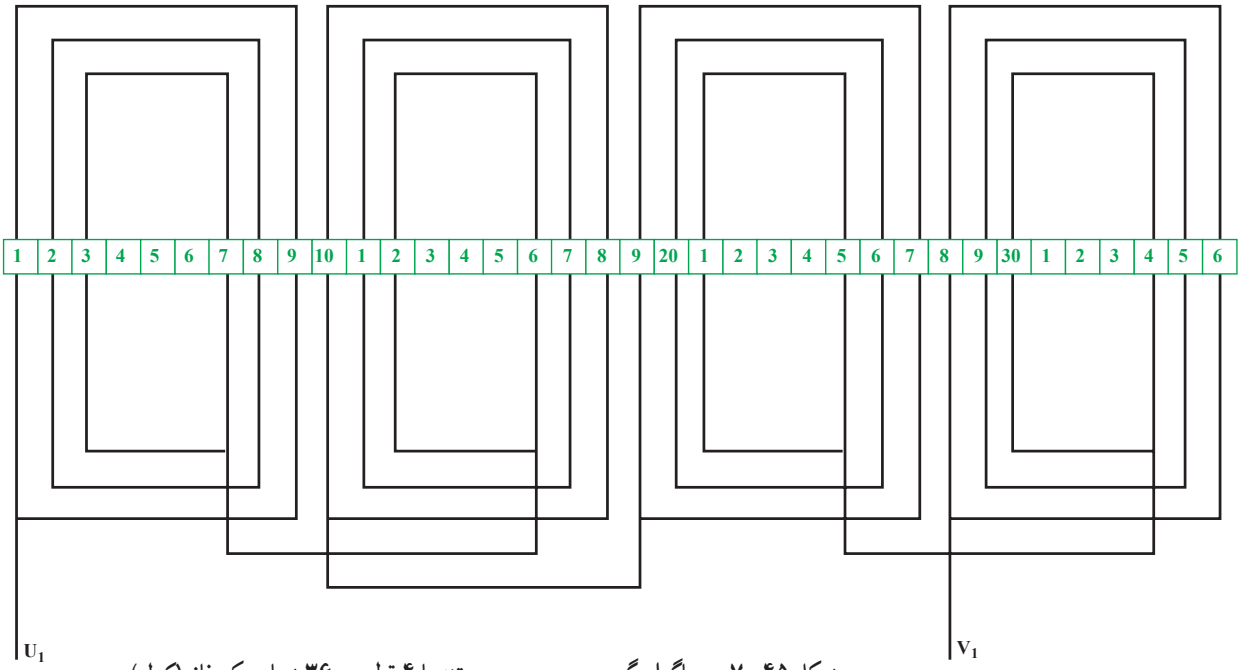


شکل ۴۴ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با دو دور (کولر) و ۲۴ شیار

تعداد قطب‌ها یعنی ۴ درنظر بگیریم. تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف اصلی برابر است با :

۲۴ . ۴ . ۲ . x . x . ۳

گام بزرگ ترین کلاف این سیم‌پیچ برابر با $y_{1A} = \frac{۳۶}{۴} . ۱ . ۸$ است و تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف نیز برابر با $\frac{۳۶ . ۲۴}{۴}$ ۳ می‌شود. دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ اصلی برای دورتند با مقادیر محاسبه شده، در شکل ۷ــ۴۵ نشان داده شده است.

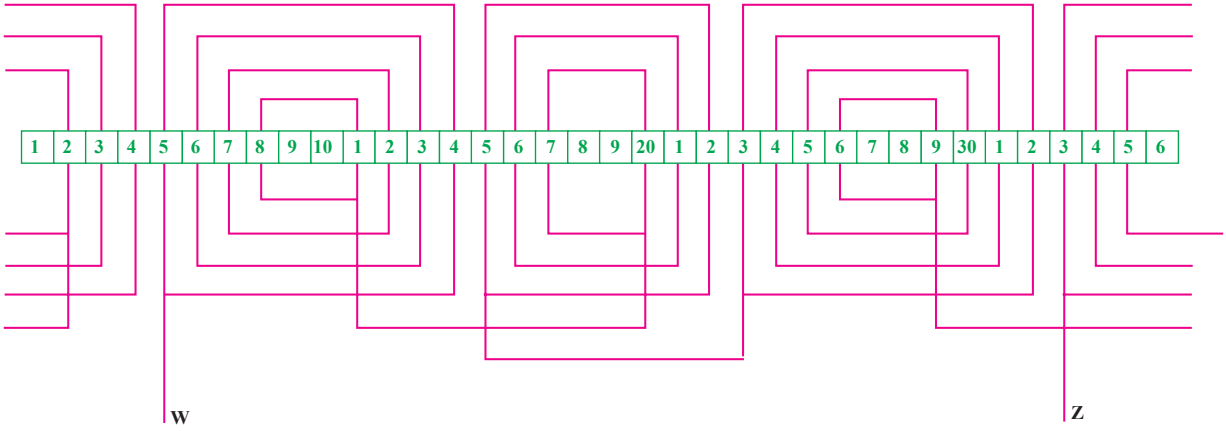


شکل ۷ــ۴۵ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ دور تند با ۴ قطب و ۳۶ شیار یک فاز (کولر)

سیم‌پیچ راه‌انداز نیز باید بر مبنای دورتند، یعنی ۴ قطب پیچیده شود. بنابراین، دارای چهار گروه کلاف است و تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف نیز برابر است با :

۲۸ . ۴ . ۲ . x . x . ۳/۵

مانند مثال‌های قبل، در این‌جا نیز از چهار گروه کلاف باید دوتای آن‌ها را سه‌تایی و دو گروه کلاف دیگر را چهارتایی پیچید. گام بزرگ‌ترین کلاف نیز در این‌جا برای گروه کلاف‌های سه‌تایی ۷ و برای گروه کلاف‌های چهارتایی ۹ است. شیار شروع راه‌انداز از طریق محاسبه، شیار شماره‌ی ۵/۵ می‌شود که ما شیار پنج را انتخاب می‌کنیم. بدین‌ترتیب، دیاگرام گسترده‌ی شکل ۷ــ۴۶ برای سیم‌پیچ راه‌انداز به دست می‌آید.

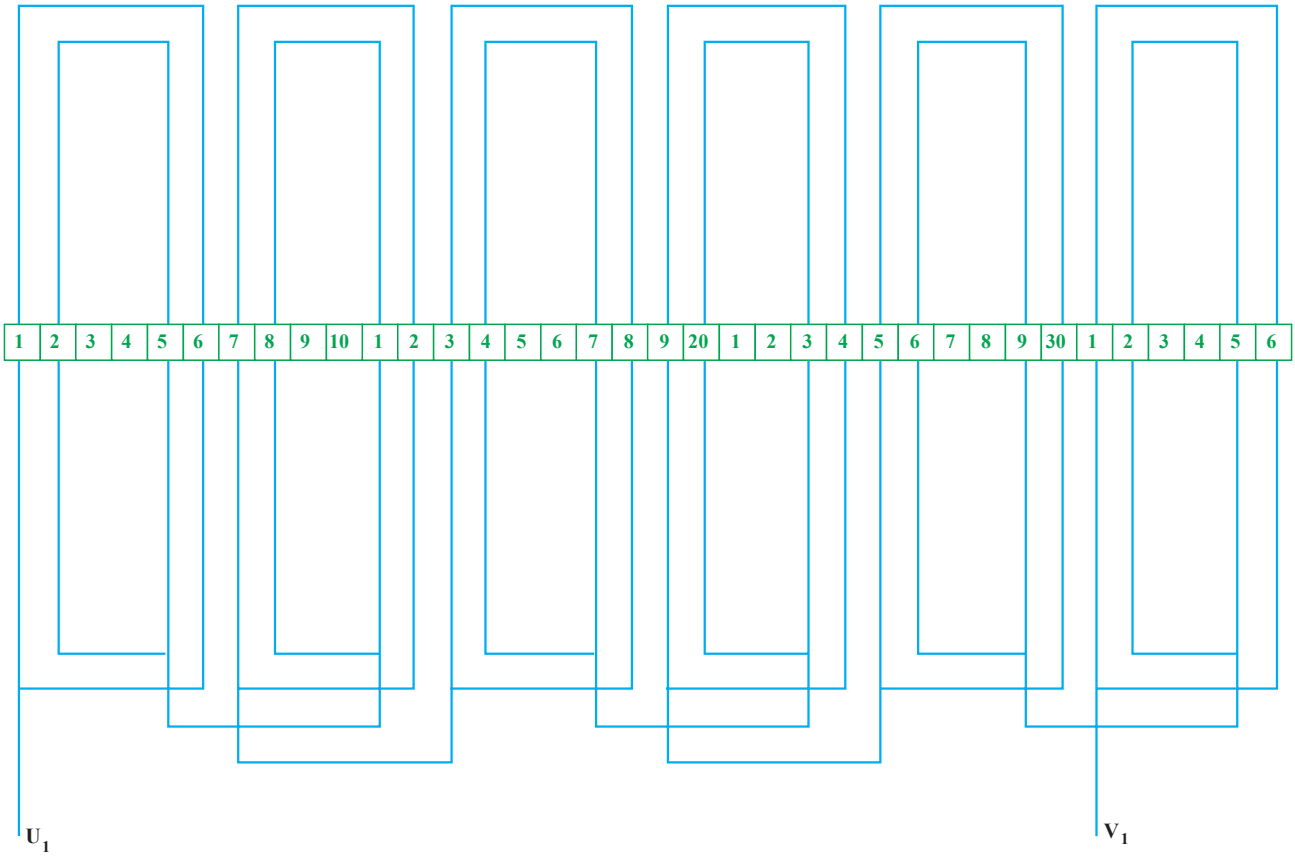


شکل ۴۶ ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز با ۴ قطب و ۳۶ شیار یک فاز (کولر)

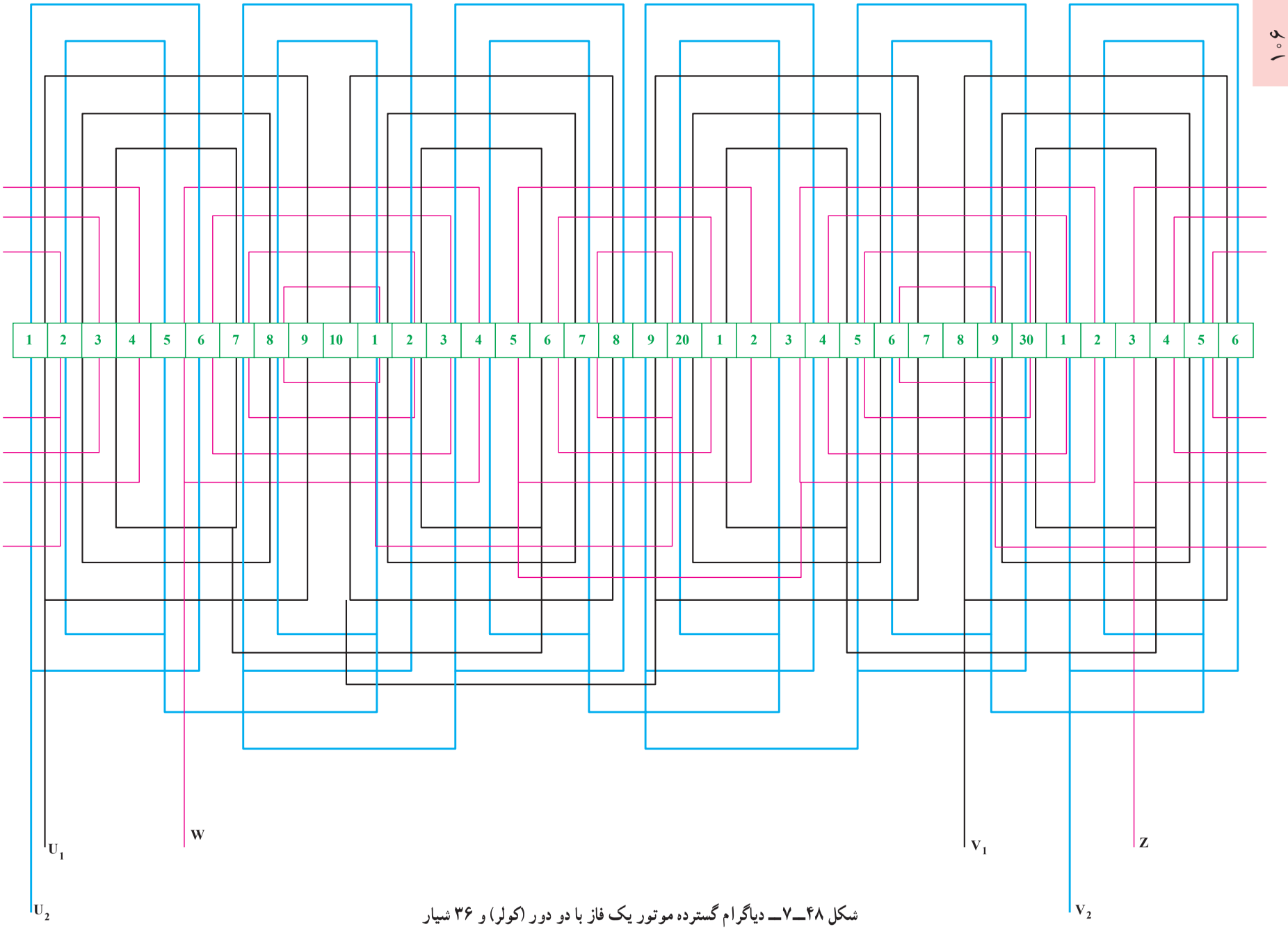
سیم‌پیچ اصلی مربوط به دور کند باید دارای شش گروه کلاف دوتایی باشد. گام بزرگ‌ترین کلاف آن نیز برابر با $y_{2A} \cdot y \cdot 1 \cdot 5$ می‌شود.

در این موتور فقط از یک سیم‌پیچ راه‌انداز استفاده می‌شود و در هنگام راه‌اندازی برای دورکم، ابتدا موتور با دور زیاد به‌کار می‌افتد و سپس توسط کلید گریز از مرکز به سیم‌پیچ دور کند وصل می‌شود. پس شروع سیم‌پیچ دور کند از هر شیاری می‌تواند باشد. در این مثال نیز شروع این سیم‌پیچ را از شیار یک انتخاب می‌کنیم که در شکل ۴۷ــ۷ دیاگرام گسترده‌ی آن نمایش داده شده است.

هم‌چنین از انطباق سه‌دیاگرام گسترده‌ی ترسیم شده، دیاگرام گسترده‌ی کامل این مثال مانند شکل ۴۸ــ۷ به دست می‌آید.



شکل ۴۷ــ۷ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ دور کند با ۶ قطب و ۳۶ شیار یک فاز (کولر)



شکل ۴۸ــ۷ــ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با دو دور (کولر) و ۳۶ شیار

کار عملی ۸

یک موتور یک طبقه سه‌فاز یا یک فاز با قطب دلخواه را سیم‌پیچی کنید (پیشنهاد می‌شود به هر هنرجو یک نوع موتور داده شود، سه‌فاز یا تک‌فاز از ۲ قطب به بالا)

کار عملی ۹

یک موتور دو طبقه سه‌فاز گام کوتاه یا دالاندر با قطب‌های دلخواه را سیم‌پیچی کنید (پیشنهاد می‌شود به هر هنرجو یک نوع سیم‌پیچی داده شود ؛ دالاندر با گام کوتاه با قطب‌های مختلف).

کار عملی ۱۰

یک موتور کولر (تک فاز دو دور) را سیم‌پیچی کنید.

فصل هشتم

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

تغییر سیم‌پیچی

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ تعداد دور هر کلاف را محاسبه کند.

۲ــ قطر سیم مورد نیاز را محاسبه کند.

۳ــ برای تغییر ولتاژ، تعداد دور و قطر سیم را محاسبه کند.

۴ــ برای سرعت کم‌تر موتور، تعداد دور و قطر سیم را محاسبه کند.

۵ــ برای تعویض هادی‌های مسی یا آلومینیمی، قطر سیم را محاسبه کند.

۶ــ برای تعویض هادی‌های آلومینیمی یا مسی، قطر سیم را محاسبه کند.

۸ ــ تغییر سیم‌پیچی

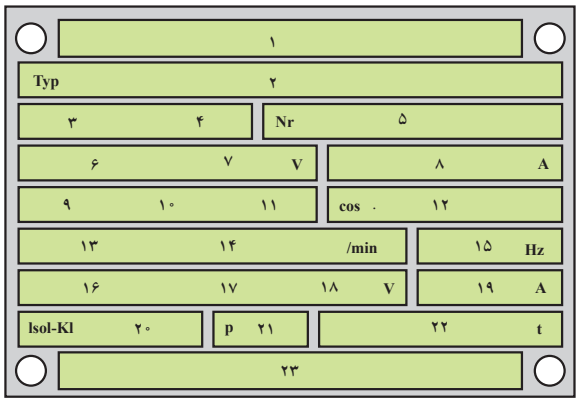
در کارگاه‌های تعمیراتی اغلب لازم می‌شود که سیم‌پیچی ماشین‌های سه‌فاز یا یک فاز را تعویض کنند. سیم‌پیچی جدید یا براساس مشخصات قبلی ماشین انجام می‌گیرد یا این که برای کاربرد جدیدی که موردنیاز است محاسبه می‌شود.

تعیین مشخصات مربوط به سیم‌پیچی، درمورد اول (به‌صورت کپیه برداری)، درصورت موجود بودن سیم‌پیچی معیوب، بسیار ساده است و باید در هنگام باز کردن و خارج کردن سیم‌پیچ معیوب مشخصات سیم‌پیچ، قطر و جنس هادی، تعداد دور هر کلاف، نوع سیم‌پیچی، گام سیم‌پیچی نوع اتصال و غیره را یادداشت کرد و مورد استفاده قرار داد.

در صورتی که سیم‌پیچی معیوب در ماشین موجود نباشد یا لازم باشد مقادیر نامی ماشین یا سیم‌پیچی آن تغییر یابد، باید محاسبه‌های لازم را انجام داد. در این‌جا ابتدا به محاسبه‌ی تعداد دور سیم‌پیچی و قطر سیم با توجه به مقادیر به‌دست آمده از روی پلاک موتور و با اندازه‌گیری ابعاد و اندازه‌های استاتور می‌پردازیم. سپس حالات مختلفی را که گاهی در کارگاه‌های تعمیراتی در مورد تغییر ولتاژ یا تغییر قطب و... پیش می‌آید، بررسی می‌کنیم.

لازم به تذکر است که منحنی‌ها و جداولی که برای این‌گونه محاسبات یا طراحی‌ها به‌کار می‌رود، به‌عوامل متعددی از قبیل شرایط کار، اندازه، مواد اولیه و... بستگی دارد و قابل تغییر است.

قدرت خروجی موتور P_2 برحسب KW و یا اسب‌بخار (PS)، مقدار ضریب بهره موتور . برحسب درصد، ولتاژ خطی Uبرحسب ولت، جریان خط برحسب آمپر ضریب قدرت و نوع اتصال سیم‌پیچ‌های موتور به شبکه معمولاً برروی پلاک موتور نوشته می‌شود و در محاسبات می‌توان از آن‌ها استفاده کرد (شکل ۱ــ۸).



شکل ۱ــ۸ــ پلاک موتور

جدول ۱ــ۸

شماره	توضیح
۱	سازنده ــ علامت کارخانه
۲	تیپ ــ علامت مشخصه مدل
۳	نوع جریان مانند C (جریان مستقیم) E (جریان یک فاز) D (جریان ۳ فاز)
۴	نوع کار مانند Gen (ژنراتور) Mot (موتور)
۵	شماره مسلسل
۷ و ۶	(۶) نوع اتصال استاتور مانند λ (اتصال ستاره) Δ (اتصال مثلث) (۷) ولتاژ نامی
۸	جریان نامی
۱۱ و ۱۰ و ۹	(۱۰، ۹) قدرت نامی، داده شده به KW و یا W برای موتورها قدرت ظاهری به KVA یا VA در ژنراتورهای سنکرون (۱۱) نوع مورد استفاده
۱۲	ضریب قدرت نامی
۱۴ و ۱۳	(۱۳) جهت گردش مثلاً راست‌گرد از طرف محور (۱۴) دور نامی
۱۵	فرکانس نامی
۱۶	(۱۶) Err (تحریک) در ماشین‌های جریان مستقیم
۱۷	Lfr (رتور) در ماشین‌های (سنکرون)
۱۸	(۱۷) نوع اتصال سیم‌پیچ رتور (۱۸) تحریک نامی هم‌چنین ولتاژ رتور در حالت سکون
۱۹	۱۹ جریان تحریک نامی ــ جریان رتور
۲۰	کلاس عایقی مانند Y، A، E، B و غیره
۲۱	نوع حفاظت مانند P33
۲۲	وزن به تن در ماشین‌های بزرگ‌تر از یک تن
۲۳	توضیحات دیگر

در هنگام محاسبه‌ی پارامترهای لازم برای سیم‌پیچی موتور، باید توجه داشت که به‌علت وجود تلفات در ماشین، قدرتی که برای محاسبات استفاده می‌شود باید بیش‌تر از توان خارجی P_2 باشد. توانی که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد، توان ظاهری ورودی بوده و برحسب ولت‌آمپر است و از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$P_{S_1} = \frac{P_2}{\eta . \cos\varphi}$$

قدرت ظاهری ورودی (P_{S1}) یک موتور با مجذور قطر داخلی استاتور (Di^2) و طول شیارهای استاتور (l) و تعداد دور سنکرون موتور n_s، متناسب است. پس می‌توان نوشت :

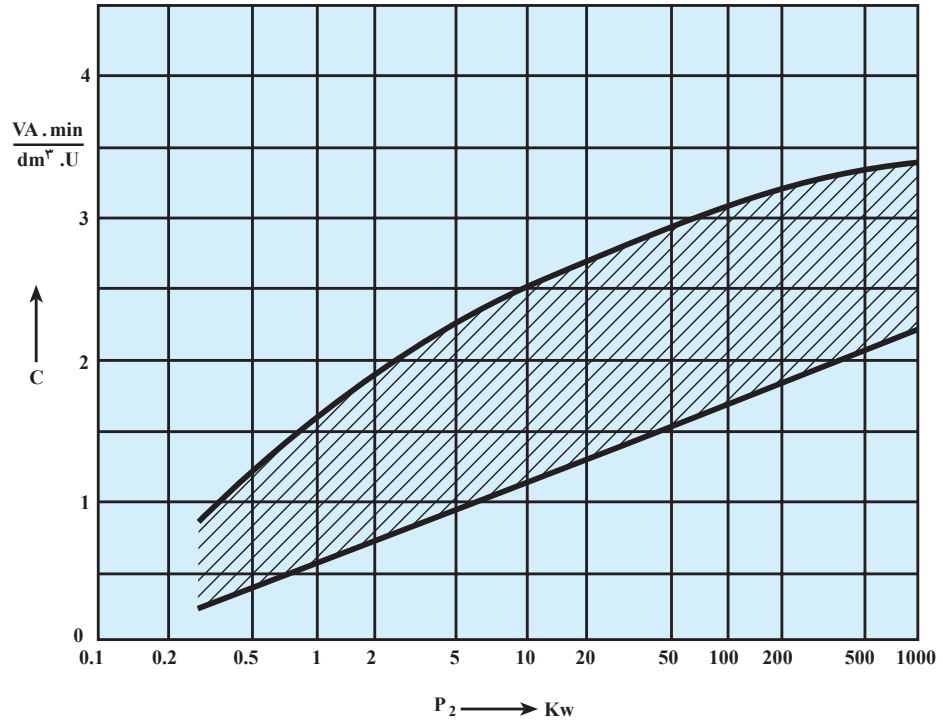
$$P_{S_1} = C . Di^2 . l . n_s$$

فاکتور C، نسبت توان ظاهری ماشین به اندازه‌های ذکر شده است و واحد آن به واحدهای انتخاب شده برای طول و توان ورودی بستگی دارد.

$$C = \frac{P_{S_1}}{Di^2 . l . n_s}$$

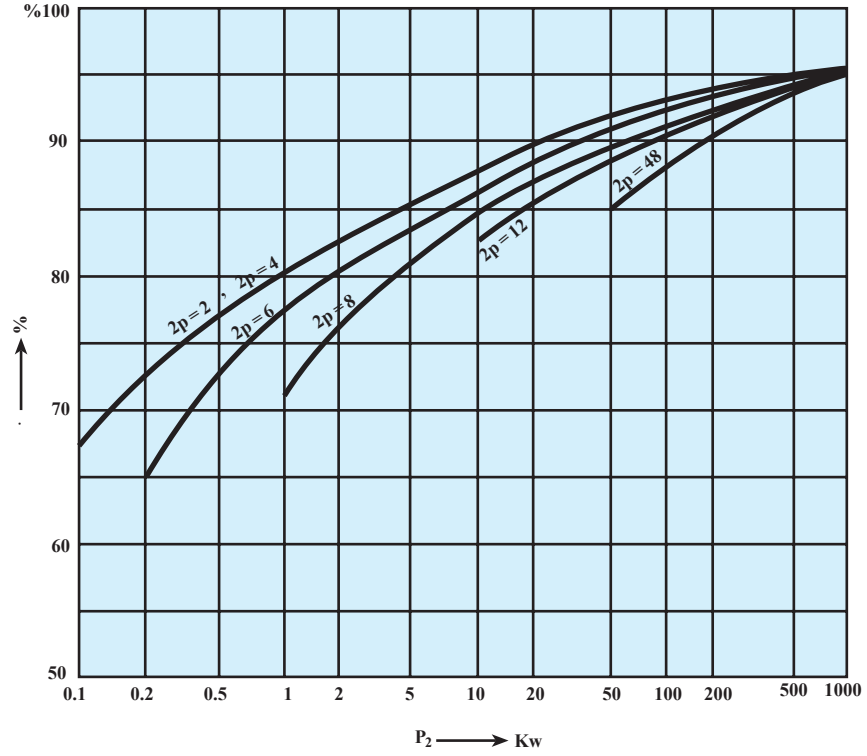
در این رابطه، Di قطر دهانه استاتور برحسب Cm، l طول شیار و یا ضخامت ورقه‌ها برحسب Cm، n_s دور سنکرون برحسب دور در دقیقه U/min، P_{S_1} قدرت ظاهری ورودی برحسب VA، C ضریب برحسب $\frac{VA}{Cm^3} \times \frac{min}{U}$ است.

منحنی ۱ــ۸ مقدار ضریب C، برای موتورهای با قدرت‌های مختلف را نشان می‌دهد. در این منحنی که از آن بیش‌تر برای طراحی موتور استفاده می‌شود، مقدار C می‌تواند بین دو حد بالاو پایین باشد. درصورتی که مقدار C به حد بالایی منحنی نزدیک باشد، موتور از نوع باز است و باید تهویه در آن به‌خوبی انجام گیرد. درصورتی که موتور از نوع بسته باشد و تنها توسط جداره‌ی خارجی پوسته خنک شود، مقدار C به حد پایین منحنی نزدیک خواهد بود. اگر قدرت موتور مجهول باشد، می‌توان با انتخاب قدرت‌های مختلف و پیدا کردن فاکتور C برای هریک، از رابطه‌ی ضریب C و انتقال ضریب به‌دست آمده به منحنی ۱ــ۸ قدرت موتور را به‌دست آورد. اگر ضریب C به‌دست آمده در خارج از منحنی یا در داخل سطح هاشور خورده قرار گرفته باشد اما در نزدیکی حد موردنظر نباشد، باید قدرت دیگری را انتخاب کرد و همین عمل را تکرار نمود تا بالاخره فاکتور C در نزدیکی حد موردنظر واقع شود.

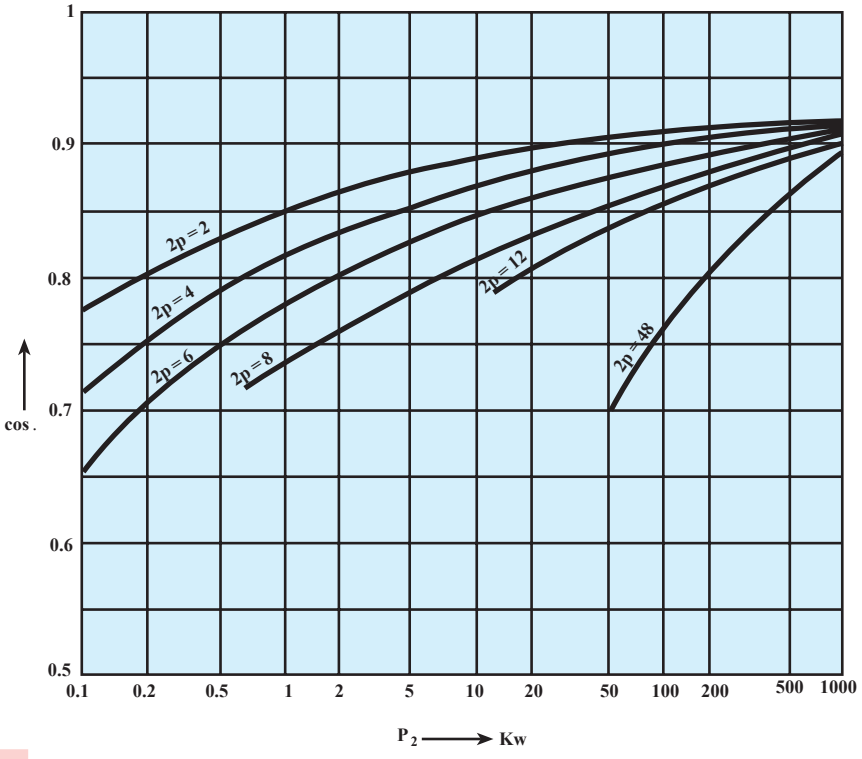


منحنی ۱ــ۸ ــ ضریب C نسبت به توان خروجی

در منحنی ۲ــ۸ مقدار ضریب بهره و در منحنی ۳ــ۸ مقدار ضریب قدرت موتورها داده شده است. درصورتی که موتور فاقد پلاک باشد یا این مقادیر در روی پلاک آن مشخص نشده باشد، می‌توان مقدار تقریبی آن‌ها را از این دو منحنی به‌دست آورد و در محاسبات تعداد دور کلاف و قطر سیم، از آن‌ها استفاده کرد. در زیر به‌شرح این محاسبات می‌پردازیم.



منحنی ۲ــ۸ــ راندمان نسبت به توان خروجی



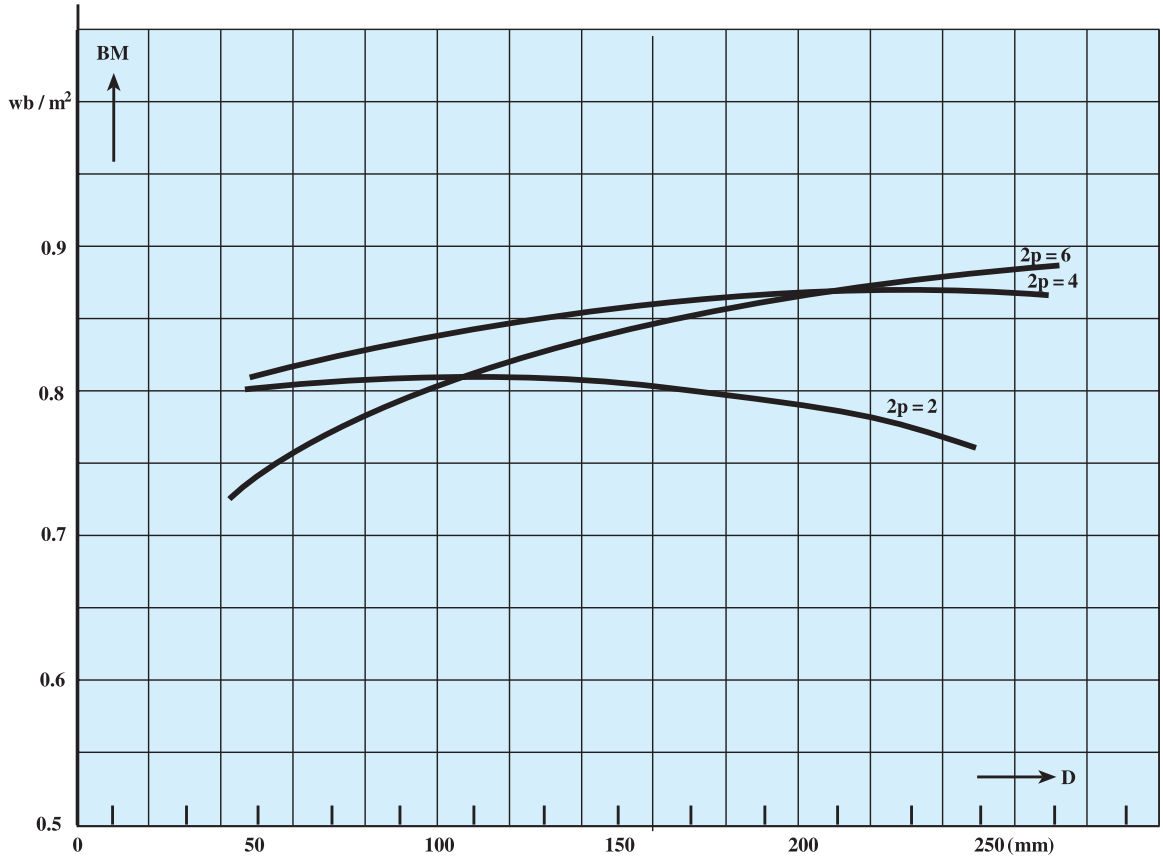
منحنی ۳ــ۸ــ ضریب قدرت نسبت به‌توان خروجی

۱ــ۸ــ محاسبه‌ی تعداد دور هر کلاف

تعداد دور سیم‌پیچ هر فاز استاتور را می‌توان از رابطه‌ی $E = ۴/۴۴ \times f \times \varphi \times N \times K$ به‌دست آورد. در این رابطه، φ فوران متوسط زیر هر قطب است و از رابطه‌ی $\varphi = B_{av} . \tau_P . l$ به‌دست می‌آید. τ_P نیز طول هر قطب و مقدار آن برابر است با :

$$\tau_P = \frac{Di . \pi}{۲P}$$

تقسیم اندکسیون مغناطیسی در زیر هر قطب، یک‌نواخت نیست و فرم سینوسی دارد ؛ بنابراین، ابتدا مقدار اندکسیون ماکزیمم را از منحنی ۴ــ۸ و سپس مقدار متوسط اندکسیون را از رابطه‌ی $B_{av} = \frac{۲}{\pi} B_{max}$ محاسبه می‌کنیم. ضریب K نیز در رابطه‌ی اصلی E ضریب ولتاژ است و مقدار آن برای سیم‌پیچی‌های مختلف متفاوت می‌باشد. روش به‌دست آوردن این ضریب را در قسمت بعد توضیح می‌دهیم.



منحنی ۴ــ۸ــ چگالی میدان نسبت به قطر روتور

بدین ترتیب، رابطه‌ای که برای محاسبه‌ی تعداد دور باید از آن استفاده کرد به‌صورت زیر است.

$$N = \frac{E}{۴/۴۴ \times f \times \varphi \times K} = \frac{K'U}{۴/۴۴ \times f \times \varphi \times K}$$

ضریب K' نسبت بین E و U و مقدار آن بین ۰/۹۵ تا ۰/۹۷ است، در این رابطه، N تعداد کل حلقه‌های مربوط به یک فاز است. اگر تعداد هادی‌هایی را که در هر شیار قرار می‌گیرند با N_Z نشان دهیم، می‌توان برای محاسبه‌ی آن‌ها از رابطه‌ی $N_Z = \frac{N}{q.p}$ استفاده کرد. درصورتی که سیم‌پیچی به‌صورت

دو طبقه انجام گیرد، باید تعداد هادی‌های واقع در هر شیار زوج باشد تا تعداد حلقه‌های هر کلاف عدد صحیح به‌دست آید.

۱ــ۱ــ۸ــ تعیین ضریب ولتاژ سیم‌پیچی: یکی از عوامل مؤثر در تعیین بزرگی اختلاف سطح القایی در ماشین‌های الکتریکی که در محاسبات مربوط به تعیین تعداد دور حلقه‌های سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضریب ولتاژ سیم‌پیچی (K) است. ضریب ولتاژ سیم‌پیچی از دو ضریب ولتاژ منطقه‌ای K_Z و ضریب ولتاژ کوتاهی گام K_S تشکیل شده و برابر با $K = K_Z.K_S$ است.

الف ــ تعیین ضریب ولتاژ منطقه‌ای K_Z (ضریب پخش): درصورتی که هادی‌های یک فاز در زیر هر قطب، در شیارهای مختلف تقسیم شوند ــ یعنی q . ۱ باشد ــ ولتاژ القایی در هریک از کلاف‌ها با یک‌دیگر اختلاف فاز دارد. اختلاف سطح کل از جمع برداری ولتاژهای القایی در کلاف‌ها به‌دست می‌آید و بنابراین کوچک‌تر از جمع جبری آن‌ها می‌شود. درصورتی که هادی‌های یک فاز در زیر یک قطب، در یک شیار واقع شده باشند ــ یعنی $q=1$ باشد ــ می‌توانیم بگوییم که در همه‌ی هادی‌های واقع در یک شیار، ولتاژها تقریباً یکسان و هم فازند. در این صورت، جمع برداری ولتاژهای القایی در هادی‌ها با جمع جبری آن‌ها برابر خواهد بود.

دلیل این که در حالت اول جمع‌برداری ولتاژهای القایی، از جمع جبری ولتاژها کوچک‌تر شد، در حقیقت تأثیر ضریبی به‌نام ضریب منطقه‌ای است که مقدار آن $K_Z = \frac{\text{جمع برداری ولتاژها}}{\text{جمع جبری ولتاژها}}$ می‌باشد. در حالت دوم، جمع‌برداری ولتاژهای القایی با جمع جبری آن‌ها برابر می‌شد ؛ درنتیجه، ضریب منطقه‌ای $K_Z = ۱$ بود. هرچه گروه کلاف مربوط به یک فاز به‌طور گسترده‌تری در زیر یک قطب توزیع شود، ولتاژ القایی کل و به‌همان نسبت ضریب منطقه‌ای، کوچک‌تر خواهد بود.

مقدار دقیق ضریب ولتاژ پخش در یک سیم‌پیچی سه فازه که در آن $q = ۲$ باشد، برابر با $K_Z = ۰/۹۶۶$ و اگر $q = ۲۰$ باشد برابر با $K_Z = ۰/۹۵۶$ محاسبه می‌شود[1]. مشاهده می‌شود که مقدار q عملاً در ضریب پخش تأثیر زیادی ندارد و می‌توان در محاسبات یک سیم‌پیچی سه‌فازه برای حالتی که q از ۲ بزرگ‌تر باشد، مقدار ضریب منطقه‌ای را برابر با $K_Z = ۰/۹۶$ منظور داشت.

در سیم‌پیچی یک فازه، درصورت استفاده از تمام شیارهای زیر هر قطب برای یک فاز، ضریب پخش $K_Z = ۰/۶۳۷$ و در صورت استفاده از $\frac{۲}{۳}$ شیارها برای یک فاز، ضریب پخش برابر با $K_Z = ۰/۸۲۵$ خواهد شد[2]. بنابراین، نسبت ولتاژ القایی در دو حالت برابر است با :

$$\frac{۱}{\frac{۲}{۳}} \times \frac{۰/۶۳۷}{۰/۸۲۵} \simeq ۱/۱۶$$

نسبت به‌دست آمده بدین معنی است که در موتور یک فازه در حالتی که تمام شیارها برای فاز اصلی سیم‌پیچی شوند، با وجود این که مواد مصرفی بیش از ۵۰ درصد حالتی است که فقط $\frac{۲}{۳}$ شیارها مربوط به یک فاز باشند، اما تنها حدود ۱۶ درصد اضافه ولتاژ خواهیم داشت. به همین دلیل، در سیم‌پیچی موتورهای یک فاز اغلب $\frac{۲}{۳}$ شیارها توسط سیم‌پیچی اصلی پر می‌شود.

ب ــ ضریب ولتاژ کوتاهی گام K_S (فاکتور گام)[3]: اگر گام سیم‌پیچی از گام قطبی کوچک‌تر باشد، اختلاف سطح القایی در سیم‌پیچی، کم‌تر از حالتی خواهد بود که گام سیم‌پیچی با گام قطبی برابر است. ضریبی که در این رابطه به‌کار می‌رود، **ضریب ولتاژ کوتاهی گام** نامیده می‌شود و مقدار آن برای چند حالت در جدول ۲ــ۸ داده شده است.

برای سادگی محاسبات، در جدول ۳ــ۸ مقدار ضریب ولتاژ سیم‌پیچی برای بعضی از سیم‌پیچ‌ها داده شده است.

---

۱ و ۲ و ۳ ــ هنرجویان برای پی‌بردن به‌روش‌های محاسبه، می‌توانند به کتاب‌هایی که در این زمینه موجود است، مراجعه کنند.

جدول ۲ــ۸ــ ضریب ولتاژ کوتاهی گام

$\varepsilon = \frac{y_Z}{y} =$	$\frac{۵}{۶}$	$\frac{۴}{۵}$	$\frac{۳}{۴}$	$\frac{۲}{۳}$	$\frac{۱}{۲}$
$K_S =$	۰/۹۶۶	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۷۱

جدول ۳ــ۸ــ ضریب ولتاژ سیم‌پیچی

q =	۲			۳			
$\frac{y_Z}{y} =$	$\frac{۶}{۶}$	$\frac{۵}{۶}$	$\frac{۴}{۶}$	$\frac{۹}{۹}$	$\frac{۸}{۹}$	$\frac{۷}{۹}$	$\frac{۶}{۹}$
K =	۰/۹۶۶	۰/۹۳۳	۰/۸۳۶	۰/۹۶۰	۰/۹۴۵	۰/۹۰۲	۰/۸۳۱

۲ــ۸ــ تعیین قطر سیم

برای محاسبه‌ی قطر سیم باید جریان فازی را حساب کرد. در اتصال ستاره جریان فاز با جریان خط برابر است. در اتصال مثلث، جریان فاز از جریان خط، $\sqrt{۳}$ برابر کم‌تر می‌باشد. جریان خط از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید :

$$I_L = \frac{P_۲}{\sqrt{۳}. U_L \cos.}$$

پس از مشخص شدن مقدار جریانی که از سیم‌پیچ هر فاز باید عبور کند، می‌توان سطح مقطع یا قطر سیم را حساب کرد.

برای این منظور، باید چگالی جریان مجاز (J) را مشخص نمود. هرچه چگالی جریان سیم بیش‌تر انتخاب شود، سیم‌پیچ‌های موتور بیش‌تر گرم می‌شوند. پس چگالی جریان برای موتورها به‌شرایط کار، نوع کار، مدت زمان کار کردن و خاموش بودن موتور و هم‌چنین شرایط تهویه و تعداد قطب‌های آن بستگی دارد.

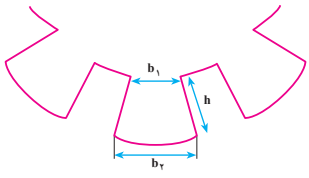
اغلب برای موتورهای معمولی باز، چگالی جریان بین ۴/۵ تا ۱۰ آمپر بر میلی‌متر مربع و در موتورهای معمولی بسته، چگالی جریان بین ۳/۵ تا ۸/۵ آمپر بر میلی‌متر مربع با توجه به نوع و محل مصرف آن انتخاب می‌شود. بدین‌ترتیب، با مشخص شدن چگالی جریان می‌توان قطر سیم را محاسبه کرد. در ماشین‌های کوچک و متوسط تا حدود ۱۰۰PS، معمولاً از سیم‌های گرد استفاده می‌شود. در صورتی که سیم لاکی با قطر محاسبه شده در دسترس نباشد یا سطح مقطع سیم مورد لزوم بزرگ باشد، می‌توان از چند سیم گرد نازک‌تر به‌صورت موازی به‌جای سیم کلفت استفاده کرد. در این صورت، باید مجموع سطح مقطع سیم‌های موازی با سطح مقطع سیم موردنظر برابر باشد. قطر سیم را پس از مشخص کردن چگالی جریان می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد :

$$A = \frac{d^۲.}{۴} = \frac{I}{J} \Rightarrow d = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I}{J}}$$

اگر بخواهیم از n سیم موازی با قطرهای $d_۱$ و $d_۲$ و... d_n به‌جای سیم محاسبه شده با قطر d استفاده کنیم، باید قطر سیم‌های مورد استفاده در رابطه‌ی $d = \sqrt{d_۱^۲ + d_۲^۲ + \quad + d_n^۲}$ صدق کند.

اگر قطر سیم‌ها برابر باشد، قطر هریک از آن‌ها $d_۱ = \frac{d}{\sqrt{n}}$ می‌شود.

درصورتی که یک شیار ذوزنقه‌ای شکل کاملاً از سیم گرد پرشود، می‌توان مقدار تقریبی قطر سیم را با داشتن تعداد هادی‌های واقع در هر شیار یا مقدار تقریبی هادی‌های واقع در هر شیار را با دانستن قطر سیم و اندازه‌گیری ابعاد شیار از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد.



$$d^۲ N_Z = (b_۱ + b_۲ - ۲)(h_n - ۳)f$$

در این رابطه d قطر سیم با لاک برحسب میلی‌متر و N_Z تعداد کل هادی‌های هر شیار، $b_۱$ و $b_۲$ دو قاعده کوچک و بزرگ شیار برحسب میلی‌متر و h_n عمق شیار برحسب میلی‌متر

است. عددهای ۲ و ۳ به‌خاطر وجود عایق در شیار و هم‌چنین گوه روی شیار منظور می‌شوند. ضریب f نیز برای سیم‌پیچی یک طبقه برابر با ۰/۴ و برای سیم‌پیچی دو طبقه برابر با ۰/۳۶ است.

برای مثال، در یک شیار ذوزنقه‌ای شکل با اندازه‌های $b_1 = 10mm$ و $b_2 = 14mm$ و $h_n = 26mm$ که تعداد ۸۰ عدد هادی در آن قرار می‌گیرد و سیم‌پیچی به‌صورت دو طبقه است، قطر سیم برابر است با :

$$d^2 = \frac{(b_1 + b_2 - 2)(h_n - 3)}{N_Z} \times 0/36 = \frac{22 \times 23 \times 0/36}{80}$$

$$d^2 = 2/28 \Rightarrow d = 1/5mm$$

درصورتی که ضخامت لاک روی سیم حدود ۰/۱ میلی‌متر باشد. باید از سیم لاکی نمره‌ی ۱/۴ که قطر آن با لاک، ۱/۵ میلی‌متر می‌شود، استفاده کرد.

برای آشنایی بیش‌تر شما با توضیحات داده شده به‌ذکر یک مثال می‌پردازیم.

مثال: محاسبه‌ی تعداد دور و قطر سیم لازم برای سیم‌پیچی یک موتور آسنکرون رتور قفسی به‌صورت دو طبقه و $q = 3$ و با گام کسری و ضریب کوتاهی گام $\varepsilon = \frac{8}{9}$ موردنظر است. سایر مشخصات این موتور عبارت است از :

قدرت خروجی	$P_2 = 18KW$
تعداد شیارهای استاتور	$Z = 54$
قطر دهانه‌ی استاتور	$Di = 250mm$
طول شیار	$l = 150mm$
ولتاژ و نوع اتصال	$\lambda = 380V$
تعداد دور سنکرون	$n_s = 1000\ r.p.m$

راه حل: از روی منحنی‌های ۲ـ۸ و ۳ـ۸ مقدار ضریب بهره $\eta = 0/87$ و ضریب قدرت $\cos\varphi = 0/86$ برای این موتور به‌دست می‌آید.

قدرتی که سیم‌پیچ‌های موتور باید براساس آن طراحی شود، برابر است با :

$$P_{S_1} = \frac{P_2}{\eta . \cos\varphi} = \frac{18}{0/87 \times 0/86} = 24/05\ KVA$$

اگر مقدار C را برای مقادیر داده شده $Di = 25Cm$ و $l = 15Cm$ و $n_s = 1000\ r.p.m$ حساب کنیم، درنتیجه :

$$C = \frac{P_{S_1}}{Di^2 l . n_s} = \frac{24/05 \times 1000}{25^2 \times 15 \times 1000}$$

$$= 2/57 \times 10^{-3}\ \frac{V.A.min}{Cm^3}$$

اگر مقدار C را که از رابطه‌ی بالا به‌دست آمده، در منحنی ۱ـ۸ برای $P_2 = 18KW$ جست‌وجو کنیم، ملاحظه خواهیم کرد که نزدیک به حد بالایی منحنی است. بنابراین، چون این موتور از نوع باز است و عمل تهویه و خنک شدن در آن به‌خوبی انجام می‌گیرد، قدرت انتخابی برای آن مناسب است اما درصورتی‌که موتور از نوع بسته بود و مقدار C نیز همین مقدار به‌دست می‌آمد، برای قدرت موتور می‌بایست اعدادی کم‌تر از ۱۸ کیلووات انتخاب شوند و سپس با محاسبه‌ی اعدادی که برای C به‌دست می‌آیند و انتقال آن‌ها برروی منحنی، توان واقعی موتور را به‌دست آورد.

برای محاسبه‌ی تعداد دور سیم‌پیچ‌های هر فاز استاتور، باید ولتاژ فازی محاسبه شود. ولتاژ خط ۳۸۰ ولت و نوع اتصال آن ستاره است. پس ولتاژی که برروی سیم‌پیچ‌های هر فاز قرارمی‌گیرد، برابر است با :

$$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$$

اندکسیون مغناطیسی در فاصله هوایی برای این موتور در حالت بی‌باری از روی منحنی (۴ـ۸) $B_{max} = 8750G$ درنظر گرفته می‌شود. بدین‌ترتیب، در هر قطب مقدار φ برابر است با :

$$\varphi = \frac{2}{\pi} B_{max} . l . \tau_P = \frac{B_{max} . l . Di}{P}$$

$$\varphi = \frac{8750G \times 25Cm \times 15Cm}{3} = 1/09 \times 10^6 M$$

$$= 1/09 \times 10^{-2} V.S$$

ضریب ولتاژ سیم‌پیچی K نیز از روی جدول ۲ـ۸ برای $P = 3$ و $q = 3$ و ضریب کوتاهی گام $\frac{8}{9}$، برابر با $K = 0/945$ می‌شود.

بدین‌ترتیب، تعداد دور در هر فاز برابر است با :

$$N = \frac{E}{4/44 \times f \times \varphi \times K} = \frac{K'U}{4/44 \times f \times \varphi \times K}$$

$$N=\frac{۰/۹۶\times۲۲۰}{۴/۴۴\times۵۰\times۰/۹۴۵\times۱/۰۹\times۱۰^{-۲}}=۹۲$$ دور

تعداد هادی‌های واقع در هر شیار برابر است با :

$$N_Z=\frac{N}{q.p}=\frac{۹۲}{۳\times۳}=۱۰/۲۲$$

همان‌طور که پیش از این نیز گفته شد، در سیم‌پیچی دو طبقه باید تعداد هادی‌هایی که در هر شیار قرار می‌گیرند، عدد زوج باشد تا تعداد حلقه‌های هر کلاف، عدد صحیح بشود. لذا برای این موتور، $N_Z=۱۲$ و درنتیجه $N=۱۰۸$ را انتخاب می‌کنیم. به این ترتیب، چون در هر شیار دو کلاف قرار می‌گیرد، هر کلاف دارای $\frac{۱۲}{۲}=۶$ حلقه خواهد بود.

برای محاسبه‌ی قطر سیم، باید ابتدا جریانی را که از هر حلقه عبور می‌کند به‌دست آوریم. چون در این‌جا سیم‌پیچ‌ها به‌صورت ستاره بسته شده‌اند. با دانستن ضریب بهره و ضریب قدرت، جریان خط را که با جریان فاز برابر است به‌دست می‌آوریم.

$$I_L=I_{ph}=\frac{P_۲}{۳..\cos..U_{ph}}$$

$$I_{ph}=\frac{۱۸۰۰۰}{۳\times۰/۸۷\times۰/۸۶\times۲۲۰}=۳۶/۵A$$

با انتخاب چگالی جریان $J=۵\frac{A}{mm^۲}$ قطر هادی برابر می‌شود با :

$$d=۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{ph}}{J}}=۱/۱۳\sqrt{\frac{۳۶/۵}{۵}}=۳mm$$

به‌جای یک سیم گرد با قطر ۳mm بدون لاک، می‌توان از دو هادی که به‌صورت موازی با یک‌دیگر پیچیده می‌شوند، استفاده کرد. در این صورت، قطر هادی جدید d' برابر است با :

$$\frac{d}{d'}=\sqrt{۲}\Rightarrow d'=\frac{d}{\sqrt{۲}}$$

$$d'=\frac{۳}{\sqrt{۲}}=۲/۱mm$$

پس از محاسبه‌ی قطر و تعداد دور سیم، باید بررسی کرد که سیم‌های محاسبه شده و عایق در شیارهای استاتور جای می‌گیرند یا خیر. درصورتی که هادی‌ها در درون شیار جای نگیرند و امکان خنک کردن و تهویه‌ی بهتر موتور نیز وجود داشته باشد، می‌توان چگالی جریان را بیش‌تر انتخاب کرد. در غیر این‌صورت، باید موتور را برای قدرت کم‌تری طراحی نمود.

۳ــ۸ــ محاسبه‌ی سیم‌پیچی برای تغییر ولتاژ

گاهی لازم می‌شود که سیم‌پیچی یک موتور را برای یک ولتاژ ــ غیر از ولتاژ نامی ــ تغییر دهیم. در این صورت، با توجه به اطلاعاتی که از سیم‌پیچ قبلی موتور به‌دست می‌آید، باید محاسبات مجددی را برای تعداد دور و قطر سیم‌پیچ جدید انجام دهیم. این مورد با ذکر یک مثال شرح داده می‌شود.

موتوری که ولتاژ آن باید تغییر کند، یک موتور سه‌فاز با رتور قفسی است و لازم است از ولتاژ ۱۲۷/۲۲۰V به ولتاژ ۲۲۰/۳۸۰V تغییر سیم‌پیچی داده شود تا قابل استفاده در ایران باشد. سیم‌پیچی این موتور که در حالت اتصال کلاف‌های آن به‌صورت مثلث، به ولتاژ ۱۲۷ ولت و درصورت اتصال ستاره به‌ولتاژ ۲۲۰ ولت سه‌فازه اتصال پیدا می‌کرد، باید تغییر کند. به‌طوری که درصورت اتصال مثلث به ولتاژ سه‌فازه ۲۲۰ ولت و درصورت اتصال ستاره، به ولتاژ سه فازه ۳۸۰ ولت اتصال یابد. با این تغییر سیم‌پیچی، نوع اتصال (ستاره ــ مثلث) و قدرت و دور آن نباید تغییر کنند. سایر مشخصات این موتور به قرار زیر است :

تعداد قطب‌ها $۲P=۴$ و تعداد شیارها $Z=۳۶$ و تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز $q=۳$ و سیم‌پیچی یک طبقه و هرفاز موتور دارای دو گروه کلاف و هر کلاف نیز از $N_Z=۲۴$ دور تشکیل شده است.

قطر سیم بدون لاک $d=۱/۳$ و جنس آن از مس و سطح مقطع آن بدون لاک $A=۱/۳۲۷mm^۲$ می‌شود.

قطر سیم با لاک $d_{is}=۱/۳۶$ و سطح مقطع آن با لاک برابر با $A_{is}=۱/۴۵۲mm^۲$ است.

سطح اشغال شده در هر شیار، برابر با $N_Z.A_{is}=۲۴\times۱/۴۵۲=۳۴/۸۴۸mm^۲$ است. این سطح باید توسط هادی‌های عایق‌دار جدید پر شود. تعداد کلاف‌های هرفاز $\frac{۳۶}{۳\times۲}$ است. و بنابراین تعداد حلقه‌های کل یک فاز $N=\frac{N_Z.Z}{۲m}=\frac{۲۴\times۳۶}{۲\times۳}=۱۴۴$ دور می‌شود.

با توجه به این که مقادیر مغناطیسی موتور باید ثابت بماند، پس تعداد دور جدید N_2 برابر است با :

$$N_2 = N\frac{U_2}{U} = 144 \times \frac{220}{127} = 249/4 \text{ دور}$$

$$N_{Z2} = \frac{249/4 \times 2 \times 3}{36} = 41/6 \simeq 42 \text{ هادی}$$

سطح مقطع هادی جدید را نیز با توجه به ولتاژ قدیم و جدید می‌توانیم به‌طریق زیر حساب کنیم :

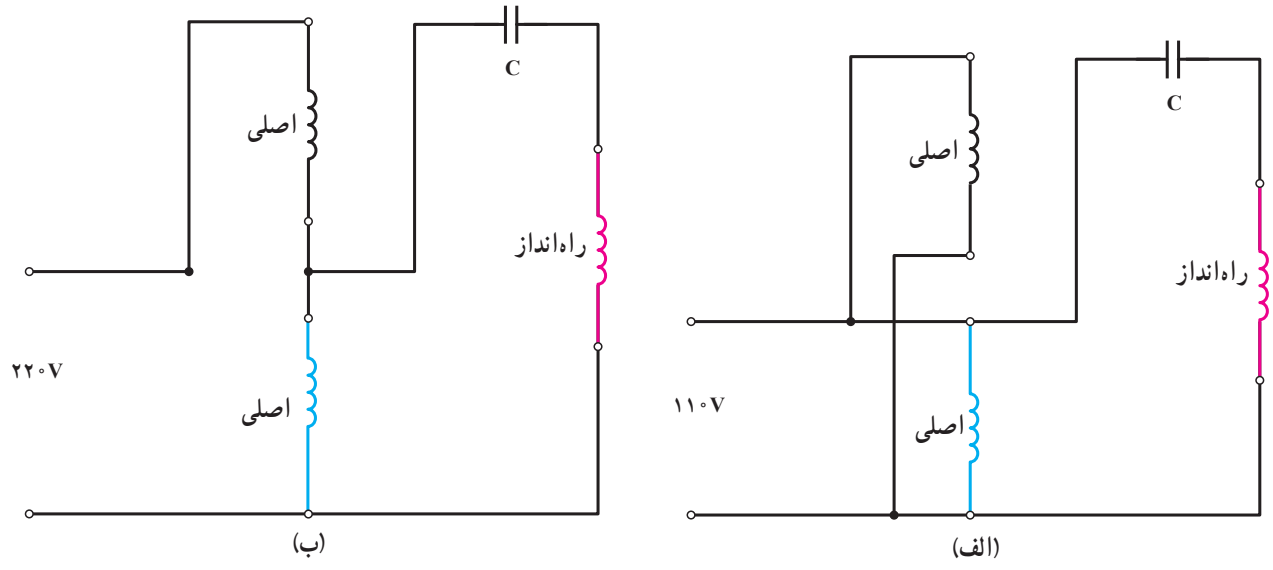
$$A_2 = A_1\frac{U_1}{U_2} = 1/327 \times \frac{127}{220} = 0/767 mm^2$$

سطح مقطع سیم استاندارد برابر با $A_2 = 0/786 mm^2$ و قطر آن $d_2 = 1mm$ است. قطر این سیم با لاک برابر $d_{2is} = 1/06$ و سطح مقطع آن با لاک $A_{2is} = 0/882 mm^2$ می‌باشد و چون باید در هر شیار ۴۲ عدد از این سیم‌ها قرار گیرد، پس سطح کل اشغال شده در هر شیار برابر با $N_{Z_2}.A_{2is} = 42 \times 0/882 = 37/044 mm^2$ خواهد شد. این مقدار ۶ درصد بیش‌تر از سطح اشغالی توسط هادی‌های قبلی است.

درصورتی که شیار جا نداشته باشد و نتوان هادی‌های جدیدی را در درون آن جای داد، باید از سیم با قطر کم‌تر ــ که در این مثال ۰/۹۵ بدون لاک می‌باشد ــ به‌جای سیم یک استفاده کرد. در این حالت، قدرت موتور تا حدود ۹ درصد کاهش می‌یابد.

گاهی موتور را برای دو ولتاژ مختلف ــ که ولتاژ بیش‌تر دو برابر ولتاژ کم‌تر می‌باشد، مثلاً ۲۲۰ و ۴۴۰ ولت ــ سیم‌پیچی می‌کنند. برای این کار، سیم‌پیچ هریک از فازها به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود و در ولتاژ کم‌تر، این دو قسمت با یک‌دیگر به‌صورت موازی و در ولتاژ بیش‌تر، با یک‌دیگر به‌صورت سری قرار می‌گیرند. مثلاً اگر هر فاز موتور دارای ۴ گروه کلاف باشد، برای ولتاژ کم‌تر، هر دو گروه کلاف با یک‌دیگر سری می‌شوند و سپس طوری به هم اتصال پیدا می‌کنند که درمجموع دو مدار موازی را تشکیل دهند اما برای ولتاژ بیش‌تر، باید هر چهار گروه کلاف را با یک‌دیگر به‌صورت سری قرار داد. در این صورت، ولتاژ هر کلاف صرف‌نظر از ولتاژ تغذیه‌ی موتور، همیشه برای ولتاژ کم‌تر و ولتاژ بیش‌تر یکی خواهد بود.

اگر موتور یک فاز باشد، سیم‌پیچ اصلی دو قسمت می‌شود و سیم‌پیچ راه‌انداز نیز برمبنای ولتاژ کم‌تر پیچیده شده ودر هر حالت با یک قسمت از سیم‌پیچ اصلی، به‌صورت موازی قرار می‌گیرد (شکل ۲ــ۸ــ الف و ب).



شکل ۲ــ۸ــ موتور یک فاز با دو ولتاژ کار

۴ــ۸ــ محاسبه سیم‌پیچی برای دور کم‌تر موتور

با افزایش تعداد قطب‌ها از دور موتور کاسته می‌شود و با کم کردن تعداد قطب‌ها دور موتور افزایش می‌یابد. لذا افزایش دورموتور به‌دلیل محدودیت‌های مکانیکی چندان عملی نیست و بنابراین، در این‌جا فقط به کاهش دور موتور از طریق افزایش تعداد قطب‌ها می‌پردازیم.

چنان‌چه در یک موتور بخواهیم سیم‌پیچی را برای تعداد قطب بیش‌تر از حالت نامی تغییر دهیم، سطح زیر هر قطب از حالت اول کم‌تر می‌شود. و با ثابت ماندن اندکسیون در فاصله‌ی هوایی، فوران نیز نسبت به حالت قبل کاهش می‌یابد. در این مورد می‌توان نوشت :

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2}=\frac{\tau_1}{\tau_2}=\frac{2P_2}{2P_1} \qquad (1)$$

(اندیس ۲ در روابط مشخص کننده‌ی حالت دوم یعنی با تعداد قطب بیش‌تر است.)

درصورتی که ولتاژ فازی ثابت بماند، باید حاصل $\varphi.N.K=Const$ باشد. ضریب ولتاژ سیم‌پیچی K فقط به‌مقدار خیلی جزئی با تغییر قطب تغییر می‌کند.

$$\varphi_1 N_1=\varphi_2 N_2 \qquad (2)$$

از ترکیب دو رابطه‌ی ۱ و ۲ می‌توان نوشت :

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1}=\frac{2P_1}{2P_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

درصورت ثابت بودن ولتاژ، تعداد دور سیم‌پیچی، متناسب با تعداد قطب‌ها تغییر می‌کند. افزایش تعداد دور سیم‌پیچی برای هر فاز، باعث کم شدن سطح مقطع سیم نیز می‌شود.

می‌توان چنین نتیجه گرفت که در یک تجدید سیم‌پیچی موتور آسنکرون از تعداد قطب کم‌تر به تعداد قطب بیش‌تر، درصورت ثابت بودن نوع اتصال و اختلاف پتانسیل تغذیه‌ی سیم‌پیچی، تعداد دور سیم‌پیچی یک فاز، سطح مقطع سیم و قدرت موتور براساس روابط زیر محاسبه می‌شوند :

$$N_2=N_1\frac{2P_2}{2P_1}=N_1\frac{n_{s1}}{n_{s2}}$$

$$A_2=A_1\frac{2P_1}{2P_2}=A_1\frac{n_{s2}}{n_{s1}}$$

$$P_{u2}[W]=P_{u1}[W]\frac{2P_1}{2P_2}=P_{u1}[W]\frac{n_{s2}}{n_{s1}}$$

در این فرمول P_u ، توان مفید موتور است.

با اضافه کردن تعداد قطب‌های یک موتور با تجدید سیم‌پیچی، تعداد دور موتور کاهش می‌یابد، موتور خوب خنک نمی‌شود و ضریب قدرت ماشین کم می‌شود.

اگر علاوه بر تغییر قطب یک موتور، لازم باشد که با ثابت ماندن نوع اتصال، ولتاژ تغذیه نیز تغییر کند یا این که با ثابت ماندن ولتاژ شبکه، نوع اتصال نیز تغییر کند، باید ابتدا N_2 و A_2 و P_2 را با کمک روابط گفته شده برای تغییر قطب محاسبه کنیم و پس از آن، محاسبات را برای تغییر ولتاژ درصورت ثابت ماندن توان به‌کار ببریم.

مثال: مقادیر زیر از روی پلاک یک موتور سه‌فاز آسنکرون خوانده شده است.

$P=7KW$

$U=380/220V$

λ/Δ

$I=12/42/21/52A$

$n=1470\ r.p.m$

$\eta=\%86$

$\cos\varphi=0/856$

استاتور دارای $Z=36$ شیار و سیم‌پیچی استاتور به‌صورت یک طبقه است. گروه کلاف‌ها با یک دیگر سری هستند و تعداد آن‌ها برابر با $P=2$ است. کلاف‌ها با سه سیم‌موازی با قطر $d=1/95$ میلی‌متر و ۱۵ دور پیچیده شده‌اند. درنتیجه، در هر شیار ۴۵ سیم وجود دارد. سطح مقطع هر سیم برابر با ۲/۹۸ میلی‌متر مربع و سطح مقطع هر هادی کلاف (سه سیم موازی) $3\times2/98=8/94mm^2$ است.

این موتور را می‌خواهیم برای حالت $2P=6$ قطب مجدداً سیم‌پیچی کنیم. اختلاف پتانسیل و نوع اتصال سیم‌پیچ‌ها تغییری نمی‌کنند.

راه حل: تعداد دور سیم‌پیچ قبلی برای هر فاز برابر است با :

$$N_1 = N\frac{Z}{2m}$$

$$N_1 = 15\frac{36}{2\times 3} = 90 \quad \text{دور}$$

تعداد دور سیم‌پیچی جدید برای هر فاز برابر خواهد شد با :

$$N_2 = \frac{2P_2}{2P_1}N_1 = \frac{6}{4}\times 90 = 135 \quad \text{دور}$$

تعداد هادی‌هایی که در هر شیار واقع می‌شوند، برابر است با :

$$N_{z2} = \frac{N_2\times 6}{Z} = \frac{135\times 6}{36} = 22/5 \quad \text{دور}$$

سطح مقطع هادی جدید برابر است با :

$$A_2 = A_1\frac{2P_1}{2P_2} = 3\times 2/98\times\frac{2}{3} = 5/96\,mm^2$$

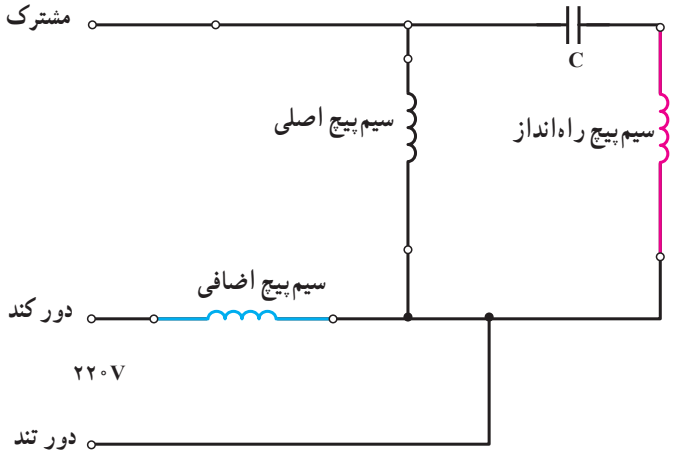
تعداد سیم‌های واقع در هر شیار برای حالت قبل ۴۵ دور بود اما اکنون برای حالت ۶ قطب، تعداد هادی‌های هر شیار ۲۲/۵ و با سطح مقطع $5/96\,mm^2$ است. به‌جای این که این سطح مقطع زیاد را مثلاً از دو سیم موازی با یک‌دیگر به‌دست آوریم، می‌توانیم با دو برابر کردن تعداد هادی هر شیار ($22/5\times 2 = 45$) و نصف کردن سطح مقطع آن ($\frac{5/96}{2} = 2/98$) و سپس موازی کردن دو کلاف هر گروه کلاف با هم، به‌نتیجه‌ی ۴۵ دور از سیم با سطح مقطع $2/98\,mm^2$ برای هر کلاف (یا هر شیار) برسیم که با نتیجه‌ی محاسبه شده نیز برابری می‌کند. بدین ترتیب، دیگر نیازی نیست که تعداد هادی‌های محاسبه شده را به عدد صحیح تبدیل کنیم. هر کلاف از ۴۵ دور سیم تکی با قطر $d = 1/95\,mm^2$ و سطح مقطع $2/98\,mm^2$ پیچیده شده است. سپس دو کلاف هر گروه کلاف با یک‌دیگر موازی می‌شوند و پس از آن سه گروه کلاف با هم به‌صورت سری قرار می‌گیرند. درمجموع، سیم‌پیچ یک فاز شامل ۱۳۵ دور سری و دو راه موازی جریان خواهد بود.

با تغییر قطب، قدرت موتور نیز تغییر می‌کند و نسبت تغییر برابر است با :

$$\frac{P_{u_2}}{P_{u_1}} = \frac{2P_1}{2P_2} = \frac{2}{3}$$

در این‌جا چون تعداد دور موتور کم‌تر شده است و درنتیجه، موتور خوب خنک نمی‌شود، بهتر است قدرت آن باز هم کمی کاهش یابد.

در موتورهای یک فازه، برای تغییر تعداد دور می‌توان از روش تغییر ولتاژ سیم‌پیچی نیز استفاده کرد. با تغییر ولتاژ سیم‌پیچی، شدت میدان مغناطیسی و درنتیجه لغزش موتور تغییر خواهد کرد. بدین منظور، با سری کردن یک سیم‌پیچ اضافی با سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز یا فقط با سیم‌پیچ اصلی می‌توان افت ولتاژ روی سیم‌پیچی و دور را کاهش داد (شکل ۳ــ۸). سیم‌پیچی اضافی ذکر شده می‌تواند در همان شیارهای مربوط به سیم‌پیچ اصلی پیچیده شود.



شکل ۳ــ۸ــ موتور دو دور با سیم‌پیچ تعدیل ولتاژ یک فاز

۵ــ۸ــ محاسبه برای تعویض هادی‌های مسی با آلومینیومی

گاهی لازم می‌شود که بدون تغییر دادن ولتاژ و فرکانس و تعداد قطب‌های موتور، در تجدید سیم‌پیچی به‌جای سیم مسی از آلومینیمی و یا به‌جای سیم آلومینیمی از سیم مسی استفاده کنیم. مثلاً در تجدید سیم‌پیچی یک موتور یک فاز که در آن برای مقاومت اهمی سیم‌پیچ راه‌انداز از سیم آلومینیمی استفاده شده است، به‌علت نداشتن سیم آلومینیمی از سیم مسی استفاده می‌کنیم. در این‌جا ابتدا به بررسی تعویض سیم‌های مسی با آلومینیومی ــ که در عمل به‌ندرت پیش می‌آید ــ می‌پردازیم و سپس عکس آن را شرح می‌دهیم.

اگر بخواهیم با این تغییر در جنس سیم‌پیچی در جریان موتور تغییری حاصل نشود، باید سطح مقطع سیم‌آلومینیمی را بیش‌تر از مس درنظر بگیریم اما چون اندازه‌ی شیار و ضخامت عایق شیار ثابت است و به اندازه هادی‌های اولیه‌ی خود طراحی شده و تعداد هادی‌های آلومینیمی نیز باید به‌همان تعداد هادی‌های مسی باشد، در انجام این کار با مشکل مواجه خواهیم شد. معمولاً نمی‌توانیم سطح مقطع سیم آلومینیمی را بیش‌تر از سطح مقطع سیم مسی بگیریم و مقطع آن با سیم مسی برابر خواهد شد. در این‌صورت، در مقادیر و اندازه‌های الکتریکی ماشین تغییراتی ایجاد خواهد شد. این تغییرات از متفاوت بودن قابلیت هدایت الکتریکی دو فلز نتیجه می‌شود. مقاومت مخصوص آلومینیم از مس بیش‌تر است و بنابراین، چگالی جریان برای هادی آلومینیمی باید کم‌تر از هادی مسی انتخاب شود.

اگر با ثابت بودن تعداد دور و سطح مقطع طول هر دو سیم‌پیچ را مساوی فرض کنیم، در این صورت :

$$R_{Al} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} \times R_{Cu} = \frac{۰/۰۲۷۸}{۰/۰۱۷۵} R_{Cu}$$

$$\Rightarrow R_{Al} = ۱/۵۸ R_{Cu}$$

یعنی اگر به‌جای سیم‌پیچی مسی، یک سیم‌پیچی آلومینیمی با همان مشخصات را قرار دهیم، مقاومت اهمی آن در حدود ۱/۵۸ برابر خواهد شد.

در سیم‌پیچی مسی (سیم‌پیچی اول قبل از تعویض) و در حالت کار نامی موتور، تلفات ژولی سیم‌پیچ‌های هر فاز $R_{Cu}I_۱^۲$ می‌شود که $I_۱$ جریان نامی فازی است و مقدار آن را می‌توان از روی پلاک موتور به‌دست آورد.

چون موتور با سیم‌پیچ آلومینیمی باید به‌همان اندازه گرم شود که با سیم‌پیچ قبلی خود ــ یعنی با سیم‌پیچ مسی ــ گرم می‌شده است، تلفات ژولی در سیم آلومینیمی نیز باید برابر با تلفات ژولی در سیم‌پیچ مسی باشد و چون در این‌جا $R_{Al} > R_{Cu}$ است، پس جریان $I_۲$ ــ یعنی جریان فازی که از سیم‌پیچ آلومینیمی عبور می‌کند ــ باید از $I_۱$ کوچک‌تر باشد.

بنابراین، برای این که موتور پس از سیم‌پیچی مجدد با سیم آلومینیمی، به همان اندازه‌ی نامی اولیه گرم شود، باید $I_۲ = ۰/۷۹۵۵ I_۱$ باشد. در حالت استفاده از سیم آلومینیمی به‌جای سیم مسی، جریان ۲۰/۴۵ درصد کوچک‌تر می‌شود و به‌همین ترتیب، قدرت موتور نیز کاهش می‌یابد. با توجه به این موضوع، یک موتور با سیم‌پیچی مسی و با قدرت $P_{n۱} = ۱۰۰KW$ پس از تجدید سیم‌پیچی توسط سیم آلومینیمی و با تعداد دور و سطح مقطع مساوی سیم مسی و با همان ولتاژ و اندازه‌های عایق اولیه اگر قدرتی برابر با $P_{n۲} = ۷۹/۵۵KW$ داشته باشد، به‌همان اندازه‌ی نامی گرم خواهد شد و صدمه‌ای نخواهد دید پس نتیجه می‌گیریم که با تعویض یک سیم‌پیچ مسی با سیم آلومینیمی در اندازه‌های مساوی، مقاومت اهمی هر فاز حدود ۵۸ درصد افزایش می‌یابد و باید از جریان نامی و هم‌چنین قدرت موتور به اندازه‌ی ۲۰/۴۵ درصد نسبت به سیم‌پیچی مسی کاست. به‌همین جهت، از این حالت به‌ندرت در عمل استفاده می‌شود.

مثال: سیم‌پیچی مسی یک موتور سه‌فاز آسنکرون رتور قفسی باید با سیم آلومینیمی تعویض شود، بدون این که اندازه‌های سیم و عایق و نوع اتصال و ولتاژ شبکه تغییر کنند. مقادیر نامی ماشین عبارت است از :

$$P_n = ۱۸/۴KW \quad U = ۳۸۰/۲۲۰V \quad Y/\Delta$$

$$\eta = ۸۴/۸٪ \quad I = ۳۵/۶ \diagup ۶۱/۶A$$

پس از تعویض سیم‌پیچی با سیم آلومینیمی، موتور دارای مقادیر نامی زیر باید باشد تا حرارت آن بیش‌تر از حد مجاز نشود.

$$P_n = ۱۴/۶KW \quad U = ۳۸۰/۲۲۰V \quad Y/\Delta$$

$$I = ۲۸/۳/۴۹A \quad \text{و}$$

۶ــ۸ــ محاسبه برای تعویض هادی‌های آلومینیمی با مسی

آن چه در حالت قبل درمورد جایگزینی سیم آلومینیمی به‌جای سیم مسی گفتیم، درموردی بود که سطح مقطع سیم و قطر عایق روی آن و عایق داخل شیارها در هر دو حالت یکی باشد. درنتیجه، از نظر ابعاد شیار در جا زدن سیم‌ها در داخل شیار، اشکالی پیش نمی‌آمد. حال می‌خواهیم بررسی کنیم که اگر سیم‌پیچ اولیه از آلومینیم باشد و به‌جای آن بخواهیم از سیم مسی استفاده کنیم، در قطر سیم چه تغییری ایجاد می‌شود.

چون قابلیت هدایت مس، از آلومینیم بیش‌تر است، می‌توان به‌جای سیم آلومینیمی از یک سیم مسی با سطح مقطع کم‌تری استفاده کرد در این‌صورت در هنگام جا زدن کلاف‌ها در شیارها نیز مشکلی پیش نخواهد آمد. اگر با ثابت بودن تعداد دور سیم‌پیچی، طول دو سیم‌پیچ را برابر قرار دهیم، می‌توانیم قطر سیم مسی را که باید جایگزین سیم آلومینیمی شود، بدون تغییری در جریان یا قدرت موتور به‌دست آوریم.

$$R_{Al} = R_{Cu} \Rightarrow \cdot_{Al} . L_{Al}/A_{Al} = \cdot_{Cu} L_{Cu}/A_{Cu}$$

و $L_{Al} = L_{Cu}$

$$\frac{A_{Al}}{A_{Cu}} = \frac{\cdot_{Al}}{\cdot_{Cu}} \quad \text{و} \quad A_{Al} = \frac{d^{۲}_{Al}..}{۴} \quad \text{و}$$

$$A_{Cu} = \frac{d^{۲}_{Cu}..}{۴} \Rightarrow \frac{d^{۲}_{Al}}{d^{۲}_{Cu}} = \frac{۰/۰۲۷۸}{۰/۰۱۷۵}$$

$$\Rightarrow d_{Cu} = ۰/۷۹۳ d_{Al}$$

یعنی اگر به‌جای سیم آلومینیمی از سیم مسی با قطر محاسبه شده استفاده کنیم، در جریان و قدرت نامی موتور تغییری حاصل نمی‌شود و موتور نیز بیش‌تر از مقدار نامی گرم نخواهد شد. درعین حال، چون سطح مقطع سیم نیز کم‌تر شده است، به‌راحتی در داخل شیارها جای خواهند گرفت. حتی می‌توان قطر سیم‌مسی را کمی بیش‌تر از مقدار گفته شده در نظر گرفت و بدین ترتیب، قدرت موتور را تا حدودی افزایش داد.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

عیب‌یابی موتورهای الکتریکی

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ عیب‌های مکانیکی را تشخیص دهد و رفع کند.

۲ــ عیب‌های الکتریکی را تشخیص دهد و رفع کند.

۹ــ عیب‌یابی موتورهای الکتریکی

تشخیص عیب و رفع آن در ماشین‌های الکتریکی اهمیت خاصی دارد. به همین دلیل این مبحث در کتاب حاضر در یک فصل جداگانه آمده است. تشخیص عیب در اولین مرحله کار تعمیراتی است و رفع آن در مرحله‌ی بعدی قرار دارد.

یافتن عیب موتورها را می‌توان به تشخیص نوع بیماری یک فرد توسط پزشک تشبیه کرد تا پزشک بیماری را به درستی تشخیص ندهد، نمی‌تواند برای بهبود بیمار قدمی بردارد و تمام نسخه‌هایی که می‌نویسد، تأثیری در بهبود وضع بیمار نخواهد داشت. به همین ترتیب، اگر عیب اصلی ماشین شناخته نشود یا ماشین را نمی‌توان تعمیر کرد و یا اگر به دلیل وجود آن عیب، عیب دیگری پیدا شود و ما آن عیب دومی را برطرف کنیم، موتور مجدداً معیوب می‌شود و به همان حالت اول در می‌آید ؛ مثلاً اگر محور موتور لنگی داشته باشد، بلبرینگ‌ها و بوش‌ها را خراب خواهد کرد. در این‌جا اگر، به جای رفع عیب اصلی ــ یعنی کجی محور موتور ــ فقط به تعویض بلبرینگ‌ها یا بوش‌ها بپردازیم، چون محور موتور هم‌چنان کج است دوباره بعد از مدتی، رتور بوش‌ها و بلبرینگ‌ها را خراب خواهد کرد.

کسب مهارت در عیب‌یابی بیش‌تر در اثر تجربه‌ی عملی به‌دست می‌آید نه با خواندن کتاب و جزوه اما به هر حال، آگاهی از برخی نکات کلی و عمومی در این زمینه برای کسانی که تازه می‌خواهند این کار را شروع کنند، بسیار مفید است.

البته به دلیل محدود بودن حجم کتاب و زمان آموزش دراین‌جا فقط به ذکر مطالب کلی و آن هم به اختصار اکتفا شده است. لذا کسانی که مایل به یادگیری مطالب بیش‌تری در این زمینه هستند، می‌توانند به منابع موجود مراجعه کنند.

برای تشخیص عیب، روش‌های مختلفی وجود دارد. بعضی عیب‌ها را فقط با مشاهده‌ی عینی می‌توان تشخیص داد. تعداد دیگری را از روی تغییر خصوصیات الکتریکی و تعدادی را با صدای مخصوصی که در هنگام کار تولید می‌کنند.

بنابراین نظریه‌ی عیب‌یابی از راه‌های مختلف صورت می‌گیرد که ما در این‌جا در بخش عیب‌های مکانیکی از روش مشاهده‌ی عینی و آزمایش با دست و در بخش عیب‌های الکتریکی از روش تغییر خصوصیات الکتریکی برای عیب‌یابی ماشین‌ها استفاده خواهیم کرد.

به طورکلی هر وسیله‌ی الکتریکی ممکن است دو نوع عیب عمده پیدا کند : الف ــ عیب در قطعات مکانیکی (عیب‌های مکانیکی) ب ــ عیب در مسیر جریان (عیب‌های الکتریکی).

۱ــ۹ــ تشخیص عیب‌های مکانیکی و رفع آن‌ها

عیب‌های مکانیکی ناشی از خرابی قطعات متحرک و غیرمتحرک است. این قطعات را که به دلایل مختلفی ممکن است خراب شوند، باید تعمیر یا تعویض کرد. در این جا به برخی از این خرابی‌ها و دلایل عمده‌ی آن‌ها اشاره می‌کنیم.

۱ــ۱ــ۹ــ شکستگی بدنه و درپوش‌ها (قالپاق‌ها):

شکستگی بدنه یا درپوش‌ها معمولاً در اثر ضربه‌های ناگهانی ناشی از برخورد جسمی به ماشین یا فشار بیش از حد وسیله‌ای بر روی بدنه یا قالپاق‌های آن و عواملی نظیر این‌ها به وجود می‌آید. معمولاً حجم قطعه‌ی شکسته شده کمی افزایش می‌یابد و شکستگی قطعه‌ای مانند قالپاق در بعضی مواقع باعث به هم خوردن تعادل ماشین می‌شود و تعدادی از قطعات متحرک و بعضی قطعات غیرمتحرک آن، جابه‌جا می‌شوند.

برای تشخیص این عیب باید همه‌ی قسمت‌های بدنه و درپوش‌ها را دقیقاً وارسی کرد در صورت مشاهده ترک یا شکستگی در بدنه، باید آن را در صورت امکان جوش دهیم و درصورت مشاهده‌ی شکستگی در قالپاق‌ها باید آن‌ها را عوض کنیم. بنابراین، در هر موتور معیوب باید ابتدا بدنه و درپوش‌ها را کاملاً بازدید کرد و در صورت سالم بودن آن‌ها به سراغ قطعه‌های دیگر رفت.

۲ــ۱ــ۹ــ خرابی بلبرینگ‌ها، بوش‌ها و یاتاقان‌ها:

این قطعات در موتور دو وظیفه‌ی مهم به عهده دارند : اول، تکیه‌گاه هستند و فشار وارد شده را تحمل می‌کنند ؛ دوم اصطکاک میان قطعات ثابت و متحرک را کاهش می‌دهند. به همین دلیل، بازرسی منظم و روغن‌کاری و سرویس مرتب آن‌ها نقش مهمی در کارکرد مناسب موتور دارد و امری ضروری است. تناوب روغن‌کاری و گریس‌کاری به عوامل مختلفی از جمله زمان کارکرد مؤثر، شرایط آب و هوا و نظیر این‌ها بستگی دارد. معمولاً کارخانه‌های سازنده، دستورالعمل مربوط به فواصل منظم روغن‌کاری، نوع روغن گریس‌کاری و نوع گریس و شرایطی که موتور برای کارکردن در آن ساخته شده است را در کاتالوگ دستگاه ذکر می‌کنند. باید تا حدّ ممکن این دستورالعمل‌ها را به‌طور دقیق اجرا کرد.

در صورت خرابی وسایل یاد شده، معمولاً موتور به سختی حرکت می‌کند یا هنگام کار، لرزشی غیرعادی دارد و ممکن است صدایی غیرعادی ایجاد کند.

خرابی بلبرینگ‌ها، بوش‌ها و یاتاقان‌ها به سه دلیل عمده‌ی زیر ممکن است اتفاق بیفتد :

الف : نرسیدن به موقع روغن یا گریس به این قطعات روغن‌کاری یا گریس‌کاری نامناسب.

ب : استفاده از موتور در محیطی کثیف‌تر از آن‌چه موتور برای آن ساخته شده است.

پ : فشار بار بیش از حد روی موتور.

الف : در مورد روغن‌کاری و گریس‌کاری به موقع اولین چیزی که باید مورد توجه قرار گیرد، دستورالعمل کارخانه‌ی سازنده است. روغن‌کاری باید با تناوبی که در دستورالعمل سرویس و نگه‌داری وسیله آمده و با همان نوع روغنی که کارخانه ذکر کرده است، انجام گیرد. اگر روغن به موقع و به اندازه‌ی کافی و نوع مناسب به این قطعات نرسد، در محل سایش به یک‌دیگر و در اثر اصطکاک بیش از حد، گرمای زیادی ایجاد می‌شود که ممکن است باعث انبساط و در نتیجه خرابی و شکستگی همان قطعات و حتی دیگر قسمت‌های موتور بشود.

علاوه بر رعایت فواصل منظم روغن‌کاری و استفاده از روغن مناسب، عامل دیگری که باید در نظر گرفته شود، چگونگی نصب موتور است. گاهی پیش می‌آید که علی‌رغم این که موتور را به طور منظم و در فواصل زمانی کم و با روغن مناسب روغن‌کاری می‌کنیم اما بلبرینگ‌های موتور مرتباً خراب می‌شوند. دلیل این امر ممکن است این باشد که موتور به طور صحیح نصب نشده است.

برای مثال، اگر موتوری را که برای نصب عمودی ساخته شده است روی پایه‌ی افقی نصب کنند، به دلیل غلط قرار گرفتن محفظه‌ی روغن، به رغم روغن‌کاری مرتب، روغن به قسمت‌های

لازم نمی‌رسد و در نتیجه بلبرینگ‌ها یا یاتاقان‌ها خراب می‌شوند.

بنابراین، در مواردی قبل از تعویض بلبرینگ‌ها و سایر قطعات خراب شده باید توجه کنیم که موتور تحت همان شرایطی نصب شده باشد که برای آن ساخته شده است.

ب : بسته به این که موتور در چه محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً درپوش‌ها و حفاظ موتور را متناسب با محیطی که موتور در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌سازند. مثلاً نوع بدنه و درپوش موتور پمپی که باید در داخل چاه آب قرار گیرد و آب را پمپ کند با بدنه و درپوش‌های موتور پمپ یک دستگاه شوفاژ که در معرض رطوبت و آب کم‌تری است، متفاوت ساخته می‌شود و نمی‌توان موتوری را که برای کار اول ساخته شده است در محیط دوم به‌کار برد و به‌عکس یا مثلاً نمی‌توان موتور یک دستگاه ماشین تراش را در یک دستگاه ماشین سنگ خردکنی که محیط غبارآلودی است به کار برد ؛ حتی اگر قدرت آن‌ها با هم برابر باشد.

بنابراین، اگر به موتوری برخوردیم که به رغم روغن‌کاری منظم بلبرینگ‌ها یا سایر قطعات آن زود خراب می‌شود، قبل از تعویض بلبرینگ‌ها و سایر قطعات باید توجه کنیم که آیا نوع بدنه درپوش‌ها، بلبرینگ‌ها با محیطی که موتور در آن کار می‌کند متناسب است یا نه. در صورت نامناسب بودن موتور، عاقلانه‌ترین کار تعویض آن با موتوری است که متناسب با محیط مورد نظر باشد. در صورتی که این کار ممکن نباشد، باید ابتدا حفاظ مناسبی برای نگهداری موتور در برابر نفوذ آب و گردوغبار و غیره بسازیم و سپس به فکر تعویض قطعات خراب شده بیفتیم. به هر حال، درشرایطی که تحت تأثیر عوامل خارج از کنترل ما، موتور باید درشرایطی نامطلوب‌تر از آن‌چه برای آن ساخته شده است کار کند، روغن‌کاری بیش‌تر، به کار کرد بهتر موتور کمک خواهد کرد ؛ گرچه این راه حل اصلی مشکل نیست.

پ : وارد شدن فشار و بار بیش از حد روی موتور. چنان‌چه در یک موتور به رغم روغن‌کاری صحیح و کار کردن موتور در محیط مناسب با خراب شدن مکرر بلبرینگ‌ها و یاتاقان‌ها روبه‌رو می‌شویم، به ویژه اگر این امر همراه با شکستگی بلبرینگ‌ها و تاب برداشتن محور موتور باشد، دلیل خرابی، به احتمال زیاد وارد آمدن بار بیش از حد روی موتور است. در این‌گونه موارد، باید به دو مطلب توجه کنیم ؛ اول این که بار زیادتر از حد مجاز به موتور داده نشود و دوم این که نصب موتور چه از نظر افقی و عمودی بودن و چه از نظر محکم بودن در جای خود و عدم لرزش، صحیح باشد. در صورتی که موتور صحیح نصب نشده یا لرزش داشته باشد، فشار بیش‌تری به بلبرینگ‌ها و یاتاقان‌ها وارد می‌آید و موجب سوختن یا شکستگی آن‌ها می‌شود. در این‌گونه موارد، باید ابتدا موتور را به طرز صحیح و محکم نصب کرده و سپس قطعات خراب شده را تعویض کرد.

علاوه بر موارد ذکر شده اگر بار قرار گرفته روی محور موتور دارای لنگی باشد، چنین معایبی را سبب می‌شود. برای تشخیص دادن خرابی بلبرینگ‌ها، بوش‌ها و یاتاقان‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد. ابتدا با مشاهده‌ی عینی و نگاه کردن سالم یا معیوب بودن قطعات یاد شده را می‌توان تشخیص داد. مثلاً اگر ساچمه‌های یک بلبرینگ ریخته باشند به وضوح مشاهده می‌شود که بلبرینگ خراب است تشخیص یا شکسته بودن بوش نیز به همین صورت امکان‌پذیر است.

در صورتی که با چشم نتوان عیب‌های فوق را تشخیص داد، باید با آزمایش‌های ساده معین کرد که این وسایل خراب هستند یا نه. برای این کار ابتدا محور موتور را به طرف چپ و راست می‌چرخانیم تا ببینیم موتور به راحتی می‌گردد یا نه یا این‌که صدای غیرعادی از آن ایجاد می‌شود یا نه. در صورتی که حرکت رتور سخت بوده یا صدای غیرعادی داشته باشد، امکان خرابی بوش‌ها یا بلبرینگ‌ها وجود دارد. بالاخره در مرحله‌ی آخر محور موتور را به سمت بالا یا پایین حرکت می‌دهیم تا ببینیم محور موتور لقی دارد یا نه (لقی حدود ۰/۳۹ میلی‌متر طبیعی است). در صورتی که لقی داشته باشد حتماً یکی از وسایل آن معیوب شده است که باید آن را تعویض کرد. پس از تعویض نیز باید مجدداً آن‌ها را روغن‌کاری یا گریس‌کاری نمود و در نهایت، عللی را که باعث خرابی آن‌ها شده است (مانند کار زیاد از حد، بار نامتعادل روی محور رتور، زنگ‌زدگی و غیره) از بین برد.

۳ــ۱ــ۹ ــ لنگی محور رتور: گاهی به دلیل خرابی بلبرینگ‌ها، بوش‌ها و یاتاقان‌ها لنگی بار (نامتعادل بودن باری که روی محور موتور وصل شده است)، رتور کمی تاب برمی‌دارد و از حد تعادل مکانیکی خارج می‌شود. که در اصطلاح می‌گویند محور از بالانس خارج شده است. در این حالت، لرزش موتور به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و تکیه‌گاه‌ها را خراب می‌کند.

معمولاً در چنین حالتی موتور راحت نمی‌چرخد و تولید صدا نیز می‌کند. لنگی محور رتور گاهی آن‌قدر زیاد است که با چشم می‌توان آن را دید.

اگر لنگی محور رتور را با چشم نتوان تشخیص داد، می‌توان رتور را از بدنه جدا کرد و سپس به دستگاه بالانس یا دستگاه دیگری که در دسترس باشد (مانند ماشین تراش) وصل کرد و لنگی آن را تشخیص داد.

در این صورت، پس از بستن رتور به ماشین تراش آهسته سه نظام را به حرکت در می‌آوریم. اگر رتور لنگی داشته باشد به‌خوبی مشخص می‌شود. در صورت خم شدگی محور رتور باید آن را تعویض کرد.

۴ــ ۱ــ۹ــ در گیرشدن رتور با استاتور: رتور با فاصله‌ی هوایی بسیار کمی (حدود چند دهم میلی‌متر) از استاتور جدا می‌شود. این فاصله‌ی هوایی در سطح جانبی داخل استاتور باید به یک اندازه باشد. گاهی به دلیل خرابی بلبرینگ‌ها، بوش‌ها یا جابه‌جا شدن قالپاق‌های موتور و شکستگی آن‌ها رتور از حالت تعادل خارج شده و با استاتور درگیر می‌شود. علاوه بر این، جابه‌جا شدن ورقه‌های استاتور یا پر شدن فاصله‌ی هوایی با گردوخاک یا کثیف شدن سطح رتور یا استاتور نیز می‌تواند عامل درگیری رتور با استاتور باشد. این جریان معمولاً با صدا همراه است. در ضمن، موتور در این حالت به سختی حرکت می‌کند. اگر این عیب به‌سرعت برطرف نشود، استاتور و سطح رتور خراب خواهد شد.

به علاوه، این امر به سرعت موجب خراب شدن بلبرینگ‌ها نیز می‌شود. برای تشخیص این عیب می‌توان رتور را به چپ و راست چرخاند. در صورتی که رتور آزاد نشود و صدای درگیر شدن نیز بدهد، حتماً یکی از عیب‌های ذکر شده را دارد.

۲ــ۹ــ تشخیص عیب‌های الکتریکی و رفع آن

بعد از این‌که مطمئن شدیم ماشین الکتریکی ما عیب مکانیکی ندارد، به سراغ عیب‌های الکتریکی خواهیم رفت. عیب‌الکتریکی در مسیرهای جریان برق به وجود می‌آید. این عیوب عموماً به سه صورت زیر ممکن است ایجاد شوند :

الف : قطع شدگی

ب : اتصال بدنه

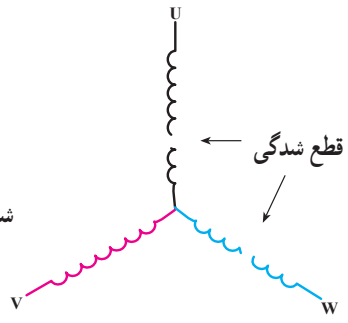
پ : اتصال کوتاه حلقه‌ها

برای تشخیص نوع عیب می‌توان از تغییراتی که در خصوصیات کار موتور پدیدار می‌شوند، استفاده کرد. در این‌جا عیوب عمومی موتورهای سه فاز و یک‌فاز و حتی در برخی موارد تنها عیوب موتورهای سه فازه ذکر خواهد شد ؛ زیرا موتورهای یک‌فازه معمولاً عیب‌هایی پیدا می‌کنند که نظیر آن‌ها در موتور سه‌فاز به وجود نمی‌آید. به این دلیل، عیب‌یابی موتورهای یک‌فاز جداگانه گفته خواهد شد.

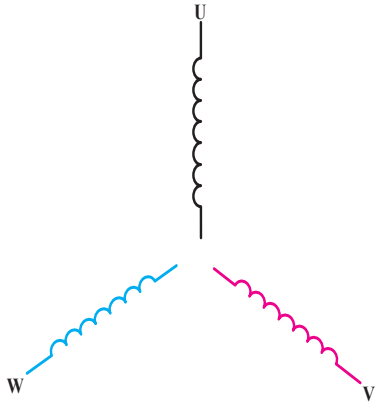
۱ــ۲ــ۹ــ موتورهای سه فاز: برای مشاهده‌ی تغییر خصوصیات کار، باید ابتدا در مسیر هر یک از فازها یک آمپرمتر مناسب به همراه فیوز قرار داد و سپس موتور را برای چند لحظه کوتاه به ولتاژ نامی وصل کرد. با اتصال موتور برای چند لحظه به‌برق اتفاقات زیر ممکن است رخ دهند.

الف: موتور هیچ‌گونه عکس‌العملی از خود نشان ندهد و آمپرمترها نیز هیچ‌گونه جریانی را نشان ندهند.

۱ــ *اتصال ستاره:* در این حالت در مسیر سیم‌پیچی فازها قطع شدگی وجود دارد که ممکن است مانند شکل ۱ــ۹ این قطع شدگی در داخل کلاف‌ها یا مانند شکل۲ــ۹ در نقطه‌ی صفر ستاره باشد. برای کسب اطمینان از قطع شدگی باید مقاومت بین دو فاز را اندازه گرفت.

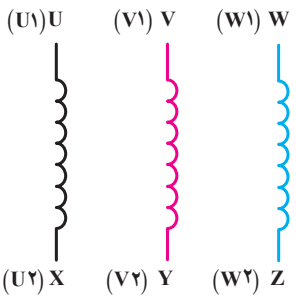


شکل ۱ــ۹ــ قطع شدگی در سیم‌پیچ یک فاز



شکل ۲ــ۹ــ قطع شدگی در محل نقطه‌ی صفر ستاره

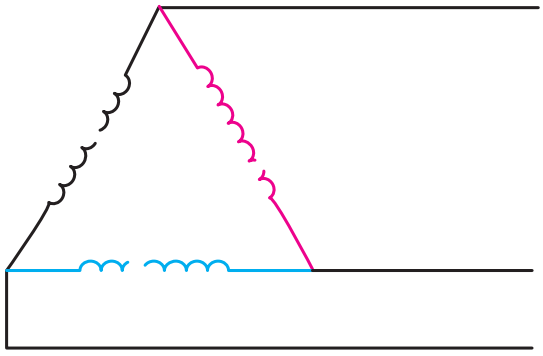
در این حالت، مقاومت بین دو فاز باید . باشد. برای این‌کار می‌توان از اهم‌متر یا یک لامپ سری با سیم‌پیچ هر فاز استفاده کرد. بدین ترتیب باید اتصالات سر و ته گروه کلاف‌های موتور را از یک‌دیگر جدا کنیم و سپس مانند شکل ۳ــ۹ مقاومت اتصالات گروه کلاف‌های هر سیم‌پیچ را اندازه بگیریم. درصورتی‌که مقدار مقاومت در هر یک از گروه کلاف‌ها بی‌نهایت باشد (در آزمایش با لامپ، لامپ روشن نشود) قطع شدگی درداخل گروه کلاف خواهد بود.



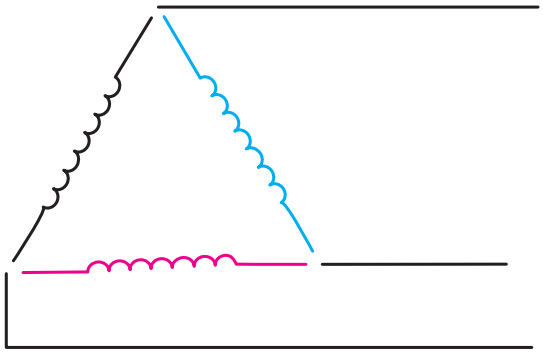
شکل ۳ــ۹ــ قطع شدگی در سیم‌پیچ یک فاز

در اغلب موارد باید سیم‌پیچی موتوری را که سیم‌پیچ‌های آن قطع‌شدگی دارند، تجدید کرد. اگر مقاومت بین $U-X$ و $V-Y$ و $W-Z$ حدود اهم باشد، علت نشان ندادن آمپرمترها، باز بودن نقطه‌ی صفر ستاره است که باید این نقاط را با دقت به‌یکدیگر وصل کرد و سپس با اهم‌متر مقاومت بین دو فاز را مجدداً اندازه گرفت. اگر مقدار مقاومت حدود اهم بود، موتور سالم است.

۲ــ *اتصال مثلث:* اگر اتصال موتور مثلث باشد و آمپرمترها هیچ جریانی را نشان ندهند، قطع‌شدگی یا مانند شکل ۴ــ۹ در هر سه گروه کلاف فازها یا این‌که مانند شکل ۵ــ۹ در محل اتصال گروه کلاف‌های فازها به یکدیگر است.

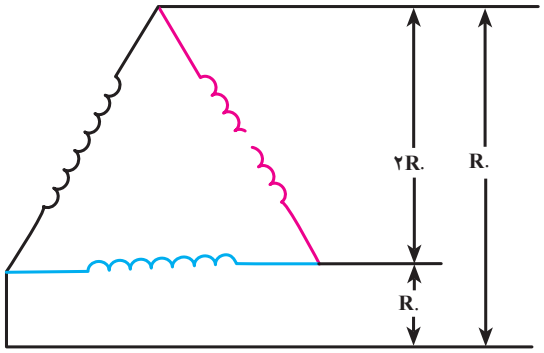


شکل ۴ــ۹ــ قطع شدگی در هر سه سیم‌پیچ



شکل ۵ــ۹ــ قطع شدگی در محل اتصال سیم‌پیچ‌ها

ب: بعد از وصل موتور سه فازه به شبکه، موتور راه نیفتاده است ولی ارتعاش می‌کند و صدا می‌دهد. اگر اتصال کلاف‌های موتور به صورت ستاره باشد و یکی از آمپرمترها جریانی را نشان ندهد، رتور را با دست در یک جهت گردش در می‌آوریم. موتور در همان جهت شروع به حرکت خواهد کرد. نتیجه می‌گیریم که گروه کلافی که آمپرمتر آن جریانی را نشان ندهد، قطع شده است. در این صورت، با دنبال کردن مسیر جریان می‌توانیم محل قطع‌شدگی را که در سیم‌های رابط و یا در کلاف موتور است پیدا کنیم. در صورتی که اتصال کلاف‌های موتور به صورت مثلث باشد و آمپرمترها نیز مقادیر مختلفی را نشان بدهند، احتمالاً یکی از کلاف‌های موتور قطع است که می‌توان مانند شکل ۶ــ۹



شکل ۶ــ۹ــ قطع شدگی در سیم‌پیچ یک فاز

با اندازه‌گیری مقاومت گروه کلاف‌های هر فاز، گروه کلاف قطع شده را تشخیص داد.

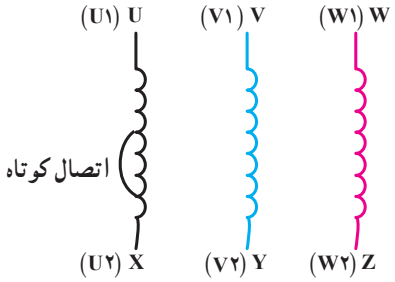
دو سر کلافی که در آن قطع‌شدگی اتفاق‌افتاده باشد، دوبرابر دیگر کلاف‌ها، از خود مقاومت نشان می‌دهد.

پ: بعد از وصل موتور سه فاز به شبکه، موتور راه افتاده است ولی به دور نامی نمی‌رسد.

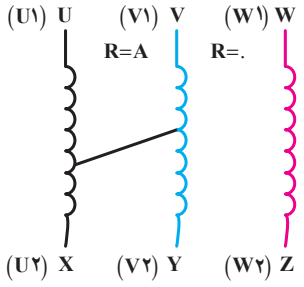
معمولاً اتصال بدنه یا اتصال کوتاه حلقه‌ها می‌تواند چنین اشکالی را به بار آورد. منظور از اتصال بدنه در این‌جا یعنی این‌که یکی از حلقه‌های سیم‌پیچی در موتور به بدنه اتصال پیدا کرده است.

برای پیدا کردن اتصال بدنه می‌توانیم از یک مگر (مگا اهم‌متر) استفاده کنیم. بدین ترتیب که یک سر سیم مگر را به بدنه موتور و سر دیگر را به تک‌تک فازها وصل می‌کنیم و دسته‌ی مگر را می‌چرخانیم. اگر عقربه‌ی مگر حدود صفر را نشان دهد، معلوم می‌شود که در آن قسمت اتصال بدنه وجود دارد. پس از این‌که مطمئن شدیم در موتور اتصال بدنه وجود ندارد، باید اتصال بین حلقه‌های یک فاز یا دو فاز با هم‌دیگر را به دلیل خراب شدن عایق‌ها بررسی کنیم. برای تشخیص اتصال حلقه‌های یک فاز اتصال بین گروه کلاف‌های هر سه فاز موتور را مانند شکل ۷ــ۹ باز کرده و مقاومت هر سه سیم‌پیچی را به طور جداگانه اندازه می‌گیریم. باید مقاومت گروه کلاف هر سه فاز با هم برابر باشد. هر گروه کلافی که مقاومت آن از دو گروه کلاف دیگر کم‌تر بود، حلقه‌ها در آن اتصال کوتاه شده‌اند.

برای تشخیص اتصال کوتاه بین حلقه‌های مربوط به دو فاز، ابتدا اتصال بین گروه کلاف‌های هر سه فاز را باز می‌کنیم و سپس مقاومت بین گروه کلاف‌ها را نسبت به یکدیگر اندازه می‌گیریم. مقدار مقاومت باید بی‌نهایت یا حدود مگا اهم باشد (شکل ۸ــ۹).



شکل ۷ــ۹ــ اتصال کوتاه در سیم‌پیچ یک فاز



شکل ۸ــ۹ــ اتصال کوتاه در سیم‌پیچ‌های دو فاز

کلافی که در آن اتصال حلقه وجود دارد، معمولاً تغییر رنگ می‌دهد و از این طریق می‌توان پس از پیاده کردن موتور نیز به این اشکال پی‌برد.

در ضمن برای تشخیص اتصال کوتاه حلقه‌ها می‌توان از دستگاهی به نام پروف‌رکس نیز استفاده کرد. برای این کار پروف‌رکس را در داخل استاتور و مماس با آن می‌چرخانند. به‌محض تماس پروف‌رکس با شیاری که یک ضلع کلاف معیوب در آن است چراغ آن روشن می‌شود یا صدای آن تغییر می‌کند. معمولاً اتصال کوتاه حلقه‌ها را نمی‌توان تعمیر کرد و باید تجدید سیم‌پیچی شود. بعضی مواقع علاوه بر اتصال کوتاه حلقه‌ها ممکن است اتصال بدنه نیز در موتور وجود داشته باشد.

ت: بعد از وصل موتور سه فاز به شبکه یک یا دو یا هر سه فیوز می‌سوزند. در این حالت، ممکن است در نقاطی از موتور

اتصال بدنه یا اتصال کوتاه حلقه‌ها وجود داشته باشد که می‌توانیم با دستگاه مگر ابتدا وجود یا عدم وجود اتصال بدنه را آزمایش کنیم. اگر پس از آزمایش معلوم شد که اتصال بدنه وجود ندارد، باید آزمایش اتصال کوتاه حلقه‌ها را انجام داد و به نوع عیب پی‌برد.

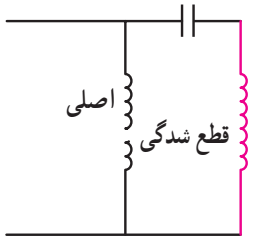
ث: موتور بعد از راه‌اندازی صدای غیرعادی می‌دهد ؛ در این حالت، معمولاً موتور جریان زیادتر از حد نرمال را تحمل کرده است و بعد از مدت کمی داغ کرده و دود می‌کند. دراین‌صورت، به احتمال زیاد موتور اتصال بدنه یا اتصال کوتاه حلقه دارد و با آزمایش‌های مربوط می‌توان به وجود هر یک از این دو عیب پی‌برد.

ج: موتور در حالت بی‌باری راه می‌افتد ولی زیر بار می‌ایستد. در موتور تعدادی از کلاف‌ها اتصال کوتاه شده‌اند و احتمال اتصال بدنه نیز می‌رود. باید در هر دو مورد آزمایش مربوطه را انجام داد.

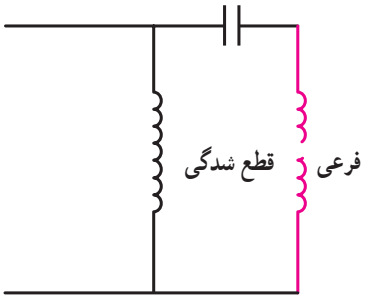
۲ــ۲ ــ۹ــ موتورهای یک‌فازه: همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، موتورهای یک‌فاز براساس سیستم راه‌اندازی از موتورهای سه فاز متمایز می‌شوند. در این‌جا عیب‌یابی موتورهای یک‌فاز را براساس سیستم راه‌اندازی به طریق زیر مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

الف ــ موتورهای خازن‌دار: برای تشخیص عیب موتورهای یک‌فازه‌ی خازن‌دار نیز با وصل کردن آن‌ها برای چند لحظه به ولتاژ نامی و اندازه‌گیری جریان آن و مشاهده‌ی تغییرات کار موتور می‌توان عیب را تشخیص داد و به رفع آن پرداخت. بعد از وصل کردن موتور به شبکه، ممکن است حالت‌های زیر پیش‌آید :

۱ــ موتور صدای هوم می‌دهد ولی راه نمی‌افتد : در این حالت ممکن است سیم‌پیچی اصلی (شکل ۹ــ۹) یا مسیر فرعی (شکل ۱۰ــ۹) در یک نقطه قطع شده باشد.



شکل ۹ــ۹ــ قطع شدگی در سیم‌پیچ اصلی



شکل ۱۰ــ۹ــ قطع شدگی در سیم‌پیچ فرعی

برای تشخیص سیم‌پیچ معیوب، سیم‌پیچ اصلی و فرعی را از یک‌دیگر جدا می‌کنیم و سپس با اهم‌متر سیم‌پیچ قطع شده را تشخیص می‌دهیم. قطع شدگی در مسیر سیم‌پیچ فرعی ممکن است در کلید گریز از مرکز، خازن، خود سیم‌پیچی یا در سیم‌های رابط بین این‌ها باشد. برای تشخیص عضو معیوب ابتدا دو سر سیم‌پیچ فرعی را با اهم‌متر امتحان می‌کنیم. پس از کسب اطمینان از سالم بودن سیم‌پیچ فرعی، کلید گریز از مرکز را امتحان می‌کنیم. کنتاکت‌های کلید باید در حال سکون به هم وصل باشند. برای امتحان خازن می‌توان به طریق زیر عمل کرد :

ابتدا خازن را از موتور جدا کرده و برای یک لحظه دو سر آن را به هم اتصال کوتاه می‌کنیم. سپس دو سر اهم‌متر را به‌دوسر خازن وصل می‌کنیم. اگر خازن سالم باشد، باید ابتدا عقربه اهم‌متر به سرعت منحرف شود و سپس به تدریج به جای اول خود بازگردد. این آزمایش برای امتحان کردن خازن‌های با ظرفیت خیلی پایین (نظیر خازن‌های پارازیت‌گیر) صدق نمی‌کند. اتصال کوتاه حلقه‌ها و هم‌چنین اتصال بدنه نیز می‌تواند چنین معایبی را پیش‌آورد که با آزمایش‌های مربوط می‌توان آن‌ها را تشخیص داد.

۲ــ موتور راه می‌افتد ولی جریان زیادی می‌کشد ؛ اتصال کوتاه حلقه‌ها، اتصال بدنه یا خارج نشدن سیم‌پیچ کمکی بعد از راه‌اندازی، ممکن است موجب بروز چنین معایبی بشود. طبق آزمایش‌هایی که قبلاً گفته شد، می‌توانیم اتصال بدنه و حلقه را تشخیص دهیم و در صورت اطمینان از عدم وجود معایب ذکر شده، به یافتن عیب در کلید گریز از مرکز و رفع آن اقدام کنیم. خرابی کلید گریز از مرکز ممکن است به دلیل خرابی فنر، شکستن صفحه یا کثیف شدن مسیر حرکت قسمت متحرک کلید باشد.

۳ــ موتور راه نمی‌افتد و فیوز را هم می‌سوزاند ؛ اتصال کوتاه بسیاری از حلقه‌ها (سوختگی موتور) و هم‌چنین اتصال بدنه، چنین عیبی را به وجود می‌آورد.

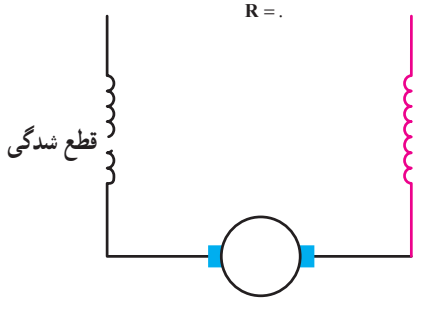
۴ــ موتور راه می‌افتد ولی به دور نامی نمی‌رسد ؛ دراین‌حالت، معمولاً خارج نشدن سیم‌پیچ کمکی از مدار یا اتصال کوتاه چند حلقه سیم‌پیچ اصلی یا فرعی یا اتصال بدنه که با لرزش شدید موتور نیز همراه است، می‌تواند سبب بروز چنین عیبی باشد.

۵ــ موتور راه می‌افتد ولی بیش از حد نرمال داغ می‌کند ؛ اتصال کوتاه بسیاری از حلقه‌ها و خارج نشدن سیم‌پیچ کمکی، سبب چنین عیبی است. در این حالت، به اصطلاح موتور نیم‌سوز شده است.

ب ــ عیب‌یابی موتورهای کلکتوردار (سری): تشخیص عیوب این‌گونه موتورها تقریباً همانند موتورهای یک فاز خازن‌دار است. برای این کار، ابتدا موتور را برای چند لحظه به شبکه وصل می‌کنیم و تغییر خصوصیات الکتریکی آن را مشاهده می‌نماییم و از روی آن به یافتن عیب می‌پردازیم.

۱ــ بعد از وصل موتور به شبکه، موتور راه نمی‌افتد و آمپرمتر نیز هیچ‌گونه جریانی را نشان نمی‌دهد ؛ در این حالت، مسیر جریان قطع است. این قطع شدگی می‌تواند در سیم‌پیچی استاتور یا در آرمیچر یا در زغال‌ها و جارو نگه‌دارها باشد.

برای پیدا کردن محل قطع‌شدگی، ابتدا مقاومت دو سر جاروبک‌ها را اندازه می‌گیریم. در صورتی که مدار آن‌ها وصل باشد، قطع‌شدگی در سیم‌پیچ استاتور است (شکل ۱۱ــ۹).



شکل ۱۱ــ۹ــ قطع شدگی در سیم‌پیچ استاتور

اگر مقاومت بین دو سر جاروبک‌ها بی‌نهایت بود، یا سیم‌های آرمیچر قطع شد یا قطع‌شدگی در خود زغال‌ها (مانند خرابی فنرها و تماس نداشتن زغال‌ها با تیغه‌ها) است. قطع‌شدگی در آرمیچر را می‌توان ابتدا با مشاهده‌ی مستقیم تشخیص داد. در صورتی که با مشاهده‌ی عینی نتوان این عیب را پیدا کرد، با اندازه گرفتن مقاومت بین تیغه‌ها می‌توان آن را معین نمود. دو تیغه که سرهای کلکتور یا وسط کلاف مربوط به آن‌ها قطع شده باشد، از بقیه‌ی تیغه‌ها مقاومت بیش‌تری نشان می‌دهند.

۲ــ موتور راه می‌افتد ولی دو سر جاروبک‌ها جرقه‌ی شدیدی می‌زند ؛ در این حالت، خراب بودن زغال‌ها، خرابی فنرهای پشت زغال‌ها، قطع شدگی سیم‌پیچ آرمیچر، بالانس نبودن آرمیچر و اتصال کوتاه حلقه‌های استاتور و خود آرمیچر می‌تواند چنین عیبی را به وجود آورد.

ابتدا زغال‌ها را در می‌آوریم و با دقت نگاه می‌کنیم. درصورت سالم بودن زغال‌ها و کسب اطمینان از قرار گرفتن صحیح آن‌ها روی تیغه‌ها، فنرها را بازدید می‌کنیم. در صورت سالم بودن آن‌ها به سراغ سیم‌پیچی استاتور می‌رویم. اگر سیم‌پیچی استاتور نیز سالم باشد، به سراغ خود آرمیچر می‌رویم.

۳ــ موتور راه نمی‌افتد و فیوز نیز می‌سوزد ؛ اتصال کوتاه حلقه‌های استاتور و در مواردی اتصال بدنه مسبب چنین عیبی است.

۴ــ موتور زیر بار می‌ایستد ؛ خرابی زغال‌ها، اتصال کوتاه حلقه‌های سیم‌پیچی، قطع شدن سیم‌های آرمیچر و اتصال کوتاه حلقه‌های آن نیز می‌تواند مسبب چنین عیبی باشد.

جدول ۱ــ۹ با توجه به تغییر خصوصیات کار ماشین، عیوب موجود و هم‌چنین چگونگی تشخیص آن عیوب را نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ۹

تغییر خصوصیات	نوع عیب	نحوه تشخیص
موتور راه نمی‌افتد	ــ مدار اصلی یا فرعی در یک نقطه قطع شده است.	ــ با اهم‌متر باید مسیر جریان را امتحان کرد.
	ــ اتصال بدنه.	ــ آزمایش با مگر.
	ــ اتصال کوتاه تمامی حلقه‌ها.	ــ با پروف‌رکس سیم‌پیچ آزمایش شود.
	ــ برق به موتور نمی‌رسد.	ــ سیم‌های رابط آزمایش شوند.
	ــ رتورگیر کرده است.	ــ باید رتور را با دست به چپ و راست چرخاند.
	ــ خازن راه‌اندازی خراب است.	ــ آزمایش شود.
یکی از فازها یا هرسه فاز جریان بیش‌تر از جریان نامی می‌کشند.	ــ اتصال بدنه.	ــ آزمایش با مگر.
	ــ اتصال کوتاه حلقه‌ها.	ــ آزمایش با پروف‌رکس.
	ــ تغییرات ولتاژ.	ــ با ولت‌متر ولتاژ اندازه‌گیری شود.
سرعت موتور از حد نرمال کم‌تر است.	ــ اتصال کوتاه بعضی حلقه‌ها.	ــ با پروف رکس امتحان شود.
	ــ تغییرات ولتاژ (کم شدن).	ــ با ولت‌متر ولتاژ اندازه‌گیری شود.
	ــ سیم‌پیچ کمکی در مدار باقی مانده است.	ــ کلید گریز از مرکز بازدید شود.
موتور بیش از حد نرمال داغ می‌کند.	ــ اتصال کوتاه حلقه‌ها.	ــ با پروف رکس امتحان شود.
	ــ اتصال بدنه.	ــ با مگر امتحان شود.
	ــ تغییرات ولتاژ.	ــ با ولت‌متر ولتاژها اندازه‌گیری شود.

چیدمان و تابلوی پیشنهادی برای کارگاه:

منابع و مآخذ

برای این کتاب

۱ــ محاسبه و سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی (تئوری و عملی) حسین رحمتی‌زاده

۲ــ ماشین‌های الکتریکی جلد اول ترجمه : مهندس گیوی

۳ــ موتورهای الکتریکی ترجمه : دکتر محمد طالقانی

۴ــ سایت‌های اینترنتی مرتبط با موضوع

۵ــ عراقی، علی (۱۳۸۴)، سیم‌پیچی موتورهای سه فاز، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش).

۶ــ عراقی، علی (۱۳۸۴)، بازپیچی الکتروموتورها، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش).

۷ــ خدادادی، شهرام (۱۳۸۴)، راه‌اندازی موتورهای سه فاز و تکفاز، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش)

برای مطالعه‌ی بیشتر

۱ــ عراقی، علی و همکاران (۱۳۸۲)، کولرهای آبی، ساختمان، تعمیر و نگهداری، انتشارات کیفیت.

۲ــ عراقی، علی، رحیمیان‌پرور، معیری (۱۳۸۲)، محاسبه و طراحی موتورهای الکتریکی القایی سه فاز، انتشارات کیفیت.

۳ــ عراقی، علی، رحیمیان پرور، حیدری محمد (۱۳۸۲)، محاسبه و طراحی موتورهای الکتریکی تک‌فاز، اونیورسال و سیم‌بندی آرمیچر. انتشارات کیفیت.

۴ــ عراقی، علی و همکاران (۱۳۸۲)، محاسبات عملی ترانسفورماتورها و چوک‌ها. انتشارات کیفیت.

۵ــ عراقی، علی (۱۳۸۷)، سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز. شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش).

۶ــ عراقی، علی (۱۳۸۷)، ساخت ترانسفورماتور، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش).

۷ــ مرحوم احمد ریاضی، محاسبات عملی ترانسفورماتورهای کوچک