

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# تکنولوژی و کارگاه سیم پیچی

رشته الکتروتکنیک

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه ای

شماره درس ۲۱۳۶

تکنولوژی و کارگاه سیم پیچی. - [ویرایش دوم] / بازسازی و تجدید نظر : کمیسیون برنامه ریزی و تألیف رشته الکتروتکنیک. - تهران : شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران، ۱۳۹۱. ۶۷۷ ت	۶۲۱ /۴۶
۱۳۲ ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه ای : شماره درس ۲۱۳۶) متون درسی رشته الکتروتکنیک، زمینه صنعت.	۱۳۹۱
۱. موتورهای برقی - سیم پیچی. ۲. ماشین آلات برقی - سیم پیچی. ۳. سیم پیچی های برقی. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه ریزی و تألیف رشته الکتروتکنیک. ب. عنوان. ج. فروست.	

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز:

پیشنهادهای و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی  
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های  
فنی و حرفه ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام نگار (ایمیل) [tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir)

وبگاه (وبسایت) [www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir)

پیام نگار (ایمیل) کمیسیون تخصصی رشته الکتروتکنیک

[Tech@tvoccd.sch.ir](mailto:Tech@tvoccd.sch.ir)

## وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی

برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های فنی و حرفه ای و کاردانش

نام کتاب: تکنولوژی و کارگاه سیم پیچی - ۴۸۷/۹

مؤلفان: سیامک فرشاد، حسین رحمتی زاده، فتح الله نظریان، فریدون علومی و مسلم نیکزاد

آماده سازی و نظارت بر چاپ و توزیع: اداره کل چاپ و توزیع کتاب های درسی

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

تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹.

وبسایت: [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

عکاس: نسرین اصغری

رسم: فاطمه رئیسیان فیروز آباد

صفحه آرا: راحله زادفتح اله

طراح جلد: مریم کیوان

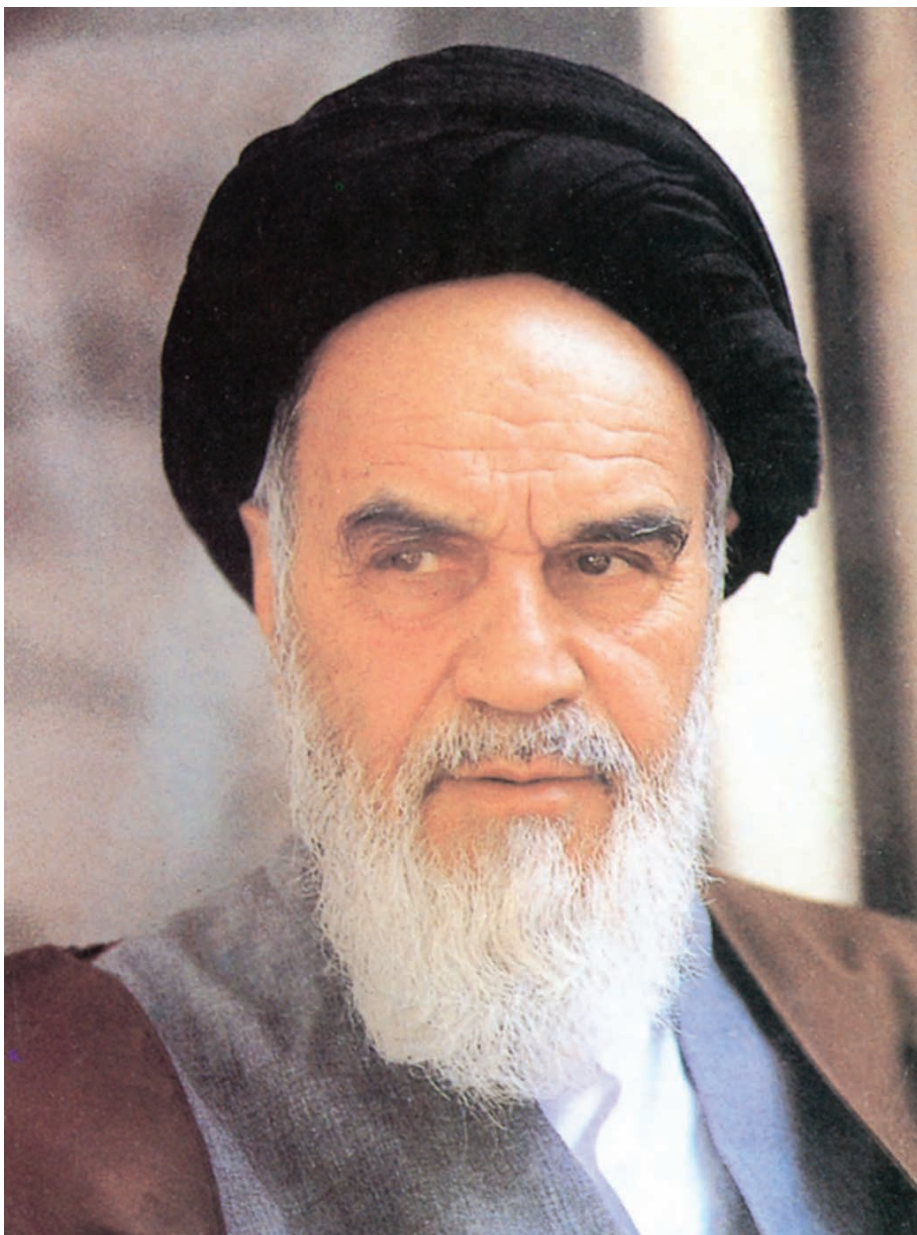
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

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

چاپخانه: شرکت افست «سهامی عام»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوازدهم ۱۳۹۱

حق چاپ محفوظ است.



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 اتکای به اجانب پرهیزید.

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»

## فهرست

۱	پیش‌گفتار
۲	فصل اوّل — اجزای ترانسفورماتور
۶	فصل دوم — محاسبه‌ی عملی ترانسفورماتور
۲۰	فصل سوم — سیم‌پیچی ترانسفورماتور با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها
۲۹	فصل چهارم — محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم‌پیچ در اولیه یا ثانویه
۳۵	فصل پنجم — اتوترانسفورماتور
۴۴	فصل ششم — تجدید سیم‌پیچی موتورهای جریان متناوب
۶۵	فصل هفتم — ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی موتورها
۱۰۸	فصل هشتم — تغییر سیم‌پیچی
۱۲۲	فصل نهم — عیب‌یابی موتورهای الکتریکی
۱۳۲	منابع و مآخذ

به منظور تسريع در آموزش و درهم تنيدگي IT و ICT در برنامه‌ي آموزشي توصيه مي‌شود هنرآموزان محترم از نرم‌افزارهاي مرتبط با موضوع درسي اين كتاب استفاده نمايند.

### پيش‌گفتار

كتاب تكنولوجي و كارگاه سيم‌پيچي به ارزش ۲/۵ واحد و به مدت ۶ ساعت در هفته با استفاده از كتاب‌هاي تجربه شده در هنرستان تهيه و تنظيم شده است. هدف از آموزش اين كتاب، ايجاد مهارت‌هاي موردنياز نظري و عملي در زمينه‌ي ترانس‌پيچي، موتورپيچي است. از هنرجويان و همكاران عزيز تقاضا مي‌شود كارهاي عملي ارائه شده در اين كتاب را به‌طور دقيق اجرا كنند و در مواقع ضروري و متناسب با نياز، كار عملي ديگري را كه بتواند اهداف رفتاري را پوشش دهد، جايگزين سازند. در خاتمه توصيه مي‌شود قبل از شروع هر موضوع كاري، اهداف رفتاري آن مبحث مورد توجه دقيق قرار گيرد.

### هدف كلي

انجام محاسبه و اجراي عملي سيم‌پيچي ترانسفورماتورهاي تك فاز،  
تجديد سيم‌پيچي موتورهاي تك فاز و سه فاز.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	-	۱

## فصل اول

### اجزای ترانسفورماتور

**هدف‌های رفتاری:** از هرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

- ۱- قسمت‌های مختلف ترانسفورماتور را نام ببرد.
- ۲- انواع هسته‌ی ترانسفورماتور را شرح دهد.
- ۳- انواع سیم‌پیچی ترانسفورماتور را شرح دهد.

### ۱- اجزای ترانسفورماتور

#### مقدمه

موارد استفاده‌ی این ترانسفورماتورها امروزه بسیار زیاد است؛ مثلاً در یکسوسازها، مصرف‌کننده‌های کم قدرت که به ولتاژ 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 به سادگی می‌توان تهیه کرد.

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

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

اجزای تشکیل دهنده‌ی یک ترانسفورماتور به شرح زیر است :

با اصول مقدماتی و ساختمان ترانسفورماتورها در درس ماشین‌های الکتریکی آشنا می‌شوید. باید توجه داشته باشید که به علت تلفات و مسائل اقتصادی و عوامل دیگر که در طراحی و ساختمان ترانسفورماتورها مؤثرند، نمی‌توان به سادگی از فرمول‌هایی که تا به حال ارائه شده است برای ساختن ترانسفورماتور استفاده کرد. بنابراین، در این جا 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 به دلیل 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.

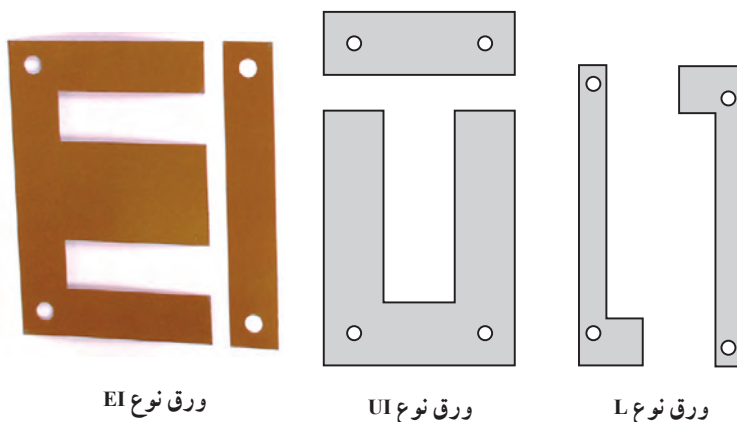
## ۱-۱- هسته‌ی ترانسفورماتور

می‌شد، استفاده می‌کردند اما امروزه بدین منظور در هنگام ساختن و نورد این ورقه‌ها یک لایه‌ی نازک اکسید، فسفات یا سیلیکات به ضخامت ۲ تا ۲۰ میکرون به عنوان عایق در روی آن‌ها می‌مالند و با آن روی ورقه‌ها را می‌پوشانند. علاوه بر این، از لاک مخصوص نیز برای عایق کردن یک طرف ورقه‌ها استفاده می‌شود.

ورقه‌های ترانسفورماتور دارای یک لایه عایق هستند؛ بنابراین، در موقع 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 ۱-۱ نشان داده شده است.

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 به طور یک پارچه ساخت. بلکه معمولاً آن‌ها را از ورقه‌های نازک فلزی که نسبت به یک دیگر عایق اند، 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



شکل ۱-۱- انواع ورق‌های دیناموبلش

علاوه بر 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.

## ۱-۲- سیم پیچ ترانسفورماتور

معمولاً برای سیم پیچ 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 پر قدرت

معمولی‌ترین ورقه‌های استاندارد شده به شکل EI است که اندازه‌های آن در جدول‌های ۲-۴ و ۲-۵ داده شده است. ورقه‌های ترانسفورماتور به فرم EI را به علت دورریز کم تر برای استانداردهای بالا نیز درست می‌کنند.

این ورقه‌ها را باید در داخل قرقره به طور متناوب از دو طرف جا زد تا بدین ترتیب فاصله‌ی هوایی در نتیجه، تلفات پراکندگی کم شود.

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

1	22	23
2	21	24
3	20	25
4	19	26
5	18	27
6	17	28
7	16	29
8	15	30
9	14	31
10	13	32
11	12	33

شکل ۱-۲- نقاط پتانسیل زیاد

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

### ۳-۱- قرقره‌ی ترانسفورماتور

برای حفاظت و نگهداری از سیم پیچ‌های ترانسفورماتور - خصوصاً در ترانسفورماتورهای کوچک - 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 بر روی یک‌دیگر سوار کرد.

بر روی دیوارهای قرقره باید سوراخ یا شکافی ایجاد کرد تا سر سیم پیچ‌ها از آن‌ها خارج شوند.

اندازه‌ی قرقره باید با اندازه‌ی ورقه‌های ترانسفورماتور متناسب باشد و سیم پیچ نیز طوری بر روی آن پیچیده شود که از لبه‌های قرقره مقداری پایین‌تر قرار گیرد تا هنگام جازدن ورقه‌های ترانسفورماتور، لایه‌ی رویی سیم پیچ 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.

از هادی‌های مسی که به صورت تسمه هستند، استفاده می‌شود. ابعاد این گونه هادی‌ها نیز استاندارد است.

سیم پیچ ترانسفورماتورهای کوچک بر روی قرقره در طبقات مختلف پیچیده می‌شود. به طوری که در شکل ۱-۲ 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 روی هم 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).

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

برای استفاده از حداکثر فضای قرقره، سیم‌ها تا حد ممکن باید پهلوی یک‌دیگر پیچیده شوند و بین آن‌ها فضای خالی نباشد. چگالی جریان که برای ترانسفورماتورهای تا توان ۴ KVA انتخاب می‌شود، بین  $1 \text{ A/mm}^2$  تا  $4 \text{ A/mm}^2$  است.

سر سیم پیچ‌ها را باید به وسیله‌ی 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 سیم پیچ قرار گیرد و خوب محکم شود. علاوه بر این، بهتر است رنگ روکش‌ها نیز متفاوت باشد تا در ترانسفورماتورهای دارای چندین سیم پیچ، به راحتی بتوان سر هر سیم پیچ را مشخص کرد.

بعد از اتمام سیم پیچی یا تعمیر سیم پیچ‌های ترانسفورماتور باید آن‌ها را با ولتاژهای بالاتر از ولتاژ نامی خودشان برای کنترل و کسب اطمینان از سالم بودن عایق بین بدنه و سیم پیچ اولیه، بدنه و سیم پیچ ثانویه و هم چنین سیم پیچ اولیه و سیم پیچ ثانویه آزمایش



جدول ۱-۱- ولتاژ آزمایش برای ترانسفورماتورهای کوچک

ولتاژ آزمایش عایق به مدت یک دقیقه برای ولتاژهای نامی :	۴۲ <sup>۷</sup>	۲۵۰ <sup>۷</sup>	۵۰۰ <sup>۷</sup>	۱۰۰۰ <sup>۷</sup>
حفاظت از نظر عایق برای درجات I و II				
سیم پیچ اولیه با بدنه	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
سیم پیچ ثانویه با بدنه				
سیم پیچ ثانویه با سیم پیچ اولیه				
فقط برای حفاظت درجه ی I				
برای آزمایش مجدد با ۸۰ درصد ولتاژ آزمایش، آزمایش شود.				
درجه I – ترانسفورماتورهای دارای سیم حفاظ				
درجه II – ترانسفورماتور ولتاژ کم				

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۴	۵

## فصل دوم

### محاسبه‌ی عملی ترانسفورماتور

**هدف‌های رفتاری:** از هرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

- ۱- سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۲- تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۳- قطر سیم لاکی برای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۴- ورقه‌ی مناسب برای هسته‌ی ترانسفورماتور را انتخاب کند.
- ۵- قرقره‌ی مناسب برای ترانسفورماتور را انتخاب کند.

### ۲- محاسبه‌ی عملی ترانسفورماتورها

که جریان دو آمپر باید از آن عبور کند به شبکه‌ی  $220^\circ$  ولت وصل کنیم، باید از ترانسفورماتوری که در آن  $U_1 = 220^V$  و  $U_2 = 12^V$  و  $I_2 = 2A$  است، استفاده کنیم.

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

- ۱- محاسبه‌ی سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور.
- ۲- تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور.
- ۳- قطر سیم‌های لاکی برای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور.
- ۴- شماره‌ی استاندارد ورقه‌های ترانسفورماتور.
- ۵- ابعاد و اندازه‌های اجزای تشکیل دهنده‌ی قرقره‌ی ترانسفورماتور.

اکنون به محاسبه‌ی عملی پارامترهای بالا می‌پردازیم.

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 :

- ۱- ولتاژ اولیه  $U_1$  : ولتاژ منبع تغذیه (شبکه) است و هدف از ساختن ترانسفورماتور، تبدیل این ولتاژ به مقادیر کم‌تر یا بیش‌تر می‌باشد.
- ۲- ولتاژ ثانویه  $U_2$  : ولتاژی است که هدف ما به دست آوردن آن است و مصرف کننده با این ولتاژ کار می‌کند.
- ۳- جریان ثانویه  $I_2$  : جرابانی است که از مصرف کننده‌ی مورد نظر عبور می‌کند.

برای مثال، اگر بخواهیم یک مصرف کننده‌ی  $12$  ولت را

## ۱-۲- 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 بر حسب سانتی متر مربع و  $P_{S_1}$  قدرت ظاهری اولیه‌ی ترانسفورماتور بر حسب ولت آمپر است. ضریب  $K$  به جنس هسته و نقطه‌ی کار ترانسفورماتور بستگی دارد و بین  $0.8$  تا  $1.2$  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  $P_{S_1} > P_{S_2}$  و بازده (راندمان) از یک کم تر 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]) به دست آورد.

قدرت اولیه را می‌توان با در نظر گرفتن بازده  $0.95 \dots 0.75$  از رابطه‌ی  $P_{S_1} = \frac{P_{S_2}}{\eta}$  حساب کرد. مقدار ضریب بهره . برای ترانسفورماتورها از قدرت  $25$  تا  $3500$  ولت آمپر حدود  $0.8$  تا  $0.9$  و برای ترانسفورماتورهای از قدرت  $20$  ولت آمپر تا  $125$  ولت آمپر بین  $0.8$  تا  $0.9$  انتخاب می‌شود. حدود تقریبی ضریب بهره را برای قدرت‌های مختلف می‌توان از جداول مربوطه به دست 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  $0.95 \dots 0.85$   $K_{Fe}$  است، استفاده کرد ؛ بنابراین :

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

یعنی، باید قرقره دارای سطح  $S'_{Fe}$  برای جازدن ورقه‌های ترانس باشد تا سطح آهن خالص برابر  $S_{Fe}$  شود. در محاسبه‌های معمولی می‌توان مقدار  $K_{Fe}$  را برابر با  $0.9$  انتخاب کرد.

## ۲-۲- محاسبه‌ی تعداد دور اولیه و ثانویه 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 سانتی متر مربع باشد، چون  $1 T = 10^4 G$  و

$1 cm^2 = 10^{-4} m^2$  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.

$$N_1 = \frac{U_1 \times 10^8}{4.44 \times B_{Max} \times S_{Fe} \times f}$$

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 به اندازه ولتاژ مورد نیاز مصرف کننده باشد. بنابراین، لازم است تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه را چنان انتخاب کنیم که ولتاژ ثانویه 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 ۱-۲ نسبت به تغییرات قدرت ترانسفورماتور بر حسب درصد ( $\Delta U$ ) داده شده است، که می‌توان آن را به نسبت مساوی بین سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه تقسیم کرد.

جدول ۱-۲- تعیین درصد افت ولتاژ با توجه به قدرت ترانسفورماتور

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

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

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.

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

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  $B_{Max} = 12000 G$  را قرار داد.

برای فرکانس  $50 Hz$  و  $B_{Max} = 12000 G$  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 ( $E_1 \cdot U_1$ ) و کاهش ولتاژ در ثانویه‌ی ترانسفورماتور-یعنی دوسر مصرف‌کننده ( $E_2 \cdot U_2$ ) -

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

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

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

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

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

همان طور که مشاهده می کنید، تعداد دور مورد نیاز برای اولیه، کاهش و برای ثانویه، افزایش می یابد.

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، می توان درصد افت ولتاژ را با تقریب به دست آورد.

### ۲-۳- محاسبه ی قطر سیم لاکه برای اولیه و ثانویه

قطر سیم پیچ ترانسفورماتور را باید طوری محاسبه کرد که توان تلف شدن در دو سیم پیچ - که به صورت حرارت در آن ظاهر می شود - به آن صدمه ای 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 الکترون هایی که از سطح مقطع هر کدام از سیم ها در یک ثانیه عبور می کند، برابر است. بنابراین، حرکت الکترون ها در سیمی که سطح مقطع کم تری دارد، سریع تر از سیم دیگر است و این سیم گرم می شود.

شدت جریانی که از هر میلی متر مربع سطح مقطع سیم عبور می کند، تراکم جریان نامیده می شود و آن را با  $J$  نشان می دهند.

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

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

در ترانسفورماتورها و موتور ها نباید درجه ی حرارت سیم پیچ از حد معینی تجاوز کند. خصوصاً سیم های مربوط به لایه های داخلی سیم پیچ که چون با هوای محیط در تماس نیستند، بیش تر گرم می شوند.

بنابراین، تراکم جریان در هادی های ترانسفورماتور نباید از حد معینی بیش تر شود. تراکم جریان را بسته به شرایط خنک شدن ترانسفورماتور و قدرت آن از ۱ تا ۴ آمپر بر میلی متر مربع انتخاب می کنند و آن را تراکم جریان مجاز می نامند.

تراکم جریان مجاز برای ترانسفورماتور های معمولی، در جدول ۲-۲ داده شده است.

جدول ۲-۲- چگالی جریان با توجه به قدرت ترانسفورماتور

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

با مشخص بودن قدرت ثانویه ی ترانسفورماتور می توان تراکم جریان مجاز را به دست آورد و پس از آن، سطح مقطع سیم های مورد نظر را که باید جریان اولیه و ثانویه از آن ها عبور کند، از رابطه ی  $A_1 = \frac{I_1}{J}$  و  $A_2 = \frac{I_2}{J}$  پیدا کرد.

همان طور که گفتیم، جریان  $I_2$  یکی از معلومات ماست و توسط بار مشخص می شود اما جریان  $I_1$  را می توانیم از رابطه ی زیر حساب کنیم.

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

چون سیم های لاکه، با قطر (بدون لاک) مشخص

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

به همین ترتیب، قطر سیم بیچ ثانویه نیز از رابطه‌ی

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

به دست می‌آید. در صورت استاندارد نبودن قطرهای به دست آمده، با مراجعه به جدول ۳-۲ باید نزدیک‌ترین سیم استاندارد را که قطر آن از قطر سیم به دست آمده بیش تر است، انتخاب کرد.

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  $A = \frac{d^2 \times \pi}{4}$  قطر (بدون لاک) را محاسبه می‌کنیم.


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

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

جدول ۳-۲- مشخصات سیم‌های لاک‌ی

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

◦/٢٧	◦/٢٩٥	◦/◦٥٧	◦/٥٣٣	◦/٣◦٦	٩٥◦
◦/٢٨	◦/٣◦٥	◦/◦٦٢	◦/٥٧١	◦/٢٨٥	٨٧◦
◦/٢٩	◦/٣١٥	◦/◦٦٦	◦/٦١٢	◦/٢٦٦	٨٠◦
◦/٣◦	◦/٣٣	◦/◦٧١	◦/٦٤٥	◦/٢٤٨	٧٧◦
◦/٣٢	◦/٣٥	◦/◦٨٠	◦/٧٤◦	◦/٢١٨	٦٩◦
◦/٣٥	◦/٣٨	◦/◦٩٦	◦/٨٩◦	◦/١٨٢٤	٥٨◦
◦/٣٧	◦/٤◦	◦/١◦٨	◦/٩٩٤	◦/١٦٣٢	٥٢◦
◦/٤◦	◦/٤٣	◦/١٢٦	١/١٦◦	◦/١٣٩٦	٤٥◦
◦/٤٥	◦/٤٨	◦/١٥٩	١/٤٨◦	◦/١١◦٣	٣٧◦
◦/٥◦	◦/٥٤	◦/١٩٦	١/٨٣◦	◦/◦٨٩٤	٣٠◦
◦/٥٥	◦/٥٩	◦/٢٣٨	٢/٢◦◦	◦/◦٧٣٨	٢٥◦
◦/٦◦	◦/٦٤	◦/٢٨٣	٢/٦٢	◦/◦٦٢١	٢١◦
◦/٦٥	◦/٦٩	◦/٣٣٤	٢/٩٧	◦/◦٥٢٦	١٨◦
◦/٧◦	◦/٧٤	◦/٣٨٥	٣/٤٣	◦/◦٤٥٥	١٦◦
◦/٧٥	◦/٧٩	◦/٤٤٤	٣/٩٥	◦/◦٣٩٥	١٤◦
◦/٨◦	◦/٨٤	◦/٥٠٤	٤/٤٨	◦/◦٣٤٨	١٢◦
◦/٨٥	◦/٨٩	◦/٥٦٨	٥/٥	◦/◦٣◦٩	١١◦
◦/٩◦	◦/٩٤	◦/٦٣٦	٥/٦٦	◦/◦٢٧٥	١٠◦
◦/٩٥	◦/٩٩	◦/٧٠٩	٦/٣١	◦/◦٢٤٧	٩◦
١/٠◦	١/٠٦	◦/٧٨٦	٧/٠◦	◦/◦٢٢٣	٨١
١/١◦	١/١٦	◦/٩٥◦	٨/٤٦	◦/◦١٨٥	٧٥
١/٢◦	١/٢٦	١/١٣١	١٠/٠٩	◦/◦١٥٥	٥٦
١/٣◦	١/٣٦	١/٣٢٧	١١/٨	◦/◦١٣٢	٤٨
١/٤◦	١/٤٦	١/٥٣٩	١٣/٧	◦/◦١١٤◦	٤٠
١/٥◦	١/٥٦	١/٧٧◦	١٥/٧٥	◦/◦٠٩٩	٣٣
١/٦◦	١/٦٦	٢/٠١١	١٧/٩	◦/◦٠٨٨	٢٥
١/٧◦	١/٧٦	٢/٢٧◦	٢٠/٢	◦/◦٠٧٧	٢٠
١/٨◦	١/٨٦	٢/٥٤٥	٢٢/٦	◦/◦٠٦٩	١٧
١/٩◦	١/٩٦	٢/٨٣٥	٢٥/٢	◦/◦٠٦٢	١٥
٢	٢/٠٧	٣/١٤٢	٢٨/٠٠	◦/◦٠٥٦	١٢
٢/٥	٢/٥٧	٤/٩٠٨	٤٣/٧	◦/◦٠٣٦	٧
٣	٣/٠٨	٧/٠٧◦	٦٢/٩	◦/◦٠٢٥	—



سیم پیچ اولیه

قَرقره از مواد ترموپلاست

سیم پیچ و لثاژ بالا

سیم پیچ و لثاژ بالا

ج)

d)

مربع را اشغال می کنند، به دست می آوریم.

#### ۴-۲- انتخاب ورقه‌ی ترانسفورماتور مناسب

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

شکل ۱-۲: طریقه‌ی قرار گرفتن قرقه را بر روی هسته نشان می‌دهد.

همان‌طور که می‌بینید، سیم پیچ اولیه، سیم پیچ ثانویه، عایق‌های بین طبقات سیم پیچ 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 سیم پیچ وجود داشته باشد تا در هنگام جا زدن ورقه‌ها سیم پیچ صدمه‌ای نبیند.

در جدول‌های ۲-۴ و ۲-۵ 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 به سیم‌پیچ اولیه و ثانویه، عایق بین آن‌ها و ضخامت قرقره و در عین حال طریقه‌ی پیچیدن سیم بستگی دارد.

برای محاسبه‌ی مساحت اشغال شده توسط سیم پیچ‌ها می‌توان از جدول ۳-۲ 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



نیاز برابر می شود با :

$$F_T = F + (-۲۰ تا -۳۵)F$$

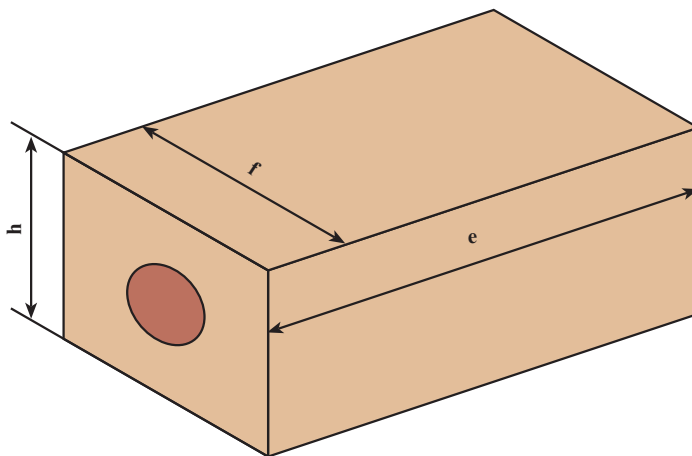
$$F_T = (۱/۲ تا ۱/۳۵)F$$

پس از پیدا کردن سطح  $F_T$ ، ورق ترانسفورماتور را از روی جدول انتخاب می کنیم، به طوری که حداقل سطح پنجره ی آن برابر با  $F_T$  باشد؛ یعنی :

$$e \times g \% F_T$$

## ۲-۵- آماده کردن نهایی ترانسفورماتور

پس از ساختن قرقره باید سیم پیچ اولیه و ثانویه را روی آن پیچید. برای سیم پیچی می توان از دستگاه های اتوماتیک بوبین پیچ استفاده کرد یا قرقره را با استفاده از دستگاه های ابتدایی و ساده که در کارگاه تهیه می شوند، با دست سیم پیچی نمود. در هر حال، 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. اندازه های آن نیز در شکل ۲-۲ داده شده است.



شکل ۲-۲- قالب چوبی وسط قرقره

اولیه را شروع کنیم.

سر سیم پیچ اولیه باید از پایین ترین سوراخ دیواره ی قرقره خارج شود. در صورتی که سیم خیلی نازک باشد، باید یک سیم

می کنیم و از تقسیم  $N_1$  بر عدد به دست آمده، سطح مورد نیاز برای سیم پیچ اولیه ( $F_1$ ) به دست می آید.

برای سیم پیچ ثانویه نیز به همین ترتیب، با توجه به قطر  $d_2$  سطح مورد نیاز  $F_2$  به دست می آید.

سطح مورد نیاز برای هر دو سیم پیچ  $F$  از جمع  $F_1$  و  $F_2$  نتیجه می شود.

$$F = F_1 + F_2$$

سطح لازم برای عایق های بین لایه های سیم پیچ و قرقره سیم پیچ، به قدرت ترانسفورماتور بستگی دارد. علاوه بر عایق، در هنگام پیچیدن سیم ها بر روی قرقره نیز مقداری فضای خالی مرده بین حلقه های سیم پیچ باقی می ماند.

هر چه سیم پیچی بر روی قرقره دقیق تر انجام گیرد، مقدار این فضای مرده نیز کم تر خواهد بود. در ترانسفورماتور هایی که توسط ماشین پیچیده می شوند، مقدار این فضا بسیار ناچیز است. در مجموع برای عایق و قرقره و فضای خالی بین سیم ها، می توان ۲۰ تا ۳۵ درصد سطح سیم ها را منظور کرد. برای ترانسفورماتور های دست پیچ از ضریب ۳۵ و برای ترانسفورماتور های کوچک که توسط ماشین پیچیده می شوند، از ضریب تقریبی ۲۰ درصد استفاده می شود. بنابراین، سطح کل مورد

پس از جا زدن قالب چوبی در داخل قرقره و بستن آن

بر روی دستگاه می توان سیم پیچی را شروع کرد. بهتر است ابتدا یک لایه عایق نازک بر روی قرقره بیچیم و سپس سیم پیچی

رشته‌ای عایق‌دار را به سرسیم لاک‌ی لحیم کنیم و پس از عایق کردن 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 سیم پیچ 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 سیم پیچ قرار می‌دهیم و سیم لاک‌ی را با لوله‌ی عایق از سوراخ قرقره خارج می‌کنیم. پس از اتمام سیم پیچ 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 سیم پیچ دوم نیز باید به همین روش عمل کرد. توجه داشته باشید که حتماً بین طبقات سیم پیچ‌ها و بین سیم پیچ اولیه و ثانویه - مطابق توضیحاتی که قبلاً داده شده است - کاغذ عایق قرار دهید.

بر روی آخرین طبقه‌ی سیم پیچ ثانویه نیز یک لایه کاغذ عایق ضخیم پیچیده می‌شود. پس از اتمام هر سیم پیچی، باید سیم پیچ‌ها 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 سرسیم پیچ‌ها را در ترمینالهایی که در روی قرقره یا هسته سوار شده‌اند، ببندیم.

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

برای اطمینان از صحت کار یک ترانسفورماتور، می‌توان آن را مورد آزمایش بی‌باری قرار داد. برای این آزمایش، در حالی که ثانویه‌ی ترانسفورماتور باز است، اولیه‌ی آن را با یک

آمپر متر (معمولاً میلی‌آمپر متر) به ولتاژ  $U_1$  وصل می‌کنیم. جریانی که از آمپر متر 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  $10^\circ$  تا  $20^\circ$  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  $125$  ولت کار می‌کند و جریان نامی آن یک آمپر است با ولتاژ  $220$  ولت و  $50$  هرتس مورد استفاده قرار دهیم. ترانسفورماتور مورد نیاز را محاسبه کنید.

این مثال را به دو روش حل می‌کنیم.

**روش اول:** در این جا محاسبه‌ی این ترانسفورماتور را در ده مرحله تشریح می‌کنیم. بهتر است هنجاریان 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.

$$U_1 = 220^V$$

$$U_2 = 125^V$$

$$I_2 = 1A$$

**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:

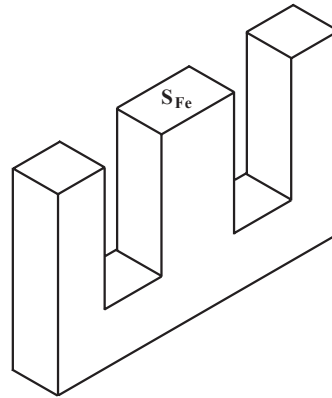
$$P_{S_2} = U_2 \times I_2 = 125 \times 1 = 125VA$$

ضریب بهره را برای این نوع ترانسفورماتور  $90^\circ$  درصد انتخاب می‌کنیم؛ بنابراین، قدرت اولیه برابر می‌شود با:

$$P_{S_1} = \frac{P_{S_2}}{0.9} = \frac{125}{0.9} = 138.8 \approx 140 \text{ VA}$$

**مرحله‌ی سوم:** تعیین سطح مقطع هسته.  
سطح مقطع واقعی هسته برابر است با:

$$S_{Fe} = 1/2 \sqrt{P_{S_1}} = 1/2 \sqrt{140} = 14/2 \text{ cm}^2$$



شکل ۲-۳

با انتخاب  $K_{Fe} = 0/9$  سطح ورق‌های ترانسفورماتور مورد نیاز به دست می‌آید.

$$S'_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{K_{Fe}} = \frac{14/2}{0/9} = 15/77 \text{ cm}^2$$

**مرحله‌ی چهارم:** محاسبه‌ی دور بر ولت.

با انتخاب  $B = 12000 \text{ G}$  تعداد دوری را که برای یک ولت نیروی محرکه لازم است، از رابطه‌ی زیر حساب می‌کنیم.

$$n = \frac{10^8}{4/44 \times B_{Max} \times f \times S}$$

$$n = \frac{10^8}{4/44 \times 12000 \times 50 \times 14/2} = \frac{37/54}{14/2}$$

$$n = \frac{\text{دور}}{\text{ولت}} = 2/64$$

**مرحله‌ی پنجم:** تعیین تعداد دور اولیه.

برای تعیین تعداد دور اولیه، درصد افت ولتاژ را از جدول ۲-۱ به دست می‌آوریم. با مشاهده‌ی جدول متوجه می‌شویم که برای  $125 \text{ VA}$ ، درصد افت ولتاژ داده نشده است اما برای  $150$  ولت آمپر مقدار افت ولتاژ  $8$  درصد و برای  $100$  ولت آمپر مقدار افت ولتاژ برابر با  $9$  درصد است. در واقع، به ازای

افزایش  $50 = (150 - 100)$  ولت آمپر به قدرت ترانسفورماتور، به اندازه‌ی  $1 = (9 - 8)$  درصد از افت ولتاژ آن کم می‌شود. حال می‌توان گفت اگر  $25 = (125 - 100)$  ولت آمپر به قدرت افزوده شود، افت ولتاژ به اندازه‌ی  $5/0 = \frac{25 \times 1}{50}$  درصد

کاهش می‌یابد. بنابراین، درصد افت ولتاژ برای قدرت  $125 \text{ VA}$  برابر با  $8/5 = (9 - 0/5)$  درصد می‌شود که از این مقدار با توجه به مقاومت سیم پیچ‌ها به طور نسبی برای سیم پیچ اولیه حدود  $5$  درصد و برای سیم پیچ ثانویه  $3/5$  درصد منظور می‌کنیم\*؛ بنابراین، تعداد دور اولیه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

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

$$\text{دور } N_1 = 2/64 \times 220 (1 - 0/05) = 551/76 \text{ \& } 552$$

**مرحله‌ی ششم:** تعیین تعداد دور ثانویه.

همان‌طور که در محاسبه‌ی تعداد دور اولیه توضیح دادیم، برای قسمت ثانویه، افت ولتاژ را برابر با  $3/5$  درصد در نظر می‌گیریم؛ بنابراین:

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

$$N_2 = 2/64 \times 125 (1 + 0/035) = 341/55 \text{ \& } 342$$

**مرحله‌ی هفتم:** محاسبه‌ی قطر اولیه.

برای محاسبه‌ی قطر سیم، ابتدا چگالی جریان را برای این ترانسفورماتور از جدول ۲-۲ پیدا می‌کنیم. چگالی جریان برای ترانسفورماتورهای از قدرت  $100$  تا  $200$  ولت آمپر برابر با  $J = 3 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$  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.

$$I_1 = \frac{P_{S_1}}{U_1} = \frac{140 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 0/63 \text{ A}$$

اکنون قطر سیم اولیه را به راحتی به دست می‌آوریم.

$$d_1 = 1/13 \sqrt{\frac{I_1}{J}}$$

\* نسبت تقسیم درصد افت ولتاژ اختیاری است.

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:

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

$$F_T = 1/35 \times 3/74 = 5/0.5 \text{ cm}^2$$

پس از پیدا کردن سطح لازم، با توجه به جدول‌های ۲-۴ و ۲-۵ نزدیک‌ترین ورق استاندارد که سطح پنجره‌ی آن از F بیش‌تر باشد - یعنی، ورق EIV8 که در آن  $e = 39 \text{ mm}$  و  $g = 13 \text{ mm}$  است - به دست می‌آید.

$$g \times e \% F_T$$

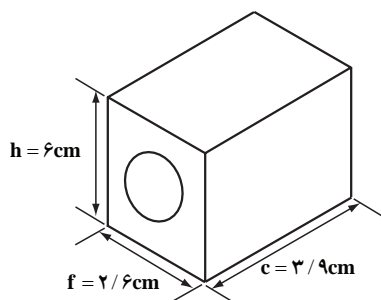
$$3/9 \times 1/3 = 5/0.7. \quad 5/0.5 \text{ cm}^2$$

همان‌طور که می‌بینید، سطح پنجره‌ی ورق EIV8 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 EIV8 را انتخاب می‌کنیم.

قالب چوبی برای بستن قرقره به دستگاه بوبین پیچ باید به شکل مکعب مستطیل با مقطع  $26 \times 60$  و طول  $39$  میلی‌متر باشد.



شکل ۲-۴

جدول‌های ۲-۴ و ۲-۵ اندازه‌ی ورق‌های ترانسفورماتور با قطع EI بر حسب mm را نشان می‌دهند.

$$d_1 = 1/13 \sqrt{\frac{0.63}{3}} = 0.51 \text{ mm} \quad \text{میلی‌متر}$$

چون سیم با قطر  $0.51$  میلی‌متر وجود ندارد، از روی جدول ۲-۳ نزدیک‌ترین عدد استاندارد بزرگ‌تر از آن - یعنی  $d = 0.55$  - را انتخاب می‌کنیم.

**مرحله‌ی هشتم:** محاسبه‌ی قطر سیم ثانویه.

با داشتن چگالی جریان  $J = 3 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$  و جریان ثانویه

$$I_2 = 1 \text{ A}, \quad \text{قطر سیم ثانویه را محاسبه می‌کنیم.}$$

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

$$d_2 = 1/13 \sqrt{\frac{1}{3}} = 0.65 \text{ mm}$$

این سیم استاندارد و موجود است.

**مرحله‌ی نهم:** انتخاب ورق استاندارد شده برای

ترانسفورماتور.

برای انتخاب ورق ابتدا باید سطح پنجره‌ی مورد نیاز را به دست آوریم. در این ترانسفورماتور باید برای اولیه  $552$  دور سیم با قطر  $0.5$  میلی‌متر و برای ثانویه  $342$  دور سیم با قطر  $0.65$  میلی‌متر پیچیده شود. از جدول ۲-۳ برای قطر اولیه،  $d_1 = 0.5$ ، عدد  $300 \frac{\text{دور}}{\text{cm}^2}$  و برای قطر ثانویه  $d_2 = 0.65$ ،

$$\text{عدد } 180 \frac{\text{دور}}{\text{cm}^2} \text{ بدست می‌آید.}$$

بنابراین:

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

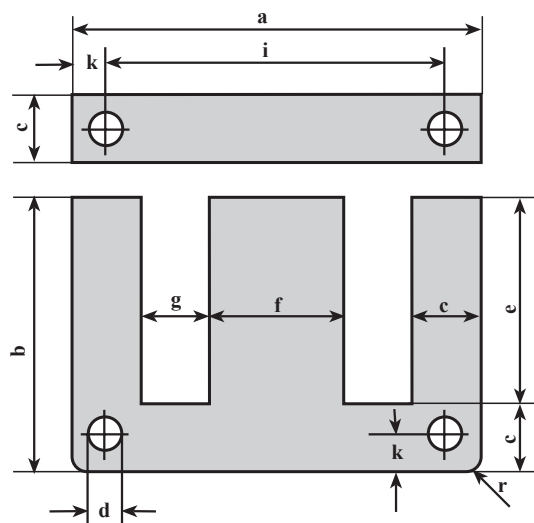
و

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

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

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 1/84 + 1/9 = 3/74 \text{ cm}^2$$



بر حسب EI

h — ضخامت استاندارد ورقه ها

$L_E$  — طول متوسط خطوط قوا

S — ضخامت هر ورق

جدول ۲-۴ — برای ورق های ترانسفورماتور با مشخصات  $g=c$  و  $f=2c$  (مقادیر بر حسب mm)

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

جدول ۵-۲- برای ورق‌های ترانسفورماتور با مشخصات  $c$  و  $f = 2c$  (مقادیر بر حسب mm)

	EI ۹۲a	EI ۹۲b	EI ۱۰۶a	EI ۱۰۶b	EI ۱۳۰a	EI ۱۳۰b	EI ۱۵۰a	EI ۱۵۰b	EI ۱۷۰a							
a	۹۲	۹۲	۱۰۶	۱۰۶	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۷۰							
b	۶۲/۵	۶۲/۵	۷۰/۵	۷۰/۵	۸۷/۵	۸۷/۵	۱۰۰	۱۰۰	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 <sub>E</sub>	۱۹۴	۱۹۴	۲۱۸	۲۱۸	۲۷۰	۲۷۰	۳۱۰	۳۱۰								
r	۵	۴	۵	۵	۶	۶	۶	۶	۶							
s	۰/۵ یا ۰/۳۵															

ترانسفورماتور  $S'_{Fe}$ ، از جدول EI ورق استاندارد را به دست می‌آوریم.

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

با جست‌وجو در جدول، ورقی را انتخاب می‌کنیم که حاصل ضرب  $f \times h$  آن با  $S'_{Fe}$  مساوی یا کمی بیش‌تر باشد. برای مثال مورد نظر از جدول EI ۵-۲ ورق EI ۱۳۰ 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.

$$f \times h = ۳/۵ \times ۴/۷۷ = ۱۶/۷۷ \text{ cm}^2 \quad ۱۵/۷۷ \text{ cm}^2$$

به علاوه، در همین جدول، برای ورق EI ۱۲۰ نیز  $f = ۴۰$  میلی‌متر و  $h = ۴۲$  میلی‌متر داده شده که  $f \times h = ۴/۰ \times ۴/۲ = ۱۶/۸ \text{ cm}^2$  .  $۱۵/۷۷ \text{ cm}^2$  است. پس از مقایسه‌ی این دو، باید ورقه‌ی ترانسفورماتور EI ۱۲۰ را که اقتصادی‌تر است انتخاب کنیم.

سطح آهن خالص این ورقه برابر است با:

**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  $۲۶ \times ۶۰$  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  $P_{S_1} = ۱۴۰ \text{ VA}$  می‌شود.

**مرحله‌ی سوم:** سطح مقطع آهن خالص نیز برابر با  $S_{Fe} = ۱/۲ \sqrt{P_1} = ۱۴/۲ \text{ cm}^2$  و سطح ورق‌های ترانسفورماتور مورد نیاز برابر با  $S'_{Fe} = \frac{۱۴/۲}{۰/۹} = ۱۵/۷۷ \text{ cm}^2$  است.

**مرحله‌ی چهارم:** انتخاب نوع ورق ترانسفورماتور. در این مرحله، با توجه به سطح مقطع مورد نیاز ورقه‌های

$$F_p = \frac{321}{210} = 1/53 \text{ cm}^2$$

$$F = F_1 + F_p = 1/73 + 1/53 = 3/26 \text{ cm}^2$$

$$F_T = 1/35 \times 3/26 = 4/4 \text{ cm}^2$$

سطح مورد نیاز برابر با ۴/۴ سانتی متر مربع است. ورق

EI۱۲۰ پنجره‌ای به ابعاد  $e=2$  و  $g=6$  سانتی متر دارد.

بنابراین، سطح آن  $12=2 \times 6$  سانتی متر مربع می شود که از سطح مورد نیاز خیلی بیش تر است و فضای خالی زیادی باقی می ماند.

بنابراین، نتیجه می گیریم که استفاده از این ورق حجم آهن به کار رفته و حجم ترانسفورماتور را افزایش می دهد.

همان طور که گفتیم، برای محاسبه ی سطح مقطع آهن

خالص ضریب  $K=1/2$  - یعنی بیش ترین مقدار - را انتخاب

کردیم. در نتیجه، سطح آهن خالص زیاد و دور بر ولت کم شد.

اگر برای  $K$  عدد کم تری - مثلاً یک - را انتخاب کنیم سطح آهن

خالص کم تر و دور بر ولت بیش تر می شود و ورق کوچک تری به

کار خواهد رفت (مثلاً  $8 \times EI$ ).

**مرحله ی یازدهم:** طراحی قرقره ی ترانسفورماتور یا

انتخاب قرقره ی مناسب.

قرقره ی این ترانسفورماتور نیز به همان روش های قبلی

طراحی می شود.

مقایسه روش اول و دوم: با توجه به مثال های گفته

شده، در روش اول مقدار سیم مصرفی نسبت به روش دوم بیش تر

(به دلیل زیاد شدن عدد دور بر ولت و همچنین بزرگ شدن طول

متوسط یک حلقه) و مقدار آهن مصرفی کم تر می شود.

در صورتی که استفاده از هسته ی استاندارد الزامی نباشد،

پس از بررسی باید روشی را که اقتصادی تر باشد، انتخاب کنیم.

$$S_{Fe} = S'_{Fe} \times K_{Fe} = 16/8 \times 0/9 = 15/12 \text{ cm}^2$$

**مرحله ی پنجم:** محاسبه ی دور بر ولت.

$$n = \frac{37/54}{S_{Fe}} = \frac{37/54}{15/12} = 2/48 \text{ دور ولت}$$

**مرحله ی ششم:** تعیین تعداد دور اولیه.

افت ولتاژ را مطابق مطالب گفته شده در روش اول، برای

اولیه ۵ درصد انتخاب می کنیم؛ بنابراین:

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

$$N_1 = 2/48 \times 220 (1 - 0/05) = 518/3 \text{ دور}$$

**مرحله ی هفتم:** تعیین تعداد دور ثانویه.

درصد افت ولتاژ برای ثانویه - همان طور که گفته شد -

۳/۵ درصد منظور می شود.

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

$$N_2 = 2/48 \times 125 (1 + 0/035) = 320/85 \text{ دور}$$

**مرحله ی هشتم:** محاسبه ی قطر سیم اولیه.

$$\text{مطابق روش اول و با انتخاب } J = 3 \frac{A}{\text{mm}^2} \text{ قطر سیم}$$

اولیه برابر  $d_1 = 0/5$  می شود.

**مرحله ی نهم:** محاسبه ی قطر سیم ثانویه.

قطر سیم ثانویه نیز برابر با  $d_2 = 0/6$  می شود.

**مرحله ی دهم:** بررسی مجدد اندازه ی پنجره ی قرقره.

در این مرحله، باید پنجره ی ورق انتخاب شده ( $120 \times EI$ )

را بررسی کنیم و ببینیم که گنجایش سیم های اولیه و ثانویه و

عایق ها را دارد یا نه. شیوه ی بررسی را در روش اول تشریح

کرده ایم. در این جا نتیجه ی محاسبات را توضیح می دهیم.

$$F_1 = \frac{518}{300} = 1/73 \text{ cm}^2$$

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

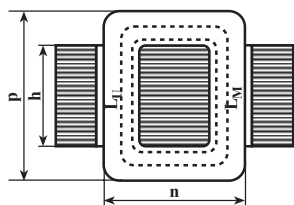
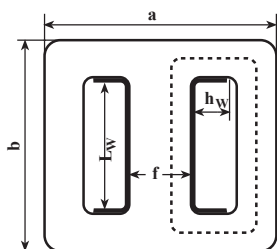
## سیم پیچی ترانسفورماتور با استفاده از جدول ها و منحنی ها

**هدف های رفتاری:** از هنرجو انتظار می رود در پایان این فصل بتواند :

- ۱- تعداد دور اولیه و ثانویه ی یک ترانسفورماتور را با استفاده از جدول محاسبه کند.
- ۲- با استفاده از منحنی، سطح مقطع آهن مورد نیاز را به دست آورد.
- ۳- با استفاده از منحنی، قطر سیم مورد نیاز را به دست آورد.
- ۴- ترانسفورماتور یک فاز را براساس نیاز بازار سیم پیچی و آزمایش کند.

## ۳- سیم پیچی ترانسفورماتور با استفاده از جدول ها و منحنی ها

در شکل ۳-۱ نیز همه ی مشخصات ورق ترانسفورماتور و قرقره که در این جدول به کار رفته، آمده است.



شکل ۳-۱- اندازه های ترانسفورماتور برای جدول ۳-۱

برای مثال، اگر بخواهیم یک ترانسفورماتور کوچک با قدرت ۱۲۵ ولت آمپر، ولتاژ اولیه ی ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه ی ۴ ولت را محاسبه کنیم، از روی جدول ۳-۱ در ستون مربوط به عدد ۱۲۵ VA، تعداد دور بر ولت ۳/۹۸ و درصد افت ولتاژ در بار کامل ۷/۵ درصد به دست می آید که ۴/۵ درصد را برای اولیه و ۳ درصد برای سیم پیچ ثانویه در نظر می گیریم.

در بحث های قبلی، روش محاسبه ی یک ترانسفورماتور را با استفاده از روابط و فرمول ها بیان کردیم. در این جا می خواهیم با استفاده از جدول ها و منحنی ها، یک ترانسفورماتور را طراحی کنیم.

استفاده از این جداول و منحنی ها، برای ولتاژ و قدرت های متداول باعث صرفه جویی در وقت می شود. این جداول و منحنی ها را می توان در نمونه های مختلفی تهیه و از آن ها استفاده کرد.

البته ممکن است بعضی از این جداول یا منحنی ها با یک دیگر هماهنگ نباشند. برای مثال، سطح مقطع هسته در دو جدول مختلف، متفاوت باشد که این مسئله به دلیل تفاوتی است که در ضرایب محاسبه وجود داشته است ولی در هر حال نتیجه ی عمل یکسان خواهد بود؛ زیرا مثلاً با زیاد شدن مقداری به سطح هسته ی آهن، تعداد دور بر ولت کم می شود و نتیجه را ثابت نگه می دارد.

در این جا چند نمونه محاسبه ی ترانسفورماتور توسط منحنی یا جدول آمده است.

در جدول ۳-۱ کلیه ی محاسبات و مشخصات مهم ترانسفورماتور هایی که دارای قدرت متداول تا ۳۵۰۰ VA هستند، داده شده است.



جدول ۳-۱ مشخصات ترانسفورماتورهای از VA ۷۵ تا VA ۳۵۰۰

اندازه‌های مختلف ورق و قرقه مطابق شکل	b	۵۵	۷۴	۸۸	۱۰۵	۱۲۰	۱۴۰	۱۸۰	۲۰۹	۳۰۰
—	a	۷۰	۹۲	۱۰۵	۱۳۰	۱۵۰	۱۷۰	۱۹۵	۲۹۱	۳۰۰
—	h	۲۱/۷	۳۳/۵	۳۳/۵	۳۷/۷	۴۱/۷	۴۶/۷	۵۷/۷	۶۴/۷	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	۱۲۲	۱۴۲	۱۶۲	۱۸۳	۲۳۵
قدرت ثانویه P <sub>۲</sub>	VA	۲۵	۹۵	۱۲۵	۲۵۰	۳۷۰	۵۵۰	۱۰۰۰	۱۷۵۰	۳۵۰۰
طول مؤثر قرقه	mm	۳۳/۵	۴۴	۴۹	۶۵	۷۱	۸۵	۱۱۵	۱۳۱	۲۰۷
ارتفاع سیم پیچ	mm	۱۶	۲۱	۲۱	۲۵/۵	۳۰/۵	۳۴/۵	۳۶/۵	۴۳	۶۴
محیط سیم پیچ زیری L <sub>u</sub>	m	۰/۰۸۹	۰/۱۲۴	۰/۱۳۵	۰/۱۶	۰/۱۸۷	۰/۲۲۷	۰/۲۵۶	۰/۲۸۸	۰/۳۵۴
محیط متوسط سیم پیچ L <sub>m</sub>	m	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۲۰۲	۰/۲۴۳	۰/۲۸۲	۰/۳۲۲	۰/۳۷	۰/۴۲۳	۰/۵۵۵
طول مؤثر خطوط قوا	cm	۱۴/۶	۱۹/۴	۲۲	۲۷	۳۱	۳۶	۴۴/۵	۵۱/۹	۷۴
سطح مقطع آهن	cm <sup>۲</sup>	۳/۳۳	۷/۸۷	۸/۷۱	۱۱/۸۵	۱۵	۲۲/۲	۳۵/۰	۴۷/۳	۵۷/۶
وزن آهن	kg	۰/۳۴۷	۰/۹۸	۱/۴۱۹	۲/۳۵	۳/۴۹	۵/۲۱	۸/۳۵	۱۴/۸	۲۲/۷۴
تعداد ورق آهن (ضخامت ۰/۵)	—	۳۹	۶۰	۶۰	۶۸	۷۵	۱۱۲	۱۰۲	۱۱۷	۱۴۵
تعداد ورق آهن (ضخامت ۰/۳۵)	—	۵۸	۸۵	۸۵	۹۷	۱۰۷	۱۵۰	۱۴۶	۱۶۷	۲۰۹
تلفات آهنی (ضخامت ۰/۵)	W	۱/۳۵	۳/۸	۵/۵	۱۰/۲۳	۱۲/۹	۲۲/۵	۴۱/۶	۶۳/۹	۷۹/۸
تلفات آهنی (ضخامت ۰/۳۵)	W	۰/۲۷	۲/۴۶	۳/۵۶	۶/۴۶	۹/۸	۱۴/۴۵	۲۶/۸	۴۱/۸	۵۱/۳
ولت بر دور	V / Wdg.	۰/۰۹۶	۰/۱۹۹	۰/۲۵۲	۰/۳۴۳	۰/۴۳۳	۰/۶۴	۰/۸۹۷	۱/۰۹	۱/۳۵۵
دور بر ولت	Wdg./V	۱۰/۴۲	۵/۰۲	۳/۹۸	۲/۹۲	۲/۳۱	۱/۵۶	۱/۲۱۲	۰/۹۱۸	۰/۷۳۳
حداکثر تراکم جریان	A / mm <sup>۲</sup>	۲/۹	۲/۶۵	۲/۵۵	۲/۲	۱/۸	۱/۶	۱/۳۵	۱/۸	۰/۵۹۵
درصد افت ولتاژ در بار ماکزیمم	-	۱۵	۹	۷/۵	۶	۵	۴	۲	۱/۵	۱
درصد جریان بی‌باری نسبت به جریان نامی	-	۲۲	۱۶	۱۵/۶	۱۴/۵	۱۳/۸	۱۴/۴	۱۴/۳	۱۲/۶	۱۳/۸۵
درصد ضربه بهره	-	۸۲/۶	۸۸/۸	۸۹/۶	۹۱	۹۲	۹۲/۶	۹۴/۸	۹۴/۸	۹۵/۸
ضربه قدرت اولیه cos φ <sub>۱</sub>	—	۰/۹۷	۰/۹۷۵	۰/۹۷۹	۰/۹۹	۰/۹۹۱	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۵
تلفات مسی	W	۳/۵	۸	۹	۱۳/۸	۱۶/۵	۲۰/۶	۲۱	۲۹	۳۵
وزن مس	kg	۰/۲۲	۰/۵۹	۰/۶۹	۱/۷	۲/۰۰	۳/۵	۷/۹	۱۱/۵	۱۴/۵
سطح مقطع کل سیم پیچ مسی	mm <sup>۲</sup>	۱۷۵	۳۵۲	۳۸۵	۷۸۰	۱۰۸۵	۱۰۳۸	۲۲۰۰	۲۸۴۰	۳۰۹۰
فضای قابل استفاده قرقه	-	۳۹	۳۷	۳۷/۵	۴۵/۲	۴۷/۳	۴۸	۵۱	۵۲	۵۵
—	-	۳۹	۳۷	۳۷/۵	۴۵/۲	۴۷/۳	۴۸	۵۱	۵۲	≈۵۰

در نتیجه :

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

$$N_1 = 220 \times 3 / 98 (1 - 0 / 0.45) \& 840 \text{ دور}$$

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

$$N_2 = 3 / 98 \times 4 (1 + 0 / 0.3) \& 17 \text{ دور}$$

اندازه‌های لازم دیگر برای هسته و ساختن قرقره نیز

در همین جدول آمده است.

علاوه بر جدول ۳-۱ از منحنی‌های شماره‌ی ۳-۱ و ۳-۲

و ۳-۳ نیز می‌توان برای طراحی یک ترانسفورماتور استفاده

کرد. این منحنی‌ها بر مبنای محاسبات ذکر شده طوری طراحی

شده‌اند که محاسبه‌ی یک ترانسفورماتور در فرکانس ۵۰ هرتس

و دو نوع اندوکسیون ۱۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ گوس به راحتی

امکان پذیر باشد. در عمل می‌توان از اندوکسیون ۱۲۰۰۰ گوس

استفاده کرد. در این محاسبات، ۲/۵ آمپر بر میلی متر مربع برای

سیم مسی در نظر گرفته شده است.

روش استفاده از این منحنی‌ها را با ذکر یک مثال روشن

می‌کنیم.

مثال: مطلوب است محاسبه‌ی ترانسفورماتوری که در آن

سیم پیچ اولیه به ولتاژ ۲۲۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتس وصل شود

و ثانویه‌ی آن ولتاژی برابر با ۲۵۰ ولت با جریانی برابر ۶۰ میلی آمپر

و هم چنین ولتاژ دیگر ۶/۳ ولت با جریان ۱/۲ آمپر بدهد.

راه حل: برای محاسبه‌ی این ترانسفورماتور، ابتدا باید

قدرت ثانویه را به دست آوریم.

$$P_{S_2} = 250 \times \frac{60}{1000} + 6 / 3 \times 1 / 2 = 22 / 56 \text{ VA}$$

در منحنی شماره‌ی ۳-۱ قدرت ثانویه‌ی به دست 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

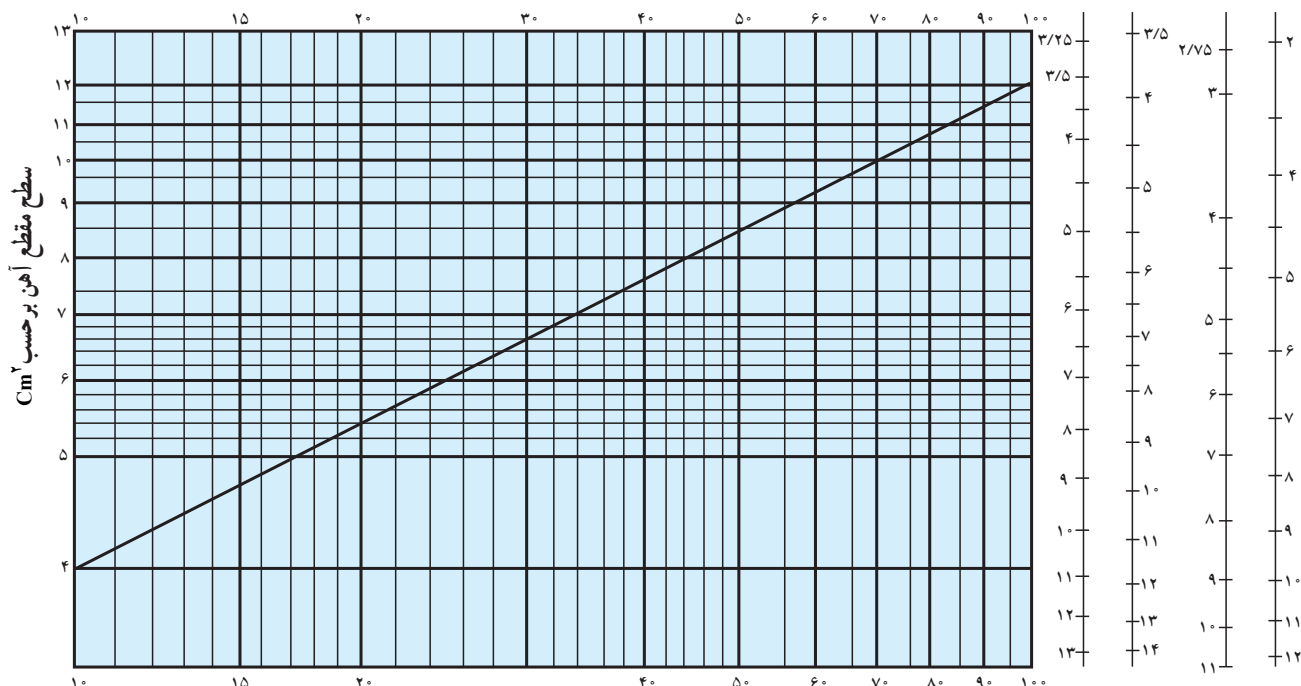
سطح مقطع آهن لازم داده شده است.

دور بر ولت

B = 10000 G B = 12000 G

ثانویه اولیه ثانویه اولیه

قدرت ثانویه بر حسب VA



منحنی ۳-۱- سطح مقطع آهن به نسبت توان

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:

$$N_1 = 5/8 \times 220 = 1276$$

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

$$N_{21} = 6/3 \times 6/5 = 41$$

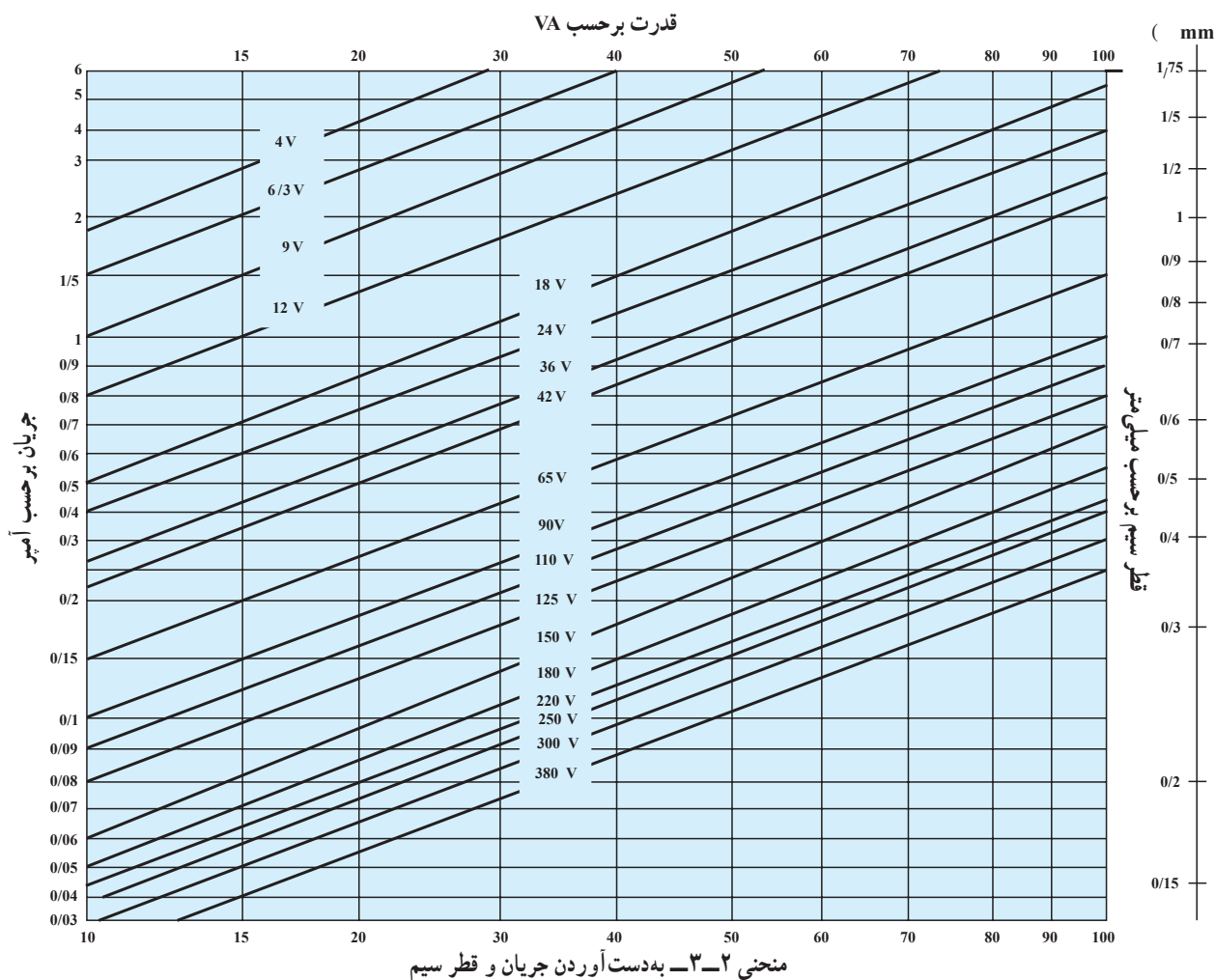
$$N_{22} = 250 \times 6/5 = 1625$$

برای به‌دست آوردن قطر سیم‌های اولیه و ثانویه می‌توانیم

توجه داشته باشیم که در این منحنی، افت ولتاژهای اولیه از منحنی شماره‌ی ۲-۳ استفاده کنیم.

برای این مثال، از منحنی ۱-۳ 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.



در این منحنی، با داشتن قدرت هر قسمت از سیم پیچ و ولتاژ موردنظر، جریان و قطر سیم برای چگالی جریان

در این منحنی، با داشتن قدرت هر قسمت از سیم پیچ و ولتاژ موردنظر، جریان و قطر سیم برای چگالی جریان

اشغال می کنند، به دست آورد. برای این کار می توانیم از جدول ۳-۱ یا منحنی شماره ی ۳-۳ استفاده کنیم. روش استفاده از جدول را پیش از این گفته ایم و حال به بررسی منحنی ۳-۳ می پردازیم. در این منحنی، محور مدرج عمودی قطر سیم و محور مدرج افقی تعداد دوری را که در یک سانتی متر مربع می توان جای داد، نشان می دهد.

بنابراین، در مورد مثال مورد نظر اعداد تقریبی زیر از منحنی ۳-۳ به دست می آیند.

$$d = 0.25 \Rightarrow \frac{\text{دور}}{1100} \Rightarrow \frac{\text{سانتی متر مربع}}{\text{سانتی متر مربع}}$$

$$d = 0.20 \Rightarrow \frac{\text{دور}}{1700} \Rightarrow \frac{\text{سانتی متر مربع}}{\text{سانتی متر مربع}}$$

$$d = 0.80 \Rightarrow \frac{\text{دور}}{120} \Rightarrow \frac{\text{سانتی متر مربع}}{\text{سانتی متر مربع}}$$

سپس می توان به همان روشی که قبلاً گفته شد، سطح لازم برای هر قطر و سپس سطح پنجره ی لازم را به دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد. سایر محاسبات نیز مطابق روش قبلی انجام می شود.

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

$$P_{S1} = P_{S2} + 20\% \times P_{S2}$$

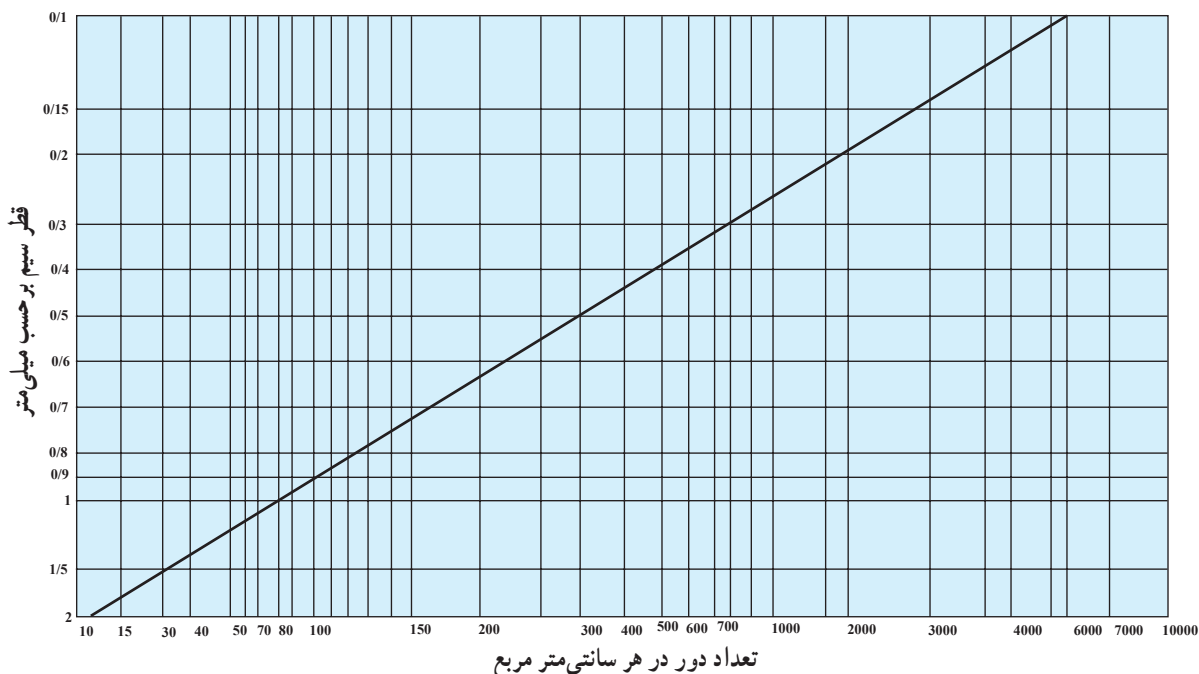
$$P_{S1} = 22/56 + \frac{20}{100} \times 22/56 = 27 \text{ آمپر}$$

حال می توانیم ۲۷ ولت آمپر را روی خط مدرج افقی بالای منحنی پیدا کنیم و آن را روی خط عمودی ادامه دهیم تا 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 می شود. با انجام دادن این کار، قطر سیم اولیه پس از استاندارد کردن  $d_1 = 0.25$  میلی متر به دست می آید. قطر سیم های ثانویه نیز از روی جریان های ثانویه و با استفاده از همین دیاگرام مشخص می شود.

$$d_{21} = 0.80$$

$$d_{22} = 0.17 \Rightarrow \text{سیم انتخابی } 0.20 \text{ می باشد}$$

پس از تعیین قطر سیم ها، باید نوع ورق و قرقره را تعیین کرد. به علاوه، در صورت استفاده از قرقره ی استاندارد باید کنترل کنید که آیا سیم های به دست آمده با عایق در داخل قرقره جای می گیرند یا نه. به هر حال، برای هریک از این حالت ها مطابق آنچه در محاسبه های قبلی گفته شد، باید سطحی را که سیم ها



منحنی ۳-۳ - به دست آوردن فضای اشغالی سیم پیچ

## کار عملی ۱

ترانسفورماتوری بسازید که اولیه‌ی آن به ولتاژ  $220^\circ$  ولت با فرکانس  $50^\circ \text{Hz}$  وصل شود و ثانویه‌ی آن دارای ولتاژ  $25^\circ$  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 عملی ۳ نیز استفاده نمایید.

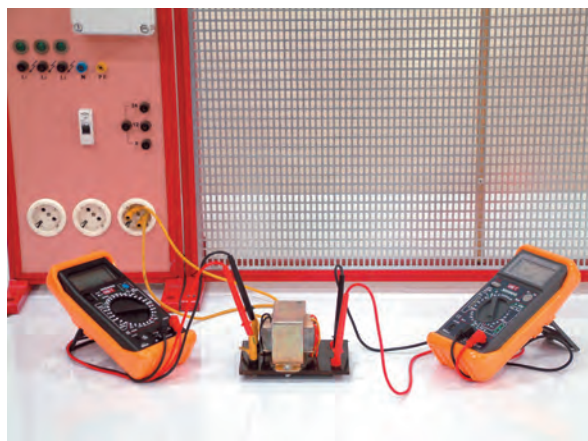
## سوالات

- ۱- محاسبات این ترانسفورماتور را به طور کامل بنویسید.
- ۲- اگر قطر سیم ثانویه را افزایش دهیم، چه تغییری در جریان یا ولتاژ ثانویه ایجاد می‌شود؟
- ۳- سر وسط سیم پیچ ثانویه در ترانسفورماتور چه نقشی دارد؟
- ۴- مشخصات این ترانسفورماتور را از طریق منحنی به دست آورید و با نتایج محاسبه‌های قبل مقایسه کنید.
- ۵- افزایش سطح مقطع آهن این ترانسفورماتور چه تأثیری در نتایج محاسبات دارد؟

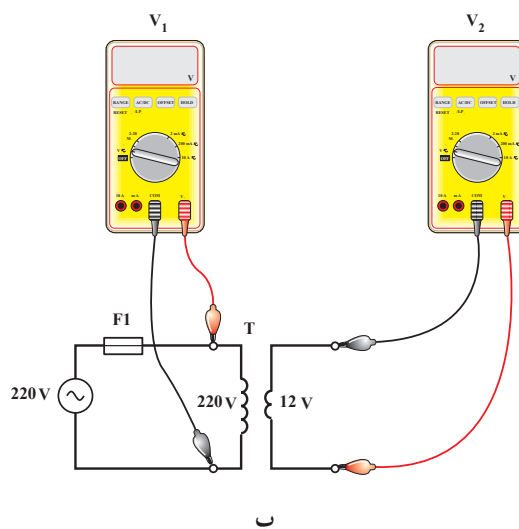
## کار عملی ۲

ترانسفورماتور ساخته شده در فعالیت شماره‌ی یک را به صورت بی‌بار به ولتاژ  $220^\circ$  ولت وصل کنید و مراحل زیر را انجام دهید.

الف: سیم پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور  $220^\circ \text{V}/12^\circ \text{V}$  را مطابق شکل ۲-۳ به شبکه‌ی تک فاز  $220^\circ$  ولت اتصال دهید.



الف



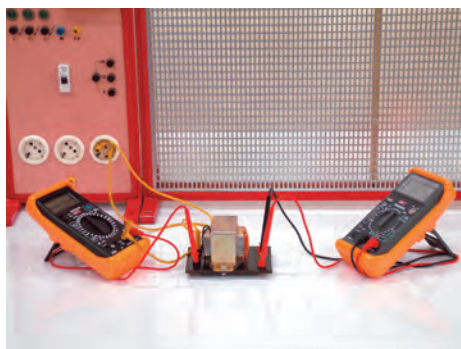
ب

شکل ۲-۳

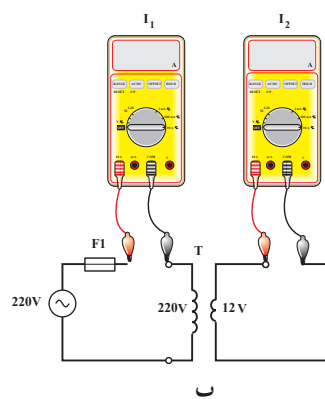
- ◀ آومتر را روی حالت ولت متر AC و با ضریب (رنج) بزرگ‌تر یا مساوی  $25^\circ$  قرار دهید.
- ◀ فیش‌های هر دو آومتر را به دو سر سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور اتصال دهید و ولتاژهای اولیه و ثانویه را در حالت بی‌باری اندازه‌گیری کنید.

$V_1 = \square \text{ V}$   
 $V_2 = \square \text{ V}$

- ◀ مدار را قطع کنید و آومتر را در حالت آمپر متر AC با بیش‌ترین رنج جریانی قرار دهید.
- ◀ فیش‌های آومترها را به صورت سری در مسیر سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه مطابق شکل ۳-۳ قرار دهید.



الف



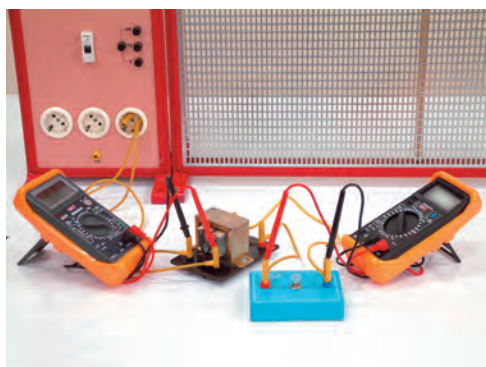
ب

شکل ۳-۳

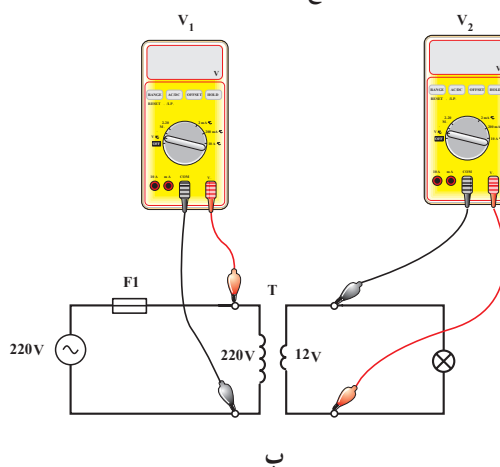
- ◀ مدار را وصل کنید و مقدار جریان سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را در حالت بی‌باری اندازه‌گیری نمایید.

$I_1 = \square \text{ A}$   
 $I_2 = \square \text{ A}$

- ب: مدار را قطع کنید و یک لامپ ۱۲ ولت را طبق شکل ۳-۴ در مدار ثانویه‌ی ترانسفورماتور قرار دهید.



الف



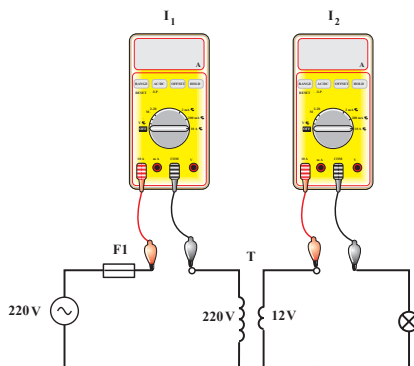
ب

شکل ۳-۴

◀ آومتر را در حالت ولت متر AC قرار دهید و ولتاژهای سیم پیچی اولیه و ثانویه را در حالت بارداری اندازه گیری کنید.

$V_1 = \square V$   
 $V_2 = \square V$

- ◀ مدار را قطع کنید و آومتر را در حالت آمپر متر AC با بیشترین رنج قرار دهید.  
 ▶ آومتر را به صورت سری در مسیر سیم پیچی های اولیه و ثانویه مطابق شکل ۳-۵ قرار دهید.  
 ▶ مدار را وصل کنید و مقدار جریان سیم پیچی های اولیه و ثانویه را در حالت بارداری اندازه گیری کنید.



شکل ۳-۵

$I_1 = \square A$   
 $I_2 = \square A$

## سوالات

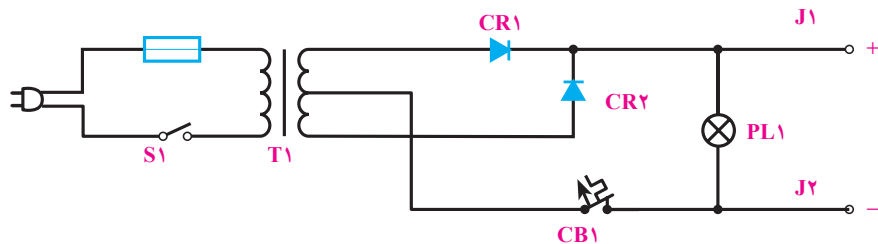
- ۱- جریان بی باری چند درصد جریان نامی اولیه است؟
- ۲- آیا ترانسفورماتوری که ساخته اید، دقیقاً مطابق خواسته ها بوده است؟
- ۳- افت ولتاژ ثانویه در بار نامی چند ولت است؟

## کار عملی ۳

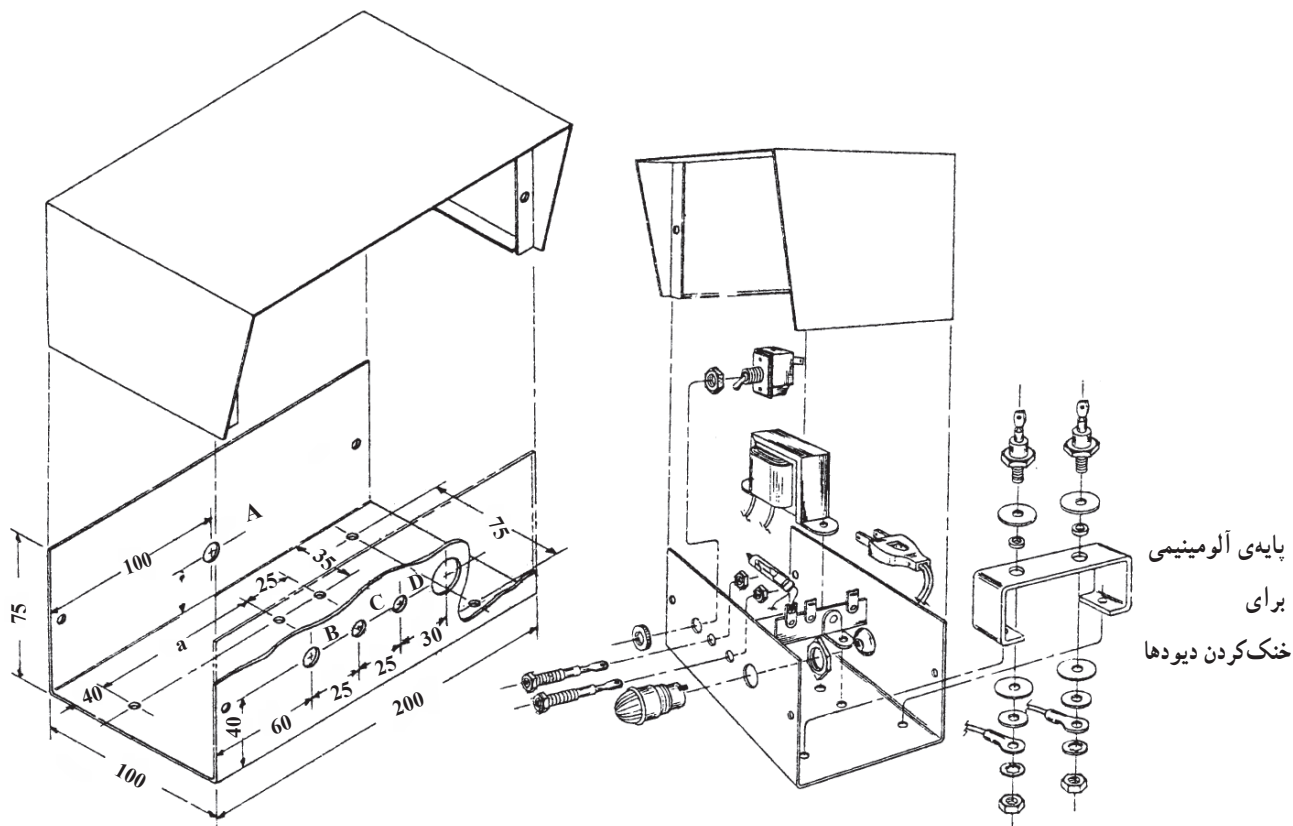
با استفاده از ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی ۱، یک شارژر باتری ۱۲ ولتی که مدار اتصال آن در شکل ۳-۶ داده شده است، بسازید. نقشه ی محفظه ی این شارژر نیز در شکل ۳-۷ نشان داده شده است.

وسایل لازم:

۱	دیود ۶A-۵۰V P.I.V (CR)	۲ عدد	۶	مادگی قرمز (+) و مشکی (-) (j)	۲ عدد
۲	ترانسفورماتور (صفر وسط) (T <sub>1</sub> )		۷	دوشاخه	۱ عدد
	۱۲/۵V-۰-۱۲/۵V و جریان ۲A	۱ عدد	۸	گیره ی سوسماری بزرگ قرمز و مشکی	۲ عدد
۳	فیش قرمز (+) و مشکی (-)	۲ عدد	۹	سیم رابط نمره ی ۲/۵ مشکی و قرمز (از هر رنگ)	۲ متر
۴	کلید ۲۲۰ ولت، ۳ آمپر (S <sub>1</sub> )	۱ عدد	۱۰	ورق آلومینیومی یک میلی متر یا ورق آهن ۰/۶ میلی متر	
۵	لامپ ۱۴ ولت (PL <sub>1</sub> )	۱ عدد	۱۱	فیوز کپسولی ۰/۵ آمپر با پایه	۱ عدد



شکل ۶-۳- قطعات جعبه‌ی ترانسفورماتور



شکل ۷-۳- اندازه‌ی a با توجه به ترانسفورماتور ساخته شده و قطر سوراخ‌های A و B و C و D با توجه به اندازه‌ی وسایل موجود به دست می‌آید.

## سؤالات

- ۱- ولتاژهای خروجی این ترانسفورماتور با یک‌دیگر چه تفاوتی دارند؟
- ۲- آیا می‌توان از تمامی قدرت ترانسفورماتور به کارگرفته شده در این مدار استفاده کرد؟
- ۳- 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؟
- ۴- اگر باتری خالی شده باشد و آن را به دو سر شارژر وصل کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا لامپ خاموش و روشن می‌شود؟



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

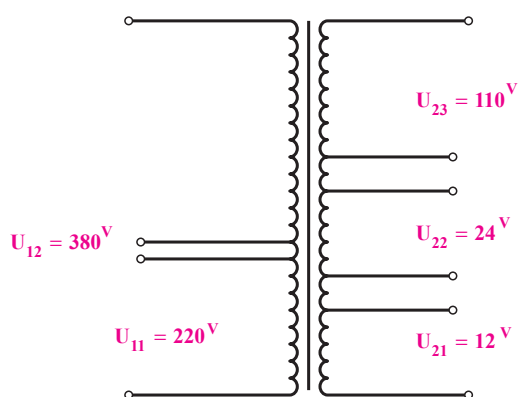
## محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم پیچ در اولیه یا ثانویه

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

- ۱- تعداد دور اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور با چند ورودی و خروجی را محاسبه کند.
- ۲- قطر سیم لاکه اولیه و ثانویه ترانسفورماتور با چند ورودی و چند خروجی را محاسبه کند.
- ۳- هسته و قرقره‌ی مناسب را در ترانسفورماتور انتخاب کند.
- ۴- ترانسفورماتور با یک ورودی و چند خروجی را سیم‌پیچی و آزمایش کند.

## ۴- محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم پیچ در اولیه یا ثانویه

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



شکل ۴-۱- نمایش سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور

در این صورت، باید توجه داشت که همیشه تنها یکی از سیم‌پیچ‌های اولیه به شبکه وصل می‌شود اما همه‌ی سیم‌پیچ‌های ثانویه یا تعدادی از آن‌ها را می‌توان به مصرف 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 به نظر می‌رسد که برای هریک از ولتاژهای ذکر شده‌ی اولیه و ثانویه، یک سیم‌پیچ جداگانه مطابق شکل ۴-۱ پیچیده شود.

$$= 86/27A$$

قطر سیم‌ها نیز برای قسمت اول (از صفر تا ۱۲ ولت) بر مبنای جریان  $2/3 = (1 + 0/8 + 0/5)$  آمپر و برای قسمت دوم (از ۱۲ تا ۲۴ ولت) برای جریان  $1/3 = (0/8 + 0/5)$  آمپر و برای قسمت سوم از (۲۴ تا ۱۱۰ ولت) بر مبنای جریان  $0/5$  آمپر حساب می‌شود.

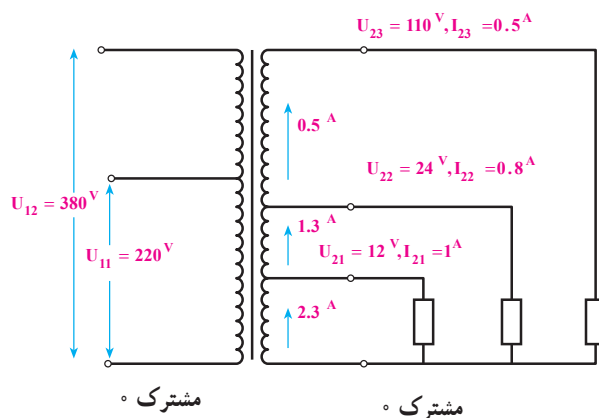
در این مثال، اگر فرض کنیم که از سه خروجی، تنها دو خروجی بتوانند به‌طور هم‌زمان کار کنند، باید قدرت‌های خروجی را دوه‌به‌دو با یک‌دیگر جمع کنیم و مقدار بزرگ‌تر را برای قدرت خروجی ترانسفورماتور منظور در نظر بگیریم. بنابراین برای این ترانسفورماتور قدرت ثانویه  $P_2 = 74/27A$  به‌دست می‌آید. قطر سیم نیز با بررسی جریان‌ها در شرایط مختلف پیدا می‌شود. به‌طوری‌که از قسمت اول سیم‌پیچ، حداکثر  $1/8$  آمپر و از قسمت دوم آن حداکثر جریان  $1/3$  آمپر و از قسمت سوم نیز جریان  $0/5$  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 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  $d_{11}$  برای ولتاژ کم‌تر (یعنی  $U_{11}$ ) و به اندازه‌ی  $N_{11}$  دور پیچیده شده و پس از بیرون آوردن یک سر خروجی، مجدداً برای دومین ولتاژ یعنی  $U_{12}$ ، سیم با قطر  $d_{12}$  و به اندازه‌ی  $(N_{12} - N_{11})$  دور پیچیده شود تا در هنگام وصل شدن به ولتاژ بیش‌تر، هر دو سیم‌پیچ  $(N_{11})$  و  $(N_{12} - N_{11})$  با یک‌دیگر سری شوند و مجموع حلقه‌های آن‌ها برابر با  $N_{12}$  شود. بدین ترتیب، در هر مرحله قطر سیم نیز کم‌تر می‌شود. برای سیم‌پیچ ثانویه، ابتدا ولتاژها را از کم به زیاد مرتب کرده و برای ولتاژ  $U_{21}$  تعداد دور  $N_{21}$  و برای ولتاژ  $U_{22}$  و  $U_{23}$  ... تعداد دورهای  $N_{22}$  و  $N_{23}$  و ... را محاسبه می‌کنیم و سپس، مانند طرف اولیه عمل می‌نماییم.

به‌کارگیری 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 ۲-۴).

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 ۲-۴ - 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  $0/8$  آمپر و از مصرف‌کننده‌ی ۱۱۰ ولتی، جریان  $0/5$  آمپر عبور کند و تمام مصرف‌کننده‌ها نیز هم‌زمان به ترانسفورماتور وصل شوند، توان کل خروجی برابر است با:

$$P_2 = U_{21} \times I_{21} + U_{22} \times I_{22} + U_{23} \times I_{23}$$

$$P_2 = 12 \times 1 + 24 \times 0/8 + 110 \times 0/5$$

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.

$$P_1 = \frac{P_2}{\dots}$$

هرگاه  $P_{S_1} = P_1$  و  $P_{S_2} = P_2$  در نظر گرفته شود می‌توان نوشت

$$P_{S_1} = \frac{P_{S_2}}{\dots}$$

$$P_{S_1} = \frac{۸۶/۲}{۰/۸۹} = ۹۶/۸۵ \approx ۹۷ \text{ ولت آمپر}$$

**مرحله‌ی سوم:** سطح مقطع واقعی هسته را با توجه به قدرت  $P_{S_1}$  به دست می‌آوریم.

$$S_{Fe} = 1/2 \sqrt{P_{S_1}} = 1/2 \sqrt{۹۷} = ۱۱/۸ \text{ cm}^2$$

سطح مقطع ظاهری هسته برابر است با:

$$S'_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{K_{Fe}} = \frac{۱۱/۸}{۰/۹} = ۱۳/۱۱ \text{ cm}^2$$

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

$$n = \frac{۳۷/۵۴}{S} = \frac{۳۷/۵۴}{۱۱/۸} = ۳/۱۸ \text{ دور ولت}$$

**مرحله‌ی پنجم:** برای تعیین تعداد دورهای اولیه، باید ابتدا درصد افت ولتاژ را به دست آوریم. در جدول ۲-۲ 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 ولت آمپر  $(۸۶ - ۷۵) = ۱۱$  (۷۵-۸۶) ولت آمپر بیش تر است. با یک تناسب ساده، می‌توان مقدار کاهش افت ولتاژ را از ۱۰ درصد به دست آورد که برابر با ۰/۴۴ می‌شود.

بنابراین، افت ولتاژ برای این ترانسفورماتور برابر با  $۹/۵۶ = (۱۰ - ۰/۴۴)$  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:

در عمل باید دقت کنیم که سیم‌پیچ‌های ثانویه همه در یک جهت پیچیده شوند تا ولتاژ آن‌ها با یک دیگر جمع شود. برای توضیح بیش‌تر به بررسی و حل کامل مثال ذکر شده می‌پردازیم.

سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور مورد نظر 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 به طور هم‌زمان استفاده شود.

حل این مثال را در ۹ مرحله توضیح می‌دهیم.

### راه حل

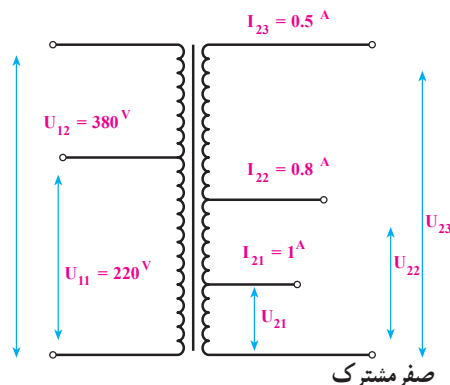
**مرحله‌ی اول:** در این مرحله، معلومات مورد نیاز را مرتب کرده و شکل آن را رسم می‌کنیم (شکل ۳-۴).

$$U_{11} = ۲۲۰^V \text{ و } U_{12} = ۳۸۰^V$$

$$U_{21} = ۱۲^V \text{ و } I_{21} = ۱^A$$

$$U_{22} = ۲۴^V \text{ و } I_{22} = ۰/۸^A$$

$$U_{23} = ۱۱۰^V \text{ و } I_{23} = ۰/۵^A$$



شکل ۳-۴ - نمایش معلومات مورد نیاز ترانسفورماتور

**مرحله‌ی دوم:** قدرت اولیه‌ی ترانسفورماتور را با توجه به این که خروجی‌ها به طور هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، محاسبه می‌کنیم.

$$P_2 = U_{21} \times I_{21} + U_{22} \times I_{22} + U_{23} \times I_{23}$$

$$P_2 = ۱۲ \times ۱ + ۲۴ \times ۰/۸ + ۱۱۰ \times ۰/۵$$

$$= ۸۶/۲ \text{ VA}$$

همان‌طور که قبلاً گفتیم، ضریب بهره برای یک

**مرحله‌ی هفتم:** ابتدا قطر سیم را برای سیم‌های اولیه حساب می‌کنیم. اگر اولیه را به  $22^\circ$  ولت وصل کنیم، جریان آن برابر است با:

$$I_{11} \Rightarrow \frac{P_1}{U_{11}} = \frac{97}{22^\circ} = 4.4 \text{ A}$$

و اگر آن را به  $38^\circ$  ولت وصل کنیم، جریان آن برابر خواهد شد با:

$$I_{12} \Rightarrow \frac{P_1}{U_{12}} = \frac{97}{38^\circ} = 2.5 \text{ A}$$

چگالی جریان برای قدرت  $5^\circ$  تا  $10^\circ$  ولت آمپر برابر با  $J = 3/5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$  است. لذا قطر سیم قسمت اول برابر می‌شود با:

$$d_{11} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{11}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{4.4}{3/5}} = 4.0 \text{ mm}$$

$$d_{12} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{12}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{2.5}{3/5}} = 3.0 \text{ mm}$$

بنابراین، با توجه به تعداد دورهای اولیه باید  $658$  دور از سیم  $4^\circ$  و به دنبال آن  $478$  دور سیم  $3^\circ$  پیچیده شود.

**مرحله‌ی هشتم:** چگالی جریان برای ثانویه نیز برابر با  $J = 3/5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$  است؛ بنابراین، قطر سیم برای قسمت اول سیم پیچ

که هر سه جریان از آن عبور می‌کند، برابر است با:

$$d_{21} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{21} + I_{22} + I_{23}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{1 + 8 + 5}{3/5}} = 9.1 \text{ mm}$$

در این جا نیز با تقریب سیم  $9^\circ$  را انتخاب می‌کنیم.

از قسمت دوم سیم پیچ ثانویه مجموع جریان  $I_{22}$  و  $I_{23}$  عبور می‌کند. بنابراین، قطر آن برابر است با:

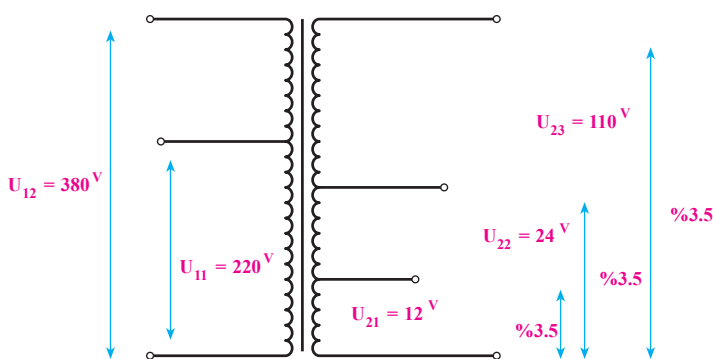
$$d_{22} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{22} + I_{23}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{8 + 5}{3/5}} = 6.8 \text{ mm}$$

$$N_{11} = n \times U_{11} (1 - \Delta U_1) = 3/18 \times 22^\circ (1 - 0.06) = 657/6 \approx 658 \text{ دور}$$

$$N_{12} = n \times U_{12} (1 - \Delta U_1) = 3/18 \times 38^\circ \times (1 - 0.06) = 1135/9 \approx 1136 \text{ دور}$$

سیم پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور دارای دو سیم پیچ سری است که قسمت اول  $658$  دور و قسمت دوم  $478$  دور می‌باشد.  $(1136 - 658) = 478$

**مرحله‌ی نهم:** چون از هر سه خروجی ترانسفورماتور به‌طور هم‌زمان استفاده می‌شود، درصد افت ولتاژ برای هر سه ولتاژ از سیم مشترک تا هریک از خروجی‌های  $12^\circ$  و  $24^\circ$  و  $110^\circ$  ولت،  $3/5$  درصد برآورد می‌شود که در شکل ۴-۴ مشخص شده است.



شکل ۴-۴ - نمایش درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتور

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

$$N_{21} = n \times U_{21} (1 + \Delta U_2) = 3/18 \times 12 \times (1 + \frac{3/5}{100}) = 38 \text{ دور}$$

$$N_{22} = n \times U_{22} (1 + \Delta U_2)$$

$$N_{22} = 3/18 \times 24 \times (1 + \frac{3/5}{100}) = 77 \text{ دور}$$

$$N_{23} = n \times U_{23} (1 + \Delta U_2) = 3/18 \times 110 \times (1 + \frac{3/5}{100}) = 362 \text{ دور}$$

بدین ترتیب، برای  $12^\circ$  ولت باید  $38$  دور و برای  $24^\circ$  ولت

$$(362 - 77) = 285 \text{ ولت } 11^\circ \text{ و برای } 11^\circ \text{ ولت } (77 - 38) = 39$$

دور سیم به‌صورت سری پیچیده شود.

$$F_{11} = \frac{658}{45} = 1/46 \text{ cm}^2$$

$$d_{12} = 0/30 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 77 \frac{0}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

$$F_{12} = \frac{478}{77} = 0/62 \text{ cm}^2$$

$$d_{21} = 0/90 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 100 \frac{0}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

$$F_{21} = \frac{38}{100} = 0/38 \text{ cm}^2$$

$$d_{22} = 0/70 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 160 \frac{0}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

$$F_{22} = \frac{39}{160} = 0/24 \text{ cm}^2$$

$$d_{23} = 0/45 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 370 \frac{0}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

$$F_{23} = \frac{285}{370} = 0/77 \text{ cm}^2$$

سطح کل مورد نیاز برابر است با:

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

$$F = F_{11} + F_{12} + F_{21} + F_{22} + F_{23}$$

$$F = 1/46 + 0/62 + 0/38 + 0/24 + 0/77 = 3/47 \text{ cm}^2$$

$$F_T = 1/35 \times 3/47 = 4/68 \text{ cm}^2$$

با مراجعه به جدول ۶-۲ ورق (EIV8) که پنجره‌ی آن

دارای ابعاد  $e = 3/9$  و  $g = 1/3$  سانتی متر است، به دست می آید.

$$g \times e \geq 4/68$$

$$3/9 \times 1/3 = 5/07 > 4/68 \text{ cm}^2$$

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

برای این قسمت نیز با توجه به جدول ۳-۲ سیم استاندارد ۷۰/۰ را انتخاب می‌کنیم. از قسمت سوم سیم پیچ ثانویه، فقط جریان  $I_{23}$  عبور می‌کند. بنابراین قطر آن برابر است با:

$$d_{23} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{23}}{J}}$$

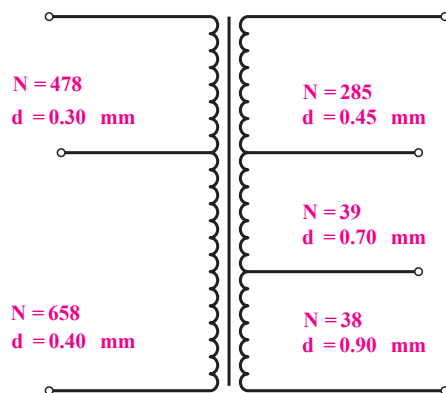
$$d_{23} = 1/13 \sqrt{\frac{0/5}{3/5}}$$

از جدول

$$= 0/43 \text{ mm} \xrightarrow{\text{میلی متر}} 0/45 \text{ mm}$$

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

نتایج محاسبات لازم برای سیم پیچی هر قسمت از ترانسفورماتور مورد نظر، در شکل ۵-۴ نشان داده شده است.



شکل ۵-۴- نمایش ترانسفورماتور با چند سر ورودی و چند سر خروجی

پس از مشخص کردن کامل تعداد دور سیم‌ها و قطر آن، باید سطح پنجره‌ی لازم برای آن‌ها را به دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد. سطح مورد نیاز برای هر سیم پیچ به قرار زیر است.

$$d_{11} = 0/40 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 45 \frac{0}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

ترانسفورماتوری را طراحی کرده و بسازید که اولیه‌ی آن به ولتاژ  $220^\circ$  ولت با فرکانس  $50\text{ Hz}$  وصل شود و بتوان به طور هم‌زمان سه مصرف‌کننده‌ی زیر را به ثانویه‌ی آن وصل کرد.

- ۱- مصرف‌کننده‌ی اهمی با ولتاژ  $110^\circ$  ولت و جریان  $250^\circ$  میلی‌آمپر.
- ۲- مصرف‌کننده‌ی اهمی با ولتاژ  $42^\circ$  ولت و جریان  $400^\circ$  میلی‌آمپر.
- ۳- مصرف‌کننده‌ی اهمی با ولتاژ  $12^\circ$  ولت و جریان  $5^\circ$  آمپر.

### سؤالات

- ۱- محاسبات این ترانسفورماتور را به طور کامل بنویسید.
- ۲- مشخصات این ترانسفورماتور را از طریق منحنی به دست آورید و با نتایج محاسبات قبلی مقایسه کنید.
- ۳- این ترانسفورماتور را برای حالتی که فقط از دو خروجی آن بتوان به طور هم‌زمان استفاده کرد نیز محاسبه کنید.

الف : ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی ۴ را به صورت بی‌بار به ولتاژ  $220^\circ$  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  $220^\circ$  ولت وصل کنید. آن‌گاه با تغییر مقاومت‌های متغیر، جریان هر یک از مصرف‌کننده‌ها را در مقدار نامی خود تنظیم کنید و پس از آن ولتاژهای خروجی و جریان اولیه را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

### سؤالات

- ۱- مدار اتصال آزمایش حالت الف را رسم کنید.
- ۲- مدار اتصال آزمایش حالت ب را رسم کنید.
- ۳- نسبت تبدیل‌های ترانسفورماتور چه قدر است؟
- ۴- چرا باید در ابتدای آزمایش بارداری، مقاومت‌های بار را در حداکثر قرار داد؟
- ۵- اگر از ولتاژهای خروجی به طور هم‌زمان استفاده نشود، آیا در مقادیر آن‌ها تغییری به وجود می‌آید؟

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

## اتوترانسفورماتور

**هدف‌های رفتاری:** از هنجار انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند:

- ۱- ساختمان اتوترانسفورماتور را توضیح دهد.
- ۲- توان تیپ و توان انتقالی را توضیح دهد.
- ۳- سطح مقطع هسته‌ی یک اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۴- قطر سیم قسمت‌های مختلف اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۵- تعداد دور قسمت‌های مختلف اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۶- یک اتوترانسفورماتور یک فاز را براساس نیاز بازار محاسبه و سیم‌بچی و آزمایش کند.

## ۵- اتوترانسفورماتور

در این است که ترانسفورماتورهای معمولی دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه مجزا از یک‌دیگر دارند اما در اتوترانسفورماتور سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ کم تر حذف شده است و به جای آن از قسمتی از سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ بیش‌تر استفاده می‌شود.

در شکل ۱-۵ الف یک ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه و در شکل ۱-۵ ب همان ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مشترک نشان داده شده است. در این شکل، ولتاژ اولیه از ولتاژ خروجی بیش‌تر است. در شکل ۱-۵ پ اتوترانسفورماتوری را می‌بینید که ولتاژ ثانویه‌ی آن از ولتاژ اولیه‌اش بیش‌تر است. در ترانسفورماتورهای صرفه‌ای، دو سیم‌پیچ از نظر الکتریکی با یک‌دیگر در ارتباط هستند و لذا نمی‌توان از آن‌ها

### ۱-۵- اتوترانسفورماتور (ترانسفورماتور صرفه‌ای)

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

تفاوت ترانسفورماتورهای معمولی با اتوترانسفورماتور

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:

$$P_{ST} = U_2(I_2 - I_1) = I_1(U_1 - U_2)$$

$$P_{S_2} = U_2 \times I_2$$

$$\frac{P_{ST}}{P_{S_2}} = \frac{U_2(I_2 - I_1)}{U_2 \times I_2} \Rightarrow P_{ST} = P_{S_2} = \frac{I_2 - I_1}{I_2}$$

با استفاده از رابطه‌ی  $P_2 \approx P_1 = U_1 \times I_1$  نیز می‌توان

نوشت:

$$\frac{P_{ST}}{P_{S_2}} = \frac{I_1(U_1 - U_2)}{U_1 \times I_1} \Rightarrow P_{ST} = P_{S_2} \frac{U_1 - U_2}{U_1}$$

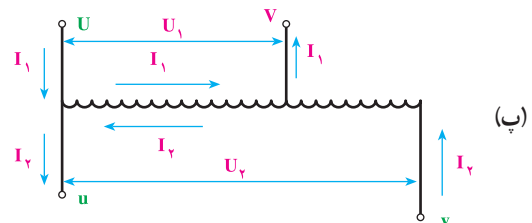
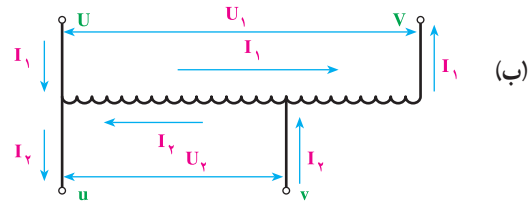
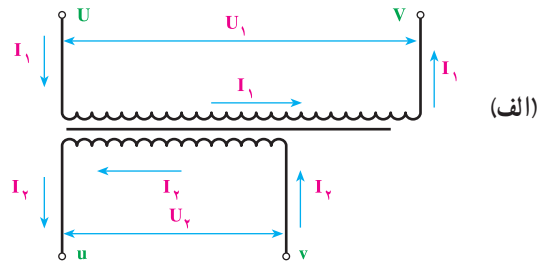
اگر  $U_1$  از  $U_2$  کوچک‌تر باشد (مانند شکل ۵-۱ پ) رابطه‌ی بالا به صورت زیر درمی‌آید.

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

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

با مشخص کردن 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 ۲-۲ به جای  $P_2$ ، قدرت تیپ ( $P_T$ ) را در نظر می‌گیریم.

برای مثال، در یک اتوترانسفورماتور با ولتاژ خروجی ۱۵ ولت و قدرت ۳ کیلوولت آمپر و ولتاژ ورودی ۲۲۰ ولت، قدرتی که باید برای محاسبه‌ی سطح مقطع آهن (قدرت تیپ) به دست آید برابر است با:



شکل ۵-۱- تفاوت ترانسفورماتور و اتوترانسفورماتور

به عنوان ترانسفورماتور حفاظت، حتی در ولتاژهای کم استفاده کرد.

قدرتی که هسته‌ی آهن ترانسفورماتورهای صرفه‌ای بر مبنای آن حساب می‌شود، با قدرت خروجی یا ورودی تفاوت دارد و از آن‌ها کم‌تر است. محاسباتی که در این‌جا بیان می‌شود تنها برای به دست آوردن قدرتی است که برای محاسبه‌ی هسته باید از آن استفاده کرد. به این قدرت در اصطلاح قدرت تیپ ترانسفورماتور می‌گویند و آن را با  $P_T$  نشان می‌دهند. قدرت خروجی ترانسفورماتور صرفه‌ای برابر است با  $P_2 = U_2 \times I_2$  که آن را می‌توان با قدرت ورودی تقریباً برابر گرفت.

همان‌طور که در شکل ۵-۱ ب مشاهده می‌کنید، از قسمت  $u-v$  سیم‌پیچ که به بار وصل می‌شود دارای اختلاف پتانسیل  $U_2$  است، جریان  $I_2 - I_1$  و در جهت  $I_2$  عبور می‌کند. در حالی 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 به عنوان ثانویه نیز استفاده می‌شود، دارای قدرت ظاهری  $U_2 \times (I_2 - I_1)$  و باقی‌مانده‌ی سیم‌پیچ - یعنی قسمت  $v-v$  دارای قدرت



بدین ترتیب، این اتوترانسفورماتور دارای سطح مقطع آهن

$$S_{Fe} = 1/2 \sqrt{954} = 37 \text{ cm}^2$$

است و سطح مقطع سیم قسمت مشترک سیم پیچ اولیه و ثانویه باید بر مبنای جریان  $37/6 = 6.17$  (۶۳/۱۳-۲۰) آمپر و قسمت بعدی — که فقط جریان اولیه از آن عبور می کند — بر مبنای  $13/63$  آمپر محاسبه شود.

با دقت در این مثال، متوجه می شوید 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 قابل تنظیم نیز از این روش استفاده می شود.

$$P_{ST} = P_{S1} \cdot \frac{U_1 - U_2}{U_1}$$

$$P_{ST} = 3000 \cdot \frac{220 - 150}{220} = 954 \text{ VA}$$

جریان های اولیه و ثانویه ی آن نیز با فرض  $P_{S1} = P_{S2}$

برابر است با:

$$I_1 = \frac{P_{S1}}{U_1} = \frac{3000}{220} = 13.63 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P_{S2}}{U_2} = \frac{3000}{150} = 20 \text{ A}$$

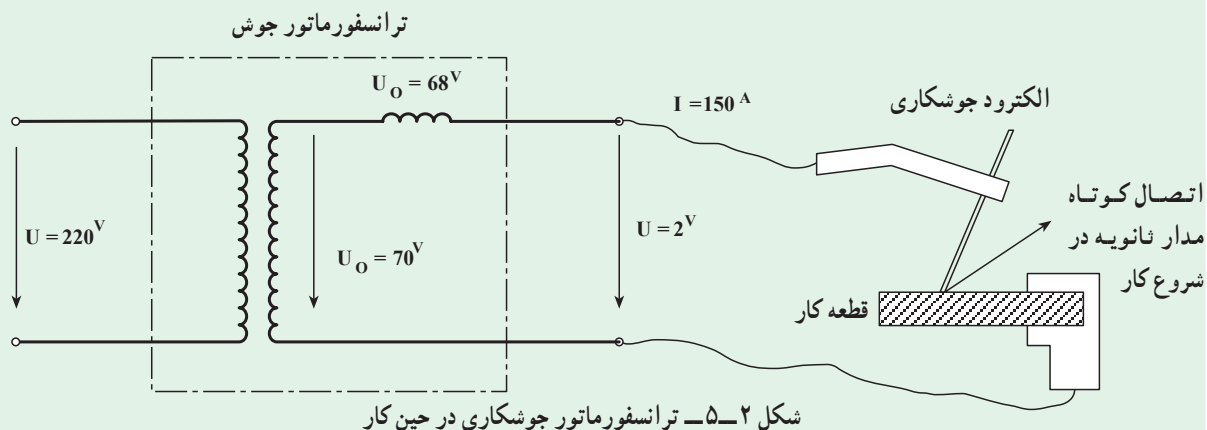
## مطالعه ی آزاد

### ۵-۲ — ترانسفورماتورهای جوشکاری

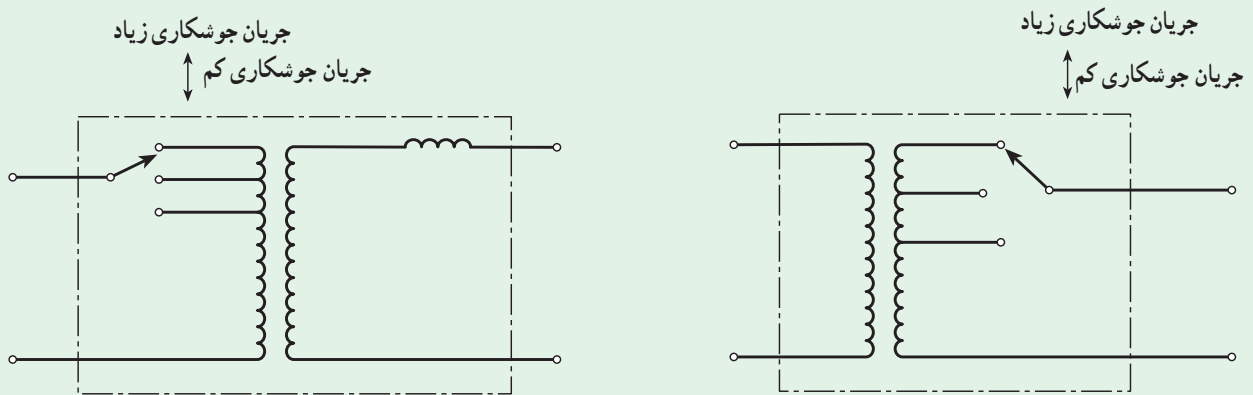
یکی از روش های جوشکاری فلزات، استفاده از حرارتی است که توسط قوس الکتریکی ایجاد می شود. برای تشکیل قوس الکتریکی می توان از ترانسفورماتور استفاده کرد.

ترانسفورماتورهایی که در جوشکاری از آنها استفاده می شود، باید علاوه بر داشتن خصوصیات یک ترانسفورماتور معمولی، سیستمی برای تغییر جریان ثانویه و هم چنین کاهش ولتاژ کار داشته باشند. بنابراین، علاوه بر مطالب گفته شده در مورد ساخت ترانسفورماتورها، لازم است به نکات زیر نیز توجه کنیم.

ولتاژ ترانسفورماتور جوشکاری در حالت بی باری نباید از  $70^\circ$  ولت بیش تر باشد. پس از ایجاد قوس الکتریکی، این ولتاژ باید تنزل کند. به طوری که حداکثر مقدار آن  $30^\circ$  ولت باشد. مدار ثانویه ی ترانسفورماتورهای جوشکاری، در هنگام تولید جرقه برای ایجاد قوس الکتریکی به صورت اتصال کوتاه در می آید. برای این که ترانسفورماتور در این حالت صدمه نبیند، باید یک سلف را با مدار ثانویه به صورت سری قرار داد (شکل ۵-۲) یا این که 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.

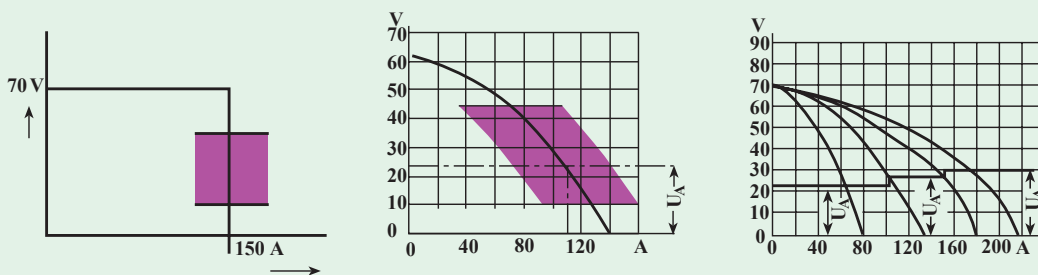


همان طور که می دانیم برای جوشکاری قطعات مختلف باید جریان جوشکاری قابل تنظیم باشد. برای مثال، جهت افزایش آن باید ولتاژ ثانویه را افزایش داد. این عمل با کاهش تعداد دور سیم پیچ اولیه توسط یک کلید پله ای یا افزایش تعداد دور سیم پیچ ثانویه از طریق تغییر اتصال آن امکان پذیر می شود (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- دو نوع ترانسفورماتور جوش متغیر

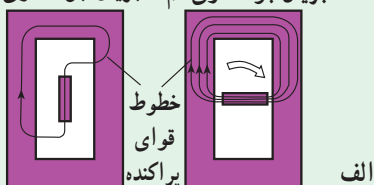
در این روش، نسبت تبدیل ترانسفورماتور تغییر می کند؛ بنابراین، ولتاژ بی باری آن نیز تغییر خواهد کرد. برای این که با تغییر جریان جوشکاری، ولتاژ حالت بی باری تغییر نکند، می توان نسبت تبدیل ترانسفورماتور را تغییر نداد و در عوض، با ایجاد افت ولتاژ در ثانویه، ولتاژ خروجی را در حالت کار پایین آورد. بنابراین، در ولتاژ بی باری ثابت با زیاد کردن افت ولتاژ، جریان جوشکاری کاهش می یابد و با کم کردن آن، جریان جوشکاری افزایش می یابد. (منحنی ۱-۵).



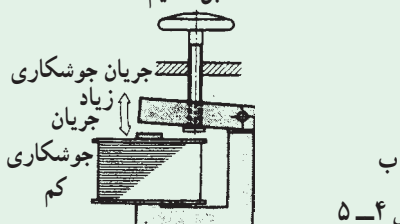
منحنی ۱-۵- ترانسفورماتورهای مختلف

خطوط قوای پراکندگی قابل تنظیم

جریان جوشکاری کم      جریان جوشکاری زیاد



سلف قابل تنظیم



شکل ۴-۵

افت ولتاژ را می توان با تغییر مقاومت داخلی ترانسفورماتور جوشکاری به وسیله ی یک سلف قابل تنظیم یا یوخی - که مقدار پراکندگی را تغییر می دهد - به دست آورد. در شکل های ۴-۵ دو روش عمل تغییر فوران 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 سیستم های دیگری مانند به کار بردن جریان مستقیم و غیره انجام گیرد.

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  $130$  آمپر در زیر آمده است. برای این که شما هنرجویان نیز بتوانید با حداقل وسایل این ترانسفورماتور را بسازید. تغییرات جریان ثانویه را به وسیله‌ی تغییر دادن تعداد دور سیم پیچ اولیه در پنج مرحله در نظر گرفته ایم.

مشخصات خارجی ترانسفورماتور

ولتاژ اولیه  $220$  ولت

قدرت ترانسفورماتور  $3/2$  کیلوولت آمپر

کسینوس فی  $0.5$

جریان ثانویه  $40/130$  A

اختلاف سطح بی باری  $60V$

اختلاف سطح در هنگام جوشکاری  $247$

جریان نامی فیوز اولیه  $15A$

سطح مقطع کابل اتصال به شبکه:  $1/5$  میلی متر مربع

سطح مقطع کابل اتصال ثانویه به الکتروود و قطعه کار:  $16$  میلی متر مربع

قطر الکتروودهای جوشکاری:  $3/25 - 2/5 - 1/5$  میلی متر

وزن تقریبی:  $17$  کیلوگرم

مشخصات سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه

قطر سیم اولیه  $d_1 = 1/9$  mm

تعداد دور کل اولیه  $N_1 = 425$  دور

طول سیم لاک‌ی لازم برای اولیه  $I_1 = 100$  m

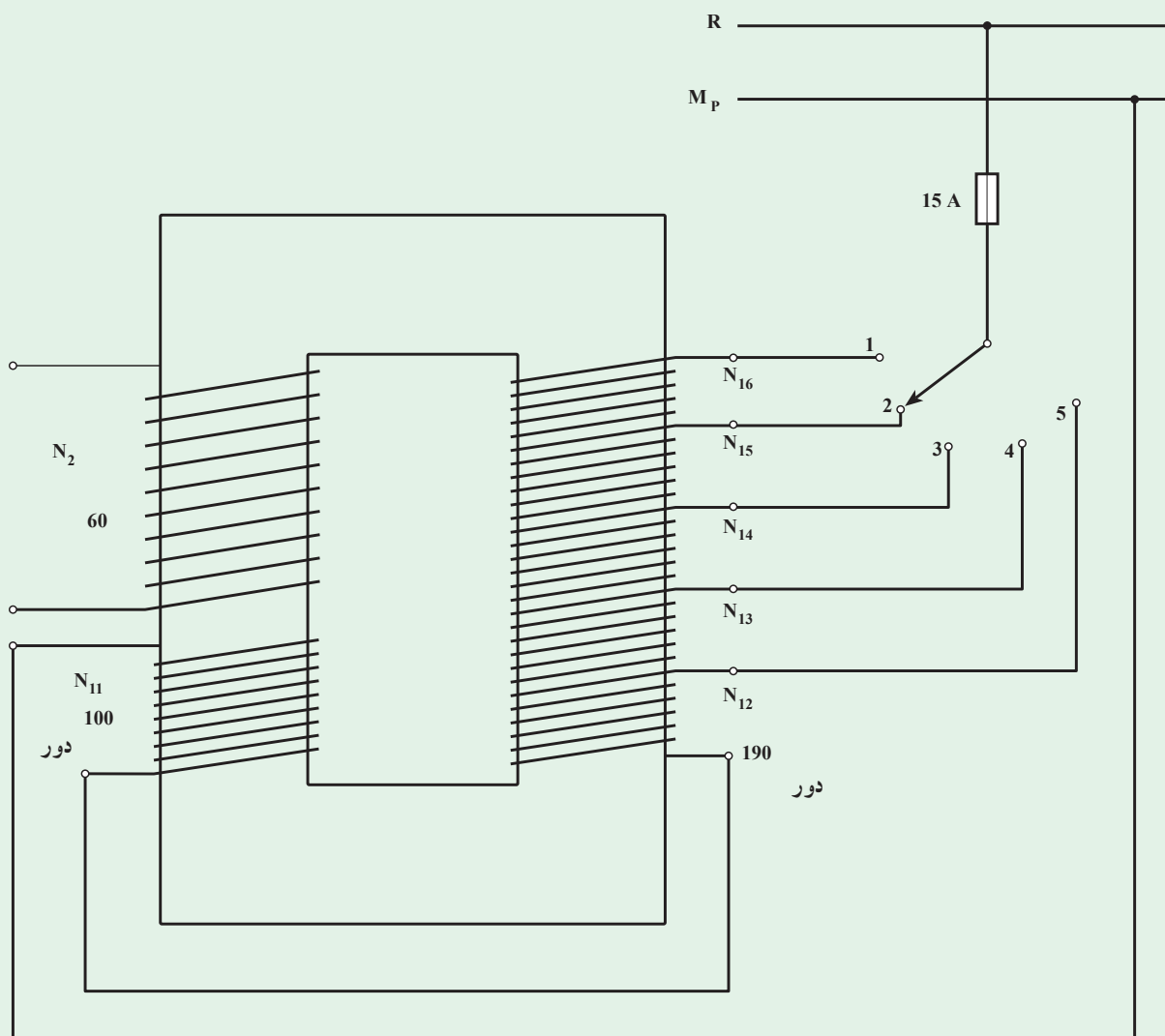
قطر سیم ثانویه  $d_2 = 4$  mm

تعداد دور ثانویه  $N_2 = 68$  دور

طول سیم لاک‌ی لازم برای ثانویه  $I_2 = 22$  m

سیم پیچ اولیه از شش سیم پیچ با تعداد دورهای  $N_{11} = 100$  و  $N_{12} = 190$  و  $N_{13} = 15$  و  $N_{14} = 25$  و  $N_{15} = 35$  و  $N_{16} = 60$  که مجموع آن‌ها  $N_1 = 425$  دور می‌شود، تشکیل شده است.

سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه باید بر روی دو قرقره پیچیده شوند. بر روی یک قرقره قسمتی از سیم پیچ اولیه  $N_{11} = 100$  دور و سیم پیچ ثانویه پیچیده شده و بر روی قرقره‌ی دوم نیز سایر سیم پیچ‌های مربوط به اولیه پیچیده می‌شوند. بنابراین، در روی یک قرقره باید  $325 = 100 - 425$  دور از سیم  $d_1 = 1/9$  mm پیچیده شده و به ترتیب در دورهای اول و  $190$  و  $230$  و  $265$  و  $325$ ، یک سر از قرقره خارج شود. چگونگی خارج شدن سرها و سیم پیچ‌هایی که باید بر روی هریک از دو قرقره پیچیده شوند، در شکل ۵-۵ نشان داده شده است.

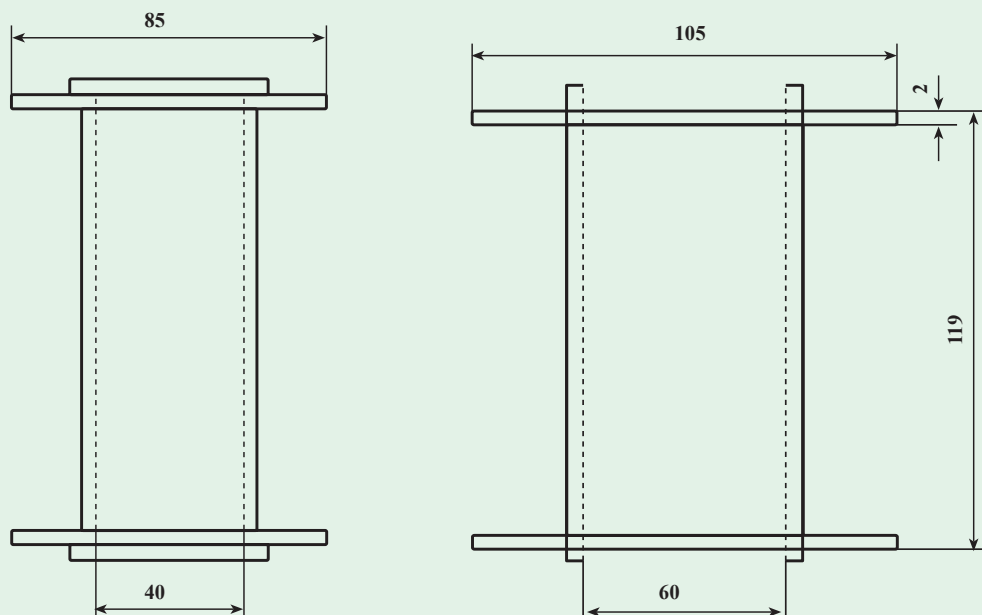


شکل ۵-۵- ترانسفورماتور متغیر

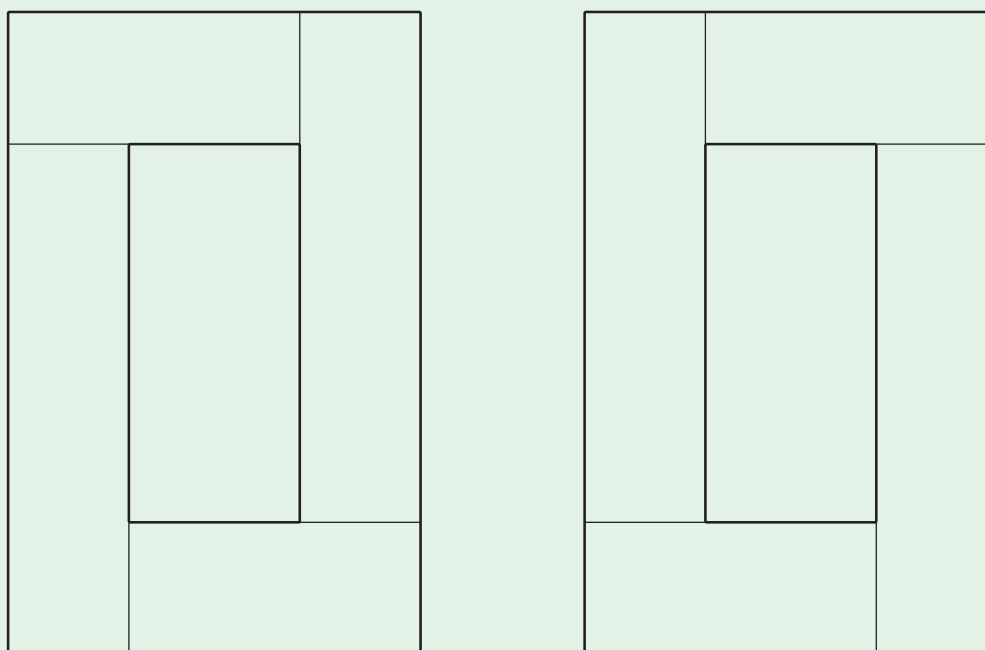
اندازه‌ی ورقه‌های دیناموبلش و قرقره: ورقه‌های آهن که در این ترانسفورماتور از آن استفاده می‌شود، به شکل مستطیل و در دو اندازه‌ی  $۴۰ \times ۱۶۰$  و  $۴۰ \times ۹۰$  میلی‌متر است تا با کنار هم قرار دادن آن‌ها، یک مدار بسته ایجاد شود. سطح آهن مورد نیاز  $۲۴۰۰$  میلی‌متر مربع است و بنابراین، ارتفاع ورقه‌ها برابر با  $h = \frac{۲۴۰۰}{۴۰} = ۶۰$  میلی‌متر خواهد شد. بنابراین، در قرقره‌ای که ساخته می‌شود، باید ورقه‌هایی به پهنای  $۴۰$  میلی‌متر و ارتفاع  $۶۰$  میلی‌متر، جای گیرد.

در شکل ۵-۶ 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 مورد نیاز برای هر بازو  $۱۷۱ = ۳۵ / ۰/۶۰$  قطعه است. چون هر دو بازوی روبه‌رو مشابه یک دیگرند، در مجموع تعداد  $۳۵۴$  قطعه به هریک از اندازه‌های ذکر شده، مورد نیاز است. طبقه‌ی چیدن و قرار دادن ورقه‌ها در داخل قرقره بر روی یک دیگر مانند شکل ۵-۷ است.



شکل ۵-۶- دو نمای قرقره



شکل ۵-۷- 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 محکم کردن ورقه‌های دیناموبلش در داخل قرقره و جلوگیری از پاشیدگی آن‌ها، می‌توان از بست- که طراحی آن به‌عهده‌ی خود هنرجویان است - استفاده کرد. محفظه‌ای که ترانسفورماتور درون آن قرار می‌گیرد نیز باید دارای منافذی برای تهویه و خنک شدن ترانسفورماتور باشد.

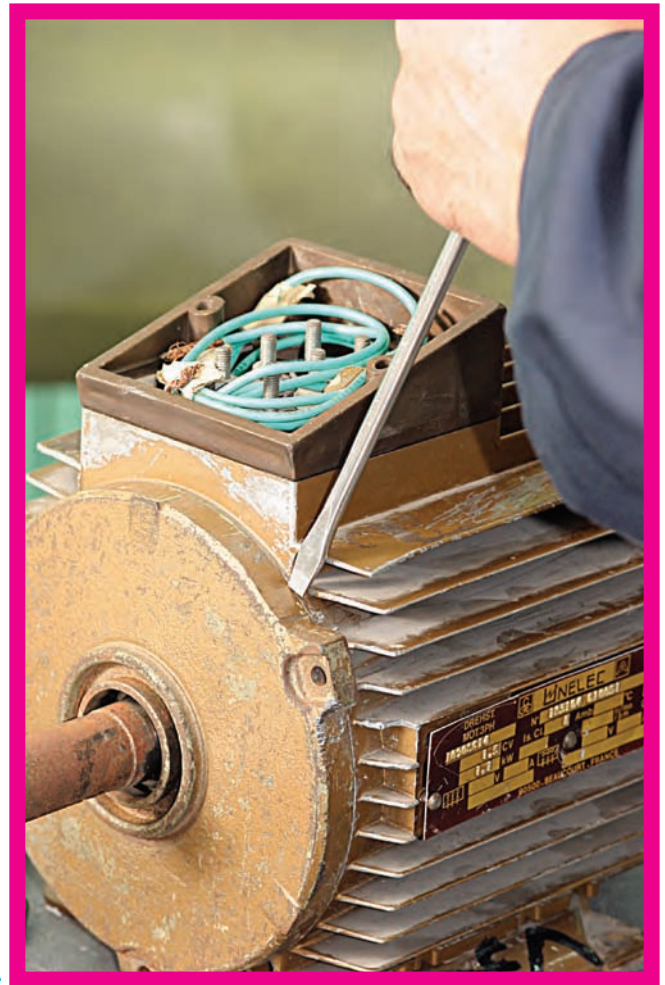
## کار عملی ۶

یک ترانسفورماتور با چند سر ثانویه و ولتاژ اولیه  $220\text{V}$  و ولتاژهای ثانویه  $110\text{V}$ ،  $230\text{V}$  و  $240\text{V}$  با قدرت  $10\text{KVA}$  را محاسبه و سیم‌پیچی کنید.

## کار عملی ۷

ترانسفورماتور کار عملی ۶ را از نظر بی‌باری و اتصال کوتاه و بارگذاری آزمایش کنید و نتایج به دست آمده را بررسی نمایید.





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

## تجدید سیم پیچی موتورهای جریان متناوب

**هدف های رفتاری:** از هنرجو انتظار می رود در پایان این فصل بتواند :

- ۱- قطعات موتور را از یکدیگر جدا کند.
- ۲- از روی پلاک موتور مشخصات آن را برداشت کند.
- ۳- سیم های سوخته را از داخل شیار خارج کند.
- ۴- قطر سیم را اندازه گیری کند و تعداد دور کلاف ها را بشمارد.
- ۵- داخل شیارها را عایق کاری کند.
- ۶- کلاف ها را اندازه بگیرد و قالب مناسب را انتخاب کند.
- ۷- کلاف ها را ببیچد.
- ۸- کلاف ها را در شیارها جا بزند.
- ۹- سیم ها را در داخل شیار محکم کند.
- ۱۰- کلاف های موتور را سربندی کند.
- ۱۱- کلاف ها را نواربندی کند.
- ۱۲- آزمایش های مقدماتی را انجام دهد.
- ۱۳- قسمت های مکانیکی موتور را مونتاژ کند.
- ۱۴- موتور را به وسیله ی برق آزمایش کند.
- ۱۵- موتور را باز کرده مجدداً بازبینی کند.
- ۱۶- به سیم پیچ های موتور شارلاک بزند.
- ۱۷- موتور را سوار و مجدداً آزمایش کند.





## ۶- تجدید سیم پیچی موتورهای جریان متناوب

ترتیب کار برای تجدید سیم پیچی یک موتور سوخته

- تهیه ی کلاف ها، مراحل زیر را نیز انجام دهیم.
- ۱- طراحی نقشه ی مناسب برای سیم پیچی
- ۲- محاسبه ی تعداد دور و قطر سیم
- ۳- بررسی این که آیا سیم ها در داخل شیار استاتور جای می گیرند یا نه؟
- حال به شرح هریک از مراحل ذکر شده برای تعویض سیم پیچی موتوری که سیم پیچ آن سوخته است، می پردازیم.

### ۱-۶- جدا کردن رتور از استاتور (باز کردن موتور)

برای باز کردن موتور، قبل از هر کاری باید موتور را به دقت بررسی کرده و نحوه ی باز کردن قطعات آن را طرح ریزی کنید. قطعات مشابه یا خاص موتور را باید قبل از باز کردن علامت گذاری کنید تا در موقع سوار کردن، مجدداً به طور صحیح در جای خود قرار گیرند.

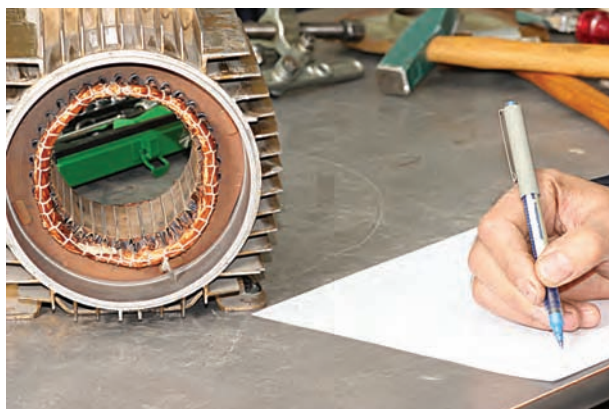
یکی از قسمت های مهم موتور درپوش های آن است که می توان محل هر کدام را با علامت گذاری (مثلاً توسط سنبه یا سوزن خط کش) روی درپوش و پوسته ی موتور مشخص کرد. در موقع باز کردن موتور، باید دقت کافی داشته باشیم که هر قطعه را چگونه و از کدام محل جدا می کنیم. قطعات جدا شده را بعد از تمیز کردن، درون جعبه ی مخصوص قرار می دهیم تا گم نشوند یا در موقع سوار کردن مجدد آن ها به مشکلی برخورد نکنیم. در شکل های ۱-۶ ترتیب باز کردن یک موتور نشان داده شده است.

- ۱- جدا کردن رتور از استاتور (باز کردن موتور)
  - ۲- برداشتن مشخصات و نقشه از روی سیم پیچی استاتور
  - ۳- خارج کردن سیم های سوخته از داخل شیارها
  - ۴- اندازه گیری قطر سیم و تعداد دور کلاف ها
  - ۵- عایق کاری داخل شیارها
  - ۶- ساختن قالب برای تهیه ی کلاف ها
  - ۷- پیچیدن کلاف ها
  - ۸- جا زدن کلاف ها در داخل شیار
  - ۹- محکم کردن سیم ها در داخل شیار
  - ۱۰- سربندی کلاف های موتور
  - ۱۱- نواربندی کلاف های موتور
  - ۱۲- آزمایش موتور توسط وسایل اندازه گیری
  - ۱۳- سوار کردن موتور به طور موقت
  - ۱۴- آزمایش موتور به وسیله ی اتصال به برق
  - ۱۵- باز کردن مجدد موتور و کنترل عایق بندی و نوارپیچی آن
  - ۱۶- لاک زدن موتور
  - ۱۷- سوار کردن کامل موتور و آزمایش مجدد
- در صورتی که بخواهیم خصوصیات یک موتور از قبیل تعداد دور، ولتاژ و ... را با سیم پیچی مجدد تغییر دهیم، باید علاوه بر اجرای مراحل گفته شده قبل از ساختن قالب برای

## ۲-۶- برداشتن مشخصات و نقشه از روی سیم پیچی استاتور

برای تجدید سیم پیچی، باید از روی سیم پیچی معیوب نقشه برداریم و مشخصات لازم را یادداشت کنیم. مشخصات و نقشه باید به نحوی برداشته شود که قابل استفاده باشد و برای دوباره پیچی و سربندی کلاف‌ها ما را راهنمایی کند. برای این منظور باید به نکات زیر دقت کرد:

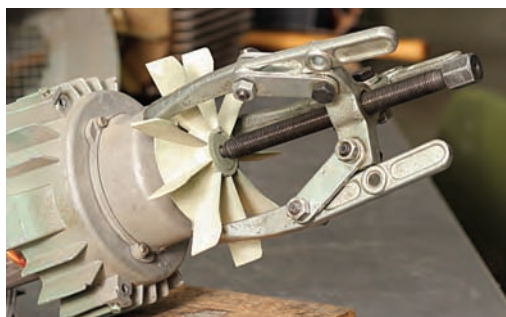
- ۱: یک فاز یا سه فاز بودن موتور
  - ۲: تعداد سرهای خروجی موتور
  - ۳: نوع سیم پیچی موتور (یک طبقه یا چند طبقه)
  - ۴: نوع اتصال موتور (ستاره - مثلث - یک دور یا چند دور)
  - ۵: تعداد کلاف‌های موتور
  - ۶: تعداد کلاف‌های هر فاز
  - ۷: اتصال کلاف‌های هر فاز (سری یا موازی)
  - ۸: گام کلاف‌ها
  - ۹: تعداد سیم‌های موازی
  - ۱۰: تعداد دور هر کلاف
  - ۱۱: قطر سیم
- روش ترسیم نقشه‌ی سیم پیچی، در فصل بعدی کتاب توضیح داده خواهد شد.



شکل ۲-۶- برداشتن مشخصات و نقشه



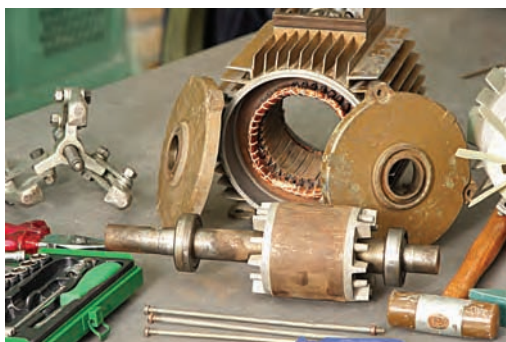
الف - باز کردن پیچ‌های موتور



ب - درآوردن پروانه



پ - جدا کردن قالب‌ها



ت - جدا کردن قطعات موتور

شکل ۱-۶

### ۳-۶- 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. بدین منظور می‌توان از یک تیغ اره‌ی آهن‌پر استفاده کرد و با فرو بردن دندانه‌های آن در جهت طول گوه و ضربه زدن به انتهای آن، گوه را خارج نمود. پس از آن اگر سیم‌های موتور کاملاً سوخته و به یک دیگر و به جداره‌ی شیار نچسبیده باشند، می‌توان آن‌ها را به راحتی از شیار خارج کرد. اما چون معمولاً کلاف‌ها توسط لاک یک پارچه می‌شوند و به جداره‌ی شیار نیز می‌چسبند، باید آن‌ها را به وسیله‌ی عبور جریان الکتروسیسته 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 بیریم و سیم‌ها را به وسیله‌ی سنبه‌ی سرتخت از شیار خارج کنیم. در این صورت باید دقت کرد که ورقه‌های دیناموبلش یا پوسته‌ی موتور صدمه‌ای نبینند.

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

### ۴-۶- 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.

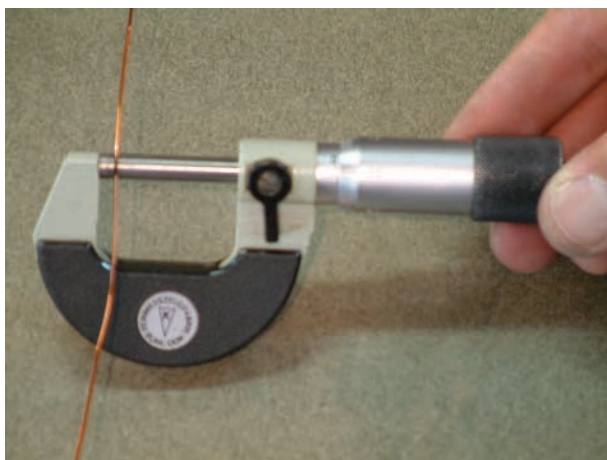


(الف)



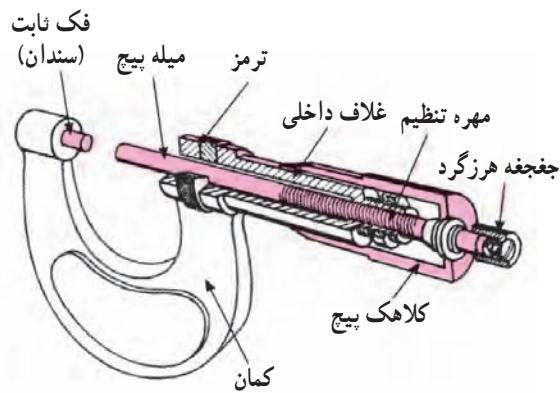
(ب)

شکل ۳-۶



شکل ۴-۶

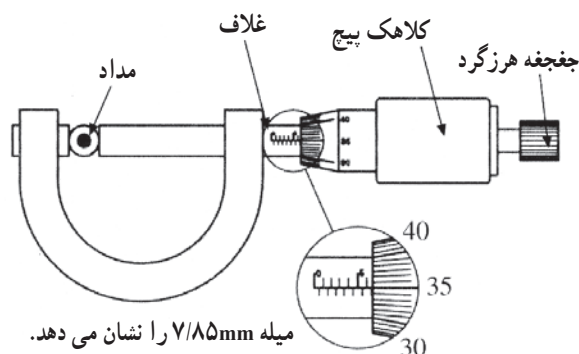




شکل ۵-۶

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 جفجغه هرزگرد کلاهک بر روی میله جابه‌جا می‌شود. در شکل (۵-۶) 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.



میله ۷/۸۵mm را نشان می‌دهد.  
قطر مداد = درجه‌ای را که میله نشان می‌دهد.

به علاوه درجه‌ای که کلاهک نشان می‌دهد.

قطر مداد = ۷/۸۵mm

شکل ۶-۶

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

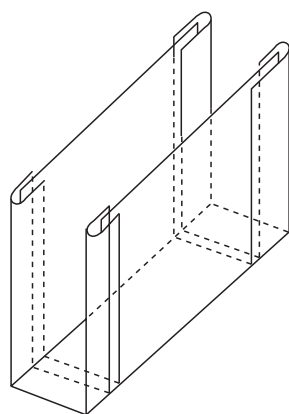
مثلاً در شکل (۶-۶) قطر مداد  $7/85 + 0/35 = 7/5 + 0/35 = 7/85$ mm

قرائت می‌شود.

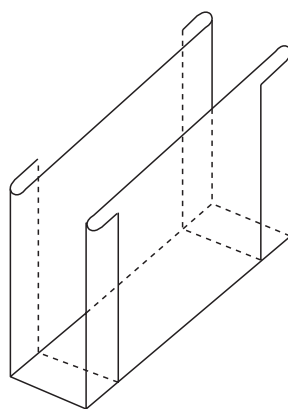
## ۵-۶- عایقکاری داخل شیارها

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، از بین 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 به طرف خارج تا زد. در این صورت، از حرکت عایق در درون شیار جلوگیری می‌شود و استحکام مکانیکی عایق در آن قسمت افزایش می‌یابد و در موقع فرم دادن به سیم پیچ پاره نمی‌شود. به این منظور باید طول عایق را به اندازه‌ی لبه‌های تاشده، بیش‌تر از حالتی که تا نمی‌زنیم، انتخاب کرد (شکل ۷-۶).



(ب)



(الف)



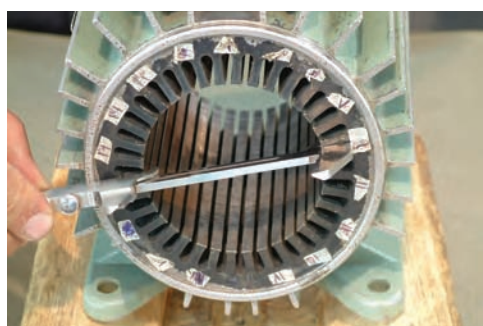
(ت)



(پ)



(ث)



شکل ۶-۷- عایق شیار

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 ۶-۱ برای موتورهای با قدرت متوسط داده شده است.

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

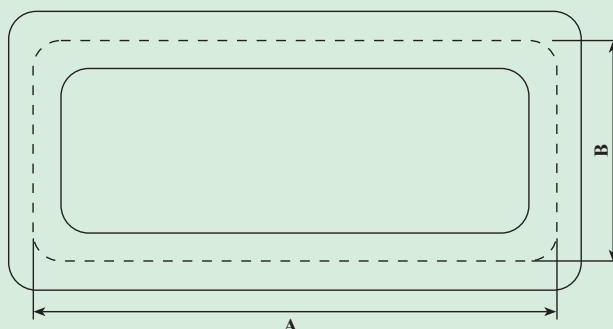
جدول ۶-۱- کاغذ برش‌مان مناسب برای ولتاژهای مختلف

ولتاژ فازی [V]	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۵۰	۴۵۰-۶۰۰	۶۰۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰
ضخامت عایق [mm]	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۱

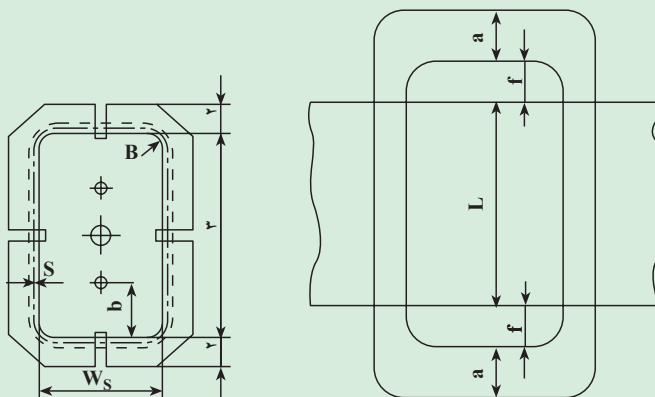
### ۶-۶- ساختن قالب برای تهیه‌ی کلاف‌ها

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 بدین صورت 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  $\frac{3}{4}$  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:

$$l_s = l + 2f + 2a$$

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 – مانند پروانه، کلید گریز از مرکز و ... – 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) برای تنظیم این قالب، ابتدا یکی از شیارهای استاتور را به عنوان شیار شماره‌ی یک انتخاب می‌کنیم. سپس شیار بعدی را با توجه به گام سیم‌پیچی، مشخص می‌کنیم و پس از آن، مطابق شکل ۸-۶ 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.



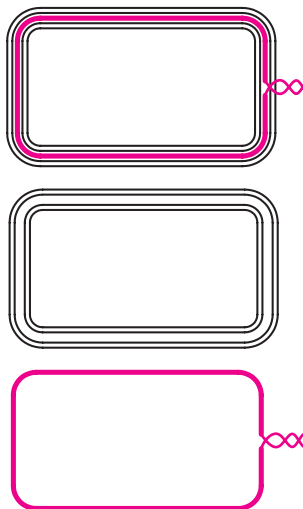
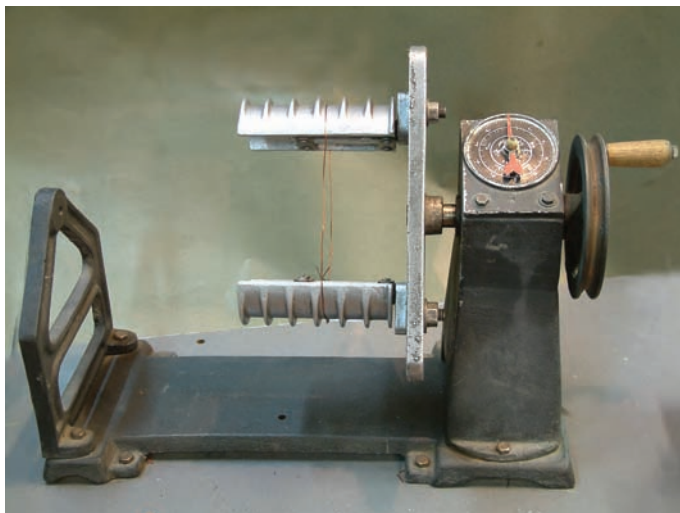
شکل ۸-۶ – طریقه‌ی اندازه‌گیری کلاف‌ها با توجه به گام کلاف

پس از آن که سیم به فرم یک حلقه‌ی مناسب درآمد، آن را از داخل استاتور خارج می‌کنیم و مانند شکل ۹-۶ بر روی دو نیم قالب متحرک قرار می‌دهیم. قطعات نیم‌قالب را آن قدر 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

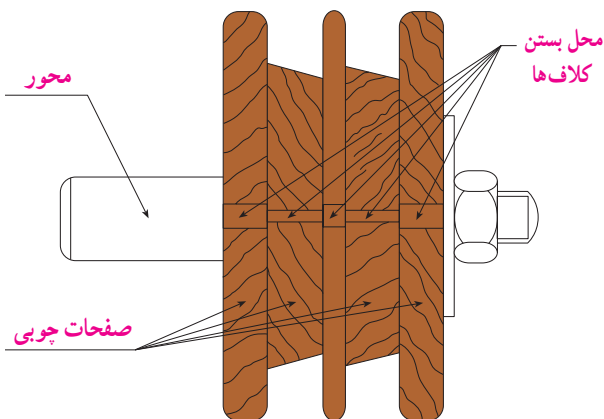
دقت داشته باشید که اگر محیط سیم (حلقه) کم باشد، برای جا انداختن کلاف‌ها در داخل استاتور با مشکل روبه‌رو می‌شویم. اگر محیط سیم (حلقه) نیز زیاد باشد، فرم مجموعه‌ی سیم‌بندی شده به هم می‌خورد و فضای زیادی را اشغال می‌کند. در عین حال، مقاومت سیم‌پیچی و حجم سیم به کار رفته افزایش می‌یابد و احتمالاً برای جا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

توجه کرد، شیبی است که لازم است در ضخامت قالب به وجود آید. در صورت وجود این شیب هنگامی که سیم دور قالب پیچیده می‌شود، به آسانی می‌توان کلاف را از قالب جدا کرد.

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



شکل ۹-۶- طریقه‌ی اندازه‌کردن بوبین در کلاف پیچ



شکل ۱۰-۶- طریقه‌ی قرار گرفتن قالب و نگهدارنده‌ها

پس از تهیه‌ی قالب، باید قطعات نگهدارنده‌ی طرفین قالب را ساخت. جنس این قطعات چوب نازک یا فیبربختاری 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 ۱۰-۶ طرز قرار گرفتن قالب و نگهدارنده‌ها بر روی محورشان نشان داده شده است.

در شکل ۱۰-۶ نیز علاوه بر قالب اصلی، نگهدارنده نیز رسم شده است که در هر طرف آن یک شیار برای بستن کلاف وجود دارد.

## ۶-۷- 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 ثابت ماندن قرقره‌ی سیم، ابتدای سیم را به قالب می‌بندیم و شروع به پیچیدن سیم می‌کنیم.



رفتن عایق، خطر اتصال کوتاه حلقه‌ها به یک‌دیگر نیز وجود دارد.

در شکل ۱۱-۶ یک کلاف را که به‌طور غلط پیچیده شده و حلقه‌های آن در هم است، مشاهده می‌کنید.



ب - صحیح

در هنگام پیچیدن سیم باید دقت کرد که سیم‌ها به موازات یک‌دیگر پیچیده شوند و از روی هم عبور نکنند؛ چون در این صورت جازدن آن‌ها در داخل شیار دشوار است. علاوه بر این، احتمال ساییدگی سیم‌ها بر هم افزایش می‌یابد و در اثر از بین



الف - غلط

شکل ۱۱-۶ - طریقه‌ی کلاف‌پیچی

## ۸-۶ - 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 این کار 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.

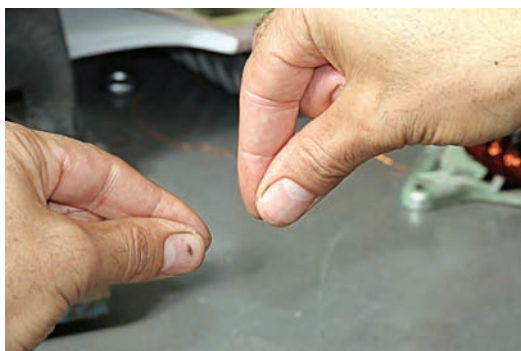
پس از آن، نوار یا سیم نگهدارنده‌ی یک بازوی کلاف را به سمت چپ یا راست حرکت می‌دهیم تا تمام سیم‌های یک بازوی کلاف آزادانه در بین انگشتان قرار گیرند. آن‌گاه کلاف را به‌دقت به داخل استاتور می‌بریم و به آرامی شروع به قراردادن سیم‌ها در داخل شیار استاتور می‌کنیم. معمولاً ضخامت یک کلاف از دهانه‌ی یک شیار بیش‌تر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

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 ۱۲-۶ 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.



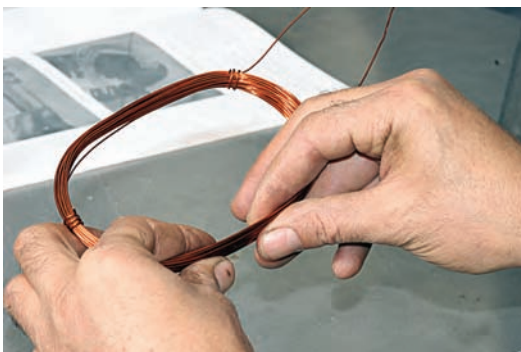
شکل ۱۲-۶ - کلاف پیچیده شده



شکل ۱۳-۶ حالت دست در کلاف گذاری (۱)



شکل ۱۴-۶ حالت دست در کلاف گذاری (۲)



شکل ۱۵-۶ طریقه در دست گرفتن کلاف



شکل ۱۶-۶ مرتب کردن سیم ها جهت کلاف گذاری

به این ترتیب 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 ۱۳-۶ طوری قرار دهید که نوک انگشتان اشاره (سبابه) بر روی شست قرار گیرد و سه انگشت دیگر به کف دست بچسبند. سپس مطابق شکل ۱۴-۶ دو انگشت نشانه را به آهستگی به طرف پایین حرکت دهید. این حرکت برای تخت و صاف کردن بازویی از کلاف است که باید درون شیار جای گیرد و در شکل ۱۵-۶ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که این عمل به همراه 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 ۱۶-۶) از کلاف جدا می‌کنیم و با دقت در داخل شیار قرار می‌دهیم. این عمل را آن قدر 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 ۱۷-۶ الف یک یا چند حلقه از کلاف کشیده نشود یا به‌صورت متقاطع قرار نگیرد؛ زیرا در این صورت، علاوه بر این که زیبایی سیم‌پیچ از بین می‌رود، خطر پاره‌شدن یا اتصال کوتاه بین سیم‌ها نیز وجود دارد. در عین حال، 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 این صورت، باید اندازه‌ی قالب سیم‌پیچی را متناسب با اندازه‌ی جدید تغییر دهیم.



ب- صحیح

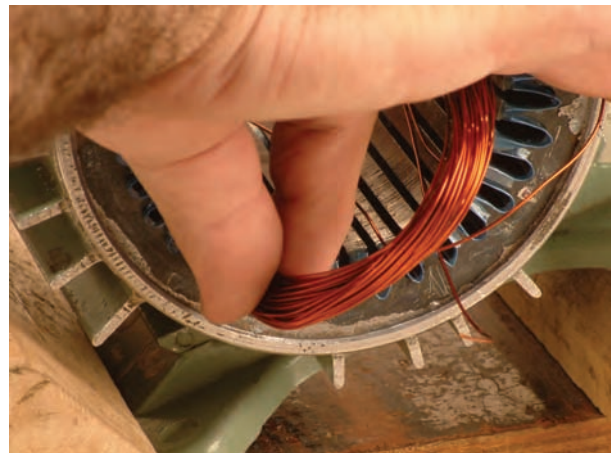
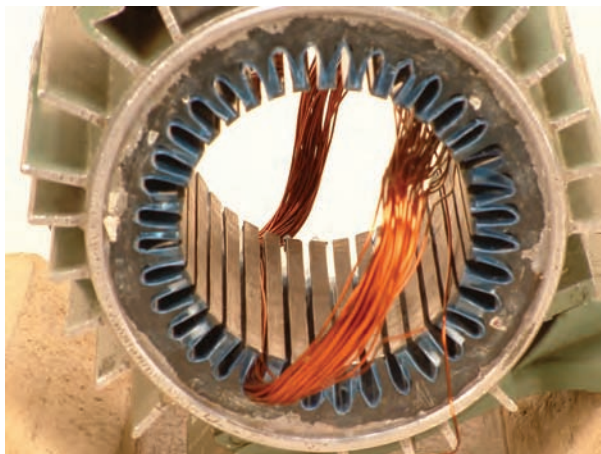


الف- غلط

شکل ۱۷-۶- طریقه‌ی کلاف‌گذاری

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.

پس از جازدن هر کلاف، برای این که 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 ۱۸-۶) در دو محلی که کلاف از



شکل ۱۸-۶- طریقه‌ی کلاف‌گذاری

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.

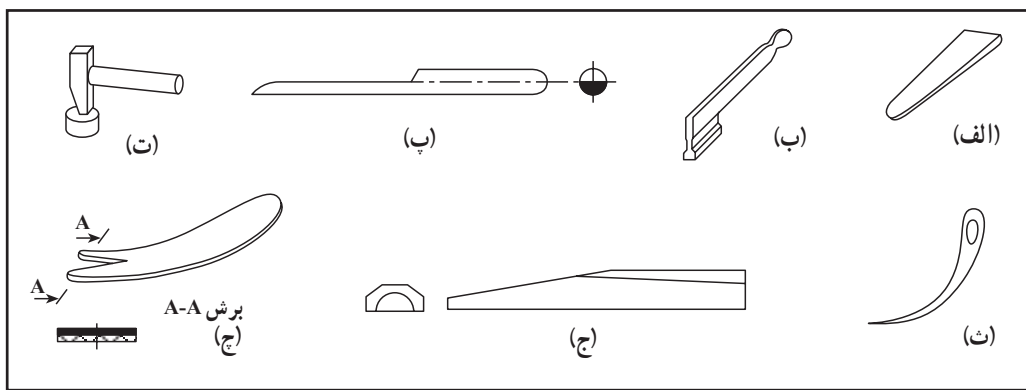
سرعت عمل جازدن کلاف در درون شیار و مدت زمانی که برای این کار صرف می‌شود، تا حدود زیادی به نسبت پهنای دهانه‌ی شیار (b) و به قطر سیم (d) بستگی دارد. هرچه این نسبت کم‌تر باشد، انجام این کار مشکل‌تر خواهد بود. حاصل  $\frac{b}{d}$  باید از  $\frac{1}{5}$  بزرگ‌تر باشد. اگر این نسبت از ۲ بیش‌تر باشد، سیم‌های متقاطع نیز به راحتی در درون شیار جای خواهند گرفت



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.

استفاده می‌شود که دو نوع آن در شکل‌های ۱۹-۶ ب و ۱۹-۶ پ نشان داده شده است. با قرار دادن قسمت تخت آهن T (شکل ۱۹-۶ 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 وارد کردن میله‌ی شیار (شکل ۱۹-۶ پ) به داخل شیار در جهت محور آن نیز می‌توان انجام داد. مقطع میله‌ی شیار به صورت نیم‌دایره و سر آن گرد است تا عایق سیم‌ها را از بین نبرد. در شکل ۱۹-۶ تعدادی از ابزارهایی را که در مراحل مختلف سیم‌پیچی مورد نیاز است، می‌بینید.

برای این که هادی‌ها در داخل شیار بهتر جای بگیرند، باید گونه‌ی مخصوص شیار (کاردک) را که جنس آن معمولاً از فیبر و یا غیرفلز دیگری است، (شکل ۱۹-۶ 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،



شکل ۱۹-۶ ابزار جا زدن کلاف در شیار



شکل ۲۰-۶ محکم کردن سیم‌ها در داخل شیار با گوه‌ی عایق

## ۹-۶ محکم کردن 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 این منظور، پس از آن که کلاف در درون شیار قرار گرفت یک عایق ضخیم روی آن قرار می‌گیرد. سپس (مانند شکل ۲۰-۶) 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.

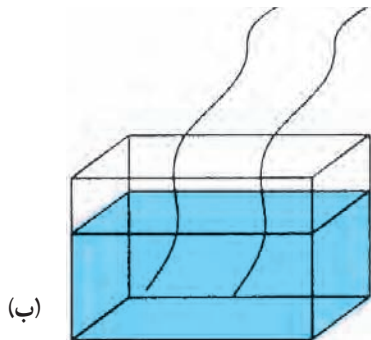
## ۱-۶- سربندی کلاف‌های موتور

پس از قراردادن گروه کلاف‌ها در شیارهای استاتور، مطابق نقشه باید اقدام به سربندی کلاف‌ها کرد. برای این کار، ابتدا سربندی کلاف‌های مربوط به یک فاز را انجام می‌دهیم و ابتدا و انتهای آن را مشخص می‌کنیم. سپس، دو فاز دیگر را به ترتیب سربندی می‌کنیم و پس از آن، اتصالات را به دقت 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 مشخص کردن ابتدا و انتهای هر کلاف یا فاز می‌توان

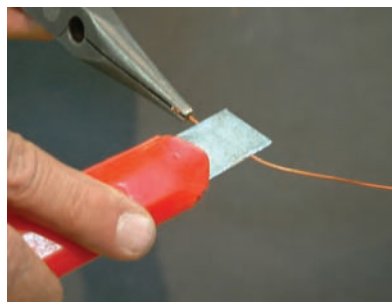
از اهم‌تر یا لامپ آزمایش استفاده کرد. برای اتصال کلاف‌ها به یک‌دیگر باید سر سیم‌ها را از لاک پاک کنیم.

لاک روی سیم‌های لاک‌ی با قطر بیش‌تر از  $\frac{6}{100}$  میلی‌متر را می‌توان با چاقو از بین برد. این کار به تجربه و مهارت زیادی نیاز دارد تا در حین عمل، سیم زخمی نشود و بعداً در اثر خمیدگی یا تابیده شدن نشکند.

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



(ب)



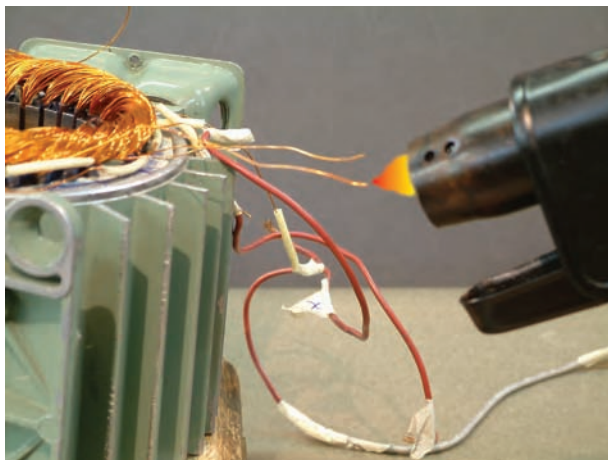
(الف)

شکل ۲۱-۶

روش دیگری که برای پاک کردن و از بین بردن لاک روی سیم از آن استفاده می‌شود، روش حرارتی است. بدین منظور، 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 فرو می‌بریم تا سیم سخت شود.

پس از آن‌که لاک روی سیم‌ها از بین رفت، سیم‌هایی را که با یک‌دیگر اتصال می‌یابند، به هم تاب می‌دهیم. سپس سیم‌پیچ‌های هر فاز را با اهم‌تر امتحان می‌کنیم و در صورت سالم بودن، 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 ۲۲-۶

در سری کاری<sup>۱</sup>، 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، تا حد ممکن کوتاه باشد.

در لحیم کاری سیم‌های ضخیم و تسمه‌ها به یک‌دیگر، بهتر است هریک از سیم‌ها جداگانه قلع اندود و سپس به یک‌دیگر لحیم شوند.

در هنگام لحیم کردن سیم‌های آلومینیومی به یک‌دیگر به سرعت در سطح کار اکسید آلومینیوم  $Al_2O_3$  تشکیل می‌شود. برای جلوگیری از تشکیل این لایه، می‌توان ابتدا هریک از سیم‌ها را در حمام قلع LSn60 با کشیدن یک شابر یا برس سیمی بر روی آن، قلع اندود کرد و پس از تابانیدن به یک‌دیگر، آن‌ها را مشابه سیم‌های مسی لحیم نمود.

در صورتی که درجه‌ی حرارت کار موتور بالا باشد، نمی‌توان با لحیم کردن 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 لحیم کاری ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد یا لحیم فسفر نقره (LAg15P) با درجه ذوب ۶۴۶ تا ۷۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد یا لحیم نقره (LAg45) در درجه حرارت کار ۶۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد استفاده کرد.

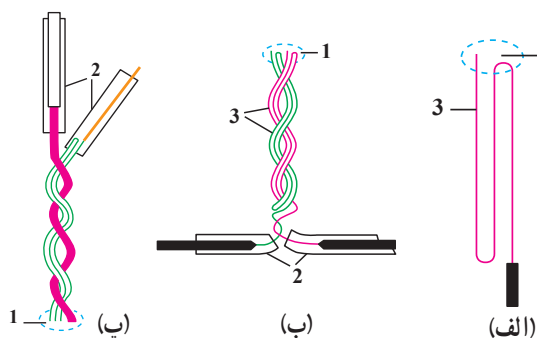
علاوه بر روش‌های ذکر شده از جوش نیز می‌توان به جای لحیم استفاده کرد.

در این صورت، خوردگی الکتریکی حاصل از لحیم کاری دیگر پیش نمی‌آید. علاوه بر این، در درجه حرارت‌های بالا نیز اتصال سیم‌ها از یک‌دیگر باز نمی‌شود و در سیم‌های لاکی نیز اغلب به از بین بردن لاک روی سیم نیازی نیست. در همه‌ی روش‌هایی که برای جوش کاری سیم‌ها به یک‌دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، لازم است محل جوش به قدر کافی ضخیم باشد.

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

در سیم‌هایی که قطر آن‌ها از یک میلی‌متر کم‌تر است، باید مطابق شکل ۶-۲۳ هریک از سیم‌ها را چند بار خم کنیم؛ به طوری که سر آن‌ها در محل جوش قرار گیرد (شکل ۶-۲۳-الف). سپس مطابق شکل ۶-۲۳-ب، دو سیم را در محل تاخورد، به یک‌دیگر بتابانیم و سپس سر آن‌ها را جوش بدهیم.

در شکل ۶-۲۳-پ چگونگی قرار گرفتن و اتصال سیم لاکی و سیم رابط را برای اتصال به ترمینال‌های موتور مشاهده می‌کنید.



شکل ۶-۲۳- طریقه‌ی اتصال سیم‌ها با قطر کم‌تر از یک میلی‌متر

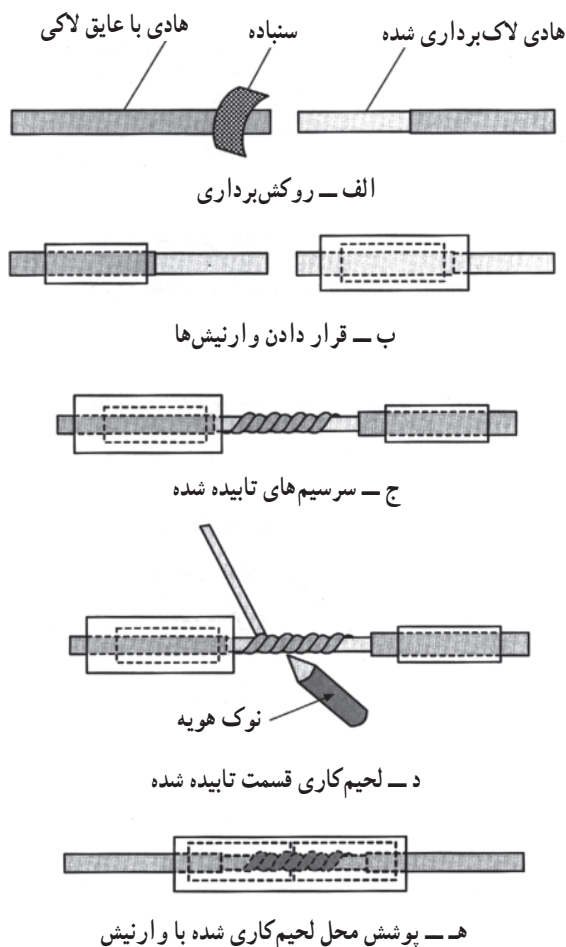
سیم‌های با قطر بیش‌تر از یک میلی‌متر را می‌توان بدون تا کردن به یک‌دیگر تاباند و سپس جوش داد. طول لازم برای تاباندن سیم‌های با قطر کم‌تر از یک میلی‌متر، حدود ۱۵ میلی‌متر و برای سیم‌های با قطر بین یک تا دو میلی‌متر، حدود ۲۰ میلی‌متر است.

برای جوش دادن سیم‌های مسی با قطر بیش از ۴/۰ 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 به وجود می‌آوریم. برای جوش دادن سیم‌های آلومینیومی با قطر ۶/۰ تا یک میلی‌متر از شعله‌ی استیلن یا هیدروژن یا پروپان یا بنزن با اکسیژن و برای سیم‌های با قطر بیش‌تر از یک میلی‌متر از شعله‌ی استیلن با اکسیژن استفاده می‌شود.

۱- روش سری کاری 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.

این لوله‌ها که قبل از اتصال دو انتهای سیم به یک‌دیگر در روی سیم‌ها جا زده می‌شوند، باید مانند شکل ۶-۲۴ در قسمت تابیده شده رانده شوند. این کار علاوه بر عایق کردن، از خوردگی الکتریکی که تحت تأثیر مواد لحیم کاری و قرار گرفتن محل اتصال بر روی سیم‌های دیگر ایجاد می‌شود، جلوگیری می‌کند.



شکل ۶-۲۴ - نحوه ی وارنیش (ماکارونی) گذاری

## ۱۱-۶- نواربندی کلاف‌ها

پس از آن که سربندی کلاف‌ها پایان یافت و محل خروج سرسیم‌ها 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.

یک انتخابی برای جوش آلومینیم، باید یک شماره از یک انتخابی برای جوش مس کم‌تر باشد. روش دیگر جوش دادن سیم‌ها به یک‌دیگر، جوش کاری به طریقه ی مقاومت الکتریکی است. به کمک یک ترانسفورماتور و با تابانیدن 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 سیم پیچ‌های 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 روپوش بافته شده استفاده می‌شود. جنس هادی این سیم‌ها در سیم پیچ‌های مسی از مس و در سیم پیچ‌های 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 لحیم کاری کرد یا جوش داد.

در روی جعبه کلم باید سیم‌ها را به صورت حلقه درآورد و یا توسط کابل شو در زیر پیچ‌ها محکم کرد. این سیم‌ها باید به طریقی در روی ترمینال‌ها بسته شوند که برای اتصال سیم‌های ورودی شبکه، به باز کردن مجدد آن‌ها نیازی نباشد.

بدین منظور، معمولاً از یک مهره برای بستن سر کلاف‌ها و از مهره ی دیگر برای بستن سیم‌های شبکه استفاده می‌کنند. به طور کلی در اتصال سیم‌ها به یک‌دیگر دو نکته را باید در نظر داشت:

- ۱- کمی مقاومت الکتریکی در محل اتصال دو سیم تا در اثر عبور جریان حرارت ایجاد نشود.
  - ۲- وجود استقامت مکانیکی کافی.
- لازم به تذکر است که تمام قسمت‌هایی که به یک‌دیگر لحیم شده یا جوش داده می‌شوند، باید توسط لوله‌های عایق (ماکارونی) یا وارنیش از سایر قسمت‌ها جدا شوند.



در هنگام نواریچی 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.

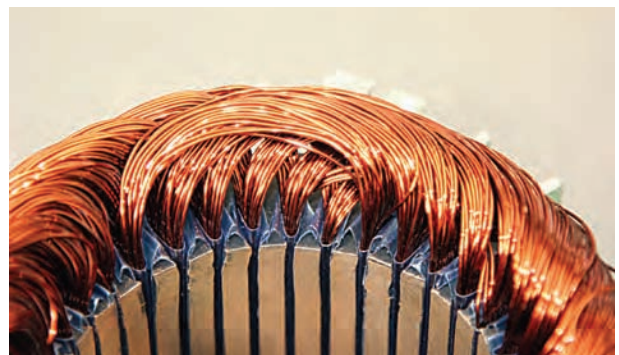
این عمل در موتورهای سه فاز بدین صورت انجام می‌گیرد که هر کلاف یا گروه کلاف که مربوط به فازهای مختلف هستند، از یک‌دیگر عایق می‌شوند.

در موتورهای آسنکرون، پیشانی کلاف‌های فازهای مختلف با نوارهای کنفی - روپوش نخ‌پنبه‌ای (لوله‌ای شکل)، نخ پرلون یا باند پنبه‌ای به صورت بانداژ مانند تصاویر شکل ۶-۲۵ محکم به یک‌دیگر بسته می‌شوند.

برای عبور دادن نخ یا باند از زیر پیشانی و لابه‌لای کلاف‌ها، می‌توان از سوزن قوس دار مخصوص (مانند شکل ۶-۲۵ الف) استفاده کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۶-۲۵ - روش نواریندی

## ۶-۱۲ - آزمایش مقدماتی موتور

سر و ته کلاف‌ها یا گروه کلاف‌ها را به وسیله‌ی اهم‌متر آزمایش می‌کنیم تا اگر در موقع نواریچی 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 عایق سیم‌ها را نسبت به یک‌دیگر و نسبت به بدنه آزمایش می‌کنیم. در صورتی که نتیجه‌ی هر دو آزمایش مثبت باشد، موتور برای آزمایش با برق آماده است.

## ۶-۱۳ - سوار کردن موتور

پس از کسب اطمینان کامل از سالم بودن سیم‌پیچی، لازم است موتور را برای زمان کوتاهی با اتصال به برق آزمایش کنیم تا اگر در اتصال 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 به وجود نیاید، زیرا این امر باعث لنگی محور و گیر کردن آن می‌شود. خلاصی بیش از حد رتور، خمیدگی محور رتور و گیر کردن آن به استاتور نیز می‌تواند مانع راه افتادن موتور شود.

## ۶-۱۴ - آزمایش موتور به وسیله‌ی اتصال به برق

با توجه به نوع اتصال سیم‌پیچ‌های موتور، سرهای خروجی را اتصال می‌دهیم. سپس آمپر متر را در مسیر فازها قرار داده و موتور را به شبکه‌ی با ولتاژ نامی موتور اتصال می‌دهیم. اگر موتور سالم باشد، جریان بی‌باری آن (که هر آمپر متر نشان می‌دهد) در مقایسه با آمپری که روی پلاک موتور نوشته شده، کم‌تر است. علاوه بر این، در موتورهای سه فاز باید جریان هر سه فاز با یک‌دیگر برابر باشد.



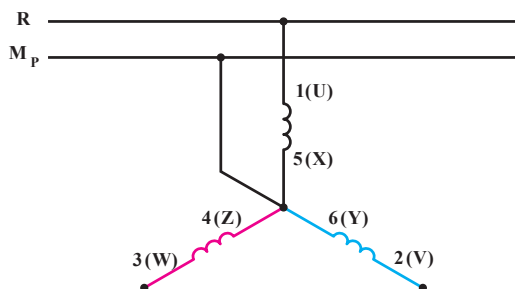
آزمایش دیگری که برای موتور لازم است، اندازه‌گیری دور آن به وسیله‌ی دستگاه دورسنج است.

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 این صورت، موتور از هر نظر 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 سه‌فاز، بر اثر سهل‌انگاری حروف مشخص‌کننده‌ی سرهای خروجی نامشخص می‌شوند. گاهی نیز در روی جعبه کلم یک موتور سه‌فاز، هر شش سر نامشخص‌اند. در این صورت، 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 ۲۶-۶- آزمایش سرهای موتور

ابتدا سرهای موتور را به دلخواه از یک تا شش، شماره‌گذاری کرده و سپس با لامپ آزمایش یا اهم‌متر (مانند شکل ۲۶-۶) دو سر کلاف‌های هر فاز را مشخص می‌کنیم.

از سه سیم‌پیچ مشخص‌شده، دو سری یکی از آن‌ها (مثلاً سیم‌پیچ شماره ۵-۱) 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

۳-۴ و ۲-۶، نصف ولتاژ تغذیه، القا خواهد شد.

اگر اختلاف سطح بین ۱-۲ و ۱-۳ حدود ۱/۵ برابر ولتاژ تغذیه U-X باشد، اتصال صحیح است. در این صورت، 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 ۳-۴ را با یک دیگر عوض کرد.

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

## ۱۵-۶- باز کردن مجدد و کنترل عایق‌بندی و نواریپیچی موتور

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

## ۱۶-۶- 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. بنابراین چه گفته شد، باید سیم‌پیچی را بعد از اتمام سیم‌بندی و آزمایش اول،

لاک زد. نوع لاک‌ی که برای این کار به کار می‌رود، به نوع لاک به کار 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 آن را گرم می‌کنیم. حرارت گرم‌کن باید در حدود  $140^{\circ}$  درجه‌ی سانتی‌گراد باشد.

وقتی که 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 این که موتور گرم و لاک آماده شد، موتور را از گرم‌کن خارج می‌کنیم و از یک طرف به صورت عمودی قرار می‌دهیم آن‌گاه لاک را به آرامی روی سیم‌ها و در داخل شیارها و پیشانی کلاف‌ها می‌ریزیم. هم‌چنین می‌توان استاتور را در یک ظرف پر از لاک فرو برد تا لاک به خوبی در بین سیم‌ها نفوذ کند.

پس از آن که 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 به راحتی در جای خود قرار گیرند.

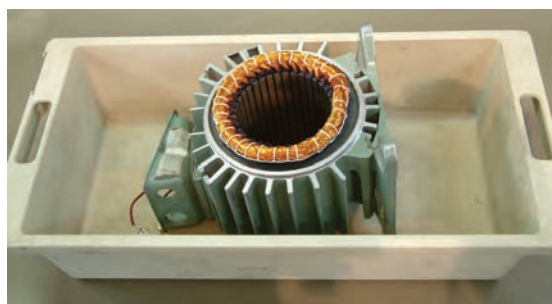
پس از تمیز کردن پوسته، استاتور را به همان حالت عمودی قرار می‌دهیم تا لاک‌های اضافی آن خارج شود. پس از آن که دیگر لاک‌ی از موتور چکه نکرد، موتور برای پخت لاک آماده است.

عمل پخت برای سخت شدن لاک، انجام می‌پذیرد. برای این منظور پوسته را به حالت عمودی مجدداً به مدت چند ساعت در داخل گرم‌کن قرار می‌دهیم و پس از آن که 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 گرم کردن استاتور و پخت لاک گرم‌کن (فر) وجود ندارد، می‌توان با عبور دادن جریان برق از سیم‌پیچ‌ها آن‌ها را گرم کرد. برای این کار، سیم‌پیچ‌ها را با هم



(الف)



(ب)



(ب)



(ت)

شکل ۲۷-۶

سری یا موازی کرده و به ولتاژ کم وصل می کنند. هنگامی که حرارت سیم ها به حد کافی رسید، جریان را قطع می کنند و به روش گفته شده سیم پیچی را لاک می زنند.

در پایان کار نیز به همین روش از جریان برق برای پخت و خشک کردن لاک استفاده می کنند.

در این روش باید دقت کرد که جریان زیادی از سیم پیچ عبور نکند و زمان خشک کردن لاک نیز خیلی طولانی نشود؛ زیرا در این صورت، لاک عایقی سیم پیچی می سوزد.

باید یادآوری کنیم که لاک زدن تنها و بدون نوار پیچی پیشانی کلاف ها، برای حفاظت از تکان خوردن پیشانی کلاف ها کافی نیست.

در کارگاه سیم پیچی، خصوصاً در هنگام لاک زدن موتور باید از انجام دادن کارهای مکانیکی که باعث پراکنده شدن ذرات فلز در محیط کارگاه می شود، پرهیز کرد تا ذرات فلز در درون سیم پیچی نفوذ نکند و از خاصیت عایقی آن نکاهد.

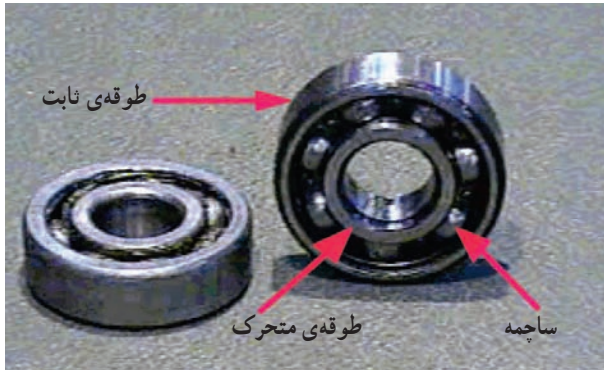
## ۱۷-۶- سوار کردن نهایی موتور و آزمایش مجدد

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

هنگام سوار کردن موتور، باید بلبرینگ ها یا بوش های دو سر موتور را کنترل کنیم و در صورت معیوب بودن، آن ها را تعویض نماییم. شکل ۶-۲۸ یک نمونه بلبرینگ و بوش را نشان می دهد.

برای تشخیص معیوب بودن بلبرینگ ها، پس از بررسی ظاهری و کسب اطمینان از سالم بودن بدنه و ساچمه های آن، بلبرینگ را (مانند شکل ۶-۲۹) در یک دست می گیریم و با دست دیگر، طوقه ی خارجی آن را به سرعت می چرخانیم. در صورتی که بلبرینگ هنگام گردش صدایی غیرعادی بدهد، خراب است و باید تعویض شود. هم چنین اگر طوقه ی خارجی در روی ساچمه ها لقی داشته باشد، باید آن را تعویض کرد.

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



شکل ۶-۲۸



شکل ۶-۲۹- آزمایش بلبرینگ

در بعضی از موتورهای با قدرت کم، به جای بلبرینگ از بوش استفاده می کنند. بوش نیز در اثر زیاد کار کردن گشاد شده و باعث لقی محور می شود.

در این گونه موتورها نیز با حرکت دادن محور موتور به سمت بالا و پایین می توان وجود لقی را تشخیص داد و بوش را تعویض کرد.

موتورهایی را که بلبرینگ آن ها خراب شده یا بوش گشاد کرده اند، باید آزمایش کرد تا لنگی نداشته باشند (مانند شکل ۳۰-۶).



شکل ۳۰-۶ — آزمایش لنگی (لقی) بوش ها یا بلبرینگ ها

قبل از سوار کردن موتور محل هایی را که به روغن و گریس احتیاج دارند، روغن کاری می کنیم. پس از سوار کردن کامل موتور، باید دقت کنیم که درپوش (قالیاق) های موتور کاملاً در جای خود قرار گیرند و با پوسته ی موتور، چفت شوند.

برای این که بفهمیم رتور به استاتور گیر دارد یا نه، محور موتور را با دست می چرخانیم.

علاوه بر این بررسی ها، باید رتور را به سمت جلو و عقب (درجهت محور موتور) حرکت دهیم. در صورتی که ببینیم زیاد بازی می کند، با اضافه کردن یک واشر مناسب می توانیم آن را کاملاً در داخل استاتور جای دهیم.

پس از انجام دادن آزمایش های گفته شده و سوار کردن کامل موتور، باید سیم های خروجی موتور را به فرم استاندارد و متناسب با پلاک موتور، به جعبه کلم اتصال داد.

پس از این کار، آزمایش مقاومت عایقی موتور ضروری است. مقاومت عایقی بین سیم پیچ ها و بدنه و هم چنین بین سیم پیچ های مختلف را باید با دستگاه اندازه گیری مقاومت عایقی (مگر) یا به روش های مناسب دیگر از روی جعبه کلم موتور اندازه گیری کرد.

مقاومت عایقی ماشین هایی را که ولتاژ نامی آن ها از ۱۰۰۰ ولت کم تر است، با یک مگر ۵۰۰ ولت می توان اندازه گیری کرد.

مقدار مقاومت عایقی، به اندازه های ماشین، اختلاف سطح نامی، درجه حرارت و مقدار رطوبت در سیم پیچی بستگی دارد. برای سیم پیچی استاتور با وضعیت مناسب و درجه حرارت داخلی ۱۰ تا ۳۵ درجه ی سانتی گراد و ولتاژ کم، مقاومت عایقی باید تا ۲ مگا اهم باشد.

پس از انجام مراحل گفته شده، اتصال مجدد موتور به برق صد درصد لازم و ضروری است. موتور حداقل باید یک ساعت بدون بار کار کند. پس از این آزمایش، موتور برای نصب در محل اول خود آماده است.



ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۷	۸۳	۹۰

## ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی موتورها

**هدف‌های رفتاری:** از هنجار انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند:

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

## ۷- ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی موتورها

### ۷-۱- مشخصات لازم برای طراحی و سیم‌پیچی

را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد:

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

**موتور**

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:

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

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

**گام سیم‌بندی  $y_z$ :** عبارت است از فاصله‌ی بین دو بازوی یک کلاف برحسب تعداد شیار. روش به‌دست آوردن گام سیم‌بندی را در سیم‌بندی‌های 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  $2P$  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  $2P$  قطب توسط  $m$  فاز، برابر است با:

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

همان‌طور که 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 — که عبارت از تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز است — با  $q$  نشان دهیم، تعداد شیارهای لازم برای تشکیل  $2P$  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:

$$z = 2\gamma_1 m$$

در این رابطه،  $\gamma_1$  تعداد کلاف‌های هر فاز در سیم‌پیچی یک طبقه و برابر با عدد صحیح و بدون اعشاری  $\gamma_1 = \frac{z}{2m}$  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 — یعنی  $\gamma_2$  — برابر است با:

$$\gamma_2 = \frac{z}{m}$$

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.

به عبارت دیگر، در هر جفت قطب مجموعاً  $m$  گروه کلاف و در مجموع برای  $2P$  قطب تعداد  $m.P$  گروه کلاف لازم است. اگر سیم‌پیچی یک طبقه، سه فاز باشد، مجموع گروه کلاف‌های لازم برای هر سه فاز  $1/5$  برابر تعداد قطب‌ها خواهد بود.

**زاویه‌ی الکتریکی بین دو شیار مجاور  $(\alpha_{ez})$ :**

محیط یک دایره،  $360^\circ$  درجه‌ی هندسی است. استاتور نیز به‌صورت دایره است؛ پس زاویه‌ی هندسی بین دو شیار مجاور هم برابر با  $\alpha_z = \frac{360^\circ}{z}$  درجه می‌شود.

در یک سیم‌پیچی سه‌فازه دو قطب هریک قسمت از گروه

کلاف‌های مربوط به هر فاز،  $\frac{1}{6}$  محیط استاتور - یعنی  $6^\circ$  درجه هندسی - را پرمی کند. به عبارت دیگر، هر قطب که  $18^\circ$  درجه‌ی الکتریکی است، به اندازه‌ی  $18^\circ = 3 \times 6^\circ$  درجه هندسی را دربرمی‌گیرد.

اگر تعداد قطب‌ها بیش‌تر از دو باشد، زاویه‌ی هندسی مربوط به هر قطب از  $18^\circ$  درجه کم‌تر می‌شود. مثلاً اگر استاتور، ۶ قطب سیم‌پیچی شود فقط  $2^\circ$  درجه از محیط آن توسط یک سمت هر گروه کلاف هر فاز پرمی‌شود. به بیان دیگر، هر قطب که  $18^\circ$  درجه‌ی الکتریکی است، در  $\frac{1}{6}$  محیط استاتور یا  $6^\circ$  درجه‌ی هندسی جای می‌گیرد؛ یعنی، هر  $\frac{1}{6}$  از محیط استاتور معادل  $18^\circ$  درجه‌ی الکتریکی و کل محیط استاتور معادل  $108^\circ = 6 \times 18^\circ$  درجه‌ی الکتریکی است.

بنابراین، زاویه‌ی الکتریکی محیط استاتور برخلاف زاویه‌ی هندسی، عدد ثابتی نیست و به تعداد قطب‌های ماشین بستگی دارد. به طوری که اگر ماشین دو قطب باشد، زاویه‌ی الکتریکی محیط استاتور برابر با  $\alpha_e = 36^\circ$  درجه‌ی الکتریکی خواهد بود؛ یعنی، هرگام قطبی  $18^\circ$  درجه‌ی الکتریکی می‌شود و اگر ماشینی چهار قطب باشد، محیط استاتور دارای  $\alpha_e = 72^\circ$  درجه‌ی الکتریکی خواهد شد ( $4 \times 18^\circ = 72^\circ$ ). بدین ترتیب، در هر حالت می‌توان زاویه‌ی الکتریکی کل را از رابطه‌ی  $\alpha_e = 36^\circ \times P$  به دست آورد. در این صورت، 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 به دست می‌آید:

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

**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  $36^\circ$  درجه‌ی الکتریکی تقسیم شود. در جریان سه فاز، بین هر دو فاز  $12^\circ$  درجه الکتریکی اختلاف فاز وجود دارد.

لذا شروع فاز S باید از شیار انتخاب شود که نسبت به فاز R به اندازه‌ی  $12^\circ$  درجه‌ی الکتریکی ( $\frac{12^\circ}{\alpha_{ez}}$  شیار) و شروع فاز T نیز نسبت به شروع S به اندازه‌ی  $12^\circ$  درجه‌ی الکتریکی یا نسبت به شروع فاز R به اندازه‌ی ( $\frac{24^\circ}{\alpha_{ez}}$  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  $24^\circ$  درجه بعد از آن در قطب دوم و شروع فاز S را نیز از  $24^\circ$  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 به همراه نوع اتصال بر روی پلاک موتور نوشته می‌شود یا با توجه به محل استفاده به دست می‌آید.

اگر بر روی پلاک موتور نوشته شده باشد ( $\Delta 220 V$ )، بدین معنی است که سیم‌پیچ‌های هر فاز موتور، حداکثر ولتاژ  $220^\circ$  ولت را می‌توانند تحمل کنند. در صورتی که اتصال سیم‌پیچ‌ها به صورت ستاره بسته شود، می‌توان آن را به شبکه‌ی  $38^\circ$  ولتی اتصال داد.

گاهی بر روی پلاک موتورهای سه فاز، دو ولتاژ ثبت می‌شود؛ برای مثال  $220 / 380 V$ . در این صورت ولتاژ کم‌تر، ولتاژ مجاز هر سیم‌پیچ است و در صورت بستن سیم‌پیچ‌ها به صورت مثلث باید آن را به ولتاژ سه فاز  $220^\circ$  ولتی متصل کرد. برای اتصال به ولتاژ سه فاز  $38^\circ$  ولتی نیز، باید حتماً سیم‌پیچ‌ها را به صورت ستاره اتصال داد.

**قدرت نامی موتور:** توان مکانیکی یا خروجی موتور ( $P_p$ ) 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.

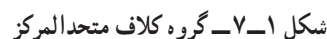
با توجه به قدرت ورودی و ولتاژ نامی می‌توان جریان هریک از سیم‌پیچ‌ها را حساب کرد و از روی آن، قطر سیم را به دست آورد. **جریان خط:** جریان خط نیز بر روی پلاک موتور ثبت می‌شود یا از طریق محاسبه به دست می‌آید. با توجه به آن می‌توان

از حالت متحد‌المرکز است. علاوه بر این، طول متوسط کلاف نیز در نوع سیم پیچی، کوتاه‌تر از نوع متحد‌المرکز می‌باشد. به همین دلیل در این حالت، در مصرف سیم نیز صرفه جویی می‌شود. امکان اتصال موازی کلاف‌های هر گروه کلاف یا هر چند کلاف با یک‌دیگر نیز در این حالت وجود دارد.

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

متحد‌المرکز، گام کلاف‌های مربوط به هر گروه کلاف با یک‌دیگر تفاوت دارد و هر کلاف بزرگ، کلاف کوچک‌تر را احاطه می‌کند. بدین ترتیب در یک گروه کلاف، گام کلاف بزرگ‌تر از گام کلاف قبلی خود به اندازه دو شیار بیش‌تر است.

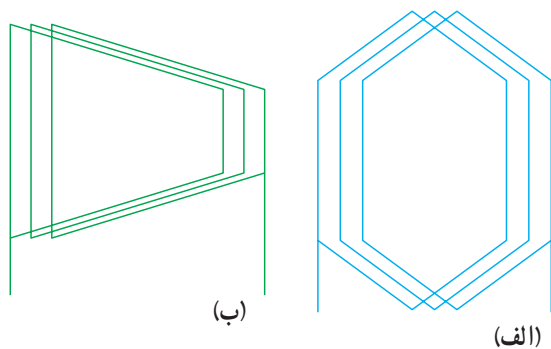
بیچیدہ شدہ اند، می بینید۔



اتصال موازی کلاف‌های یک گروه کلاف به دلیل 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.

با گام مساوی به نوعی از سیم پیچی گفته می شود که در آن همه ی کلاف های یک گروه کلاف و در نتیجه همه ی کلاف هایی که درون شیارهای استاتور جای می گیرند، به یک اندازه اند. برای پیچیدن این کلاف ها از یک قالب (یا قالب های یک اندازه) استفاده می شود.

در سیم پیچی زنجیری، پیشانی کلاف‌های فازهای مختلف در پیرامون استاتور از روی هم عبور می‌کند و برای جلوگیری از اتصال کوتاه بین آن‌ها باید حتماً به خوبی از یک‌دیگر عایق شوند. در شکل ۲-۷ سه کلاف که به صورت زنجیری پیچیده شده و یک گروه کلاف را تشکیل می‌دهند، نشان داده شده است. در رسم دیاگرام گسترده‌ی این نوع سیم پیچی، کلاف‌ها را به هر دو صورت شکل الف و ب می‌توان نشان داد.



شکل ۲-۷- گروه کلاف متساوی (زنجیره ای)

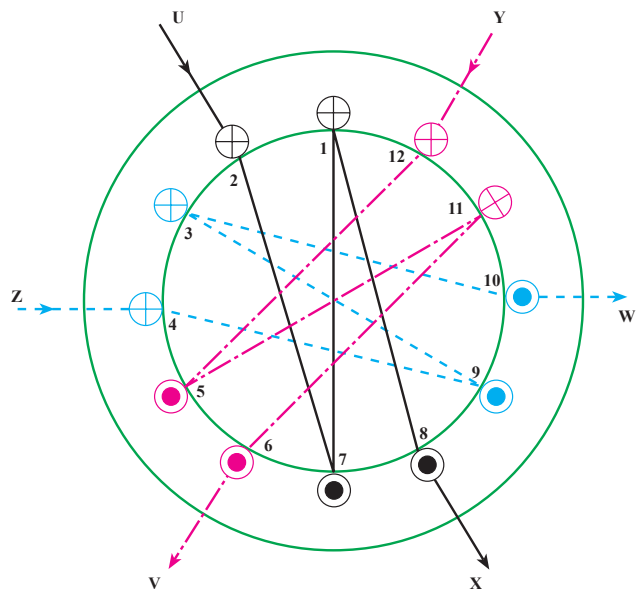
برای نشان دادن نوع سیم پیچی، فرم کلاف‌ها، ترتیب قرار گرفتن کلاف‌ها در سیم‌ها، اتصال کلاف‌ها به یک‌دیگر و هم‌چنین اتصال آن‌ها به ترمینال‌های موتور از نقشه‌ی سیم‌پیچی استفاده می‌شود.

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.

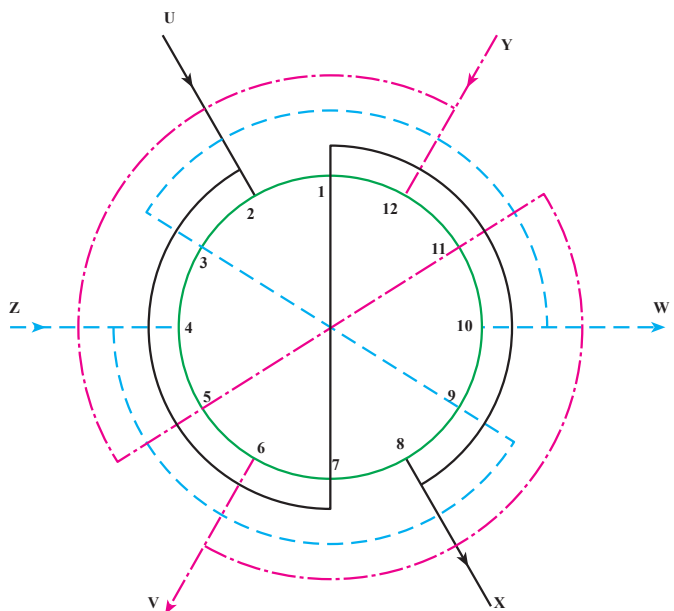
**روش دیگرام مدور:** در این روش، مقطع استاتور به همان صورت واقعی، دایره‌ای نشان داده شده و محل شیارها



در روی آن مشخص می‌شود. کلاف‌های واقع در شیارها نیز به وسیله‌ی خطوطی در داخل دایره، (مانند شکل ۷-۳) یا خارج آن (مانند شکل ۷-۴) ترسیم خواهند شد.



شکل ۷-۳- دیاگرام مدور موتور سه فاز با ۱۲ شیار و ۲ قطب



شکل ۷-۴- دیاگرام مدور موتور سه فاز با ۱۲ شیار و ۲ قطب

در این دو شکل، دیاگرام مدور برای یک موتور سه فاز 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 به دست آورد.

در این روش، نمایش اتصال کلاف‌ها به یک دیگر مشکل است و مخصوصاً نشان دادن سیم پیچی دو طبقه‌ی اتصال کلاف‌ها به سادگی امکان پذیر نیست. به همین دلیل، از روش دیاگرام مدور کم تر استفاده می‌شود.

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

بدین ترتیب، شیارها در مجاور هم و در یک ردیف ترسیم می‌شوند. اشکال این نوع نقشه این است که اولین شیار و آخرین شیار 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 به صورت بریده نشان داده می‌شوند. با وجود این اکثر نقشه‌های سیم پیچی را به صورت 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 یک دیگر، 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 خط چین استفاده نمود.

## ۷-۴- روش‌های طراحی دیاگرام گسترده‌ی موتورهای آسنکرون سه فاز ۱۲ شیار

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

چون  $q$  عدد صحیحی است، سیم پیچی با شیار کامل می باشد. در این مثال  $q = 2$  یعنی، هر گروه کلاف از دو کلاف تشکیل می شود.

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

$$\alpha_{ez} = \frac{360^\circ \times p}{z} = \frac{360^\circ \times 2}{24} = 30^\circ$$

اگر فاز R از شیار یک شروع شود، شروع فاز S می تواند

از شیار ۵  $= 1 + \frac{12^\circ}{30^\circ}$  و شروع فاز T نیز از شیار ۹  $= 1 + \frac{24^\circ}{30^\circ}$  باشد.

شروع فازها می تواند از شیارهای دیگری باشد که در قطب های مختلف قرار گرفته اند؛ مثلاً شروع فاز R از شیار یک و شروع فاز T از شیار ۹ و شروع فاز S از شیار ۱۷ ( $24^\circ$  درجه بعد از فاز T) باشد.

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

دو شیار ابتدای قطب بعدی - یعنی شیارهای شماره  $1+6=7$  و  $2+6=8$  - نیز به فاز R مربوط اند. به همین ترتیب، در دو قطب باقی مانده نیز شیارهای مربوط به فاز R عبارت خواهند بود از شیارهای  $7+6=13$  و  $8+6=14$  در قطب سوم و شیارهای  $13+6=19$  و  $14+6=20$  در قطب چهارم. پس شیارهای ۱-۲، ۷-۸، ۱۳-۱۴ و ۱۹-۲۰ به فاز R تعلق دارند.

شروع فاز S نیز - همان طور که توضیح داده شد - از شیار شماره ۵ است و شیارهای مربوط به آن در هر چهار قطب عبارت اند از: ۵-۶، ۱۱-۱۲، ۱۷-۱۸ و ۲۳-۲۴.

در مورد فاز T نیز که شروع آن از شیار ۹ است، می توان شیارهای مربوط به آن را به ترتیب ۹-۱۰، ۱۵-۱۶، ۲۱-۲۲ و ۳-۴ نوشت.

با مشخص شدن شیارهای مربوط به هر سه فاز، می توان آن ها را مطابق جدول ۷-۱ مرتب کرد.

گاهی با به کارگیری چند قاعده ی ساده یا با استفاده از یک جدول می توان به این هدف دست یافت اما گاهی نیز باید از روش های خاصی استفاده کرد و دیاگرام گسترده ی مطلوب را رسم نمود.

در این کتاب تنها به بررسی معمول ترین روش هایی که برای ترسیم دیاگرام گسترده ی موتورهای سه فاز به شیار کامل، متداول است می پردازیم. شما هنرجویان برای یادگیری روش های ترسیم دیاگرام گسترده ی موتورهای با شیار کسری می توانید به کتاب هایی که در این زمینه موجود است، مراجعه کنید.

## ۱-۴-۷- سیم پیچی یک طبقه ی موتورهای سه فاز

**با شیار کامل:** در صورتی که تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب - یعنی  $q$  - عدد صحیح و بدون اعشاری (۱ و ۲ و ۳ و ...) باشد، سیم پیچی با شیار کامل نامیده می شود.

در سیم پیچی یک طبقه، تعداد کلاف های به کار رفته در موتور  $\frac{z}{p}$  و تعداد کلاف های مربوط به هر فاز برابر با  $\gamma_1 = \frac{z}{2pm}$  و تعداد گروه کلاف های مورد استفاده برای هر سه فاز یک و نیم برابر تعداد قطب هایی است که باید در شیارهای استاتور به طور صحیح جای گیرند.

محل قرار گرفتن گروه کلاف های مربوط به هریک از فازها را می توان با استفاده از جدول شیارها به دست آورد. برای توضیح این روش به توضیح یک مثال می پردازیم.

مثال ۱: استاتوری دارای ۲۴ شیار است و باید به صورت سه فاز ۴ قطب یک طبقه سیم پیچی شود. برای ترسیم دیاگرام گسترده ی این استاتور به روش زیر عمل می کنیم.

در سیم پیچی یک طبقه، کلاف ها را می توان به صورت متحدالمرکز یا زنجیری پیچید. در هر دو صورت، گام قطبی برابر است با:

$$y = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

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

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

جدول ۷-۱- جدول ابتدایی موتور سه فاز با ۲۴ شیار و ۴ قطب

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

با کمی دقت در جدول ۷-۱، مشاهده می شود که اگر محل ستون مربوط به فاز S را با ستون مربوط به فاز T عوض کنیم، به راحتی می توانیم جدول ۷-۲ را که شیارهای مربوط به هریک از فازها را مشخص می کند، تنها با دانستن  $q = 2$  و به ترتیب از ۱ تا ۲۴ بنویسیم:

جدول ۷-۲- جدول موتور سه فاز با ۲۴ شیار و ۴ قطب

شیارهای فاز S	شیارهای فاز T	شیارهای فاز R	
۵ و ۶	۳ و ۴	۱ و ۲	N
۱۱ و ۱۲	۹ و ۱۰	۷ و ۸	S
۱۷ و ۱۸	۱۵ و ۱۶	۱۳ و ۱۴	N
۲۳ و ۲۴	۲۱ و ۲۲	۱۹ و ۲۰	S

در این جدول، اعداد به ترتیب از ۱ تا ۲۴ در چهار سطر ( $2p = 4$ ) نوشته شده اند. هریک از سطرها، مشخص کننده ی یک قطب است. برای مثال، اگر سطر اول و سوم نشان دهنده ی قطب N باشند، سطرهای دوم و چهارم نشان دهنده ی قطب S خواهند بود.

با توجه به ستون مربوط به فاز R در جدول، مشاهده می شود که در شیارهای ۱-۲ و ۱۳-۱۴ باید جهت جریان هم جهت و مثلاً به سمت بالا و در شیارهای ۷-۸ و ۱۹-۲۰ به سمت پایین باشد تا قطب های N و S تشکیل شود.

در مورد بقیه ی فازها نیز به همین ترتیب شیارهای هم جهت مشخص می شوند و می توان با ترسیم بازوها در شیارها و مشخص کردن جهت جریان آنها، قطب ها را مشخص کرد (شکل ۷-۵ ب). ترسیم کلاف ها نیز با توجه به نوع گروه کلاف - یعنی متحدالمرکز یا زنجیری بودن آنها - انجام می گیرد. برای این منظور می توان پس از مشخص کردن جهت جریان در شیارها،

دو بازوی غیر هم جهت نزدیک به هم را که مربوط به یک فاز هستند، به طریقی به یک دیگر وصل کرد تا گروه کلاف متحدالمرکز یا زنجیری ایجاد شود. در عین حال، می توان پیشانی کلاف ها را نیز در طبقات (ردیف) کم تری قرار داد تا گروه کلاف های هر سه فاز اندازه ی یکسانی داشته باشند.

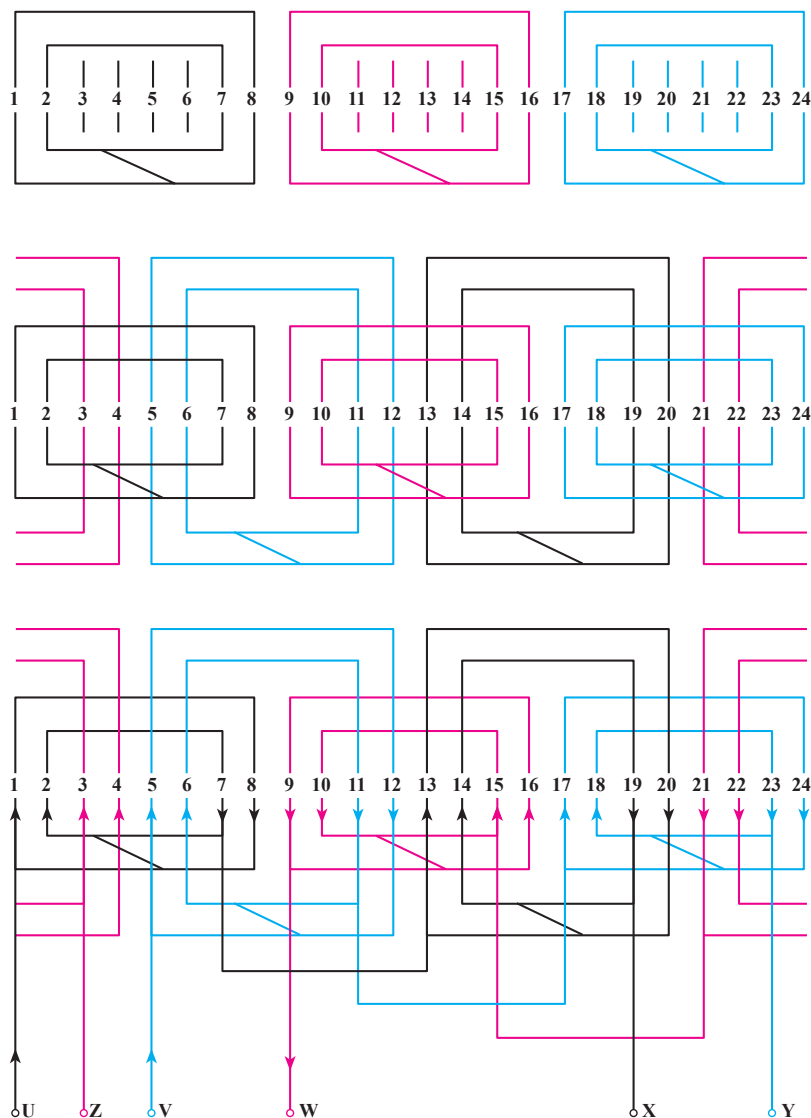
دیگرام گسترده را به صورت متحدالمرکز به روش زیر می توانیم ترسیم کنیم.

مطابق شکل ۷-۵- الف ابتدا اولین گروه کلاف را در شیارهای ۱-۲ و ۷-۸ به طریقی رسم می کنیم که کلاف کوچک تر در شیارهای ۲-۷ و کلاف بزرگ تر در شیارهای ۱-۸ واقع شوند. پس از آن گروه کلاف دوم را در شیارهای ۱۶-۹ و ۱۵-۱۰ که مربوط به فاز سوم (T) است، مجاور گروه کلاف اول ترسیم می کنیم. و به همین ترتیب، گروه کلاف سوم در شیارهای ۲۴-۱۷ و ۲۳-۱۸ که مربوط به فاز دوم (S) است، در مجاورت گروه کلاف دوم رسم می شود. بدین ترتیب، سه گروه کلاف با اندازه ی مساوی در مجاورت یک دیگر رسم می شوند و پیشانی این سه گروه کلاف نیز در یک ردیف (یک طبقه) قرار می گیرند. برای ترسیم بقیه ی دیگرام نیز باید گروه کلاف ها را به طریقی در ۱۲ شیار باقی مانده قرار دهیم که گام آن مشابه گام کلاف های قبلی باشد و کوتاه ترین مسیر نیز طی شود.

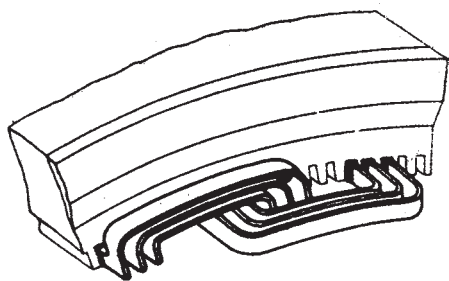
برای این منظور باید یک طرف چهارمین گروه کلاف را در شیارهای ۵-۶ و طرف دیگر آن را در شیارهای ۱۱-۱۲ قرار دهیم. برای پنجمین گروه کلاف نیز شیارهای ۱۴-۱۳ و ۲۰-۱۹ و برای ششمین گروه کلاف، شیارهای ۲۲-۲۱ و ۴-۳ اختصاص می یابد. با ترسیم ششمین گروه کلاف تمام شیارهای استاتور مانند شکل ۷-۵ ب پر می شوند. در این هنگام، باید کلاف ها را سربندی کرد.

در هنگام سیم پیچی موتور نیز باید به همان ترتیب گفته شده، کلاف ها را درون شیارهای استاتور قرار داد.

همان طور که در شکل ۷-۵ ب می بینید، سه گروه کلاف اول در اندازه ی کوچک و سه گروه کلاف دوم با بازوی بزرگ تر ترسیم شده اند. در سیم پیچی موتورهای کوچک که از سیم های لاکی با مقطع گرد و قطر کم استفاده می شود، بهتر است گروه کلاف ها نیز در دو اندازه ی کوچک و بزرگ پیچیده شوند و اگر



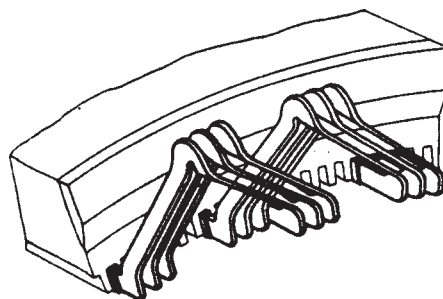
شکل ۵-۷- ترتیب قرارگیری کلاف‌ها در موتور و سربندی متحدالمرکز



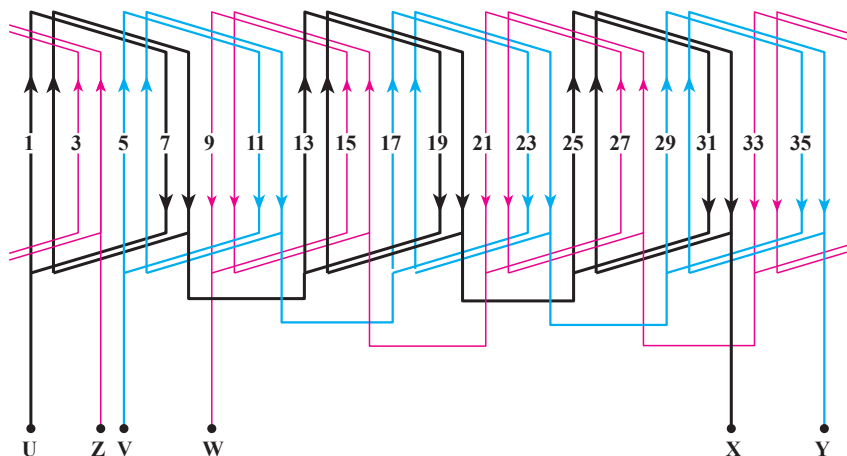
شکل ۶-۷- طریقه‌ی کلاف‌گذاری متحدالمرکز

این گروه کلاف‌ها در یک اندازه پیچیده شوند، مشکلی پیش نخواهد آمد. در ماشین‌های بزرگ که به جای سیم‌هایی با مقطع گرد از شمش‌های هادی استفاده می‌شود، گروه کلاف‌ها مطابق شکل ۶-۷ در اندازه‌های کوچک و بزرگ خواهند بود و چون برخلاف سیم‌های گرد و با مقطع کم، این تسمه‌ها را به سادگی نمی‌توان به فرم 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 ۷-۷ در داخل شیارها جاگذاری کرد.

در صورتی که بخواهیم سیم‌پیچی به صورت زنجیری یا با کلاف‌های یک اندازه انجام شود، برای ترسیم دیاگرام سیم‌پیچی یا قرار دادن کلاف‌ها در داخل شیارها می‌توانیم مانند شکل ۷-۸ کلاف‌های یک گروه کلاف را به ترتیب در کنار یک‌دیگر جا بزنیم یا این که بدون توجه به تعداد کلاف‌های یک گروه کلاف به ترتیبی که بعداً توضیح داده می‌شود، کلاف‌ها را به صورت یک درمیان در شیارها جا بزنیم و سپس سربندی کنیم.



شکل ۷-۷- طریقه‌ی کلاف‌گذاری متساوی

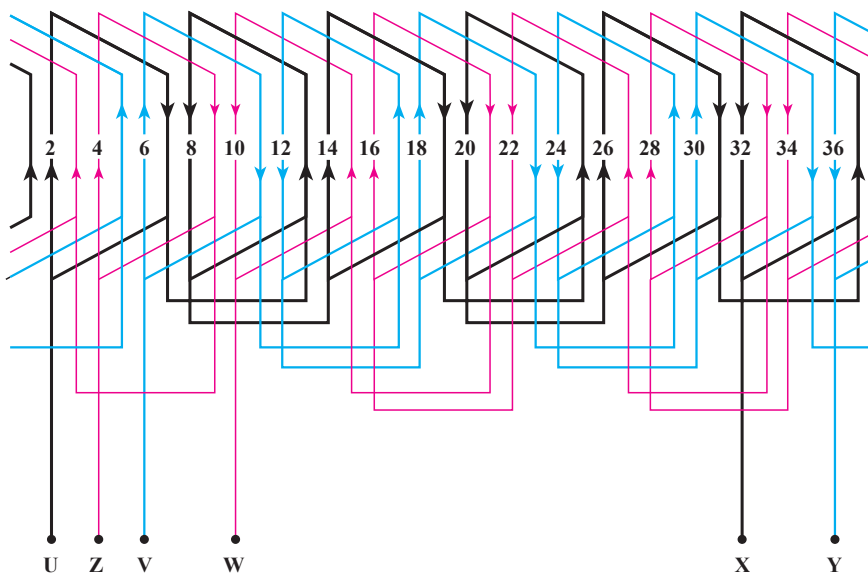


شکل ۷-۸- دیاگرام گسترده سیم‌پیچی به صورت زنجیره‌ای یک طبقه

شیارها به صورت یک درمیان جا زد؛ به طوری 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.

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 به همین ترتیب ادامه می‌دهیم تا همه‌ی شیارها پر شوند.

درمورد دوم نیز باید مطابق شکل ۷-۹ کلاف‌ها را در



شکل ۷-۹- دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور سه‌فاز با ۳۶ شیار و ۶ قطب  $\frac{9}{p}$  گام کوتاه

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

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

در این حالت، شروع سیم بندی از شیار شماره ۲ است. در صورت استفاده از گام کوتاه شده، در مصرف سیم صرفه جویی می شود و در اطراف شیارها نیز فضای کم تری برای پیشانی کلاف ها لازم خواهد بود.

همان طور که توضیح داده شد، روش محاسبه ی پارامترهای مورد نیاز (به جز گام سیم پیچی) و نوشتن جدول در مورد سیم پیچی زنجیری و سیم پیچی متحدالمرکز یکی است. برای آشنایی بیش تر شما با توضیحات داده شده به ذکر دو مثال در مورد سیم پیچی زنجیری می پردازیم.

مثال ۲: مطلوب است ترسیم دیاگرام گسترده سیم بندی

یک موتور سه فاز ۳۶ شیار چهار قطب به طریقه ی زنجیری.

راه حل: گام قطبی برابر با  $y = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9$  و تعداد

شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز برابر با  $q = \frac{Z}{2Pm} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$  است. چون گام قطبی فرد است، گام سیم پیچی را برابر با گام قطبی انتخاب می کنیم و به کوتاه کردن گام نیازی نیست.

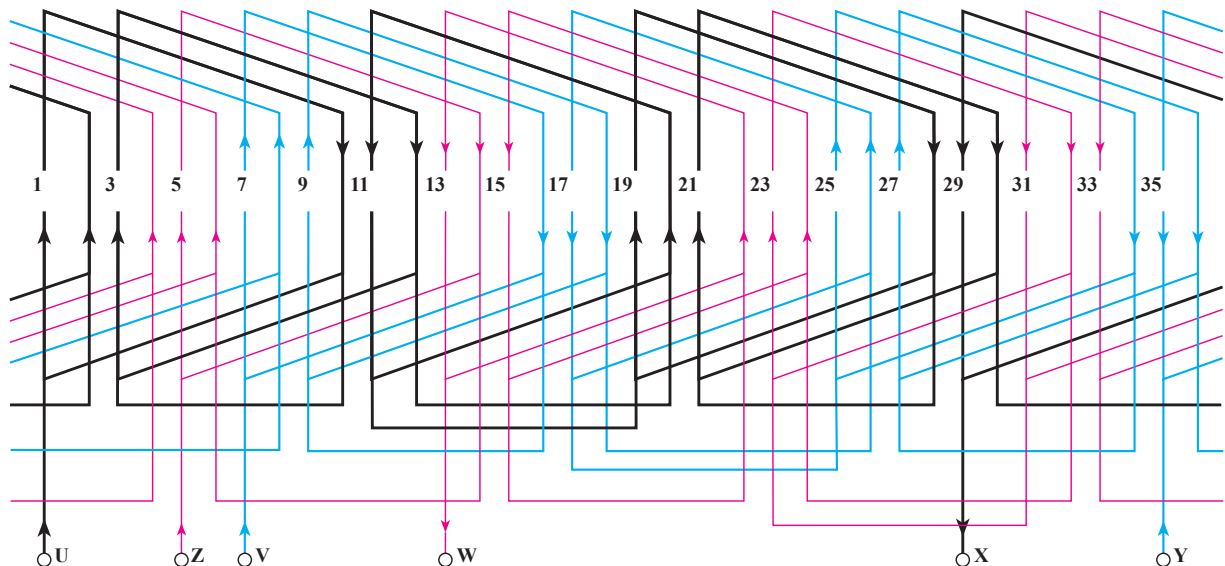
زاویه ی الکتریکی بین هر دو شیار برابر با  $\alpha_{ez} = \frac{360 \times 2}{36} = 20^\circ$  درجه است و شروع فازها می تواند از شیارهای ۱، ۷ و ۱۳ باشد.

جدول مشخص کننده ی شیارهای هر فاز را نیز می توان به همان روشی که ذکر شد، مطابق جدول ۷-۳ ترسیم کرد.

ترتیب قرار گرفتن کلاف ها در داخل شیارها به صورت ۱۰ به ۱، ۳ به ۱۲ و ۵ به ۱۴ و ۷ به ۱۶ ... است که دیاگرام گسترده و کامل آن در شکل ۷-۱ کشیده شده است.

جدول ۷-۳ جدول موتور سه فاز با ۳۶ شیار و ۴ قطب یک طبقه

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



شکل ۷-۱ دیاگرام گسترده سیم پیچی موتور سه فاز 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  $y = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{6} = 6$

و تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز  $q = 2$  می‌شود. این سیم‌پیچی را می‌توان با همان گام زوج و با قرار دادن کلاف‌های یک گروه کلاف در مجاورت هم مانند (شکل ۷-۸) 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  $5 = 6 - 1$  تبدیل کنیم. در این صورت، محیط کلاف‌ها نیز کوچک‌تر می‌شود و اقتصادی‌تر است. بدین ترتیب، دیاگرام سیم‌بندی مانند شکل ۷-۹ 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  $6 = 1 + 5$  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  $7 = 2 + 5$  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 ۷-۵ 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 به یک‌دیگر 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 بازوهای 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 بازوهای را که دارای جهت جریان مشابه‌اند، به هم اتصال دهیم.

مثلاً در مورد 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 - یعنی شیار ۷ - را به ابتدای دومین گروه کلاف مربوط به همین فاز - که جهت جریان آن مخالف جهت جریان بازوی واقع در شیار ۷ است - متصل می‌کنیم. انتهای گروه کلاف دوم - یعنی شیار ۱۹ - 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 به یک‌دیگر 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 - یعنی شیار ۱۷ - متصل می‌کنیم شیار ۲۳ خروجی این فاز می‌شود که آن را با Y نشان می‌دهند. شروع فاز سوم نیز به‌همین ترتیب از شیار ۹ و انتهای آن در شیار ۳ است که در شکل ۷-۵ پ نشان داده شده است.

ابتدای فاز سوم را با W و انتهای آن را با Z نشان می‌دهند. در جریان سه فاز به‌سمت جمع جریان‌های لحظه‌ای هر سه فاز 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 به صورت لحظه‌ای در نظر گرفته می‌شوند.

برای سادگی کار باید جریان‌های لحظه‌ای را در گروه کلاف‌های مربوط به سه فاز به طریقی انتخاب کرد که مثلاً در دو فاز از ابتدا به سمت انتها و در گروه کلاف فاز سوم از انتها به سمت ابتدا باشد یا به عکس، در یکی از گروه کلاف‌ها از ابتدا به سمت انتها و در دو گروه کلاف دو فاز دیگر از انتها به سمت ابتدا باشد. در مثال ذکر شده نیز چون جهت جریان فاز اول و دوم را در شیار ۱ و ۵ به سمت 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 به صورت 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 در نظر گرفتن جهت جریان در شیارها، می‌توان برای اتصال گروه کلاف‌ها به یک دیگر استفاده کرد.

گروه کلاف‌های مربوط به هر فاز را در صورت مشابه بودن، به طور موازی نیز می‌توان با یک دیگر اتصال داد.

در این صورت نیز باید با توجه به جهت جریان، کلاف‌ها را با هم موازی کرد که ابتدای گروه کلاف‌ها به یک دیگر و انتهای

آن‌ها نیز به یک دیگر اتصال یابند.

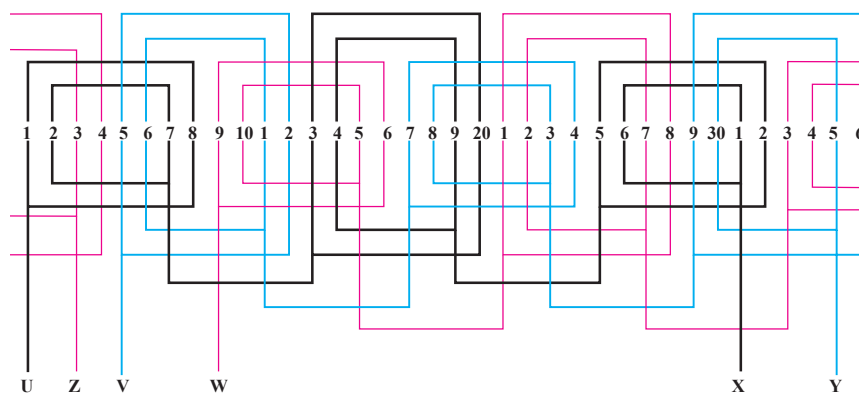
در موتور چهار قطب، دو گروه کلاف و در موتور شش قطب سه گروه کلاف به صورت موازی با هم قرار می‌گیرند.

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

مثلاً سطح مقطع سیم در صورت اتصال موازی گروه کلاف‌ها در موتور چهار قطب،  $\frac{1}{4}$  و در موتور شش قطب،  $\frac{1}{6}$  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 به صورت موازی بست تا قطر سیم کاهش یابد و فرم دادن به آن‌ها آسان‌تر شود.

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

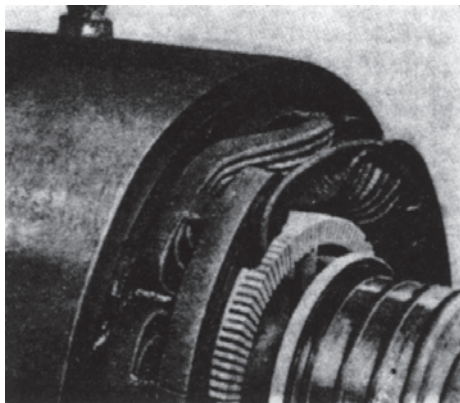
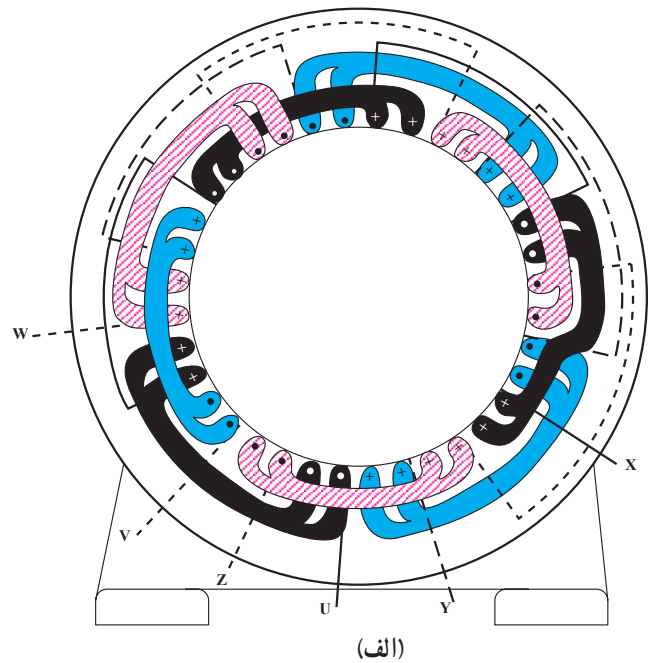
این موضوع در ماشین‌هایی که قدرت کمی دارند و در آن‌ها از سیم‌های گرد استفاده می‌شود، مشکلی ایجاد نمی‌کند و عملاً می‌توان تمام کلاف‌ها را به یک فرم درآورد. اما در ماشین‌های بزرگ که از تسمه‌های مسی به عنوان هادی در شیارها استفاده می‌شود، چون هادی‌ها باید در خارج از ماشین فرم داده شوند و سپس در شیارها قرار گیرند، از نظر سادگی و صرفه جویی 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 ۱۱-۷ دیاگرام



شکل ۱۱-۷- دیاگرام گسترده سیم پیچی موتور سه فاز با ۳۶ شیار، ۶ قطب و ۱۱ کلاف دوزنقه‌ای

گسترده‌ی یک موتور ۳۶ شیار شش قطب و در شکل ۷-۱۲ الف استاتور این ماشین که سیم‌پیچی شده است و یک کلاف دوزنقه 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.

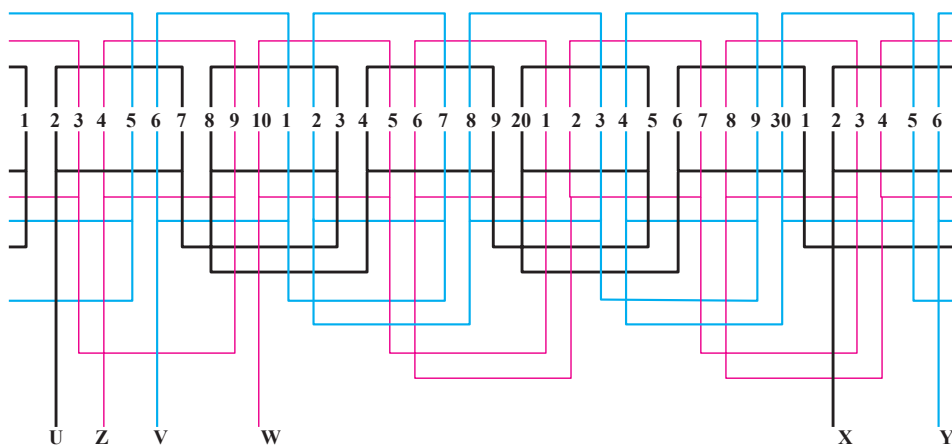


(ب)

شکل ۷-۱۲- کلاف‌گذاری موتور به صورت دوزنقه‌ای

را نیز نصف کنیم، دیگر گروه کلاف به صورت دوزنقه نخواهیم داشت و در مجموع از ۱۸ کلاف تکی استفاده می‌شود.

اگر مطابق دیاگرام گسترده‌ی شکل ۷-۱۳، تعداد گروه کلاف‌ها را به  $18 (2 \times 9)$  برسانیم و تعداد کلاف هر گروه کلاف



شکل ۷-۱۳- دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موتور سه‌فاز با ۳۶ شیار، ۶ قطب یک طبقه  $\frac{q}{p}$  گام کوتاه

بدین ترتیب، گام کلاف‌ها کوتاه‌تر و سیم‌پیچی اقتصادی‌تر می‌شود.

## ۲-۴-۷- 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 به اندازه‌ی یک گام قطبی از یک‌دیگر فاصله داشته باشند، در این صورت دو بازوی واقع در یک شیار حتماً مربوط به یک فاز خواهند بود اما اگر این فاصله با گام قطبی برابر نباشد، در این صورت دو بازوی واقع در یک شیار می‌توانند مربوط به دو فاز مختلف نیز باشند. این گونه 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  $\frac{3}{4}$  یا  $\frac{2}{3}$  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  $2p$  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. بدین ترتیب، سیم‌پیچی دو طبقه از سیم‌پیچی یک طبقه

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

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

مثلاً در صورت استفاده از ضریب  $\frac{5}{6}$  برای گام کلاف‌ها (مقدار کوتاهی گام به اندازه  $\frac{1}{6}$  گام کامل) باید تعداد حلقه‌های کلاف را به اندازه‌ی ۵ درصد زیادتر پیچید تا نسبت‌های مغناطیسی ثابت باقی بماند. در صورت استفاده از ضریب  $\frac{2}{3}$  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 در صورت کوتاه کردن گام، باید تعداد دور سیم‌پیچ را نسبت به حالت اول افزایش دهیم و در صورت زیاد کردن گام، از تعداد دور سیم‌پیچ نسبت به حالت اول بکاهیم. بدین ترتیب، دیگر افزایش جریان بی‌باری موتور که علت آن برعکس شدن جریان لحظه‌ای بازوی کلاف‌های واقع در بعضی از شیارها به خاطر فشردگی گام است، نیز پدید نخواهد آمد.

برای انتخاب گام سیم‌پیچی از ضریب  $\epsilon$  استفاده می‌شود که مقدار آن معمولاً  $\epsilon = \frac{5}{6}$  است و با ضرب کردن آن در  $y$ ، گام سیم‌پیچی  $y_z$  به دست می‌آید.

$$y_z = \epsilon y$$

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  $6p$  می‌باشد.

$$y_z = \varepsilon y = \frac{5}{6} \times 9 = 7.5 \quad \text{است با:}$$

چون گام به دست آمده عدد صحیح نیست، می توان گام سیم بندی را ۷ یا ۸ انتخاب کرد.

برای ادامه ی سیم پیچی، گام سیم بندی را ۷ انتخاب می کنیم به این ترتیب،  $\varepsilon$  از  $\frac{5}{6}$  کوچک تر خواهد شد.

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

بدین منظور، جدول را به صورت زیر تکمیل می کنیم.

تعداد سطرهای جدول برابر با تعداد قطب ها — یعنی ۴— است.

اعداد را مانند روش قبلی از ۱ تا ۳۶ و با توجه به  $q = 3$  در جدول می نویسیم. هریک از این اعداد مشخص کننده ی بازوی رویی یک کلاف نیز هست.

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

شیاری را که بازوی دوم کلاف در آن واقع می شود، با توجه به گام سیم بندی در کنار همان عدد قبلی مربوط به بازوی اول کلاف و به صورت پریم دار می نویسیم تا جدول سیم پیچی مطابق جدول ۴-۷ کامل شود.

با دقت در جدول، مشاهده می شود که اعداد پریم دار نیز که مشخص کننده ی بازوهای زیری کلاف ها هستند، به ترتیب و پشت سرهم مانند جداول قبلی نوشته شده است.

دیاگرام گسترده ی این مثال که با کمک جدول ۴-۷ ترسیم شده، در شکل ۱۴-۷ نشان داده شده است.

روابطی که برای سیم بندی یک طبقه موتورهای سه فازه گفته شد، در این جا نیز صادق است. تنها همان طور که توضیح داده شد، در موتورهای دو طبقه، گام سیم بندی از رابطه ی  $y_z = \varepsilon y$  به دست می آید.

طریقه ی قرار دادن کلاف ها در داخل شیارها نیز متفاوت است. باید کلاف ها را در داخل شیارهای استاتور به ترتیب 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 پیچی ها زیباتر می شود در هنگام سربندی نیز امکان اشتباه کم تر است.

ترسیم دیاگرام گسترده ی سیم پیچی دو طبقه نیز به روش های مختلف امکان پذیر است که در این جا با ذکر یک مثال به معرفی متداول ترین آن ها یعنی روش استفاده از جدول می پردازیم.

مثال: مطلوب است دیاگرام گسترده ی سیم پیچی یک موتور سه فازه ی ۳۶ شیار با ۴ قطب به صورت دو طبقه.

راه حل: برای رسم دیاگرام گسترده، ابتدا  $y, q, \alpha_{ez}$  را حساب می کنیم.

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

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

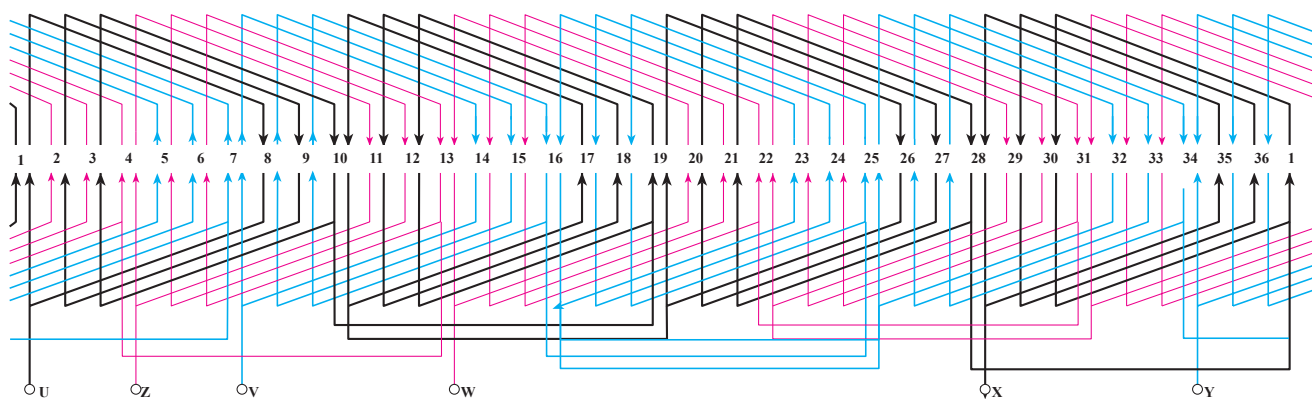
$$\alpha_{ez} = \frac{36^\circ}{z} \times p = \frac{36^\circ \times 2}{36} = 2^\circ$$

با مشخص شدن  $\alpha_{ez} = 2^\circ$  شروع فازها از شیارهای ۱ و ۷ و ۱۳ خواهد بود.

گام سیم بندی در صورتی که  $\varepsilon = \frac{5}{6}$  انتخاب شود، برابر

جدول ۴-۷ — نحوه ی قرار دادن بازوهای کلاف در شیارها

R	T	S
۱ → ۸', ۲ → ۹', ۳ → ۱۰'	۴ → ۱۱', ۵ → ۱۲', ۶ → ۱۳'	۷ → ۱۴', ۸ → ۱۵', ۹ → ۱۶'
۱۰ → ۱۷', ۱۱ → ۱۸', ۱۲ → ۱۹'	۱۳ → ۲۰', ۱۴ → ۲۱', ۱۵ → ۲۲'	۱۶ → ۲۳', ۱۷ → ۲۴', ۱۸ → ۲۵'
۱۹ → ۲۶', ۲۰ → ۲۷', ۲۱ → ۲۸'	۲۲ → ۲۹', ۲۳ → ۳۰', ۲۴ → ۳۱'	۲۵ → ۳۲', ۲۶ → ۳۳', ۲۷ → ۳۴'
۲۸ → ۳۵', ۲۹ → ۳۶', ۳۰ → ۱'	۳۱ → ۲', ۳۲ → ۳', ۳۳ → ۴'	۳۴ → ۵', ۳۵ → ۶', ۳۶ → ۷'



شکل ۱۴-۷- دیاگرام گسترده سیم پیچی موتور سه فاز با ۳۶ شیار و ۴ قطب، دو طبقه با گام کوتاه

فرکانس  $f$  را به دست آورد و در موتورهای سنکرون و آسنکرون با داشتن فرکانس شبکه‌ی سه فاز، 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 کم تر 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 کم تر می شود.

در صورت استفاده از موتور آسنکرون با رتور سیم پیچی شده و راه اندازی قابل تنظیم می توان دور موتور را در مقیاس کوچکی نیز تغییر داد اما این روش اقتصادی نیست و تلفاتی به همراه دارد.

از توضیحات بیان شده چنین نتیجه می گیریم که دور موتورهای آسنکرون، تقریباً ثابت است؛ مگر آن که فرکانس یا تعداد قطب های ماشین تغییر کند. ساده ترین حالت این است که برای تغییر دور، تعداد قطب های موتور را تغییر دهیم.

اگر استاتور یک ماشین را با دو یا چند سیم پیچ جداگانه و برای قطب های مختلف سیم پیچی کرده و هر کدام از آن ها را جداگانه (غیر هم زمان) به شبکه ی سه فاز وصل کنیم، می توانیم دور های مختلفی را به دست آوریم.

مثلاً می توان یک استاتور ۳۶ شیار را برای ۲ و ۴ و ۶ قطب سیم پیچی کرد و با اتصال جداگانه ی هریک از سیم پیچ ها به شبکه، به دور نزدیک ۳۰۰۰-۱۵۰۰ یا ۱۰۰۰ دور در دقیقه رسید.

ترتیب سربندی گروه کلاف های هر فاز نیز همانند روش های قبلی با توجه به جهت جریان در بازوهای رویی است. در این جا نیز برای هر فاز، انتهای گروه کلاف به انتهای گروه کلاف بعدی و ابتدای آن به ابتدای گروه کلاف بعدی متصل می شود.

با کمی دقت در دیاگرام ملاحظه خواهید کرد که بین هر دو قطب، در دو شیار مجاور، جهت جریان لحظه ای بازوهای واقع در هر شیار برعکس یک دیگر 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 رابطه ی  $y - y_z$  به دست می آید.

اگر گام سیم بندی را برابر  $y_z = 8$  انتخاب کنیم، تنها یک شیار در بین هر دو قطب این خاصیت را پیدا خواهد کرد. این موضوع باعث افزایش جریان بی باری موتور می شود و برای رفع آن - همان طور که قبلاً توضیح داده شد - باید تعداد دور سیم پیچی را افزایش داد.

## ۷-۵- سیم پیچی موتورهای دو دور سه فاز (دالاندر)

مابین فرکانس  $f$  و دور سنکرون ماشین  $n_s$  و تعداد جفت

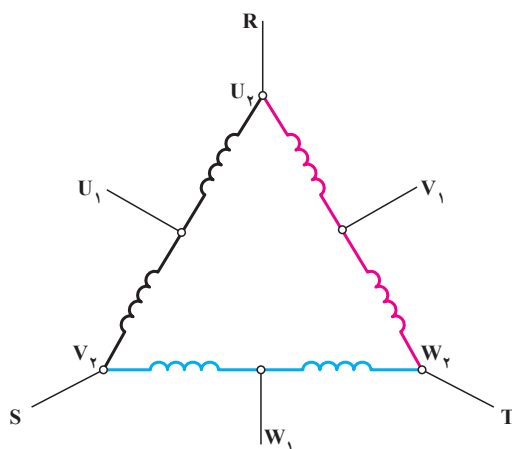
$$\text{قطب های ماشین } 2p \text{ رابطه ی } n_s = \frac{60 \times f}{p} \text{ برقرار است.}$$

از این رابطه می توان استفاده کرد و در ژنراتورهای سنکرون با مشخص بودن تعداد دور ماشینی که ژنراتور را می چرخاند،



بودن درجه حرارت کار آن هاست که سبب بالا رفتن بازده (راندمان) می شود.

تعداد گروه کلاف های موتور دالاندر را باید طوری محاسبه کرد که تا ایجاد قطب بیش تر نیز امکان پذیر باشد. مجموعه ی گروه کلاف های هریک از سه فاز، به دو قسمت تقسیم شده اند و در حالت قطب زیاد به صورت سری و در حالت قطب کم به صورت موازی با یک دیگر قرار می گیرند. در نتیجه، سیم پیچ های هر سه فاز در حالت دور کم (قطب زیاد) به صورت مثلث و در حالت دور زیاد به صورت ستاره ی دوبل ( $\lambda\lambda$ ) مانند شکل ۱۵-۷ اتصال می یابند.



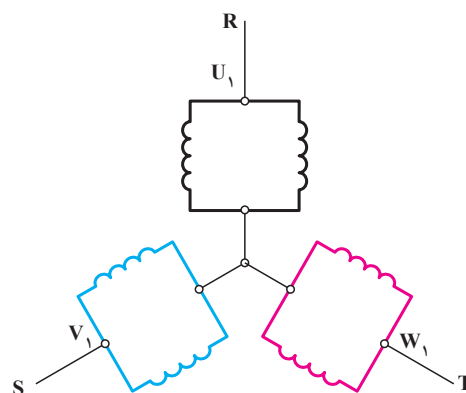
شکل ۱۵-۷ اتصال مثلث با دور کم و قطب زیاد و اتصال ستاره دوبل با دور زیاد و قطب کم

سرعتی ۴ قطب را می توان برای ۸ و ۴ قطب سیم پیچی کرد. در حالت ۸ قطب، گام قطبی و در نتیجه سطح زیر هر قطب نصف حالت ۴ قطب است. در ضمن، چون تعداد دور کم تر می شود، تهویه ی موتور خوب کار نمی کند و موتور به خوبی خنک نمی شود. در این حالت، قدرت ماشین با قطب بیش تر حدود ۴۵ - کم تر از قدرت همان ماشین در حالت قطب کم تر می باشد.

در موتور دالاندر برای این که تقسیم منحنی مغناطیسی در فاصله هوایی کاملاً سیمتریک باشد، باید گام سیم پیچی  $y_z$  را چنان انتخاب کرد که برای تعداد قطب بیش تر، یک گام کامل و برابر با گام قطبی باشد.

در صورتی که نسبت تغییر قطب  $\frac{2}{1}$  باشد، به جای این که در استاتور برای دو سرعت مختلف از دو سیم پیچ مجزا استفاده کنیم، می توانیم از یک سیم پیچ با اتصال خاص استفاده کنیم و با تغییر دادن اتصال کلاف ها به یک دیگر دور را تغییر دهیم.

امروزه از موتور هایی که دارای این گونه سیم پیچی هستند و با تغییر اتصال سیم پیچی، قطب های آن را تغییر می دهند و سرعت آن را دو برابر یا نصف می کنند، فراوان استفاده می شود. چنین موتور هایی به موتور های با سیم پیچ دالاندر معروف اند. مزایای این موتورها کم بودن تلفات راه اندازی و پایین



برای این که هنگام تغییر اتصال، جهت گردش رتور تغییری نکند، باید محل اتصال  $V_2$  و  $W_2$  را در ترمینال های موتور با یک دیگر تعویض کرد.

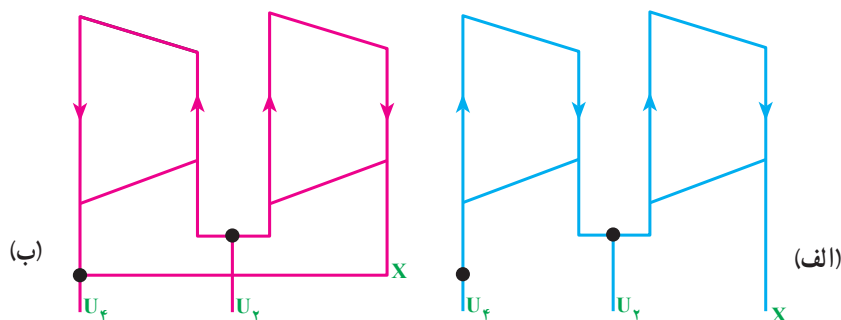
اگر بخواهیم سیم پیچی یک موتور سه فاز یک سرعت را تغییر دهیم و به صورت دو دور دالاندر سیم پیچی کنیم. باید دقت داشته باشیم که سطح قطب های استاتور برای دور بیش تر از دور نامی موتور کافی نیست و نمی توان این موتور را برای تعداد قطب کم تر سیم پیچی کرد و در صورت لزوم باید محاسبات مجدد را برای سیم پیچی انجام داد.

به عکس می توان همین موتور را برای تعداد دور کم تر (قطب بیش تر) سیم پیچی کرد. برای مثال، یک موتور یک

$y_z = \frac{m}{p} q = 1/5q$        $y = \frac{2}{3} y_z$   
 بدین ترتیب، با انتخاب گام سیم پیچی مناسب که با گام قطبی  
 برای حالت قطب زیاد برابر است، می توان یک منحنی مغناطیسی  
 سیمتریک به دست آورد.

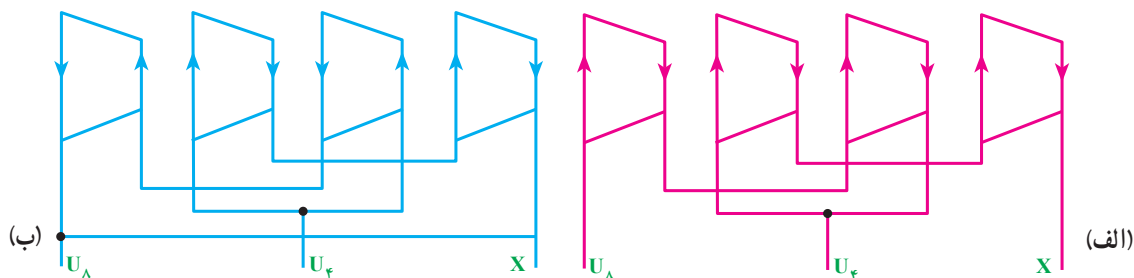
شرط لازم برای این کار- با توجه به رابطه ی اخیر- این  
 است که  $q$  عدد زوج باشد. در حالتی که  $q$  عدد فرد باشد، گام  
 سیم پیچی با گام قطبی یکی نیست و در نتیجه، میدان مغناطیسی  
 نیز سیمتریک نخواهد شد.

در شکل ۱۶-۷ الف دو گروه کلاف که با یک دیگر  
 به صورت سری قرار گرفته اند و به یک فاز مربوط اند، 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 می شود.



شکل ۱۶-۷- سربندی کلاف های یک فاز موتور دالاندر ۴ قطب و ۲ قطب

سری شده و ۸ قطب را تشکیل داده اند، نشان داده شده است.  
 ترتیب سری شدن کلاف ها 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 کلاف های دو و چهار قرار گرفته اند،  
 مانند شکل ۱۷-۷ ب ایجاد نمود.



شکل ۱۷-۷- دیاگرام سربندی کلاف های موتور دالاندر ۸ قطب و ۴ قطب

بنابراین، اگر تعداد قطب موتور را در حالت دور بیش تر  
 (قطب کم تر) با  $2P_1$  و در حالت دور کم تر (قطب بیش تر) با  $2P_2$   
 نشان دهیم، در این صورت گام سیم پیچی برابر می شود با:

$$y_z = \frac{z}{2P_2}$$

در یک سیم پیچی دالاندر، تعداد کل گروه کلاف های  
 سه فاز، برابر با  $2P_1 m$  است و در حالتی که  $P_1 = 1$  باشد، تعداد  
 گروه کلاف ها برابر با ۶ خواهد شد. بنابراین، در این سیم پیچی  
 رابطه ی  $z = 2P_1 m q = P_2 m . q$  برقرار است.

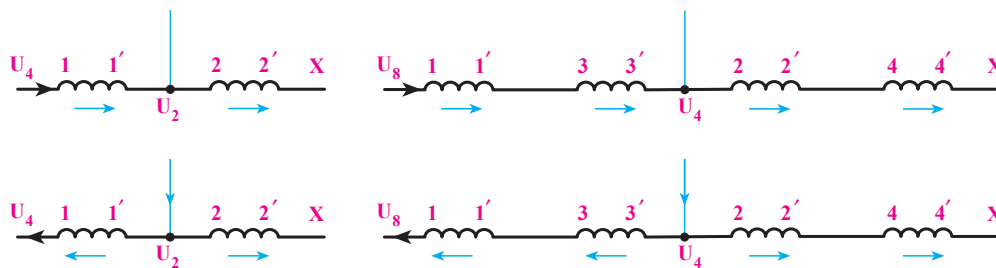
در این صورت مقدار  $q$  که مشخص کننده ی تعداد  
 کلاف های هر گروه کلاف نیز هست، به صورت زیر به دست می آید:

$$y_z = \frac{z}{2P_2} = \frac{P_2 m . q}{2P_2}$$

چنان چه این دو گروه کلاف مانند شکل ۱۶-۷ ب با  
 اتصال  $X$  و  $U_4$  با یک دیگر موازی شوند و جریان از  $U_4$  وارد  
 و از  $U_8$  خارج شود، جهت جریان در کلاف شماره ی یک  
 معکوس می شود و در مجموع، دو قطب تشکیل می دهد.  
 در شکل ۱۷-۷ الف چهار گروه کلاف که با یک دیگر

سیم پیچ و سرورودی آن را با شماره‌ی همان کلاف و خروجی آن را نیز با شماره‌ی پریم دار همان کلاف نشان داده و گروه کلاف‌های سری شده را نیز به ترتیب - مانند شکل ۷-۱۸- پشت سرهم قرار دهیم، در این صورت کلاف‌های با شماره‌ی فرد در یک سمت و کلاف‌های با شماره‌ی زوج در سمت دیگر قرار می‌گیرند.

در چنین حالتی چهار قطب ایجاد می‌شود. برای تبدیل قطب‌ها از ۸ به ۴ - همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود - جهت جریان در گروه کلاف‌های شماره یک و سه معکوس شده است. اگر برای سادگی، هریک از کلاف‌ها را به صورت یک



شکل ۷-۱۸- سربندی کلاف‌های یک فاز موتور دالاندر ۴/۴ قطب و ۴/۲ قطب

(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 سه فاز در یک سیم پیچی دو طبقه به صورت زیر خواهد بود که در جدول ۷-۵ 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 به صورت شکل ۷-۱۹ با هم سری می‌کنیم.

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.

سیم پیچی دالاندر معمولاً به صورت دو طبقه انجام می‌گیرد. با توجه به این موضوع و مطالب گفته شده، می‌توان سیم پیچ‌های هر سه فاز را به ترتیب زیر شماره گذاری کرد و گروه کلاف‌هایی را که باید جهت جریان در آن‌ها با تغییر قطب تعویض شوند، مشخص نمود.

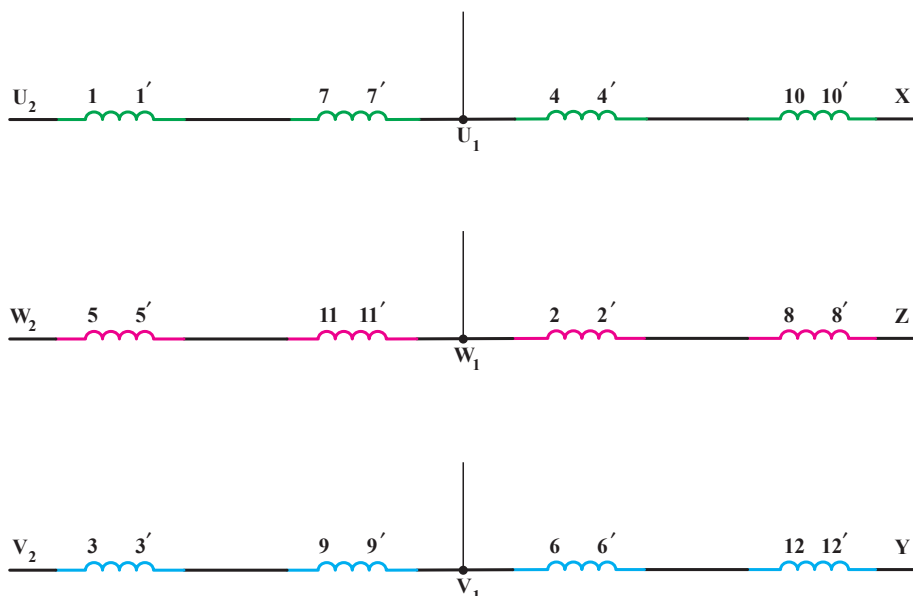
فرض می‌کنیم استاتوری مجموعاً دارای ۱۲ گروه کلاف است. در این صورت، اگر هریک از گروه کلاف‌های فاز اول

جدول ۷-۵- گروه کلاف‌های هر فاز موتور دالاندر

فاز سوم	فاز دوم	فاز اول	
۳-۹	۵-۱۱	۱-۷	گروه کلاف‌هایی که جهت جریان در آن‌ها تغییر می‌کند.
۶-۱۲	۲-۸	۴-۱۰	گروه کلاف‌هایی که جهت جریان در آن‌ها تغییر نمی‌کند.

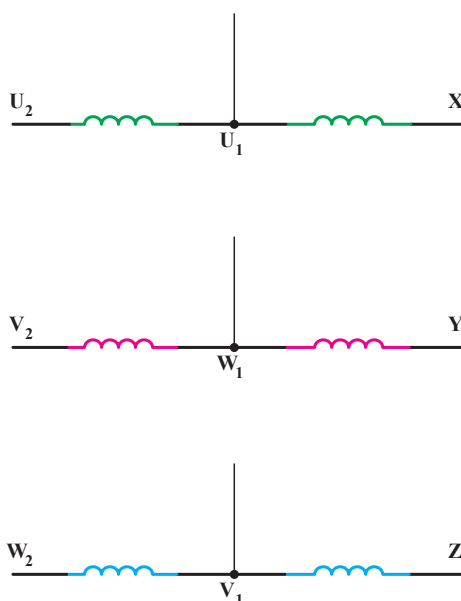
به  $U_1$ ،  $V_1$  و  $W_1$  اتصال دهیم. در این حالت، اگر  $R$  به  $U_1$  و  $S$  به  $V_1$  و  $T$  به  $W_1$  وصل شود، جهت گردش رتور نیز عوض می‌شود؛ یعنی، اگر موتور در حالت دور کم راست گرد باشد، در حالت دور زیاد چپ گرد خواهد شد.

برای اتصال مثلث، باید  $Z$  را به  $U_p$ ،  $Y$  را به  $W_p$  و  $X$  را به  $V_p$  متصل کرد و سه فاز را به ترتیب  $R$  را به  $U_p$ ،  $S$  را به  $V_p$  و  $T$  را به  $W_p$  وصل نمود. برای اتصال ستاره‌ی دوپل، کافی است که  $U_p$ ،  $V_p$  و  $W_p$  را به یک دیگر متصل کنیم و سه فاز را



شکل ۱۹-۷- سربندی گروه کلاف‌های هر فاز موتور دالاندر

برای رفع این اشکال باید در هنگام تغییر قطب، فاز S را به وسط گروه کلاف‌های مربوط به فاز سوم ( $W_1$ ) و فاز T را به وسط گروه کلاف‌های مربوط به فاز دوم ( $V_1$ ) متصل کنیم. برای این که در هنگام اتصال موتور به شبکه‌ی سه فاز، در روی جعبه کلم اشکال و اشتباهی پیش نیاید، باید شخصی که موتور را سیم‌پیچی می‌کند، سر وسط گروه کلاف‌های فاز سوم را به جای اتصال به ترمینال  $W_1$  جعبه کلم، به ترمینال  $V_1$  و سر وسط گروه کلاف‌های مربوط به فاز دوم را به جای اتصال به ترمینال  $W_1$  و  $V_1$  را مانند شکل ۲۰-۷ بایک‌دیگر عوض نماید. بدین ترتیب، با اتصال به شبکه اتصال می‌یابد و جهت گردش آن نیز تغییری نمی‌کند.



شکل ۲۰-۷- تغییر نام وسط کلاف در موتور دالاندر

برای این که مطالب گفته شده را بهتر درک کنید، به ذکر یک مثال می پردازیم.

مثال: مطلوب است دیاگرام گسترده ی یک موتور سه فاز دالاندر ۳۶ شیار ۴ و ۸ قطب.

راه حل: در این مثال  $2P_p = 8$  و  $2P_m = 4$  است، برای رسم دیاگرام این سیم بندی، ابتدا تعداد شیارهای زیر هر قطب مربوط به هر فاز را برای قطب کم تر حساب می کنیم.

$$q = \frac{Z}{2P_m} = \frac{Z}{P_p}$$

$$q = \frac{36}{4 \times 3} = 3$$

مقدار q عدد فرد است. بنابراین و با توجه به توضیحات

داده شده، گام سیم بندی برابر با گام قطبی نخواهد بود و تقسیم منحنی مغناطیسی، غیر سیم تریک می شود.

$$y_z = 1/5q = 1/5 \times 3 = 4/5$$

گام سیم بندی را می توان ۴ یا ۵ انتخاب کرد.

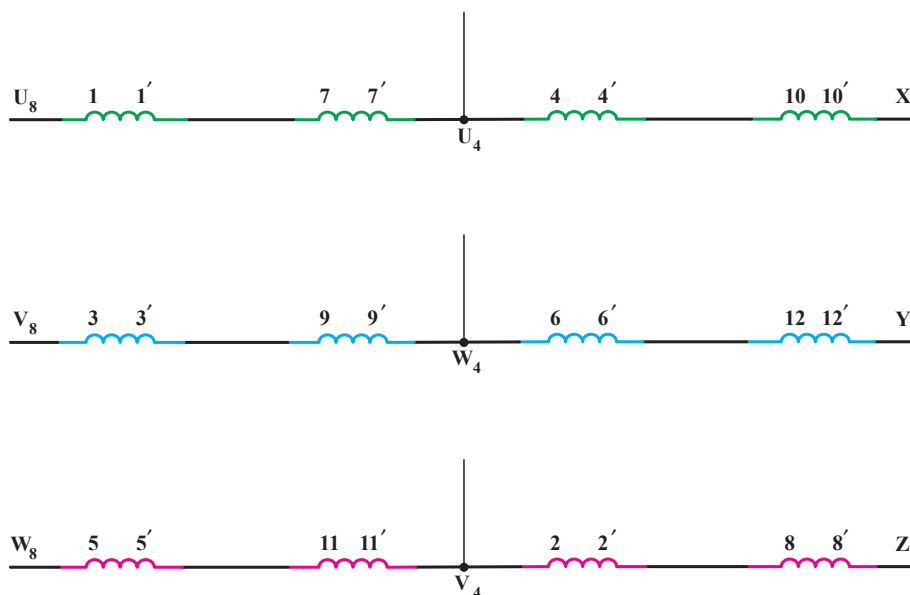
در این جا ما گام را برابر با ۵ انتخاب می کنیم. تعداد گروه کلاف های مورد نیاز برای این موتور برابر با  $2P_m$  یعنی  $12 = 2 \times 3 \times 2$  است. شماره گروه کلاف های مربوط به هر فاز را مشخص کرده و گروه کلاف های فرد یا زوج را مانند جدول ۷-۶ جدا می کنیم.

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 ۷-۶ دیاگرام سربندی گروه کلاف ها به صورت شکل ۷-۲۱ خواهد بود.

جدول ۷-۶ گروه کلاف های هر فاز موتور دالاندر با ۴ یا ۸ قطب سه فاز

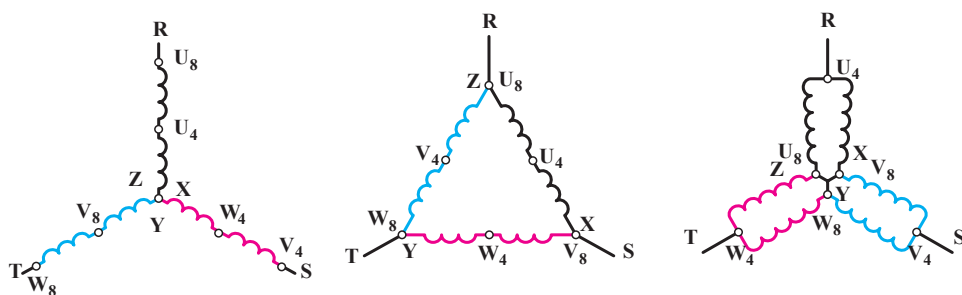
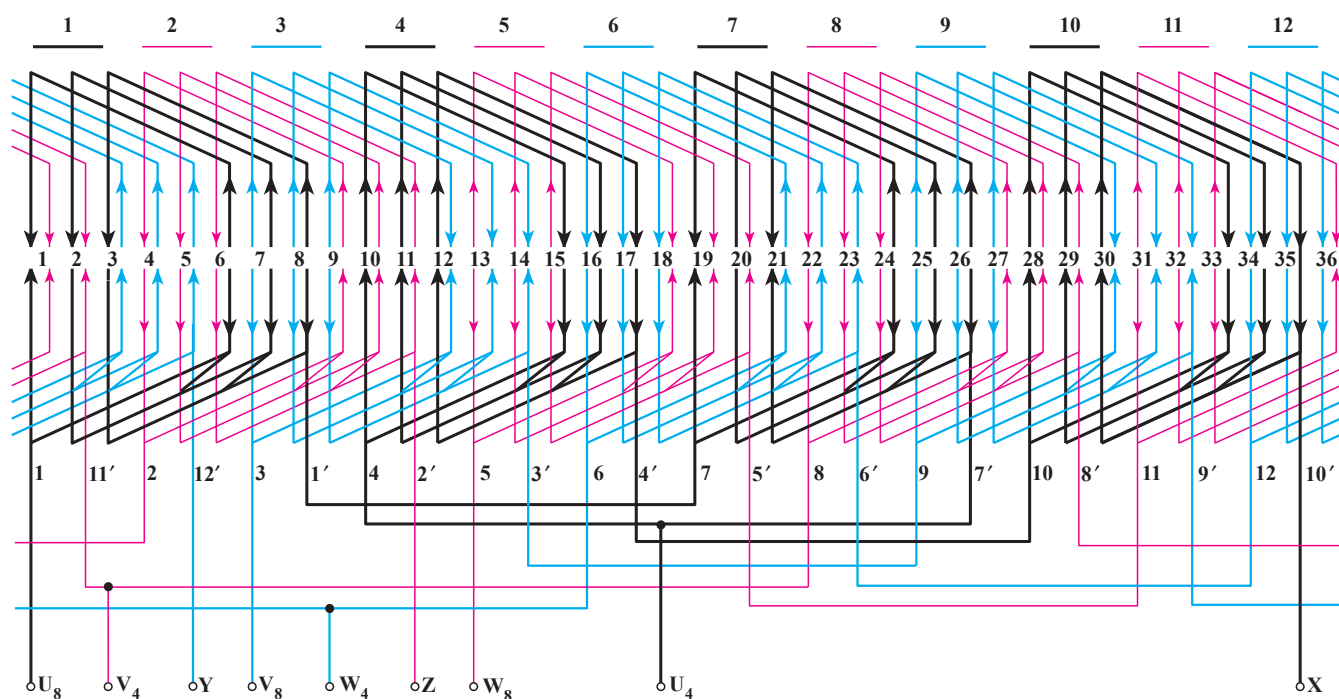
	فاز R	فاز T	فاز S
گروه کلاف های فرد	۱ و ۷	۵ و ۱۱	۳ و ۹
گروه کلاف های زوج	۴ و ۱۰	۲ و ۸	۶ و ۱۲



شکل ۷-۲۱ سربندی گروه کلاف های هر فاز موتور دالاندر با ۴ یا ۸ قطب سه فاز

به همین 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 ۲۲-۷ این دیاگرام نشان داده شده است.

دیاگرام سربندی، طریقه‌ی اتصال گروه کلاف‌های هر فاز را به یک‌دیگر و سرهای خروجی را مشخص می‌کند. مثلاً در مورد فاز اول ابتدای گروه کلاف (۱) به ترمینال  $U_8$  متصل می‌شود و انتهای همین گروه کلاف (۱') به ابتدای گروه کلاف شماره‌ی ۷ که باز هم به همین فاز مربوط می‌شود و در شیارهای ۲۱ و ۲۲ قرار گرفته است، متصل شده و خروجی این گروه کلاف به ابتدای گروه کلاف شماره‌ی ۴ اتصال می‌یابد.

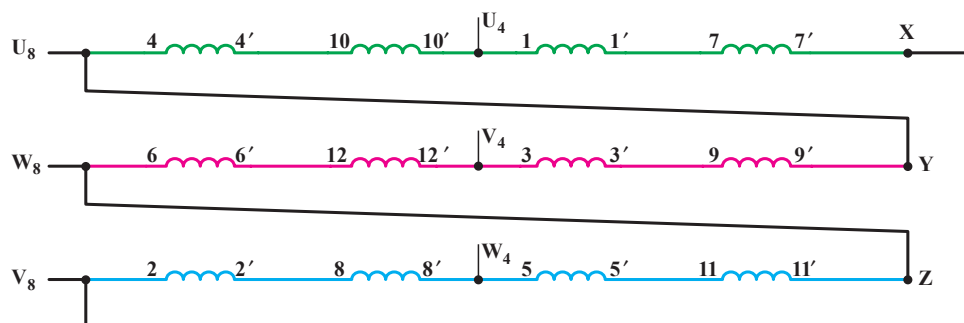


شکل ۲۲-۷ دیاگرام سیم‌پیچی موتور سه‌فاز دو دور (دالاندر) با ۴ یا ۸ قطب و ۳۶ شیار



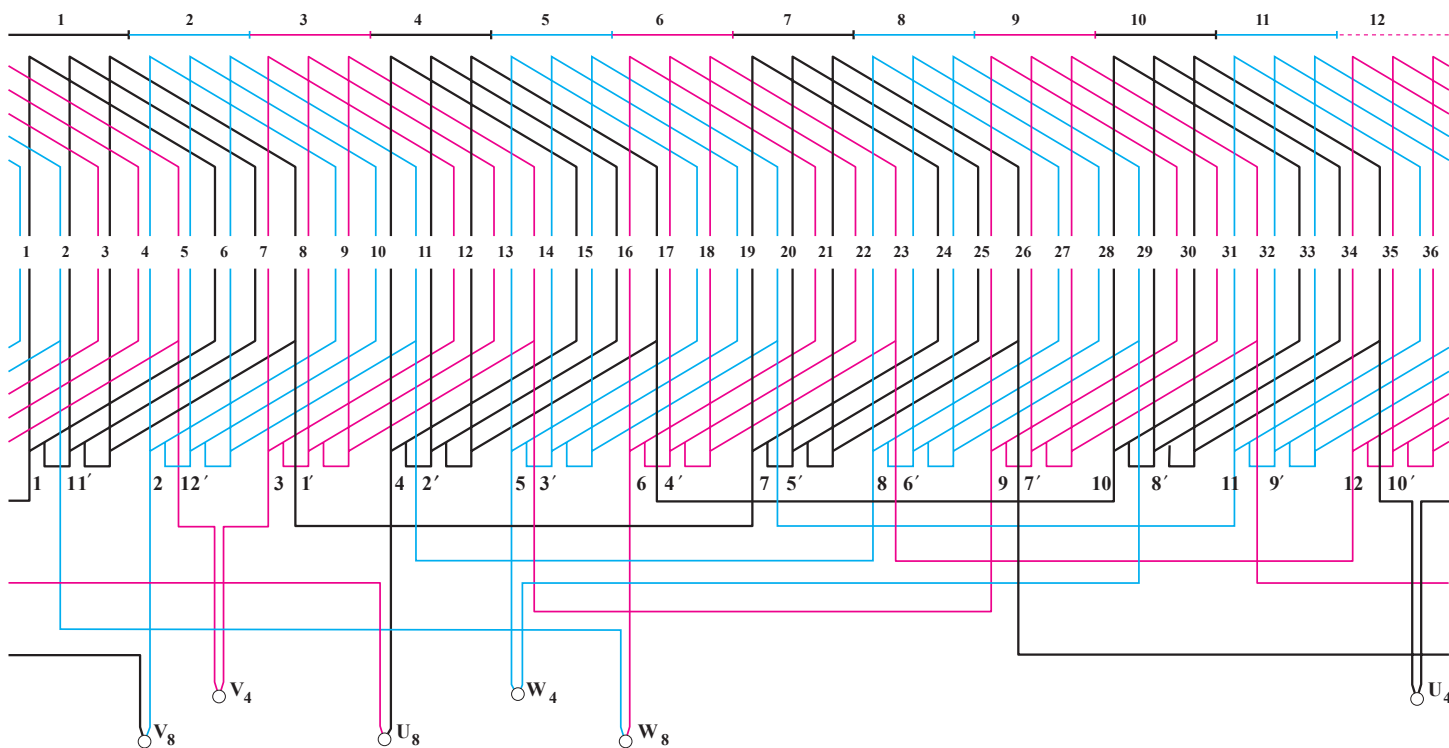
سربندی گروه کلاف‌ها را می‌توان به‌طریقی انجام داد که در هنگام تغییر قطب، جهت جریان به‌جای گروه کلاف‌های فرد در گروه کلاف‌های زوج عوض شده و به‌جای تعویض  $V_4$  و  $W_4$  با یک‌دیگر جای  $V_8$  و  $W_8$  با هم عوض شود.

دیاگرام سربندی مثال ذکر شده با این شرط که جهت جریان در کلاف‌های زوج تغییر کند، در شکل ۷-۲۳ و دیاگرام گسترده‌ی آن در شکل ۷-۲۴ نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۳- سربندی کلاف‌های موتور سه‌فاز دو دور (دالاندر) با ۴ یا ۸ قطب به‌صورت مثلث

در شکل ۷-۲۲ امکان راه‌اندازی موتور به‌صورت ستاره‌ی مثلث نیز وجود دارد لیکن در شکل ۷-۲۴ به‌علت این که سیم‌پیچی در داخل موتور به‌صورت مثلث اتصال یافته و شش سر خارج شده است، این امکان وجود ندارد.



شکل ۷-۲۴- دیاگرام گسترده موتور سه‌فاز دو دور (دالاندر) با اتصال مثلث

## ۶-۷- سیم پیچی موتورهای یک فاز رتور قفسی

در صورتی که استاتور یک موتور آسنکرون تنها با یک گروه کلاف سیم پیچی شود و به یک منبع یک فازه اتصال یابد، یک میدان متغیر ایجاد می شود و برعکس سیم پیچی سه فازه، دیگر میدان دوار نخواهیم داشت.

اگر در یک موتور سه فاز، X و Y را به یک دیگر و U-V را به شبکه ی یک فاز متصل کنیم و ترمینال های W و Z را نیز آزاد بگذاریم، رتور شروع به لرزش می کند و به خودی خود نمی چرخد اما اگر رتور را با دست به چپ یا راست بگردانیم، در همان جهت به گردش خود ادامه خواهد داد.

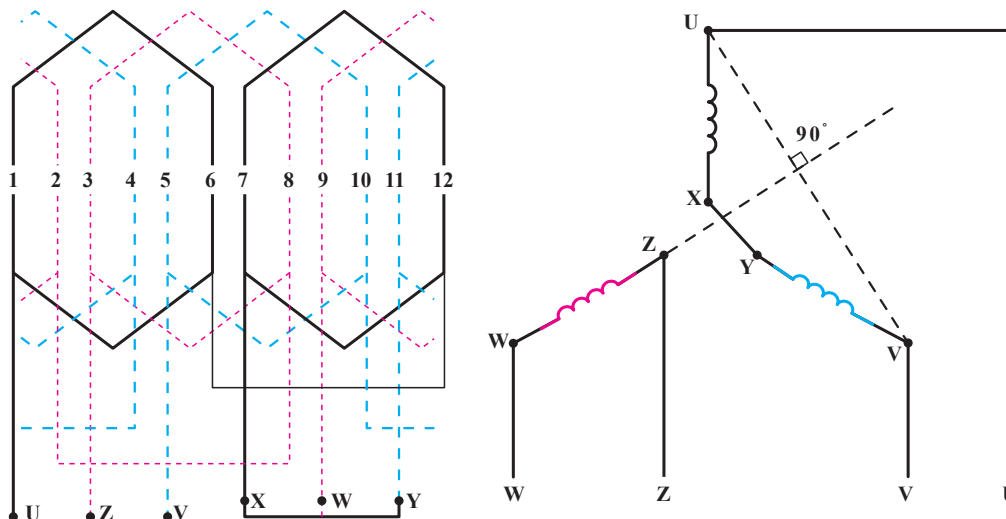
اگر در موتور سه فازه ی گفته شده، ترمینال های X و Y را به یک دیگر اتصال دهیم و چهار ترمینال باقی مانده U-V و W-Z را به یک جریان دو فازه متصل کنیم، رتور به گردش خواهد افتاد. همان طور که در شکل ۷-۲۵ دیده می شود، محور سیم پیچ U-V با محور سیم پیچ W-Z به اندازه ی  $90^\circ$  درجه اختلاف فاز دارند و اگر توسط یک جریان دو فازه با اختلاف فاز  $90^\circ$  درجه تغذیه شوند، میدان دوار ایجاد می شود و موتور به خودی خود به گردش خواهد افتاد. موتورهای یک فازی که در صنعت از آن ها استفاده می شود و رتور قفسی دارند، برای این که پس از اتصال به شبکه ی یک فازه مانند سیم پیچی دو فازه ی گفته شده به خودی خود بگردند، دارای دو سیم پیچ جدا از یک دیگر هستند.

با اضافه کردن خازن، مقاومت اهمی و به ندرت مقاومت سلفی در مدار یکی از سیم پیچ ها (سیم پیچ کمکی) اختلاف فاز لازم را بین جریانهای دو سیم پیچ به وجود می آورند. از خازن های الکترولیتی فقط برای راه اندازی استفاده می شود و آن ها نباید بیش تر از چند ثانیه در مدار باشند. در صورتی که بخواهیم خازن راه انداز را تعویض کنیم، باید خازنی را به کار بگیریم که همان مشخصات خازن اصلی را داشته و ظرفیت و ولتاژ آن برابر با ظرفیت و ولتاژ خازن معیوب باشد. خازن با ولتاژ بیش تر را می توان جایگزین خازن با ولتاژ کم تر کرد اما عکس این حالت صادق نیست.

اگر بخواهیم سیم پیچی یک موتور یک فاز را که با ولتاژ  $U_1$  کار می کند و توسط خازن  $C_1$  راه اندازی شده است تعویض کرده آن را برای ولتاژ جدید  $U_2$  سیم پیچی کنیم، می توانیم ظرفیت خازن جدید را از رابطه ی زیر به دست آوریم.

$$C_2 = \left( \frac{U_1}{U_2} \right)^2 \times C_1$$

سیم پیچ کمکی پس از راه اندازی می تواند از شبکه قطع شود یا این که به آن متصل باقی بماند. مقدار مقاومت اهمی که با سیم پیچ راه انداز سری می شود، تقریباً بین ۴ تا ۸ برابر مقاومت سیم پیچ راه انداز است. و این مقاومت را می توان با زیاد کردن تعداد دور سیم پیچ راه انداز و کم کردن سطح مقطع آن یا استفاده از یک سیم با مقاومت مخصوص بیش تر (نسبت به سیم پیچ اصلی)



شکل ۷-۲۵ اتصال موتور سه فاز برای راه اندازی با جریان دو فازه

– مانند سیم آلومینیومی یا آهنی قلع اندود – به دست آورد. اغلب، یک قسمت از سیم پیچ کمکی را به صورت بیفیلار می پیچند (معمولاً  $\frac{2}{3}$  حلقه های کلاف در یک جهت و  $\frac{1}{3}$  در جهت دیگر). بدین ترتیب، مقاومت اهمی سیم پیچی مؤثرتر می شود. ابتدا و انتهای سیم پیچ اصلی را با توجه به شکل (۷-۲۵) با دو حرف U-V و سیم پیچ کمکی یا راه انداز را با دو حرف W-Z، نشان می دهند. استاتور موتورهای یک فاز را می توان به صورت یک طبقه یا دو طبقه و یک یا دو دور سیم پیچی کرد. در این جا به شرح هریک از آن ها می پردازیم.

### ۱-۶-۷- سیم پیچی یک طبقه ی یک فاز:

در صورتی که سیم پیچ کمکی، پس از راه اندازی در مدار باقی بماند، می توانیم تعداد شیارهای استاتور را به نسبت مساوی بین دو سیم پیچ تقسیم کنیم و برای ترسیم دیاگرام سیم پیچی نیز – چه به صورت یک طبقه و چه به صورت دو طبقه – از روابطی که برای موتورهای سه فاز گفته شده و قواعدی که در آن مورد به کار می رفت، استفاده کنیم. با توجه به این که در این جا  $m = 2$  (در سه فاز  $m = 3$ ) است، از تمام شیارهای استاتور در حالت کار دایمی استفاده می شود. در موتورهای یک فاز صنعتی، اغلب سیم پیچ کمکی پس از راه اندازی موتور از مدار خارج می شود. در چنین حالتی، معمولاً سیم پیچی به روش های مختلفی انجام می گیرد. در ساده ترین حالت، سیم پیچی به صورت یک طبقه انجام می گیرد و  $\frac{2}{3}$  شیارها را برای سیم پیچ اصلی و  $\frac{1}{3}$  باقی مانده را برای سیم پیچ کمکی – که در این حالت فقط برای راه اندازی به کار می رود – اختصاص می دهند.

در این حالت، راه اندازی به خوبی امکان پذیر است و سیم پیچی از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد.

برای ترسیم دیاگرام گسترده ی این سیم پیچی، باید تعداد گروه کلاف های سیم پیچ اصلی را برابر با تعداد قطب ها در نظر بگیریم. در این صورت، تعداد کلاف های هر گروه کلاف، کوچک خواهد شد. تعداد گروه کلاف های سیم پیچ راه انداز نیز می تواند با تعداد قطب ها یا با تعداد جفت قطب ها باشد.

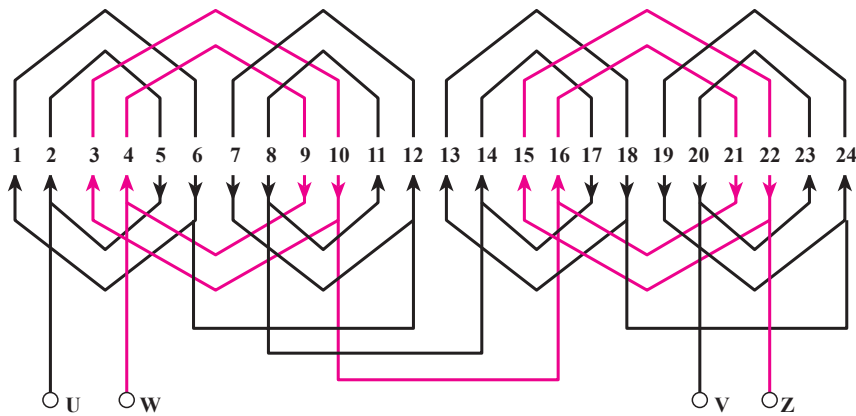
چون بازوهای هر گروه کلاف باید دو قطب بسازند و تعداد گروه کلاف های اصلی نیز برابر با تعداد قطب ها در نظر گرفته می شود، باید در نصف شیارهای زیر هر قطب مربوط به سیم پیچ اصلی یک طرف گروه کلاف و در نیم باقی مانده، گروه کلاف دیگر قرار بگیرد.

این موضوع بدین معناست که گروه کلاف های اصلی باید در مجاورت هم و بدون این که بین آن ها شیار خالی باشد، جازده شوند. برای رسیدن به این هدف، باید گام بزرگ ترین کلاف اصلی از گام قطبی یک شیار کوچک تر باشد. کلاف های راه انداز نیز در شیارهای خالی بین گروه کلاف های اصلی جای می گیرند. شروع سیم بندی راه انداز باید به اندازه ی  $90^\circ + \frac{9}{\alpha_{ez}}$  از شروع سیم بندی اصلی فاصله داشته باشد.

مثال ۱: می خواهیم استاتور یک ماشین ۲۴ شیار را به صورت یک طبقه ی یک فاز با سیم پیچ راه انداز و ۴ قطب سیم بندی کنیم. شمای گسترده ی سیم پیچی آن را رسم کنید.

تعداد شیارهای اصلی  $16 = 24 \times \frac{2}{3}$  و تعداد شیارهای راه انداز  $8 = 24 \times \frac{1}{3}$  شیار است. گام قطبی برابر با  $6 = \frac{24}{2P} = \frac{Z}{2P} = y$  و  $\frac{2}{3}$  گام قطبی، یعنی ۴ شیار مربوط به سیم پیچ اصلی و  $\frac{1}{3}$  آن که ۲ شیار است، به راه انداز مربوط می شود. تعداد گروه کلاف های اصلی  $4 = 2P$  است. هر گروه کلاف نیز باید دارای دو کلاف باشد تا در مجموع ۱۶ شیار پر شود (تعداد کلاف های گروه کلاف های اصلی را می توان با نصف کردن تعداد شیارهای زیر هر قطب مربوط به سیم پیچ اصلی نیز به دست آورد).

اگر تعداد گروه کلاف های راه اندازی را برابر با ۴ بگیریم، تعداد کلاف های هر گروه کلاف، یکی است که در مجموع ۴ کلاف می شود و ۸ شیار را پر می کند. تعداد گروه کلاف های راه انداز را برابر با ۲ نیز می توانیم بگیریم. در این صورت، نوع گروه کلاف ها ۲ تایی خواهد شد و تمام گروه کلاف های اصلی و راه اندازی، دوتایی می شوند (شکل ۷-۲۶).

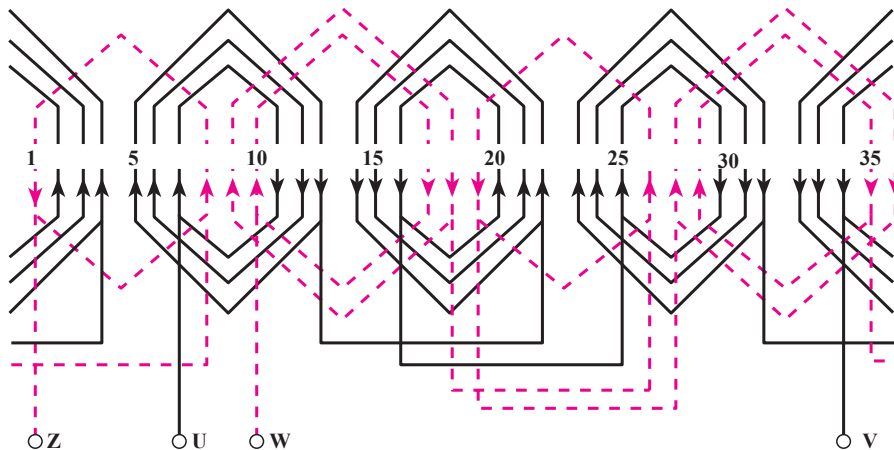


شکل ۲۶-۷- دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۴ قطب و ۲۴ شیار

زاویه الکتریکی بین دو شیار مجاور ۲۶-۷ با چهار گروه کلاف اصلی و دو گروه کلاف راه انداز مشخص شده است.

مثال ۲: دیاگرام گسترده ی یک موتور یک فاز ۳۶ شیار ۴ قطب یک طبقه، در شکل ۲۷-۷ نشان داده شده است. تعداد شیارهای سیم پیچ اصلی  $24 = 36 \times \frac{2}{3}$  و تعداد شیارهای راه انداز  $12 = 36 \times \frac{1}{3}$  است.

شروع فاز دوم یا سیم پیچ راه انداز از شیار ۵ و  $2 + \frac{90}{30} = 5$  می شود. شروع فاز اصلی از شیار ۲ و  $\alpha_{ez} = \frac{360 \times 2}{24} = 30^\circ$  می شود. ملاحظه می شود که شیار ۵ و ۶ مربوط به سیم پیچ اصلی است. بنابراین، در این جا باید سیم پیچ راه انداز را از شیار ۴ شروع کنیم. دیاگرام کامل این سیم بندی، در شکل

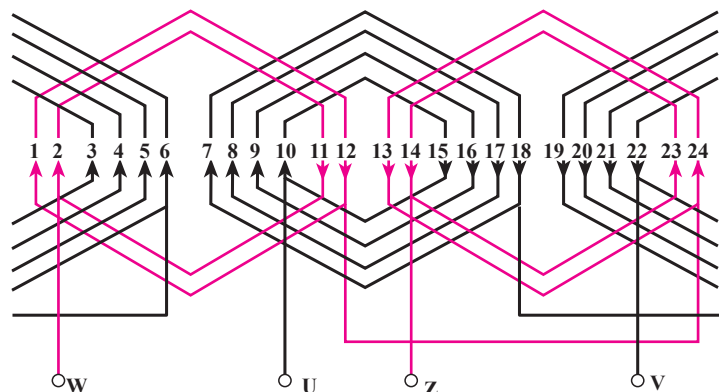


شکل ۲۷-۷- دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۴ قطب و ۳۶ شیار

تعداد گروه کلاف های راه انداز نیز چهار تاست و در مجموع باید ۱۲ شیار را پر کنند؛ یعنی، این چهار گروه کلاف مجموعاً باید شامل  $6 = 12 \div 2$  کلاف باشند. با کمی دقت در این مسئله که شش کلاف باید چهار گروه کلاف را تشکیل بدهند، نتیجه

سیم پیچ اصلی دارای چهار گروه کلاف سه تایی و در مجموع  $12 = 4 \times 3$  کلاف است. هر کلاف دو شیار را پر می کند؛ بنابراین، در مجموع ۲۴ شیار توسط سیم پیچ اصلی پر می شود.

شده‌اند. در شکل ۲۸-۷ نیز سیم‌پیچی یک موتور یک فاز یک طبقه‌ی ۲۴ شیار ۲ قطب را می‌بینید که به همان روش گفته شده ترسیم شده است.



شکل ۲۸-۷- دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۲ قطب و ۲۴ شیار

می‌گیریم که باید دو گروه کلاف دوتایی و دو گروه دیگر تکی باشند. گام قطبی ۹ و گام بزرگ‌ترین کلاف اصلی،  $9-1=8$  است و گروه کلاف‌های اصلی تماماً پهلوی یک‌دیگر جا زده

تقسیم‌بندی گروه کلاف‌ها در اطراف استاتور و داخل شیارها به صورت متقارن امکان‌پذیر باشد، تعداد قطب‌های لازم ایجاد شود و راه‌اندازی نیز به خوبی انجام پذیرد. طریقه‌ی محاسبه و رسم دیاگرام سیم‌بندی این گونه موتورها را با ذکر چند مثال توضیح می‌دهیم.

مثال ۱: استاتور یک موتور یک فاز دارای ۳۰ شیار است و باید به صورت شش قطب سیم‌پیچی شود. در صورتی که تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ اصلی  $Z_A = 24$  و تعداد شیارهای مربوط به سیم‌پیچ راه‌انداز  $Z_B = 12$  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 به صورت 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 به شرح 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 در نظر

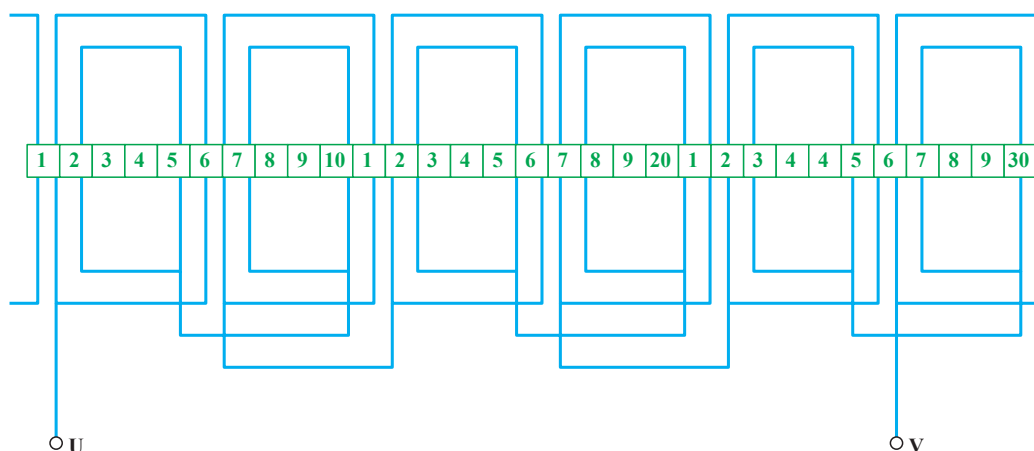
## ۲-۶-۷- سیم‌پیچی دو طبقه‌ی موتورهای یک

**فاز:** در مثال‌های گفته شده  $\frac{2}{3}$  کل شیارها به سیم‌پیچ اصلی و  $\frac{1}{3}$  شیارهای باقی‌مانده به شیارهای راه‌اندازی اختصاص داده شد اما در بسیاری از موتورهای یک فاز، تعداد شیارهای اصلی از  $\frac{2}{3}$  و شیارهای راه‌انداز از  $\frac{1}{3}$  کل شیارها بیش‌تر است و در نتیجه، به اجبار تعدادی از شیارها به صورت 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 پهنای 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 این گونه موتورها از قاعده‌ی خاصی به دست 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

بین هر دو شیار دو طبقه یا گام شیارهای دو طبقه را می توان از رابطه ی  $\frac{Z}{\text{تعداد شیارهای دو طبقه}}$  به دست آورد. بنابراین، در این جا گام شیارهای دو طبقه برابر با  $\frac{30}{6} = 5$  می شود. بدین ترتیب، شیارهای ۱، ۶، ۱۱، ۱۶، ۲۱ و ۲۶ را دو طبقه انتخاب می کنیم.

گام بزرگ ترین کلاف از سیم پیچ اصلی را باید در این سیم پیچی برابر با گام قطبی انتخاب کرد؛ زیرا شیارهای دو طبقه در این سیم پیچی وجود دارد. بنابراین و با توجه به آن چه پیش از این در مورد سیم پیچی موتورهای یک طبقه گفته شد، در مورد این مثال می توانیم دیاگرام گسترده ی سیم پیچ اصلی را رسم کنیم. در شکل ۲۹-۷ این دیاگرام گسترده نشان داده شده است.



شکل ۲۹-۷- دیاگرام گسترده سیم پیچ اصلی با ۶ قطب و ۳۰ شیار یک فاز

پس شروع سیم پیچ راه انداز را حساب می کنیم.

$$\alpha_{ez} = \frac{360 \times P}{Z} = \frac{360 \times 3}{30} = 36$$

$$1 + \frac{90}{36} = 1 + 2.5 = 3.5 \rightarrow \begin{matrix} 4 \\ 3 \end{matrix}$$

با دانستن شروع سیم بندی راه انداز و نوع گروه کلاف های آن می توانیم دیاگرام گسترده ی سیم بندی راه انداز را رسم کنیم. گام سیم پیچ راه انداز را می توانیم از روی شیارهای خالی مربوط به سیم پیچ راه انداز (۳، ۴، ۸، ۹، ۱۳، ۱۴ و ...) و تکی بودن

بگیریم. به دلیل شش قطب بودن موتور، تعداد گروه کلاف ها نیز برابر شش می شود که بایستی ۲۴ شیار را پر کنند. حال با توجه به این که هر کلاف دو شیار را پر می کند، نتیجه می گیریم که گروه کلاف ها باید دوتایی باشند؛ زیرا اگر تعداد کلاف های یک گروه کلاف را با X نمایش دهیم، از رابطه ی زیر خواهیم داشت:

$$24 = 6 \times 2 \times X \Rightarrow X = 2$$

از ۳۰ شیار موجود در استاتور، ۱۲ تای آن یک طبقه و مربوط به راه اندازی است. در نتیجه، ۱۸ شیار باقی می ماند که باید آن را ۲۴ شیار فرض کرد پس تعداد  $6(=24-18)$  شیار باید دو طبقه پیچیده شوند.

برای این که سیم پیچی متقارن باشد، باید این شش شیار در محیط استاتور فواصل یکسانی از یک دیگر داشته باشند. فاصله ی

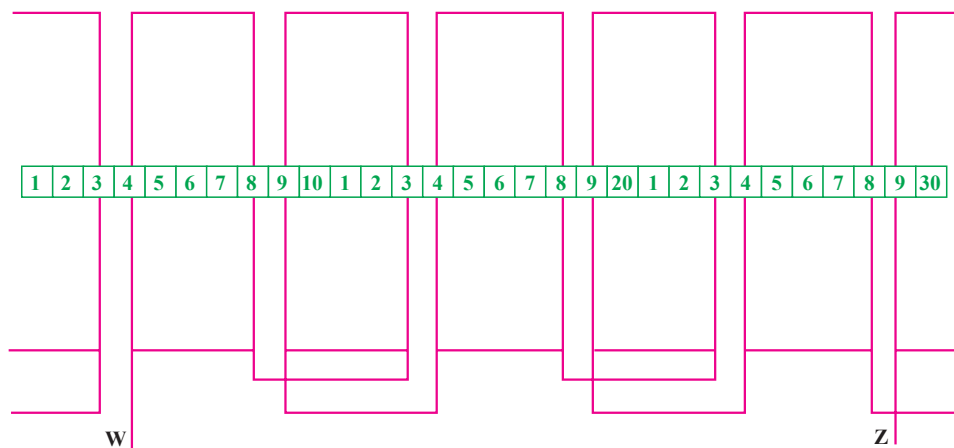
همان طور که در مثال گفته شد، تعداد شیارهای مربوط به سیم پیچ راه انداز ۱۲ است و باید با ۶ گروه کلاف پر شود و چون هر کلاف دو شیار را پر می کند، پس تعداد کل کلاف ها نیز ۶ خواهد شد. نتیجه می گیریم که هر گروه کلاف از یک کلاف تشکیل شده است و بدین ترتیب، از ۶ گروه کلاف تکی برای راه اندازی استفاده می شود.

$$12 = 6 \times 2 \times X \Rightarrow X = 1$$

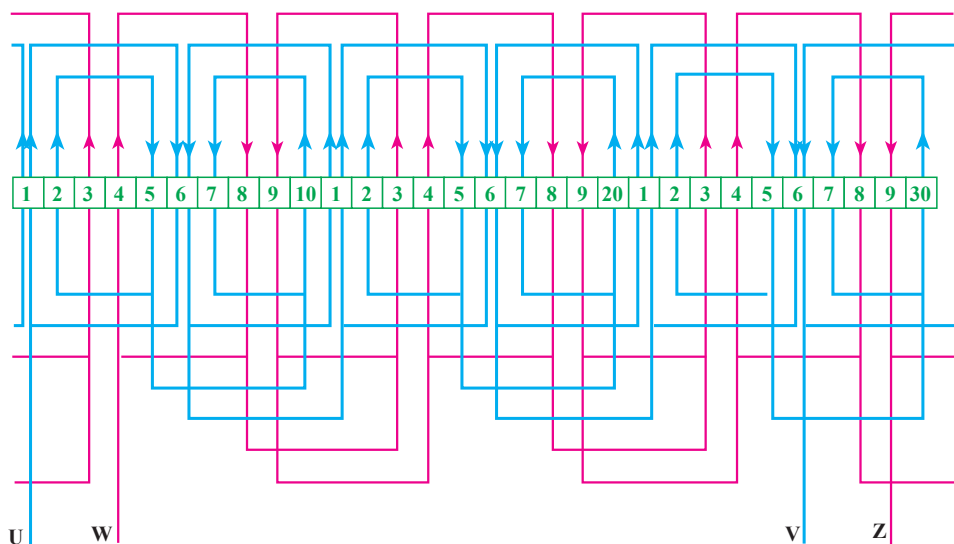
شروع سیم پیچ راه انداز باید از شیری باشد که نسبت به سیم پیچ اصلی، ۹۰ درجه ی الکتریکی اختلاف فاز ایجاد کند.



گروه کلاف‌ها یا از روی رابطه‌ی  $y_z = y - 1 = 4$  (چون سیم پیچ  $y_z$  در شکل ۷-۳۰ دیاگرام گسترده‌ی سیم پیچ راه‌انداز به تنهایی نشان داده شده است. راه‌انداز یک طبقه است) نیز به دست آوریم.



شکل ۷-۳۰ دیاگرام گسترده سیم پیچ راه‌انداز با ۶ قطب و ۳۰ شیار یک فاز



شکل ۷-۳۱ دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۶ قطب و ۳۰ شیار

را به طور جداگانه ترسیم می‌کنیم و سپس از انطباق آن دو بریک دیگر، دیاگرام گسترده‌ی کامل را به دست می‌آوریم. نوع گروه کلاف‌های اصلی - به همان روش حالت قبل - در این جا نیز دوتایی به دست می‌آید.

در این روش، تعداد شیارهای خالی را نسبت به سیم پیچ اصلی به دست می‌آوریم و آنها را به صورت یک نواخت در بین سیم پیچ‌های اصلی تقسیم می‌کنیم. چون در هر شیار تنها یک

می‌توانیم از انطباق دو دیاگرام گسترده‌ی مربوط به سیم پیچ اصلی و سیم پیچ راه‌انداز، دیاگرام گسترده و کامل موتور را مانند شکل ۷-۳۱ به دست آوریم.

**حالت دوم:** این بار سیم پیچی را طوری انجام می‌دهیم که در شیارهای دو طبقه یک بازو از کلاف اصلی و یک بازو از سیم پیچ راه‌انداز قرار بگیرد.

در این جا نیز ابتدا دیاگرام گسترده‌ی هریک از دو سیم پیچ

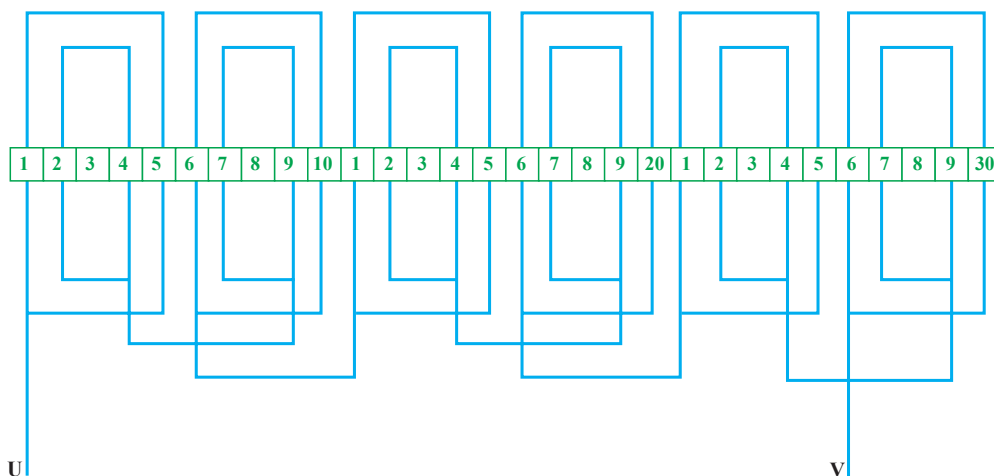
بازو از کلاف‌های اصلی قرار می‌گیرد، پس فقط ۶ شیار خالی باقی می‌ماند؛ زیرا:

$$\Delta Z_A = Z - Z_A = 30 - 24 = 6 \text{ شیار}$$

این شیارها ( $\Delta Z_A$ ) 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:

$$N_A = \frac{\Delta Z_A}{\text{تعداد گروه کلاف اصلی}} = \frac{6}{6} = 1$$

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  $y_1 A = y - 1$  به‌دست آوریم. بدین ترتیب، گام بزرگ‌ترین کلاف از سیم‌پیچ اصلی، برابر با  $y_1 A = 5 - 1 = 4$  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 ۷-۳۲ نشان داده شده است.



شکل ۷-۳۲- 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 راه انداز نیز مشابه سیم‌پیچ اصلی رسم می‌شود. بدین منظور ابتدا نوع گروه کلاف‌های آن را به‌دست می‌آوریم که همانند حالت اول در این جا نیز ۱ به‌دست می‌آید.

$$12 = 6 \times 2 \times X \Rightarrow X = 1$$

سپس تعداد شیارهای خالی را نسبت به سیم‌پیچ راه انداز پیدا می‌کنیم. از ۳۰ شیار استاتور ۱۲ تای آن مربوط به سیم‌پیچ راه انداز است و بنابراین، ۱۸ شیار باقی می‌ماند.

$$\Delta Z_B = Z - Z_B$$

$$\Delta Z_B = 30 - 12 = 18 \text{ شیار}$$

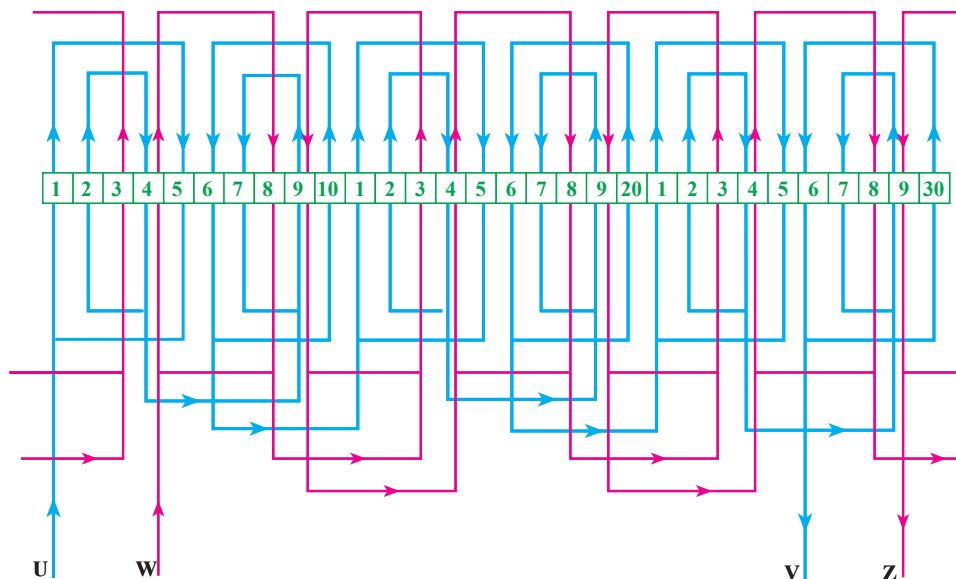
این ۱۸ شیار نیز باید به‌طور مساوی در بین گروه کلاف‌های

راه انداز تقسیم شوند. بنابراین، در بین هریک از گروه کلاف‌های اصلی باید سه شیار خالی وجود داشته باشد یا این که از رابطه‌ی  $N_B = \frac{18}{6} = 3$  نیز به‌دست می‌آید:

گام سیم‌پیچی از رابطه‌ی  $y_1 B = y - 1$  برابر با ۴ می‌شود. شروع سیم‌پیچی راه انداز نیز مطابق حالت قبل و با توجه به  $\alpha_{ez} = 36$ ، شیار ۳ یا ۴ است.

اکنون با توجه به توضیحات داده شده و مقادیر به‌دست آمده، می‌توانیم دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ راه انداز را ترسیم کنیم که چون باروش اول تفاوتی ندارد، همان دیاگرام گسترده‌ی شکل ۷-۳۰ به‌دست می‌آید.

با انطباق دو دیاگرام گسترده‌ی مربوط به سیم پیچ اصلی و شکل ۷-۳۳ به دست می‌آید. سیم پیچ راه انداز، دیاگرام گسترده‌ی سیم بندی کامل ماشین مانند



شکل ۷-۳۳- دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۶ قطب و ۳۰ شیار

عدد به دست 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 سیم پیچ اصلی استفاده کرد. اما همان طور که می‌دانید، گروه کلاف‌های ۳/۵ تایی بی معناست. با کمی دقت در عدد به دست آمده می‌توانیم چهار گروه کلاف را به دو گروه کلاف سه تایی و دو گروه کلاف چهار تایی تقسیم کنیم که باز در مجموع، 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 سه تایی یا چهار تایی مجاور هم جا زده نشوند.

تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف را می‌توان به صورت زیر حساب کرد:

$$\Delta Z_A = Z - Z_A = 36 - 28 = 8$$

$$N_A = \frac{\Delta Z_A}{\text{تعداد گروه کلاف های اصلی}} = \frac{8}{4} = 2$$

گام بزرگ ترین کلاف را اگر از رابطه‌ی  $y_A = y - 1$  حساب کنیم، عدد ۸ به دست می‌آید. اگر همه‌ی گروه کلاف‌های

همان طور که در این روش ملاحظه کردید، شیارهای دو طبقه پس از رسم دیاگرام گسترده‌ی کامل استاتور، به دست می‌آیند. در این مثال، شیارهای ۴، ۹، ۱۴، ۱۹، ۲۴ و ۲۹ و با گام پنج دو طبقه شده‌اند. در اکثر موتورهای شیاری که دو طبقه پیچیده می‌شود، از شیارهای دیگر بزرگ تر است. بنابراین، در هنگام سیم پیچی باید شیار شماره‌ی یک را طوری در روی پوسته‌ی استاتور انتخاب کنیم که شیار بزرگ تر همان شیار دو طبقه بشود.

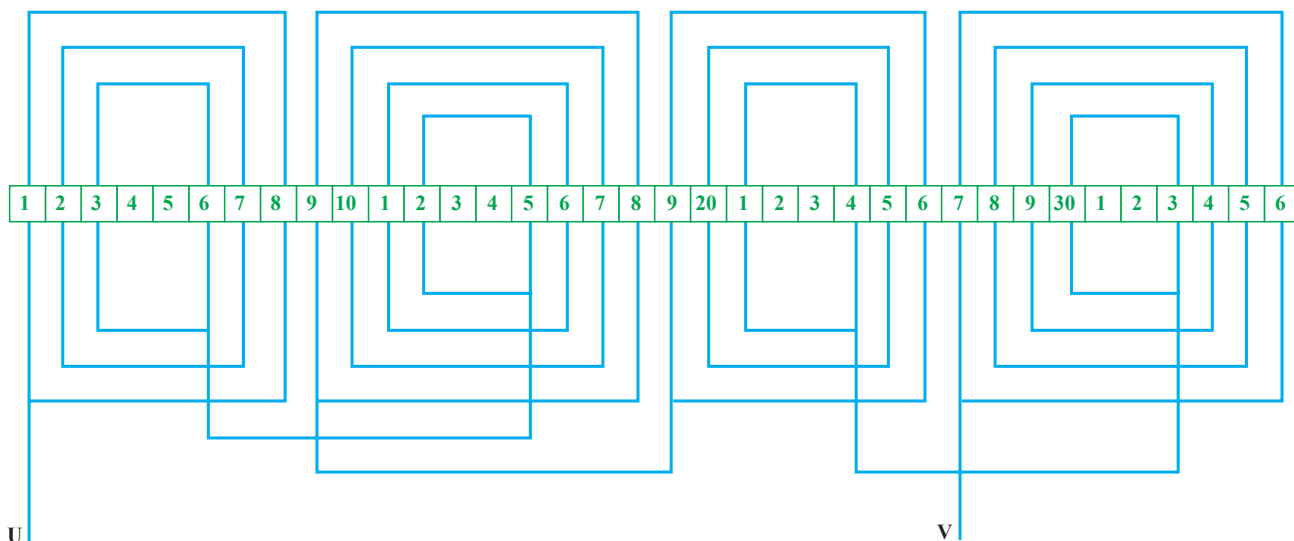
مثال ۲: استاتور موتور یک فازه‌ای ۳۶ شیار دارد و باید به صورت چهار قطب سیم پیچی شود. در صورتی که تعداد شیارهای مربوط به سیم پیچ اصلی  $Z_A = 28$  و تعداد شیارهای مربوط به سیم پیچ راه انداز  $Z_B = 24$  باشد، دیاگرام گسترده‌ی کامل آن را طوری رسم کنید که در شیارهای دو طبقه، یک بازو از کلاف اصلی و یک بازو از کلاف راه انداز قرار گیرد.

راه حل: تعداد گروه کلاف‌های اصلی و راه انداز در این مثال نیز برابر با  $2P = 4$  است. برای پیدا کردن نوع (تعداد کلاف) گروه کلاف‌های اصلی از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$Z_A = 28 = 4 \times 2 \times X \Rightarrow X = \frac{28}{4 \times 2} = 3/5$$

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 ۷-۳۴ رسم کنیم.

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  $y - 1 = 8$  باشد. در عین حال، چون تفاوت کلاف‌های



شکل ۷-۳۴- دیاگرام گسترده سیم‌پیچ اصلی با ۴ قطب و ۳۶ شیار یک فاز

زاویه‌ی الکتریکی بین هر دو شیار برابر با  $\alpha_{ez} = \frac{360 \times 2}{36} = 2^\circ$  می‌شود. بنابراین، شروع سیم‌پیچ

را اندازه از شیار  $1 + \frac{9^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + 4/5 = 5/5$  خواهد شد.

با توجه به عدد به‌دست آمده، شیار پنج را برای شروع سیم‌پیچ راه‌انداز انتخاب می‌کنیم. در شکل ۷-۳۵ دیاگرام گسترده‌ی سیم‌بندی راه‌انداز و در شکل ۷-۳۶ 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 بر روی یک‌دیگر، شیارهای دوطبقه شونده مشخص می‌شوند. همان‌طور که در این مثال‌ها دیدید، برای ترسیم دیاگرام گسترده‌ی کامل موتور

برای سیم‌پیچ راه‌انداز نیز تعداد گروه کلاف‌ها را برابر با تعداد قطب‌ها در نظر می‌گیریم و بدین ترتیب، با دانستن  $Z_B = 24$ ، نوع گروه کلاف‌ها را به‌دست می‌آوریم.

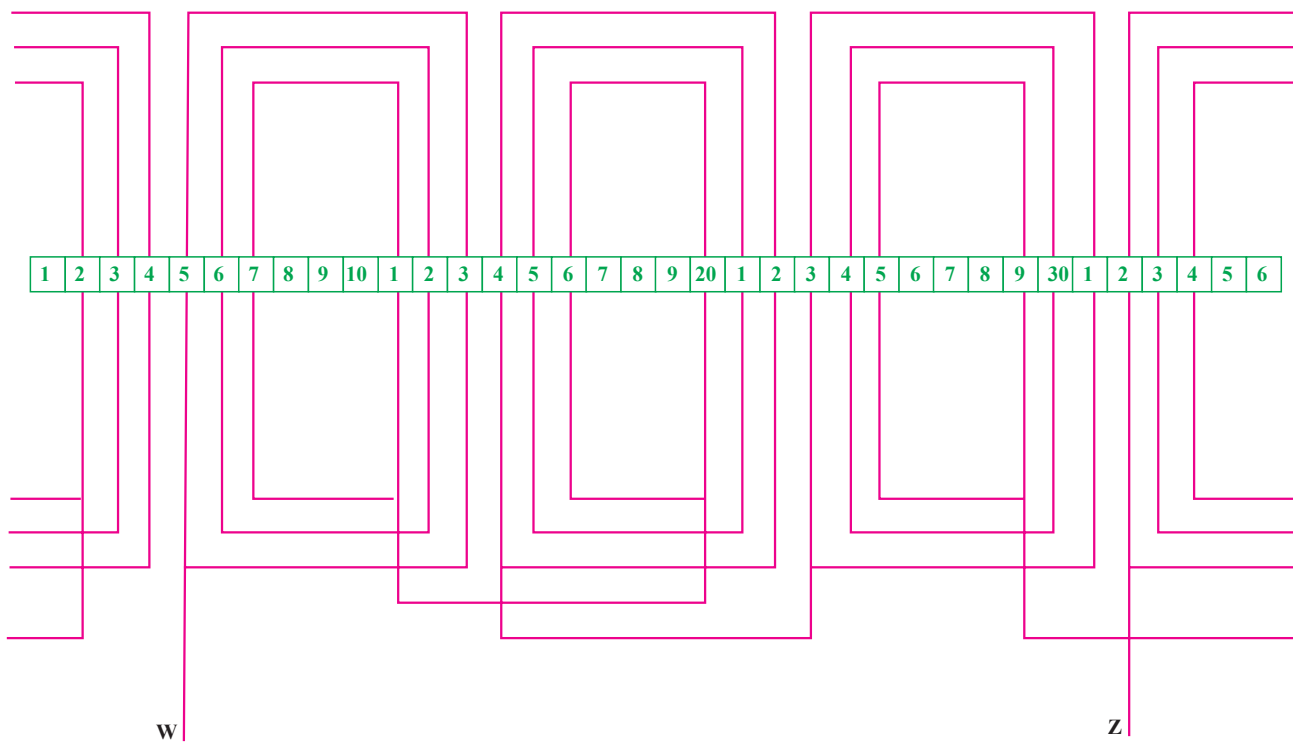
$$24 = 4 \times 2 \times X \Rightarrow X = 3$$

تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف راه‌انداز نیز از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

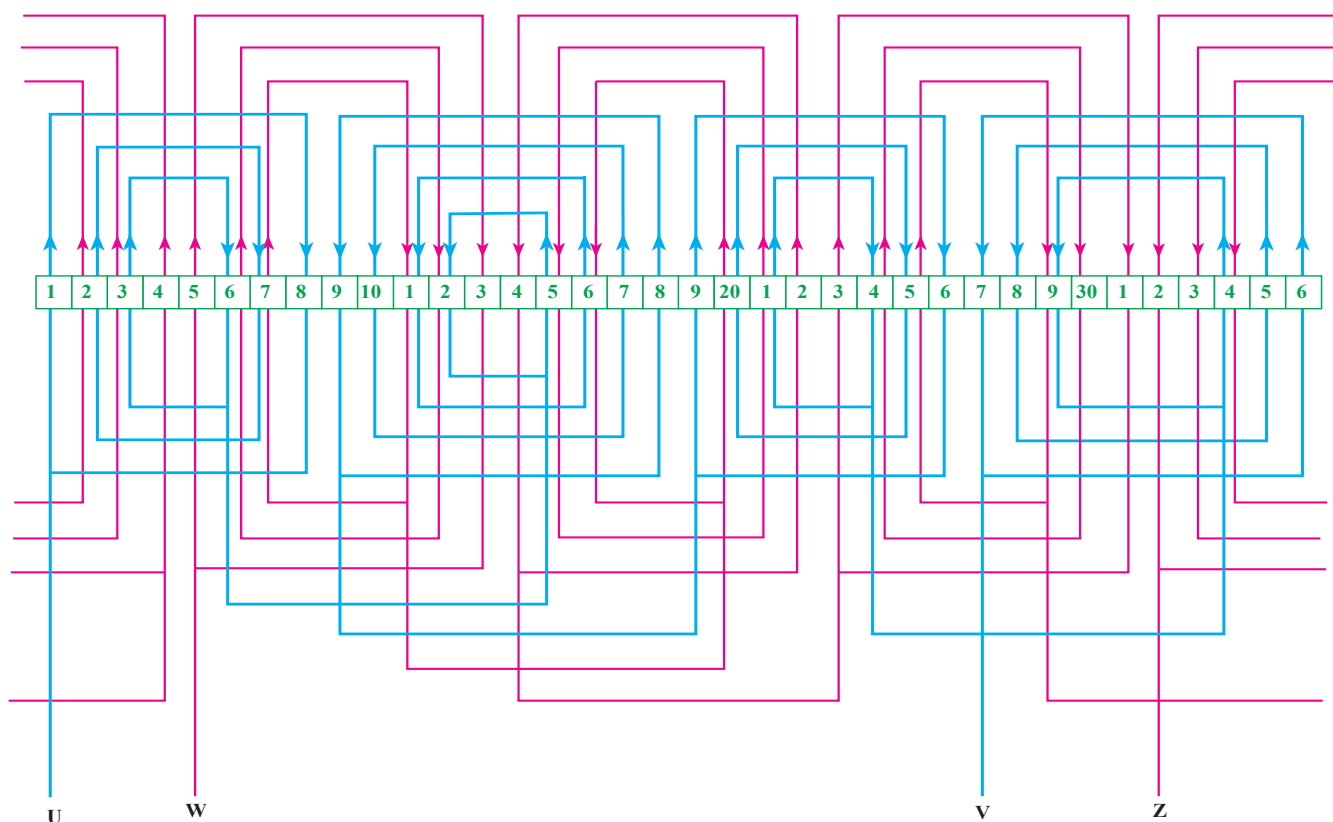
$$\Delta Z_B = 36 - 24 = 12 \text{ شیار}$$

$$N_B = \frac{\Delta Z_B}{\text{تعداد گروه کلاف‌های راه‌انداز}} = \frac{12}{4} = 3$$

چون همه‌ی گروه کلاف‌های راه‌انداز با یک‌دیگر مشابه‌اند، بنابراین، گام بزرگ‌ترین کلاف آن را می‌توانیم از رابطه‌ی  $y_{1B} = y - 1$  به‌دست آوریم. نتیجه  $y_{1B} = \frac{36}{4} - 1 = 8$  خواهد شد.



شکل ۳۵-۷- دیاگرام گسترده سیم پیچ راه انداز با ۴ قطب و ۳۶ شیار یک فاز



شکل ۳۶-۷- دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۴ قطب و ۳۶ شیار

ابتدا دیاگرام گسترده‌ی سیم پیچ 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 سیم پیچ 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 سیم پیچ راه‌انداز را طوری سیم پیچی کنید که تعداد شیارهای مربوط به سیم پیچ 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: در صورتی که بخواهیم در این موتور هیچ شیاری

دو طبقه نباشد، به  $40 = 24 + 16$  شیار نیاز داریم. پس در این جا باید  $16 = 40 - 24 = 40 - Z$  شیار به صورت دو طبقه پیچیده شود. تعداد شیارهای دو طبقه را که دو بازو از کلاف‌های اصلی در آن‌ها قرار می‌گیرد، با تعداد قطب‌ها ( $2P = 4$ ) برابر می‌گیریم.

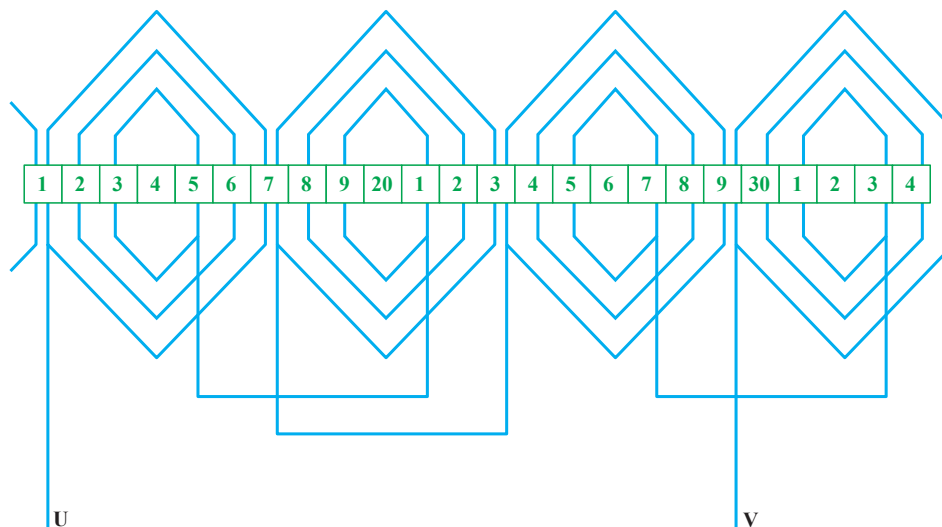
پس باید ۲۴ بازو از کلاف‌های اصلی را در ۲۰ شیار جای دهیم. بدین ترتیب، گام شیارهای دو طبقه‌ی مربوط به کلاف‌های

اصلی برابر با  $6 = \frac{24}{4}$  می‌شود؛ یعنی، باید شیارهای ۱، ۷، ۱۳ و ۱۹ توسط دو بازوی مربوط به کلاف‌های اصلی پر شوند.

تعداد گروه کلاف‌های سیم پیچ اصلی با تعداد قطب‌ها برابر است و تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف نیز با ۳ برابر می‌شود؛

$$24 = 4 \times 2 \times X \Rightarrow X = 3 \quad \text{زیرا:}$$

گام بزرگ‌ترین کلاف سیم پیچ اصلی مانند مثال‌های قبلی، برابر با گام قطبی یعنی ۴ است. با توجه به اطلاعات به دست آمده می‌توان دیاگرام گسترده‌ی سیم پیچ اصلی را مانند شکل ۳۷-۷ ترسیم کرد.



شکل ۳۷-۷- دیاگرام گسترده سیم پیچ اصلی با ۴ قطب و ۲۴ شیار یک فاز



تعداد گروه کلاف‌های راه‌انداز نیز با تعداد قطب‌ها، یعنی ۴ و تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف نیز ۲ می‌شود؛ زیرا:

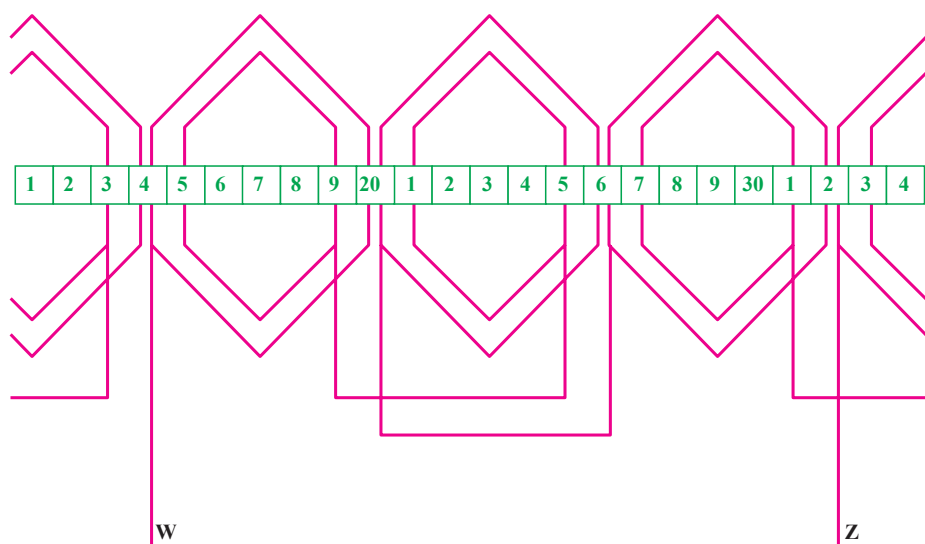
$$16 = 4 \times 2 \times X \Rightarrow X = 2$$

با انتخاب گام بزرگ‌ترین کلاف راه‌انداز برابر با گام قطبی یعنی ۶، می‌توانیم دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ راه‌انداز را مانند شکل ۷-۳۸ رسم کنیم.

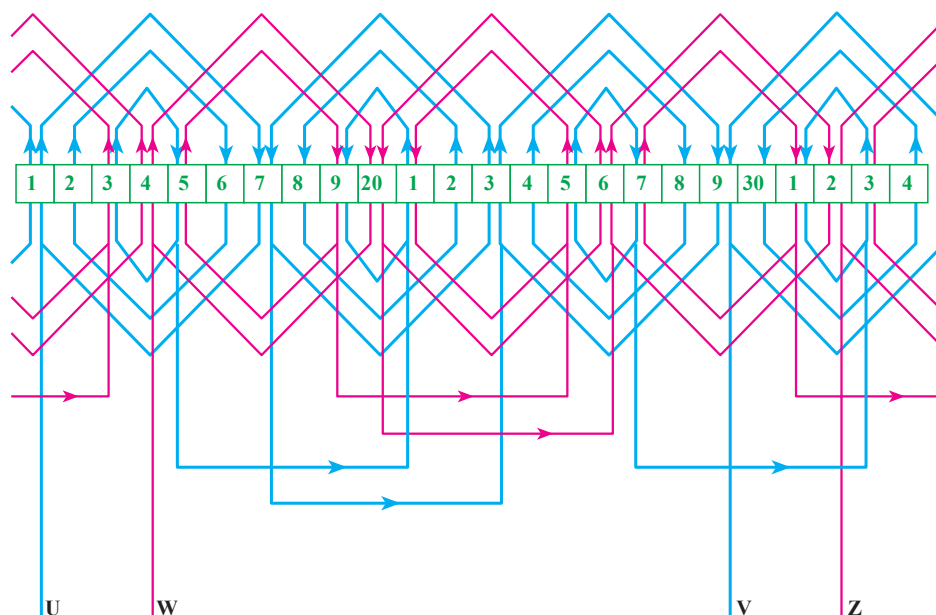
بدین ترتیب، از انطباق دیاگرام گسترده‌ی ۷-۳۸ و ۷-۳۷ بروی یک‌دیگر، می‌توان دیاگرام گسترده‌ی کامل موتور را به‌دست آورد. این دیاگرام در شکل ۷-۳۹ نشان داده شده است.

در مورد سیم‌پیچ راه‌انداز نیز به‌همین روش عمل می‌کنیم؛ یعنی، در چهار شیار دو طبقه فقط بازوهای مربوط به کلاف‌های راه‌انداز را قرار می‌دهیم. بدین ترتیب، 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  $24 \div 4 = 6$  می‌شود.

شروع سیم‌پیچ راه‌انداز را  $90^\circ$  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.



شکل ۷-۳۸- دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز با ۴ قطب و ۲۴ شیار یک فاز



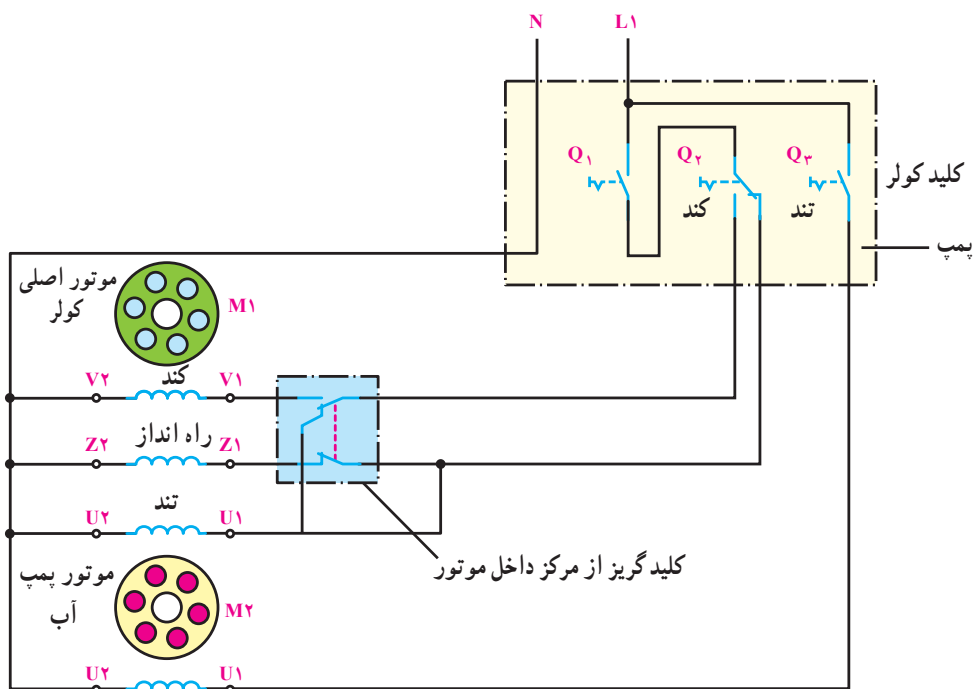
شکل ۷-۳۹- دیاگرام گسترده موتور یک فاز با ۴ قطب و ۲۴ شیار

### ۳-۶-۷- سیم پیچی موتورهای دو دور یک فاز:

تغییر تعداد دور یک موتور یک فاز از طریق تغییر امیدانس سیم پیچی، تغییر تعداد قطب سیم پیچی با تعویض و تغییر سربندی سیم پیچ و تغییر تعداد قطب های سیم پیچی با استفاده از سیم پیچ های جدا از هم امکان پذیر است.

بیش تر موتورهایی که در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند و به صورت دو دور هستند، دو سیم پیچ اصلی برای تغییر قطب و یک سیم پیچ برای راه اندازی دارند. در حالتی که موتور به شبکه وصل است، تنها یکی از سیم پیچ های اصلی در مدار قرار می گیرد و سیم پیچ اصلی دیگر قطع است.

در این گونه موتورها، برای دور تند و کند تنها از یک راه انداز استفاده می شود و مانند موتورهای یک دور با سیم پیچ راه انداز، پس از این که دور موتور به حدود ۷۰ درصد مقدار



شکل ۴-۷- مدار اتصال سیم پیچ های اصلی، راه انداز و کلید موتور با دو دور (کولر)

کند قرار گیرد، باز سیم پیچ دور تند و سیم پیچ راه انداز در مدار قرار می گیرند و موتور با دور تند راه اندازی می شود. پس از رسیدن دور به مقدار ذکر شده، کلید گریز از مرکز، مدار سیم پیچ راه انداز و سیم پیچ اصلی دور تند را قطع می کند. این بار سیم پیچ مربوط به دور کند را به مدار وصل می کند و موتور با دور کم

همان طور که در این مدار مشاهده می کنید. با قرار دادن کلید در وضعیت تند، سیم پیچ دور تند و سیم پیچ راه انداز در مدار قرار می گیرند. پس از رسیدن دور به حدود ۳ دور نامی، کلید گریز از مرکز، مدار سیم پیچ راه انداز را قطع می کند و موتور با دور تند به گردش خود ادامه می دهد. اگر کلید در وضعیت دور

به گردش خود ادامه می دهد. 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 سیم پیچی می شوند. سیم پیچی این گونه موتورها به صورت متحدالمرکز است و معمولاً سیم پیچ راه انداز روی دو سیم پیچ دیگر جا زده می شود.

طریقه‌ی ترسیم دیاگرام گسترده در این گونه موتورها، مانند مثال‌های قبلی است که در مورد موتورهای یک فاز یک دور شرح داده شد و باید ابتدا دیاگرام گسترده‌ی هریک از سیم پیچ‌ها را جداگانه رسم کنیم و سپس از انطباق آن‌ها بریک دیگر، دیاگرام گسترده‌ی کامل موتور را به دست آورد.

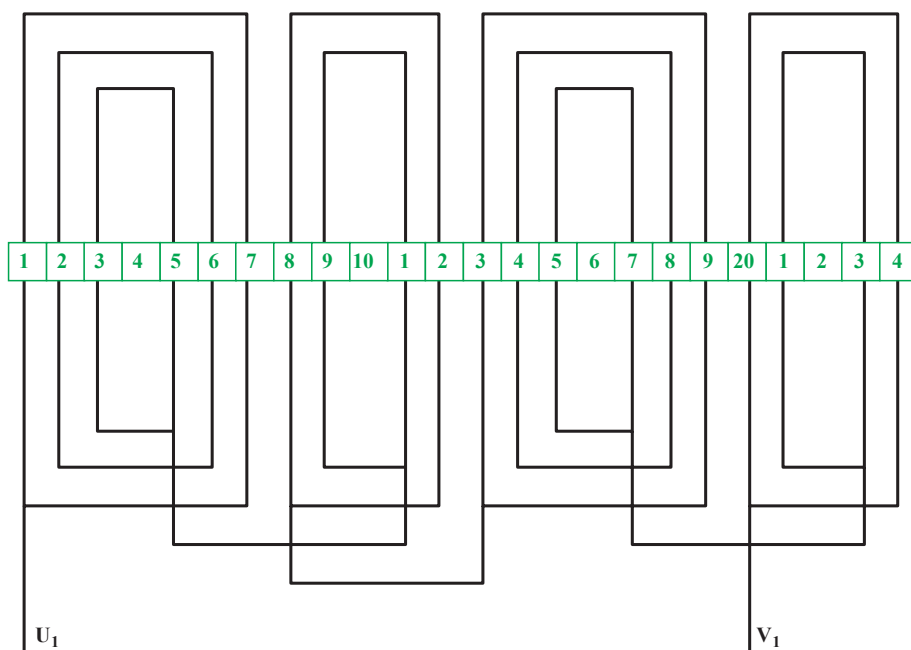
مثال ۱: استاتور یک موتور کولر دارای ۲۴ شیار است و باید به صورت ۴ قطب و ۶ قطب سیم پیچی شود. در صورتی که تعداد شیارهای سیم پیچ دور تند،  $Z_{A1} = 20$  باشد و برای سیم پیچ دور کند  $Z_{A2} = 18$  شیار و برای سیم پیچ راه انداز نیز  $Z_B = 16$  شیار در نظر گرفته شود، دیاگرام گسترده‌ی آن را رسم کنید.

راه حل: ابتدا محاسبات مربوط به دور تند را انجام می دهیم و دیاگرام گسترده‌ی این قسمت را ترسیم می کنیم. تعداد گروه کلاف‌های دور تند برابر با  $2P_1 = 4$  است و چون ۲۰ شیار متعلق به این سیم پیچی است، پس هر گروه کلاف شامل

در این جا نیز چون عدد ۲/۵ نوع گروه کلاف را مشخص می کند، 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 می توان از این چهار گروه کلاف، دو گروه کلاف را دوتایی و دو گروه کلاف دیگر را سه تایی انتخاب کرد که میانگین آن همان ۲/۵ می شود. تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف برابر است با:

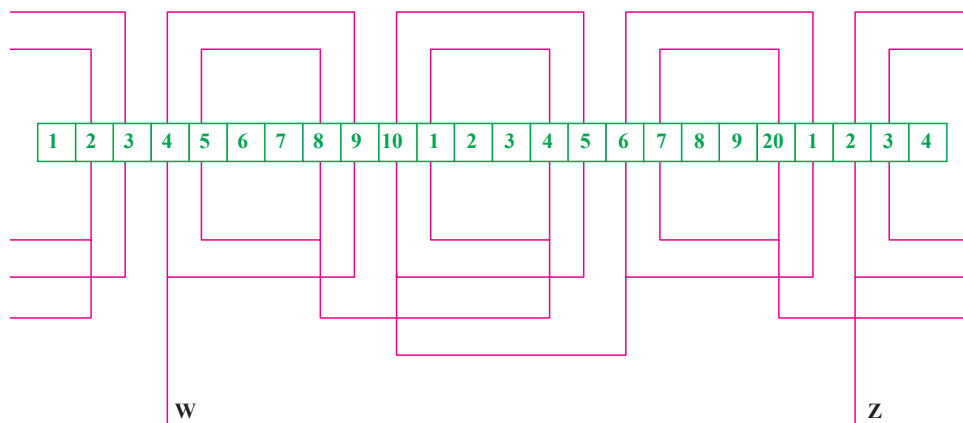
$$N_{A1} = \frac{24 - 20}{4} = 1$$

در صورتی که تمام گروه کلاف‌ها با یک دیگر مشابه بودند، گام بزرگ‌ترین از رابطه‌ی  $y_{A1} = y - 1$ ، پنج به دست می آمد. در این جا گروه کلاف‌ها با یک دیگر متفاوت اند و دو نوع دوتایی و سه تایی هستند. گام بزرگ‌ترین کلاف آن‌ها نیز با یک دیگر متفاوت است اما در هر صورت، میانگین آن باید عدد پنج باشد و چون تنها یک کلاف با یک دیگر تفاوت دارند. پس تفاوت گام بزرگ‌ترین کلاف آن‌ها نیز دو است. بنابراین، برای گروه کلاف دوتایی عدد ۴ و برای گروه کلاف سه تایی عدد ۶ به عنوان گام بزرگ‌ترین کلاف به دست می آید که میانگین آن‌ها پنج و تفاوت آن‌ها نیز دو است. دیاگرام گسترده‌ی سیم پیچ دور تند مانند شکل ۴۱-۷ به دست می آید.



شکل ۴۱-۷ دیاگرام گسترده سیم پیچ دور تند با ۴ قطب و ۲۴ شیار یک فاز (کولر)

پس گام بزرگ‌ترین کلاف راه‌انداز  $y_B = y - 1 = 5$  می‌شود. شیار شروع سیم‌پیچ فرعی باید  $90^\circ$  درجه‌ی الکتریکی از شروع سیم‌پیچ دورتند فاصله داشته باشد. چون  $\alpha_{ez} = 30^\circ$  است، پس شروع راه‌انداز از شیار  $4 = 90^\circ + 30^\circ$  خواهد بود. تعداد شیارهای خالی بین هر گروه کلاف راه‌انداز نیز برابر با  $N_B = \frac{24-16}{4} = 2$  است، بدین ترتیب، دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز نیز مانند شکل ۷-۴۲ به دست می‌آید.

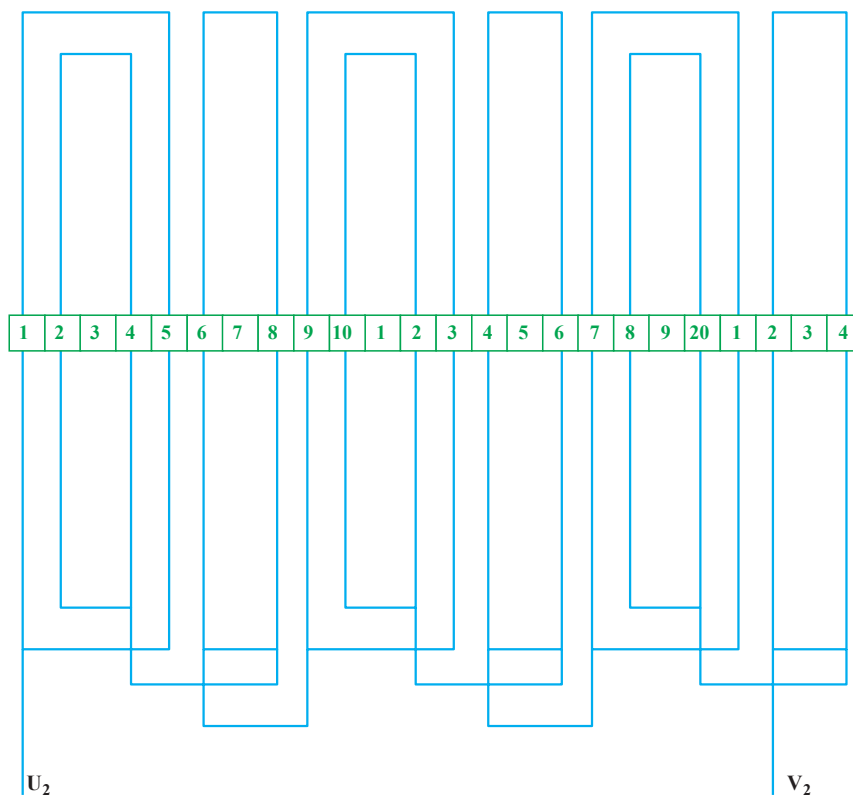


شکل ۷-۴۲- دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز با ۴ قطب و ۲۴ شیار یک فاز (کولر)

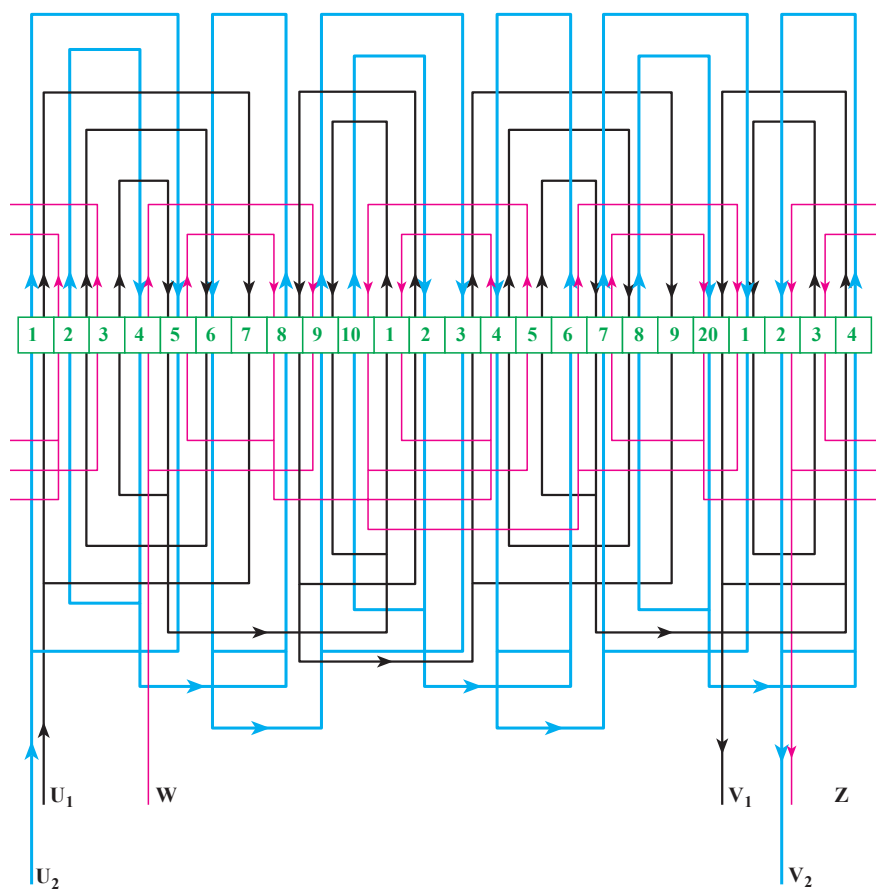
کلاف‌ها در هر شیار محل شروع سیم‌پیچ دور کند را پیدا کنیم. در شکل ۷-۴۳ دیاگرام گسترده‌ی دور کند و در شکل ۷-۴۴ دیاگرام گسترده‌ی کامل این موتور را که از انطباق سه دیاگرام گسترده‌ی گفته شده به دست آمده است، می‌بینید. مثال ۲: استاتور یک موتور کولر ۳۶ شیار دارد و باید به صورت ۴ قطب و ۶ قطب سیم‌پیچی شود. دیاگرام گسترده‌ی کامل این موتور را رسم کنید. در صورتی که تعداد شیارهای دور تند و دور کند هر کدام 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 سیم‌پیچ‌ها را جداگانه ترسیم می‌کنیم و سپس با انطباق آن‌ها بر یک‌دیگر، دیاگرام کامل موتور را به دست می‌آوریم. سیم‌پیچ دورتند این موتور ۲۴ شیار و ۴ قطب دارد. تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی مربوط به دورتند را باید برابر با

همان‌طور که پیش از این نیز گفتیم، در این گونه 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 ( $2P = 4$ ) برابر در نظر گرفته می‌شود و تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف نیز برابر است با:  $16 = 4 \times 2 \times X \Rightarrow X = 2$  چون تمام گروه کلاف‌ها مشابه یک‌دیگر و دوتایی هستند،

تعداد گروه کلاف‌های مربوط به سیم‌پیچ دور کند، برابر با  $2P_2 = 6$  است. تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف برابر است با:  $18 = 6 \times 2 \times X \Rightarrow X = 1.5$  با همان استدلالی که در مورد نوع گروه کلاف‌های دورتند بیان شد، در این جا نیز سه گروه کلاف دوتایی و سه گروه کلاف تکی برای سیم‌پیچ دور کند انتخاب می‌کنیم تا در مجموع شش قطب را بسازند و ۱۸ شیار را پر کنند. گام بزرگ‌ترین کلاف نیز از رابطه‌ی  $y_{2A} = y - 1$  عدد ۳ به دست 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 به دست 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



شکل ۷-۴۳- دیاگرام گسترده سیم پیچ دور کند با ۶ قطب و ۲۴ شیار یک فاز (کولر)



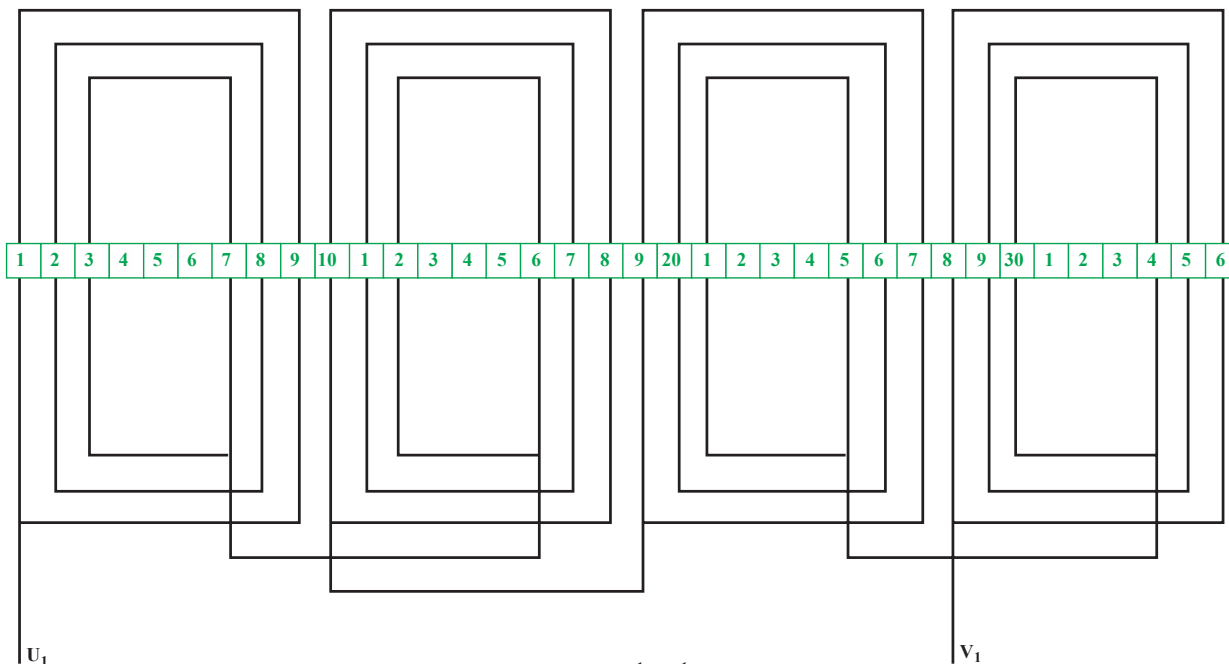
شکل ۷-۴۴- دیاگرام گسترده موتور یک فاز با دو دور (کولر) و ۲۴ شیار

تعداد قطب‌ها یعنی ۴ در نظر بگیریم. تعداد کلاف‌های هر گروه کلاف اصلی برابر است با:

$$y_{1A} = \frac{36}{4} - 1 = 8$$

کلاف نیز برابر با ۳ می‌شود. دیاگرام گسترده‌ی سیم‌پیچ اصلی برای دورتند با مقادیر محاسبه شده، در شکل ۴۵-۷ نشان داده شده است.

گام بزرگ‌ترین کلاف این سیم‌پیچ برابر با

$$24 = 4 \times 2 \times x \Rightarrow x = 3$$


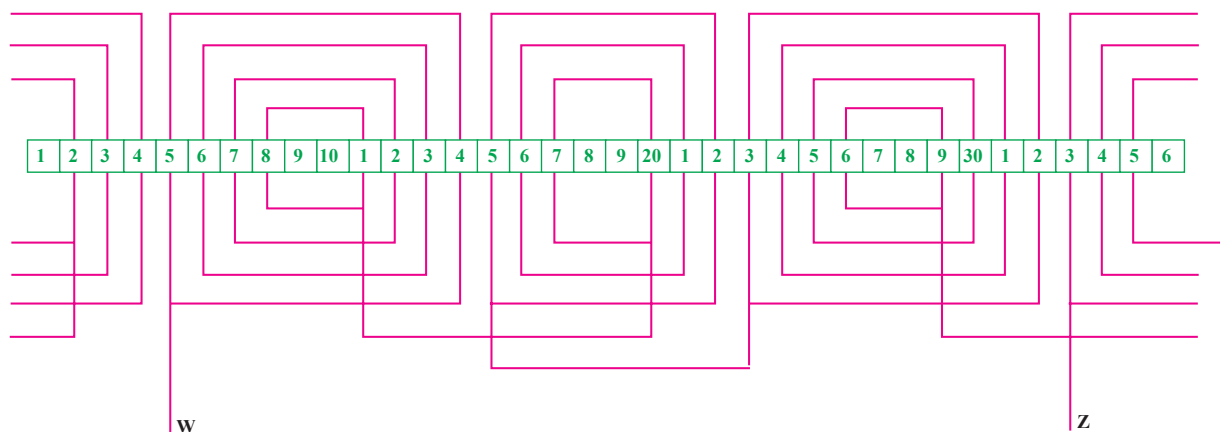
شکل ۴۵-۷ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ دورتند با ۴ قطب و ۳۶ شیار یک فاز (کولر)

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:

$$28 = 4 \times 2 \times x \Rightarrow x = 3/5$$

مانند مثال‌های قبل، در این جا نیز از چهار گروه کلاف باید دوتای آن‌ها را سه‌تایی و دو گروه کلاف دیگر را چهارتایی

پیچید. گام بزرگ‌ترین کلاف نیز در این جا برای گروه کلاف‌های سه‌تایی و ۷ برای گروه کلاف‌های چهارتایی ۹ است. شیار شروع راه‌انداز از طریق محاسبه، شیار شماره‌ی ۵/۵ می‌شود که ما شیار پنج را انتخاب می‌کنیم. بدین ترتیب، دیاگرام گسترده‌ی شکل ۴۶-۷ برای سیم‌پیچ راه‌انداز به دست می‌آید.



شکل ۴۶-۷ دیاگرام گسترده سیم‌پیچ راه‌انداز با ۴ قطب و ۳۶ شیار یک فاز (کولر)

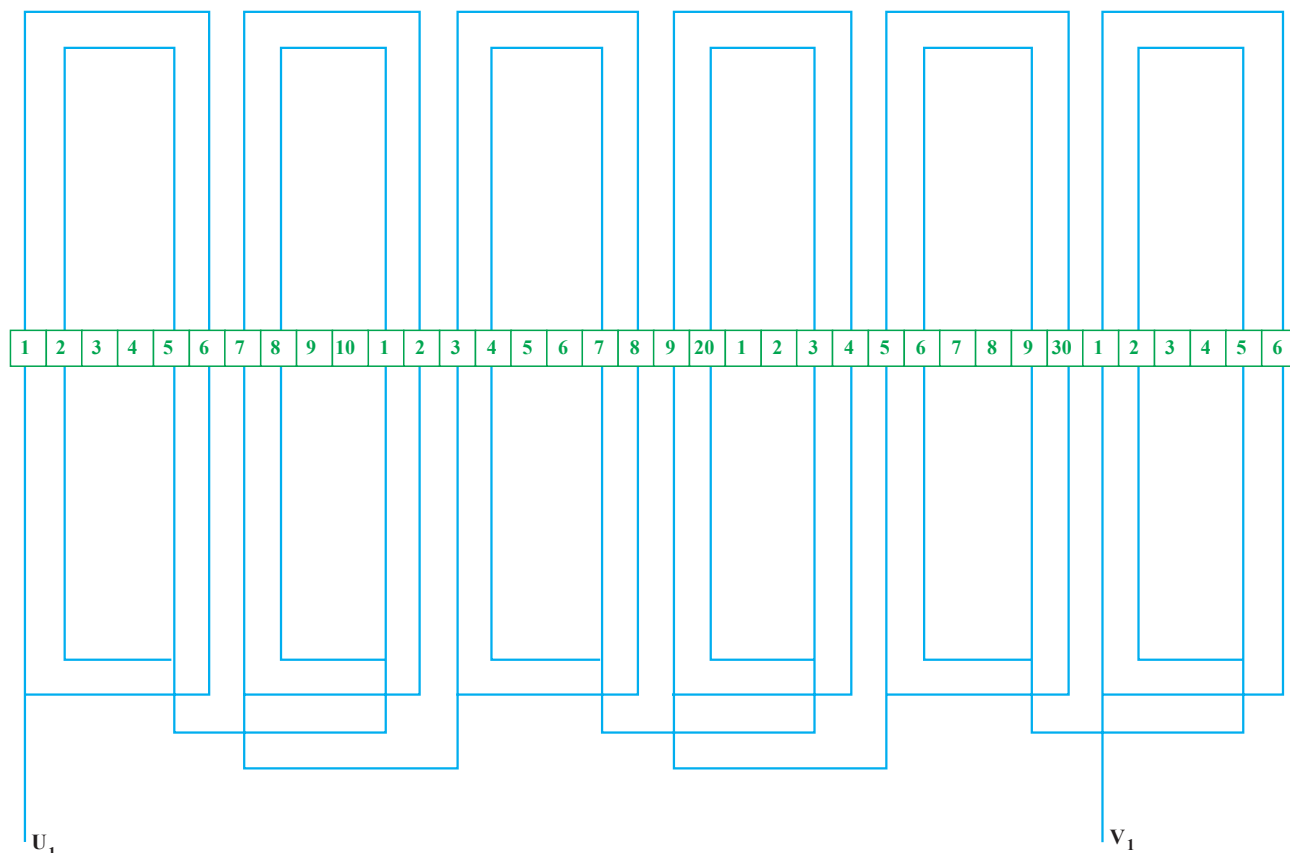


کند وصل می‌شود. پس شروع سیم‌پیچ دور کند از هر شیار می‌تواند باشد. در این مثال نیز شروع این سیم‌پیچ را از شیار یک انتخاب می‌کنیم که در شکل ۷-۴۷ دیاگرام گسترده‌ی آن نمایش داده شده است.

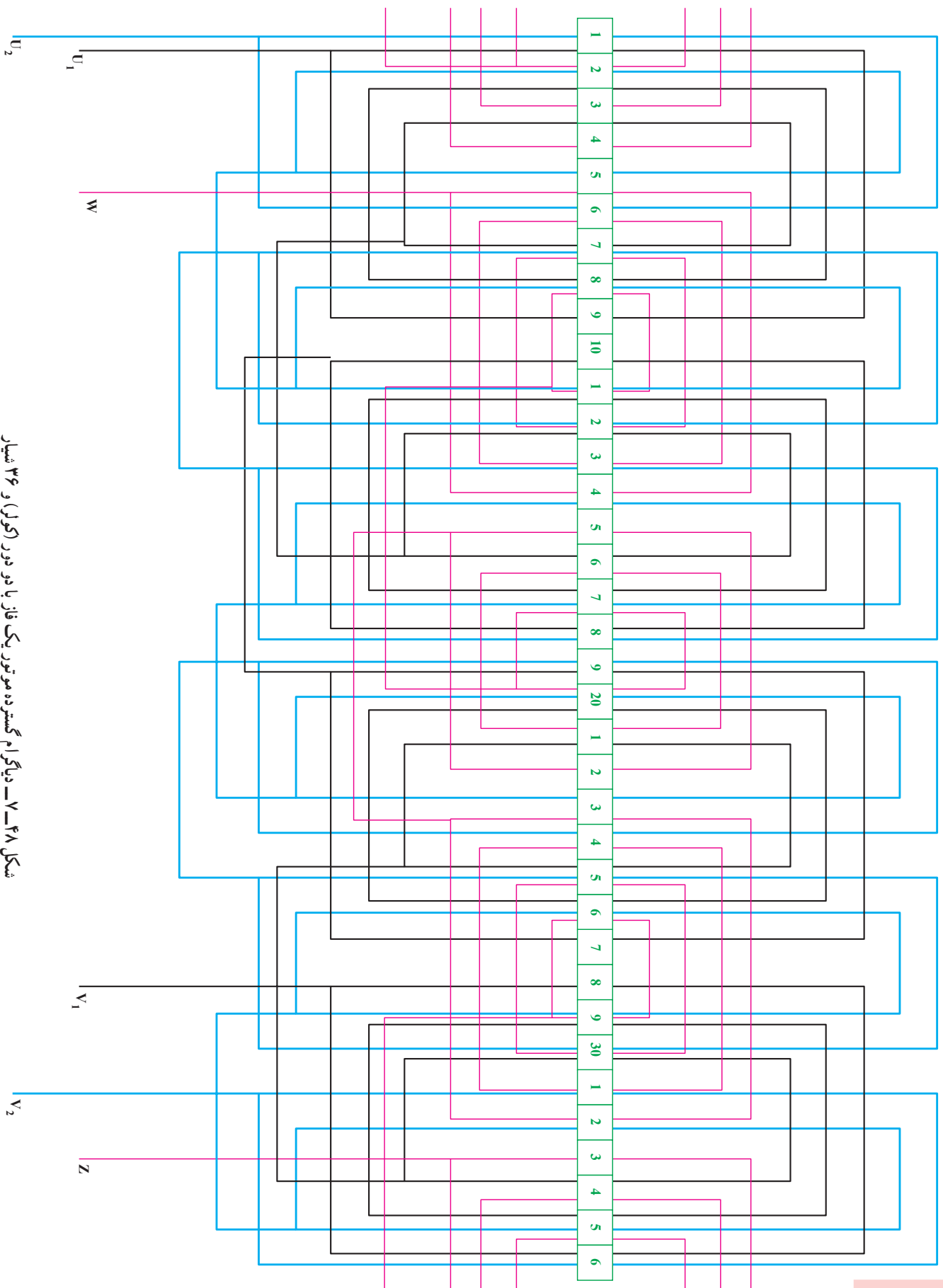
هم‌چنین از انطباق سه دیاگرام گسترده‌ی ترسیم شده، دیاگرام گسترده‌ی کامل این مثال مانند شکل ۷-۴۸ به دست می‌آید.

سیم‌پیچ اصلی مربوط به دور کند باید دارای شش گروه کلاف دوتایی باشد. گام بزرگ‌ترین کلاف آن نیز برابر با  $y_{2A} = y - 1 = 5$  می‌شود.

در این موتور فقط از یک سیم‌پیچ راه‌انداز استفاده می‌شود و در هنگام راه‌اندازی برای دور کم، ابتدا موتور با دور زیاد به کار می‌افتد و سپس توسط کلید گریز از مرکز به سیم‌پیچ دور



شکل ۷-۴۷- دیاگرام گسترده سیم‌پیچ دور کند با ۶ قطب و ۳۶ شیار یک فاز (کولر)



شکل ۴۸-۷- دیگر ام گسترده موتور یک فاز با دو دور (کولر) و ۳۶ شمار

## کار عملی ۸

یک موتور یک طبقه سه فاز یا یک فاز با قطب دلخواه را سیم پیچی کنید (پیشنهاد می شود به هر هنرجو یک نوع موتور داده شود، سه فاز یا تک فاز از ۲ قطب به بالا)

## کار عملی ۹

یک موتور دو طبقه سه فاز گام کوتاه یا دالاندر با قطب های دلخواه را سیم پیچی کنید (پیشنهاد می شود به هر هنرجو یک نوع سیم پیچی داده شود ؛ دالاندر با گام کوتاه با قطب های مختلف).

## کار عملی ۱۰

یک موتور کولر ( تک فاز دو دور) را سیم پیچی کنید.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

## تغییر سیم پیچی

**هدف‌های رفتاری:** از هرنجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

- ۱- تعداد دور هر کلاف را محاسبه کند.
- ۲- قطر سیم مورد نیاز را محاسبه کند.
- ۳- برای تغییر ولتاژ، تعداد دور و قطر سیم را محاسبه کند.
- ۴- برای سرعت کم‌تر موتور، تعداد دور و قطر سیم را محاسبه کند.
- ۵- برای تعویض هادی‌های مسی یا آلومینیمی، قطر سیم را محاسبه کند.
- ۶- برای تعویض هادی‌های آلومینیمی یا مسی، قطر سیم را محاسبه کند.

## ۸- تغییر سیم پیچی

تعداد دور سیم پیچی و قطر سیم با توجه به مقادیر به دست 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 این گونه محاسبات یا طراحی‌ها به کار می‌رود، به عوامل متعددی از قبیل شرایط کار، اندازه، مواد اولیه و... بستگی دارد و قابل تغییر است. قدرت خروجی موتور  $P_2$  برحسب KW و یا اسب بخار (PS)، مقدار ضریب بهره موتور . برحسب درصد، ولتاژ خطی U برحسب ولت، جریان خط برحسب آمپر ضریب قدرت و نوع اتصال سیم پیچ‌های موتور به شبکه معمولاً بر روی پلاک موتور نوشته می‌شود و در محاسبات می‌توان از آن‌ها استفاده کرد (شکل ۸-۱).

در کارگاه‌های تعمیراتی اغلب لازم می‌شود که سیم پیچی ماشین‌های سه فاز یا یک فاز را تعویض کنند. سیم پیچی جدید یا براساس مشخصات قبلی ماشین انجام می‌گیرد یا این که برای کاربرد جدیدی که مورد نیاز است محاسبه می‌شود.

تعیین مشخصات مربوط به سیم پیچی، در مورد اول (به صورت کپی برداری)، در صورت موجود بودن سیم پیچی معیوب، بسیار ساده است و باید در هنگام باز کردن و خارج کردن سیم پیچ معیوب مشخصات سیم پیچ، قطر و جنس هادی، تعداد دور هر کلاف، نوع سیم پیچی، گام سیم پیچی نوع اتصال و غیره را یادداشت کرد و مورد استفاده قرار داد.

در صورتی که سیم پیچی معیوب در ماشین موجود نباشد یا لازم باشد مقادیر نامی ماشین یا سیم پیچی آن تغییر یابد، باید محاسبه‌های لازم را انجام داد. در این جا ابتدا به محاسبه‌ی

۱	
Typ ۲	
۳	۴ Nr ۵
۶	۷ V ۸ A
۹	۱۰ ۱۱ cos ۱۲
۱۳	۱۴ /min ۱۵ Hz
۱۶	۱۷ ۱۸ V ۱۹ A
Isol-KI ۲۰	p ۲۱ ۲۲ t
۲۳	

شکل ۸-۱ - پلاک موتور

جدول ۸-۱

شماره	توضیح
۱	سازنده - علامت کارخانه
۲	تیپ - 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
۶ و ۷	(۶) نوع اتصال استاتور مانند $\lambda$ (اتصال ستاره) $\Delta$ (اتصال مثلث) (۷) ولتاژ نامی
۸	جریان نامی
۹ و ۱۰ و ۱۱	(۹، ۱۰) 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
۱۳ و ۱۴	(۱۳) جهت گردش مثلاً راست گرد از طرف محور (۱۴) دور نامی
۱۵	فرکانس نامی
۱۶	(۱۶) Err (تحریک) در ماشین های جریان مستقیم
۱۷	Lfr (رتور) در ماشین های (سنکرون)
۱۸	(۱۷) نوع اتصال سیم پیچ رتور (۱۸) تحریک نامی هم چنین ولتاژ رتور در حالت سکون
۱۹	۱۹ جریان تحریک نامی - جریان رتور
۲۰	کلاس عایقی مانند A، E، B و غیره
۲۱	نوع حفاظت مانند P33
۲۲	وزن به تن در ماشین های بزرگ تر از یک تن
۲۳	توضیحات دیگر

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 ۸-۱ 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 بالا و پایین باشد. در صورتی که مقدار  $C$  به حد بالایی  
منحنی نزدیک باشد، موتور از نوع باز است و باید تهویه در آن  
به‌خوبی انجام گیرد. در صورتی که موتور از نوع بسته باشد و  
تنها توسط جداره‌ی خارجی پوسته‌خک 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 هر یک، از رابطه‌ی ضریب  $C$  و انتقال ضریب به‌دست آمده  
به منحنی ۸-۱ 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.

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.

$$P_{S_1} = \frac{P_2}{\cos.}$$

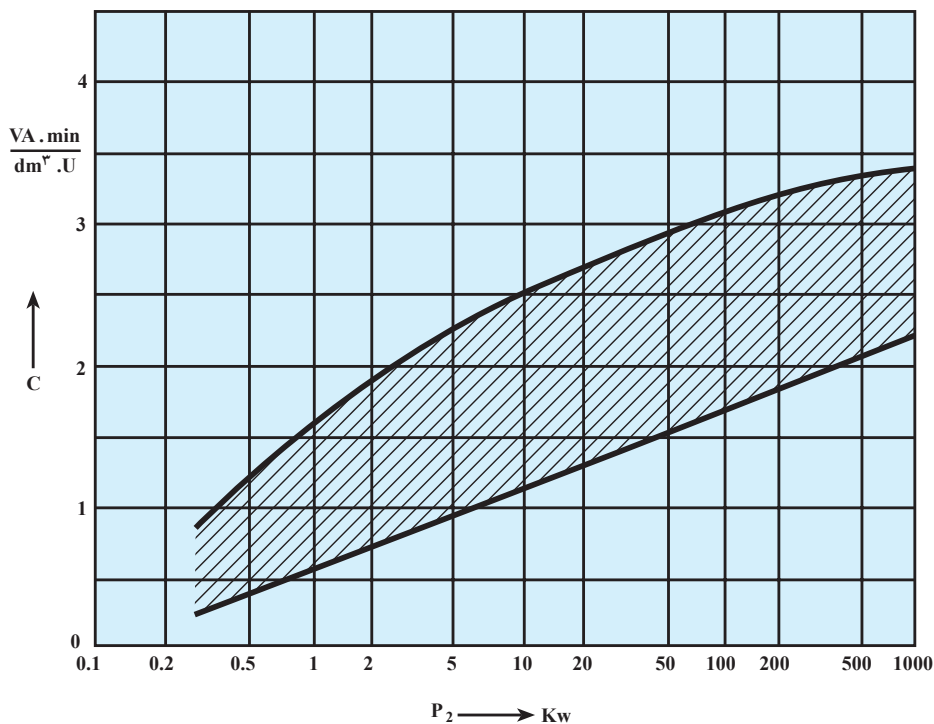
قدرت ظاهری ورودی ( $P_{S_1}$ ) یک موتور با مجذور قطر  
داخلی استاتور ( $Di^2$ ) و طول شیارهای استاتور ( $l$ ) و تعداد  
دور سنکرون موتور  $n_s$ ، متناسب است. پس می‌توان نوشت:

$$P_{S_1} = C \cdot Di^2 \cdot l \cdot n_s$$

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.

$$C = \frac{P_{S_1}}{Di^2 \cdot l \cdot n_s}$$

در این رابطه،  $Di$  قطر دهانه استاتور برحسب  $Cm$ ،  $l$  طول  
شیار و یا ضخامت ورقه‌ها برحسب  $Cm$ ،  $n_s$  دور سنکرون

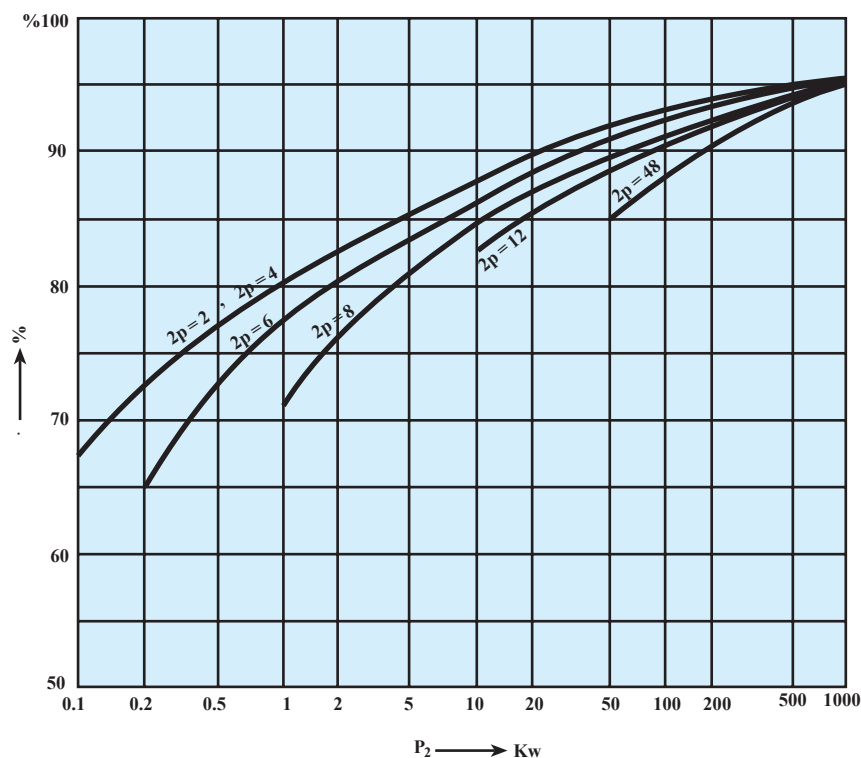


منحنی ۸-۱ — ضریب  $C$  نسبت به توان خروجی

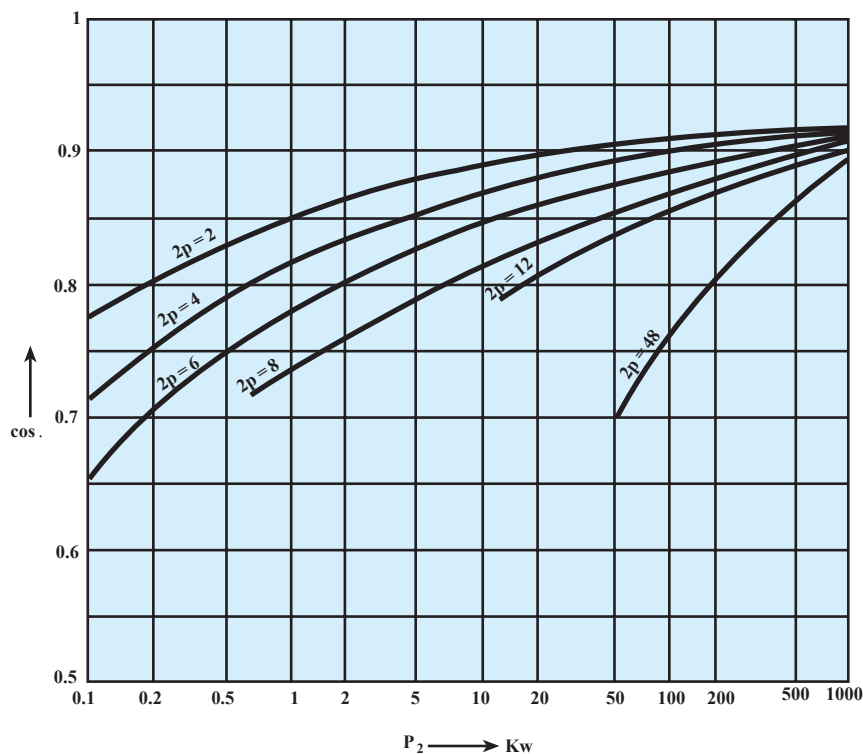


نشده باشد، می‌توان مقدار تقریبی آن‌ها را از این دو منحنی به‌دست آورد و در محاسبات تعداد دور کلاف و قطر سیم، از آن‌ها استفاده کرد. در زیر به‌شرح این محاسبات می‌پردازیم.

در منحنی ۸-۲ مقدار ضریب بهره و در منحنی ۸-۳ مقدار ضریب قدرت موتورها داده شده است. در صورتی که موتور فاقد پلاک باشد یا این مقادیر در روی پلاک آن مشخص



منحنی ۸-۲ — راندمان نسبت به توان خروجی



منحنی ۸-۳ — ضریب قدرت نسبت به توان خروجی

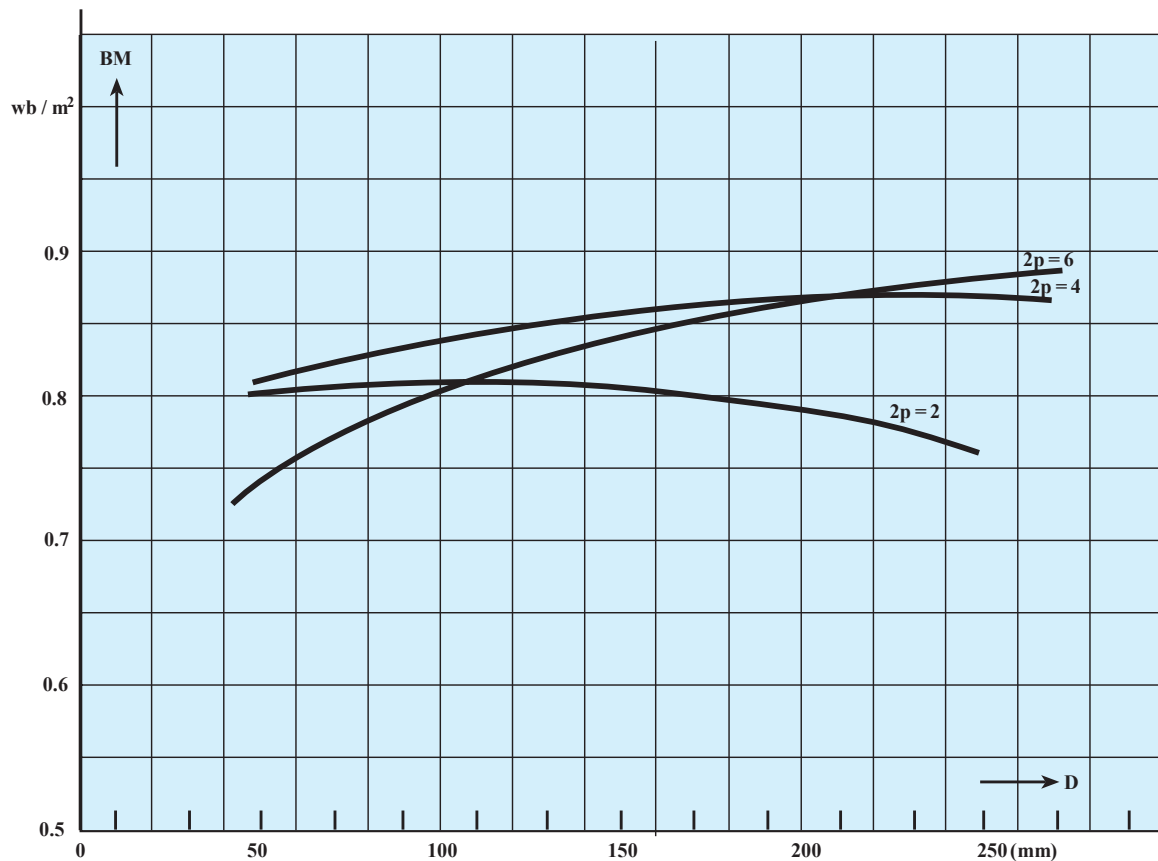
## ۸-۱- محاسبه‌ی تعداد دور هر کلاف

نیست و فرم سینوسی دارد؛ بنابراین، ابتدا مقدار اندکسیون ماکزیم را از منحنی ۸-۴ و سپس مقدار متوسط اندکسیون را از رابطه‌ی  $B_{av} = \frac{2}{3} B_{max}$  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.

تعداد دور سیم‌پیچ هر فاز استاتور را می‌توان از رابطه‌ی  $E = 4/44 \times f \times \times N \times K$  به‌دست آورد. در این رابطه، فوران متوسط زیر هر قطب است و از رابطه‌ی  $B_{av} \dots p.l$  به‌دست می‌آید.  $p$  نیز طول هر قطب و مقدار آن برابر است با:

$$p = \frac{Di \dots}{2P}$$

تقسیم اندکسیون مغناطیسی در زیر هر قطب، یک‌نواخت



منحنی ۸-۴- چگالی میدان نسبت به قطر روتور

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. در صورتی که سیم‌پیچی به‌صورت

بدین ترتیب، رابطه‌ای که برای محاسبه‌ی تعداد دور باید از آن استفاده کرد به‌صورت زیر است.

$$N = \frac{E}{4/44 \times f \times \times K} = \frac{K'U}{4/44 \times f \times \times K}$$

ضریب  $K'$  نسبت بین  $E$  و  $U$  و مقدار آن بین ۹۵٪ تا

دو طبقه انجام گیرد، باید تعداد هادی‌های واقع در هر شیار زوج باشد تا تعداد حلقه‌های هر کلاف عدد صحیح به دست آید.

### ۱-۱-۸- تعیین ضریب ولتاژ سیم پیچی: یکی از

عوامل مؤثر در تعیین بزرگی اختلاف سطح القایی در ماشین‌های الکتریکی که در محاسبات مربوط به تعیین تعداد دور حلقه‌های سیم پیچی موتورهای الکتریکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضریب ولتاژ سیم پیچی ( $K$ ) است. ضریب ولتاژ سیم پیچی از دو ضریب ولتاژ منطقه‌ای  $K_Z$  و ضریب ولتاژ کوتاهی گام  $K_S$  تشکیل شده و برابر با  $K = K_Z \cdot K_S$  است.

### الف - تعیین ضریب ولتاژ منطقه‌ای $K_Z$ (ضریب پخش):

در صورتی که هادی‌های یک فاز در زیر هر قطب، در شیارهای مختلف تقسیم شوند - یعنی  $q = 1$  باشد - ولتاژ القایی در هر یک از کلاف‌ها با یک دیگر اختلاف فاز دارد. اختلاف سطح کل از جمع برداری ولتاژهای القایی در کلاف‌ها به دست می‌آید و بنابراین کوچک‌تر از جمع جبری آن‌ها می‌شود. در صورتی که هادی‌های یک فاز در زیر یک قطب، در یک شیار واقع شده باشند - یعنی  $q = 1$  باشد - 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 جمع برداری ولتاژهای القایی، از جمع جبری ولتاژها کوچک‌تر شد، در حقیقت تأثیر ضریبی به نام

$$K_Z = \frac{\text{جمع برداری ولتاژها}}{\text{جمع جبری ولتاژها}}$$

می‌باشد. در حالت دوم، جمع برداری ولتاژهای القایی با جمع جبری آن‌ها برابر می‌شد؛ در نتیجه، ضریب منطقه‌ای  $K_Z = 1$  بود. هرچه گروه کلاف مربوط به یک فاز به طور گسترده‌تری در زیر یک قطب توزیع شود، ولتاژ القایی کل و به همان نسبت ضریب منطقه‌ای، کوچک‌تر خواهد بود.

مقدار دقیق ضریب ولتاژ پخش در یک سیم پیچی سه فاز

که در آن  $q = 2$  باشد، برابر با  $K_Z = 0.966$  و اگر  $q = 20$  باشد برابر با  $K_Z = 0.956$  محاسبه می‌شود<sup>۱</sup>. مشاهده می‌شود که مقدار  $q$  عملاً در ضریب پخش تأثیر زیادی ندارد و می‌توان در محاسبات یک سیم پیچی سه فاز برای حالتی که  $q$  از ۲ بزرگ‌تر باشد، مقدار ضریب منطقه‌ای را برابر با  $K_Z = 0.96$  منظور داشت.

در سیم پیچی یک فاز، در صورت استفاده از تمام شیارهای زیر هر قطب برای یک فاز، ضریب پخش  $K_Z = 0.637$  و در صورت استفاده از  $\frac{2}{3}$  شیارها برای یک فاز، ضریب پخش برابر با  $K_Z = 0.825$  خواهد شد<sup>۲</sup>. بنابراین، نسبت ولتاژ القایی در دو حالت برابر است با:

$$\frac{1}{3} \times \frac{0.637}{0.825} \approx 1/16$$

نسبت به دست آمده بدین معنی است که در موتور یک فاز در حالتی که تمام شیارها برای فاز اصلی سیم پیچی شوند، با وجود این که مواد مصرفی بیش از ۵۰ درصد حالتی است که فقط  $\frac{2}{3}$  شیارها مربوط به یک فاز باشند، اما تنها حدود ۱۶ درصد اضافه ولتاژ خواهیم داشت. به همین دلیل، در سیم پیچی موتورهای یک فاز اغلب  $\frac{2}{3}$  شیارها توسط سیم پیچی اصلی پر می‌شود.

### ب - ضریب ولتاژ کوتاهی گام $K_S$ (فاکتور گام): اگر

گام سیم پیچی از گام قطبی کوچک‌تر باشد، اختلاف سطح القایی در سیم پیچی، کم‌تر از حالتی خواهد بود که گام سیم پیچی با گام قطبی برابر است. ضریبی که در این رابطه به کار می‌رود، ضریب ولتاژ کوتاهی گام نامیده می‌شود و مقدار آن برای چند حالت در جدول ۸-۲ داده شده است.

برای سادگی محاسبات، در جدول ۸-۳ مقدار ضریب ولتاژ سیم پیچی برای بعضی از سیم پیچ‌ها داده شده است.

۱ و ۲ - هنجریان برای پی‌بردن به روش‌های محاسبه، می‌توانند به کتاب‌هایی که در این زمینه موجود است، مراجعه کنند.

جدول ۸-۲- ضریب ولتاژ کوتاهی گام

$\epsilon = \frac{y_Z}{y} =$	$\frac{5}{6}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
$K_S =$	۰/۹۶۶	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۷۱

جدول ۸-۳- ضریب ولتاژ سیم پیچی

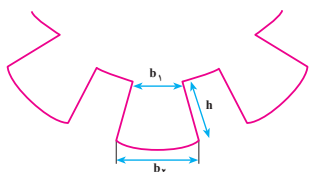
q =	۲			۳			
$\frac{y_Z}{y} =$	$\frac{6}{6}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{4}{6}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{8}{9}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{6}{9}$
K =	۰/۹۶۶	۰/۹۳۳	۰/۸۳۶	۰/۹۶۰	۰/۹۴۵	۰/۹۰۲	۰/۸۳۱

## ۸-۲- تعیین قطر سیم

به جای سیم کلفت استفاده کرد. در این صورت، باید مجموع سطح مقطع سیم های موازی با سطح مقطع سیم مورد نظر برابر باشد. قطر سیم را پس از مشخص کردن چگالی جریان می توان از رابطه ی زیر به دست آورد :

$$A = \frac{d^2}{4} = \frac{I}{J} \Rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{4I}{J}}$$

اگر بخواهیم از n سیم موازی با قطرهای  $d_1$  و  $d_2 \dots d_n$  به جای سیم محاسبه شده با قطر d استفاده کنیم، باید قطر سیم های مورد استفاده در رابطه ی  $d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}$  صدق کند. اگر قطر سیم ها برابر باشد، قطر هریک از آن ها  $d_1 = \frac{d}{\sqrt{n}}$  می شود. در صورتی که یک شیار دوزنقه ای شکل کاملاً از سیم گرد پر شود، می توان مقدار تقریبی قطر سیم را با داشتن تعداد هادی های واقع در هر شیار یا مقدار تقریبی هادی های واقع در هر شیار با دانستن قطر سیم و اندازه گیری ابعاد شیار از رابطه ی زیر به دست آورد.



$$d^2 N_Z = (b_1 + b_2 - 2)(h_n - 3)f$$

در این رابطه d قطر سیم با لاک بر حسب میلی متر و  $N_Z$  تعداد کل هادی های هر شیار،  $b_1$  و  $b_2$  دو قاعده کوچک و بزرگ شیار بر حسب میلی متر و  $h_n$  عمق شیار بر حسب میلی متر

برای محاسبه ی 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،  $\sqrt{3}$  برابر کم تر می باشد. جریان خط از رابطه ی زیر به دست می آید :

$$I_L = \frac{P_\gamma}{\sqrt{3} \cdot U_L \cos.}$$

پس از مشخص شدن مقدار جریانی که از سیم پیچ هر فاز باید عبور کند، می توان سطح مقطع یا قطر سیم را حساب کرد. برای این منظور، باید چگالی جریان مجاز ( $J$ ) را مشخص نمود. هر چه چگالی جریان سیم بیش تر انتخاب شود، سیم پیچ های موتور بیش تر گرم می شوند. پس چگالی جریان برای موتور ها به شرایط کار، نوع کار، مدت زمان کار کردن و خاموش بودن موتور و هم چنین شرایط تهویه و تعداد قطب های آن بستگی دارد. اغلب برای موتور های معمولی باز، چگالی جریان بین  $4/5$  تا  $10$  آمپر بر میلی متر مربع و در موتور های معمولی بسته، چگالی جریان بین  $3/5$  تا  $8/5$  آمپر بر میلی متر مربع با توجه به نوع و محل مصرف آن انتخاب می شود. بدین ترتیب، با مشخص شدن چگالی جریان می توان قطر سیم را محاسبه کرد. در ماشین های کوچک و متوسط تا حدود  $100^\circ \text{PS}$ ، معمولاً از سیم های گرد استفاده می شود. در صورتی که سیم لاکه با قطر محاسبه شده در دسترس نباشد یا سطح مقطع سیم مورد لزوم بزرگ باشد، می توان از چند سیم گرد نازک تر به صورت موازی

است. عددهای ۲ و ۳ به خاطر وجود عایق در شیار و همچنین

$$C = \frac{P_{S_1}}{D_i \cdot l \cdot n_s} = \frac{24/0.5 \times 1000}{25^2 \times 15 \times 1000}$$

$$= 2/57 \times 10^{-3} \frac{V.A.min}{Cm^3}$$

اگر مقدار C را که از رابطه‌ی بالا به دست آمده، در منحنی ۸-۱ برای  $P_2 = 18KW$  جست و جو 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 به خوبی انجام می‌گیرد، قدرت انتخابی برای آن مناسب است اما در صورتی که موتور از نوع بسته بود و مقدار C نیز همین مقدار به دست می‌آمد، برای قدرت موتور می‌بایست اعدادی کم‌تر از ۱۸ کیلووات انتخاب شوند و سپس با محاسبه‌ی اعدادی که برای C به دست می‌آیند و انتقال آن‌ها بر روی منحنی، توان واقعی موتور را به دست آورد.

برای محاسبه‌ی تعداد دور سیم‌پیچ‌های هر فاز استاتور، باید ولتاژ فازی محاسبه شود. ولتاژ خط  $380V$  و نوع اتصال آن ستاره است. پس ولتاژی که بر روی سیم‌پیچ‌های هر فاز قرار می‌گیرد، 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 (۸-۴)  $B_{max} = 8750G$  در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، در هر قطب مقدار  $\cdot$  برابر است با:

$$\cdot = \frac{2}{\pi} B_{max} \cdot l \cdot p = \frac{B_{max} \cdot l \cdot D_i}{p}$$

$$= \frac{8750G \times 25Cm \times 15Cm}{3} = 1/09 \times 10^6 M$$

$$= 1/09 \times 10^{-2} V.S$$

ضریب ولتاژ سیم‌پیچی K نیز از روی جدول ۸-۲ برای  $P = 3$  و  $q = 3$  و ضریب کوتاهی گام  $\frac{1}{q}$ ، برابر با  $K = 0/945$  می‌شود. بدین ترتیب، تعداد دور در هر فاز برابر است با:

$$N = \frac{E}{4/44 \times f \times \cdot \times K} = \frac{K'U}{4/44 \times f \times \cdot \times K}$$

برای مثال، در یک شیار دوزنقه‌ای شکل با اندازه‌های  $b_1 = 10mm$  و  $b_2 = 14mm$  و  $h_n = 26mm$  که تعداد  $80$  عدد هادی در آن قرار می‌گیرد و سیم‌پیچی به صورت دو طبقه است، قطر سیم برابر است با:

$$d^2 = \frac{(b_1 + b_2 - 2)(h_n - 3)}{N_z} \times 0/36 = \frac{22 \times 23 \times 0/36}{80}$$

$$d^2 = 2/28 \Rightarrow d = 1/5mm$$

در صورتی که ضخامت لاک روی سیم حدود  $0/1$  میلی‌متر باشد. باید از سیم لاکی نمره‌ی  $1/4$  که قطر آن با لاک،  $1/5$  میلی‌متر می‌شود، استفاده کرد. برای آشنایی بیش‌تر شما با توضیحات داده شده به ذکر یک مثال می‌پردازیم.

مثال: محاسبه‌ی تعداد دور و قطر سیم لازم برای سیم‌پیچی یک موتور آسنکرون رتور قفسی به صورت دو طبقه و  $q = 3$  و با گام کسری و ضریب کوتاهی گام  $\varepsilon = \frac{1}{q}$  مورد نظر است. سایر مشخصات این موتور عبارت است از:

$P_2 = 18KW$	قدرت خروجی
$Z = 54$	تعداد شیارهای استاتور
$D_i = 250mm$	قطر دهانه‌ی استاتور
$l = 150mm$	طول شیار
$\lambda = 380V$	ولتاژ و نوع اتصال
$n_s = 1000 \text{ r.p.m}$	تعداد دور سنکرون

راه حل: از روی منحنی‌های ۸-۲ و ۸-۳ مقدار ضریب بهره  $0/87$  و ضریب قدرت  $0/86$  برای این موتور به دست می‌آید.

قدرتی که سیم‌پیچ‌های موتور باید براساس آن طراحی شود، برابر است با:

$$P_{S_1} = \frac{P_2}{\cdot \cdot \cos} = \frac{18}{0/87 \times 0/86} = 24/05 KVA$$

اگر مقدار C را برای مقادیر داده شده  $D_i = 25Cm$  و

می توان چگالی جریان را بیش تر انتخاب کرد. در غير اين صورت، بايد موتور را براي قدرت کم تري طراحي نمود.

### ۳-۸- محاسبه ی سیم پیچی برای تغییر ولتاژ

گاهی لازم می شود که سیم پیچی یک موتور را برای یک ولتاژ - غیر از ولتاژ نامی - تغییر دهیم. در این صورت، با توجه به اطلاعاتی که از سیم پیچ قبلی موتور به دست می آید، باید محاسبات مجددی را برای تعداد دور و قطر سیم پیچ جدید انجام دهیم. این مورد با ذکر یک مثال شرح داده می شود.

موتوری که ولتاژ آن باید تغییر کند، یک موتور سه فاز با رتور قفسی است و لازم است از ولتاژ  $۱۲۷/۲۲۰\text{V}$  به ولتاژ  $۲۲۰/۳۸۰\text{V}$  تغییر سیم پیچی داده شود تا قابل استفاده در ایران باشد. سیم پیچی این موتور که در حالت اتصال کلاف های آن به صورت مثلث، به ولتاژ  $۱۲۷\text{V}$  ولت و در صورت اتصال ستاره به ولتاژ  $۲۲۰\text{V}$  ولت سه فازه اتصال پیدا می کرد، باید تغییر کند. به طوری که در صورت اتصال مثلث به ولتاژ سه فازه  $۲۲۰\text{V}$  ولت و در صورت اتصال ستاره، به ولتاژ سه فازه  $۳۸۰\text{V}$  ولت اتصال یابد. با این تغییر سیم پیچی، نوع اتصال (ستاره - مثلث) و قدرت و دور آن نباید تغییر کنند. سایر مشخصات این موتور به قرار زیر است: تعداد قطب ها  $۲P = ۴$  و تعداد شیارها  $Z = ۳۶$  و تعداد شیار زیر هر قطب مربوط به هر فاز  $۳ = q$  و سیم پیچی یک طبقه و هر فاز 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  $A = ۱/۳۲۷\text{mm}^2$  می شود. قطر سیم با لاک  $d_{is} = ۱/۳۶$  و سطح مقطع آن با لاک برابر با  $A_{is} = ۱/۴۵۲\text{mm}^2$  است.

سطح اشغال شده در هر شیار، برابر با  $N_Z \cdot A_{is} = ۲۴ \times ۱/۴۵۲ = ۳۴/۸۴۸\text{mm}^2$  است. این سطح باید توسط هادی های عایق دار جدید پر شود. تعداد کلاف های هر فاز  $\frac{۳۶}{۳ \times ۲}$  است. و بنابراین تعداد حلقه های کل یک فاز

$$N = \frac{N_Z \cdot Z}{۲m} = \frac{۲۴ \times ۳۶}{۲ \times ۳} = ۱۴۴ \text{ دور می شود.}$$

$$N = \frac{۰/۹۶ \times ۲۲۰}{۴/۴۴ \times ۵۰ \times ۰/۹۴۵ \times ۱/۰۹ \times ۱۰^{-۳}} = ۹۲ \text{ دور}$$

تعداد هادی های واقع در هر شیار برابر است با:

$$N_Z = \frac{N}{q \cdot p} = \frac{۹۲}{۳ \times ۳} = ۱۰/۲۲$$

همان طور که پیش از این نیز گفته شد، در سیم پیچی دو طبقه باید تعداد هادی هایی که در هر شیار قرار می گیرند، عدد زوج باشد تا تعداد حلقه های هر کلاف، عدد صحیح بشود. لذا برای این موتور،  $N_Z = ۱۲$  و در نتیجه  $N = ۱۰۸$  را انتخاب می کنیم. به این ترتیب، چون در هر شیار دو کلاف قرار می گیرد، هر کلاف دارای  $\frac{۱۲}{۲} = ۶$  حلقه خواهد بود.

برای محاسبه ی قطر سیم، باید ابتدا جریانی را که از هر حلقه عبور می کند به دست آوریم. چون در این جا سیم پیچ ها به صورت ستاره بسته شده اند. با دانستن ضریب بهره و ضریب قدرت، جریان خط را که با جریان فاز برابر است به دست می آوریم.

$$I_L = I_{ph} = \frac{P_2}{۳ \cdot \cos \phi \cdot U_{ph}}$$

$$I_{ph} = \frac{۱۸۰۰۰}{۳ \times ۰/۸۷ \times ۰/۸۶ \times ۲۲۰} = ۳۶/۵\text{A}$$

با انتخاب چگالی جریان  $J = ۵ \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$  قطر هادی برابر می شود با:

$$d = ۱/۱۳ \sqrt{\frac{I_{ph}}{J}} = ۱/۱۳ \sqrt{\frac{۳۶/۵}{۵}} = ۳\text{mm}$$

به جای یک سیم گرد با قطر  $۳\text{mm}$  بدون لاک، می توان از دو هادی که به صورت موازی با یک دیگر پیچیده می شوند، استفاده کرد. در این صورت، قطر هادی جدید  $d'$  برابر است با:

$$\frac{d}{d'} = \sqrt{۲} \Rightarrow d' = \frac{d}{\sqrt{۲}}$$

$$d' = \frac{۳}{\sqrt{۲}} = ۲/۱\text{mm}$$

پس از محاسبه ی قطر و تعداد دور سیم، باید بررسی کرد که سیم های محاسبه شده و عایق در شیارهای استاتور جای می گیرند یا خیر. در صورتی که هادی ها در درون شیار جای نگیرند و امکان خنک کردن و تهویه ی بهتر موتور نیز وجود داشته باشد،



با توجه به این که مقادیر مغناطیسی موتور باید ثابت بماند،

پس تعداد دور جدید  $N_2$  برابر است با :

$$N_2 = N \frac{U_2}{U} = 144 \times \frac{220}{127} = 249/4$$

$$N_{Z2} = \frac{249/4 \times 2 \times 3}{36} = 41/6 \approx 42 \text{ هادی}$$

سطح مقطع هادی جدید را نیز با توجه به ولتاژ قدیم و

جدید می‌توانیم به‌طریق زیر حساب کنیم :

$$A_2 = A_1 \frac{U_1}{U_2} = 1/327 \times \frac{127}{220} = 0/767 \text{ mm}^2$$

سطح مقطع سیم استاندارد برابر با  $A_2 = 0/786 \text{ mm}^2$  و

قطر آن  $d_2 = 1 \text{ mm}$  است. قطر این سیم با لاک برابر

$A_{2is} = 0/882 \text{ mm}^2$  و سطح مقطع آن با لاک  $A_{2is} = 0/882 \text{ mm}^2$

می‌باشد و چون باید در هر شیار ۴۲ عدد از این سیم‌ها قرار گیرد،

پس سطح کل اشغال شده در هر شیار برابر با

$N_{Z2} \cdot A_{2is} = 42 \times 0/882 = 37/044 \text{ mm}^2$  خواهد شد. این

مقدار ۶ درصد بیش‌تر از سطح اشغالی توسط هادی‌های قبلی

است.

در صورتی که شیار جا نداشته باشد و نتوان هادی‌های

جدیدی را در درون آن جای داد، باید از سیم با قطر کم‌تر – که در این مثال ۰/۹۵ بدون لاک می‌باشد – به‌جای سیم یک استفاده کرد. در این حالت، قدرت موتور تا حدود ۹ درصد کاهش می‌یابد.

گاهی موتور را برای دو ولتاژ مختلف – که ولتاژ بیش‌تر دو

برابر ولتاژ کم‌تر می‌باشد، مثلاً ۲۲۰ و ۴۴۰ ولت – سیم‌پیچی

می‌کنند. برای این کار، سیم‌پیچ هر یک 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 در مجموع 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

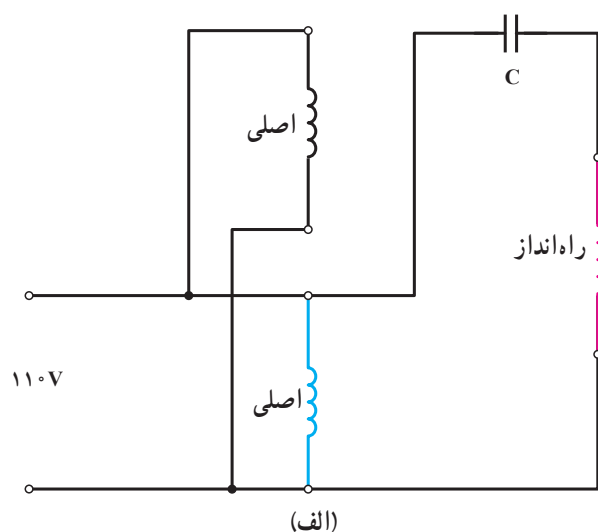
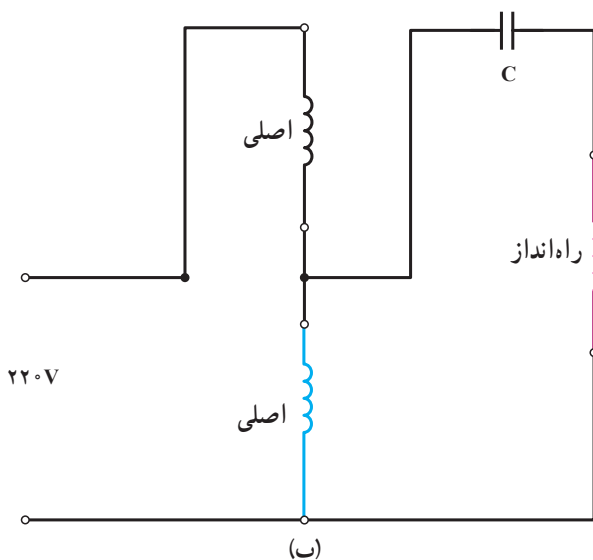
ولتاژ کم‌تر و ولتاژ بیش‌تر یکی خواهد بود.

اگر موتور یک فاز باشد، سیم‌پیچ اصلی دو قسمت می‌شود

و سیم‌پیچ راه‌انداز نیز بر مبنای ولتاژ کم‌تر پیچیده شده و در هر

حالت با یک قسمت از سیم‌پیچ اصلی، به‌صورت موازی قرار

می‌گیرد (شکل ۲-۸- الف و ب).



شکل ۲-۸- موتور یک فاز با دو ولتاژ کار

#### ۴-۸- محاسبه سیم پیچی برای دور کم تر موتور

با افزایش تعداد قطب‌ها از دور موتور کاسته می‌شود و با کم کردن تعداد قطب‌ها دور موتور افزایش می‌یابد. لذا افزایش دور موتور به دلیل 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 سیم پیچی 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:

$$\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2}} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2}} = \frac{2P_2}{2P_1} \quad (1)$$

(اندیس ۲ در روابط مشخص کننده‌ی حالت دوم یعنی با تعداد قطب بیش‌تر است.)

در صورتی که ولتاژ فازی ثابت بماند، باید حاصل  $N.K = \text{Const}$  . باشد. ضریب ولتاژ سیم پیچی  $K$  فقط به مقدار خیلی جزئی با تغییر قطب تغییر می‌کند.

$$N_1 = N_2 \quad (2)$$

از ترکیب دو رابطه‌ی ۱ و ۲ می‌توان نوشت:

$$\frac{2}{1} = \frac{2P_1}{2P_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

در صورت ثابت بودن ولتاژ، تعداد دور سیم پیچی، متناسب با تعداد قطب‌ها تغییر می‌کند. افزایش تعداد دور سیم پیچی برای هر فاز، باعث کم شدن سطح مقطع سیم نیز می‌شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که در یک تجدید سیم پیچی موتور آسنکرون از تعداد قطب کم‌تر به تعداد قطب بیش‌تر، در صورت ثابت بودن نوع اتصال و اختلاف پتانسیل تغذیه‌ی سیم پیچی، تعداد دور سیم پیچی یک فاز، سطح مقطع سیم و قدرت موتور براساس روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$N_2 = N_1 \frac{2P_2}{2P_1} = N_1 \frac{n_{s1}}{n_{s2}}$$

$$A_2 = A_1 \frac{2P_1}{2P_2} = A_1 \frac{n_{s2}}{n_{s1}}$$

$$P_{u2} \cdot W = P_{u1} \cdot W \cdot \frac{2P_1}{2P_2} = P_{u1} \cdot W \cdot \frac{n_{s2}}{n_{s1}}$$

در این فرمول  $P_u$ ، توان مفید موتور است.

با اضافه کردن تعداد قطب‌های یک موتور با تجدید سیم پیچی، 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 در صورت ثابت ماندن توان به کار ببریم.

مثال: مقادیر زیر از روی پلاک یک موتور سه فاز آسنکرون خوانده شده است.

$$P = 7 \text{ KW}$$

$$U = 380 / 220 \text{ V}$$

$$\lambda / \Delta$$

$$I = 12 / 42 / 21 / 52 \text{ A}$$

$$n = 1470 \text{ r.p.m}$$

$$= .86$$

$$\cos . = 0.856$$

استاتور دارای  $Z = 36$  شیار و سیم پیچی استاتور به صورت یک طبقه است. گروه کلاف‌ها با یک دیگر سری هستند و تعداد آن‌ها برابر با  $P = 2$  است. کلاف‌ها با سه سیم موازی با قطر  $d = 1/95$  میلی‌متر و ۱۵ دور پیچیده شده‌اند. در نتیجه، در هر شیار ۴۵ سیم وجود دارد. سطح مقطع هر سیم برابر با  $2/98$  میلی‌متر مربع و سطح مقطع هر هادی کلاف (سه سیم موازی)  $2 \times 2/98 = 8/94 \text{ mm}^2$  است.

این موتور را می‌خواهیم برای حالت  $2P = 6$  قطب مجدداً سیم پیچی کنیم. اختلاف پتانسیل و نوع اتصال سیم پیچ‌ها تغییری نمی‌کنند.

راه حل: تعداد دور سیم پیچ قبلی برای هر فاز برابر است

$$N_1 = N \frac{Z}{Z_m} \quad \text{با:}$$

$$N_1 = 15 \frac{36}{2 \times 3} = 90 \quad \text{دور}$$

تعداد دور سیم پیچی جدید برای هر فاز برابر خواهد شد

$$N_2 = \frac{2P_2}{2P_1} N_1 = \frac{6}{4} \times 90 = 135 \quad \text{دور:}$$

تعداد هادی هایی که در هر شیار واقع می شوند، برابر است

$$N_{Z2} = \frac{N_2 \times 6}{Z} = \frac{135 \times 6}{36} = 22/5 \quad \text{دور:}$$

سطح مقطع هادی جدید برابر است با:

$$A_2 = A_1 \frac{2P_1}{2P_2} = 3 \times 2/98 \times \frac{2}{3} = 5/96 \text{ mm}^2$$

تعداد سیم های واقع در هر شیار برای حالت قبل ۴۵ دور

بود اما اکنون برای حالت ۶ قطب، تعداد هادی های هر شیار

۲۲/۵ و با سطح مقطع  $5/96 \text{ mm}^2$  است. به جای این که این

سطح مقطع زیاد را مثلاً از دو سیم موازی با یک دیگر به دست

آوریم، می توانیم با دو برابر کردن تعداد هادی هر شیار

( $2 \times 22/5 = 45$ ) و نصف کردن سطح مقطع آن

( $5/96 = 2/98$ ) و سپس موازی کردن دو کلاف هر گروه

کلاف با هم، به نتیجه ی ۴۵ دور از سیم با سطح مقطع

$2/98 \text{ mm}^2$  برای هر کلاف (یا هر شیار) برسیم که با نتیجه ی

محاسبه شده نیز برابری می کند. بدین ترتیب، دیگر نیازی نیست

که تعداد هادی های محاسبه شده را به عدد صحیح تبدیل کنیم. هر

کلاف از ۴۵ دور سیم تکی با قطر  $d = 1/95 \text{ mm}^2$  و سطح

مقطع  $2/98 \text{ mm}^2$  پیچیده شده است. سپس دو کلاف هر گروه

کلاف با یک دیگر موازی می شوند و پس از آن سه گروه کلاف با

هم به صورت سری قرار می گیرند. در مجموع، سیم پیچ یک فاز

شامل ۱۳۵ دور سری و دو راه موازی جریان خواهد بود.

با تغییر قطب، قدرت موتور نیز تغییر می کند و نسبت تغییر

برابر است با:

$$\frac{P_{u2}}{P_{u1}} = \frac{2P_1}{2P_2} = \frac{2}{3}$$

در این جا چون تعداد دور موتور کم تر شده است و در نتیجه،

موتور خوب خنک نمی شود، بهتر است قدرت آن باز هم کمی

کاهش یابد.

در موتورهای یک فاز، برای تغییر تعداد دور می توان از

روش تغییر ولتاژ سیم پیچی نیز استفاده کرد. با تغییر ولتاژ

سیم پیچی، شدت میدان مغناطیسی و در نتیجه لغزش موتور تغییر

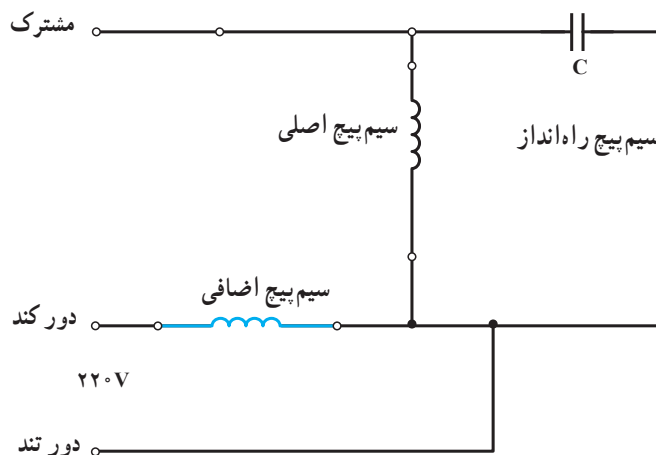
خواهد کرد. بدین منظور، با سری کردن یک سیم پیچ اضافی با

سیم پیچ اصلی و راه انداز یا فقط با سیم پیچ اصلی می توان افت

ولتاژ روی سیم پیچی و دور را کاهش داد (شکل ۳-۸). سیم پیچی

اضافی ذکر شده می تواند در همان شیارهای مربوط به سیم پیچ

اصلی پیچیده شود.



شکل ۳-۸- موتور دو دور با سیم پیچ تعدیل ولتاژ یک فاز

## ۵-۸- محاسبه برای تعویض هادی‌های مسی با آلومینیومی

گاهی لازم می‌شود که بدون تغییر دادن ولتاژ و فرکانس و تعداد قطب‌های موتور، در تجدید سیم‌پیچی به جای سیم مسی از آلومینیومی و یا به جای سیم آلومینیومی از سیم مسی استفاده کنیم. مثلاً در تجدید سیم‌پیچی یک موتور یک فاز که در آن برای مقاومت اهمی سیم‌پیچ راه‌انداز از سیم آلومینیومی استفاده شده است، به علت نداشتن سیم آلومینیومی از سیم مسی استفاده می‌کنیم. در این جا ابتدا به بررسی تعویض سیم‌های مسی با آلومینیومی - که در عمل به ندرت پیش می‌آید - 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 سیم آلومینیومی را بیش‌تر از مس در نظر بگیریم اما چون اندازه‌ی شیار و ضخامت عایق شیار ثابت است و به اندازه‌ی هادی‌های اولیه‌ی خود طراحی شده و تعداد هادی‌های آلومینیومی نیز باید به همان تعداد هادی‌های مسی باشد، در انجام این کار با مشکل مواجه خواهیم شد. معمولاً نمی‌توانیم سطح مقطع سیم آلومینیومی را بیش‌تر از سطح مقطع سیم مسی بگیریم و مقطع آن با سیم مسی برابر خواهد شد. در این صورت، 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 آلومینیومی 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:

$$R_{Al} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} \times R_{Cu} = \frac{0.0278}{0.0175} R_{Cu}$$

$$\Rightarrow R_{Al} = 1.58 R_{Cu}$$

یعنی اگر به جای سیم‌پیچی مسی، یک سیم‌پیچی آلومینیومی 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  $R_{Cu} I_1^2$  می‌شود که  $I_1$  جریان نامی فازی است و مقدار آن را می‌توان از

روی پلاک موتور به دست آورد.

چون موتور با سیم‌پیچ آلومینیومی باید به همان اندازه گرم شود که با سیم‌پیچ قبلی خود - یعنی با سیم‌پیچ مسی - گرم می‌شده است، تلفات ژولی در سیم آلومینیومی نیز باید برابر با تلفات ژولی در سیم‌پیچ مسی باشد و چون در این جا  $R_{Al} \cdot R_{Cu}$  است، پس جریان  $I_2$  - یعنی جریان فازی که از سیم‌پیچ آلومینیومی عبور می‌کند - باید از  $I_1$  کوچک‌تر باشد.

بنابراین، برای این که موتور پس از سیم‌پیچی مجدد با سیم آلومینیومی، به همان اندازه‌ی نامی اولیه گرم شود، باید  $I_2 = 0.7955 I_1$  باشد. در حالت استفاده از سیم آلومینیومی به جای سیم مسی، جریان ۲۰/۴۵ درصد کوچک‌تر می‌شود و به همین ترتیب، قدرت موتور نیز کاهش می‌یابد. با توجه به این موضوع، یک موتور با سیم‌پیچی مسی و با قدرت  $P_{n1} = 10 \text{ KW}$  پس از تجدید سیم‌پیچی توسط سیم آلومینیومی و با تعداد دور و سطح مقطع مساوی سیم مسی و با همان ولتاژ و اندازه‌های عایق اولیه اگر قدرتی برابر با  $P_{n2} = 7.955 \text{ KW}$  داشته باشد، به همان اندازه‌ی نامی گرم خواهد شد و صدمه‌ای نخواهد دید پس نتیجه می‌گیریم که با تعویض یک سیم‌پیچ مسی با سیم آلومینیومی 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. به همین جهت، از این حالت به ندرت در عمل استفاده می‌شود.

مثال: سیم‌پیچی مسی یک موتور سه فاز آسنکرون رتور قفسی باید با سیم آلومینیومی تعویض شود، بدون این که اندازه‌های سیم و عایق و نوع اتصال و ولتاژ شبکه تغییر کنند. مقادیر نامی ماشین عبارت است از:

$$P_n = 18.4 \text{ KW} \text{ و } U = 380/220 \text{ V } Y/\Delta$$

$$I = 35.6/61.6 \text{ A} \text{ - } 84/8$$

پس از تعویض سیم‌پیچی با سیم آلومینیومی، موتور دارای مقادیر نامی زیر باید باشد تا حرارت آن بیش‌تر از حد مجاز نشود.

$$P_n = 14.6 \text{ KW} \text{ و } U = 380/220 \text{ V } Y/\Delta$$

$$\text{و } I = 28/34.9 \text{ A}$$

## ۸-۶- محاسبه برای تعویض هادی‌های آلومینیمی با مسی

موتور به دست آوریم.

$$R_{Al} = R_{Cu} \Rightarrow \rho_{Al} \cdot L_{Al} / A_{Al} = \rho_{Cu} L_{Cu} / A_{Cu}$$

$$\text{و } L_{Al} = L_{Cu}$$

$$\frac{A_{Al}}{A_{Cu}} = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} \text{ و } A_{Al} = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} \cdot \frac{d_{Cu}^2}{d_{Al}^2}$$

$$A_{Cu} = \frac{d_{Cu}^2}{\frac{d_{Al}^2}{\frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}}}} \Rightarrow \frac{d_{Al}^2}{d_{Cu}^2} = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} = \frac{0.278}{0.175}$$

$$\Rightarrow d_{Cu} = 0.793 d_{Al}$$

یعنی اگر به جای 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. در عین حال، چون سطح مقطع سیم نیز کم‌تر شده است، به راحتی در داخل شیارها جای خواهند گرفت. حتی می‌توان قطر سیم مسی را کمی بیش‌تر از مقدار گفته شده در نظر گرفت و بدین ترتیب، قدرت موتور را تا حدودی افزایش داد.

آن چه در حالت قبل در مورد جایگزینی سیم آلومینیمی به جای سیم مسی گفتیم، در موردی بود که سطح مقطع سیم و قطر عایق روی آن و عایق داخل شیارها در هر دو حالت یکی باشد. در نتیجه، از نظر ابعاد شیار در جا زدن سیم‌ها در داخل شیار، اشکالی پیش نمی‌آمد. حال می‌خواهیم بررسی کنیم که اگر سیم پیچ اولیه از آلومینیم باشد و به جای آن بخواهیم از سیم مسی استفاده کنیم، در قطر سیم چه تغییری ایجاد می‌شود.

چون قابلیت هدایت مس، از آلومینیم بیش‌تر است، می‌توان به جای سیم آلومینیمی از یک سیم مسی با سطح مقطع کم‌تری استفاده کرد در این صورت در هنگام جا زدن کلاف‌ها در شیارها نیز مشکلی پیش نخواهد آمد. اگر با ثابت بودن تعداد دور سیم پیچی، طول دو سیم پیچ را برابر قرار دهیم، می‌توانیم قطر سیم مسی را که باید جایگزین سیم آلومینیمی شود، بدون تغییری در جریان یا قدرت

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

## عیب‌یابی موتورهای الکتریکی

**هدف‌های رفتاری:** از هرنجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

- ۱- عیب‌های مکانیکی را تشخیص دهد و رفع کند.
- ۲- عیب‌های الکتریکی را تشخیص دهد و رفع کند.

### ۹- عیب‌یابی موتورهای الکتریکی

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 در این جا فقط به ذکر مطالب کلی و آن‌هم 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 این جا 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.

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 این جا اگر، به جای رفع عیب اصلی – یعنی کجی محور موتور – 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.

به طور کلی هر وسیله الکتریکی ممکن است دو نوع عیب عمده پیدا کند: الف - عیب در قطعات مکانیکی (عیب‌های مکانیکی) ب - عیب در مسیر جریان (عیب‌های الکتریکی).

## ۹-۱-۱- تشخیص عیب‌های مکانیکی و رفع آن‌ها

عیب‌های مکانیکی ناشی از خرابی قطعات متحرک و غیر متحرک 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.

### ۹-۱-۱-۱- 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 غیر متحرک آن، جابه‌جا می‌شوند.

برای تشخیص این عیب باید همه‌ی قسمت‌های بدنه و درپوش‌ها را دقیقاً و ارسی کرد در صورت مشاهده ترک یا شکستگی در بدنه، باید آن را در صورت امکان جوش دهیم و در صورت مشاهده 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.

### ۹-۱-۱-۲- 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 کار کردن در آن ساخته شده است را در کاتالوگ دستگاه ذکر می‌کنند. باید تا حدّ ممکن این دستورالعمل‌ها را به طور 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 شوفاز 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 به کار برد و به عکس 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 روغن کاری 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 بيفتيم. به هر حال، در شرایطی که تحت تأثیر عوامل خارج از کنترل ما، موتور باید در شرایطی نامطلوب‌تر از آنچه برای آن ساخته شده است کار کند، روغن کاری 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 روغن کاری 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 این گونه موارد، باید به دو مطلب توجه کنیم؛ اول این که بار زیاده‌تر 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 این گونه 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 ساحمه‌های 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 این که 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 روغن کاری یا گریس کاری 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.

### ۳-۱-۹- 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 به خوبی مشخص می‌شود. در صورت خم شدگی محور رتور باید آن را تعویض کرد.

### ۴-۱-۹- 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 قالب‌های موتور و شکستگی آن‌ها رتور از حالت تعادل خارج شده و با استاتور درگیر می‌شود. علاوه بر این، جابه‌جا شدن ورقه‌های استاتور یا پرسیدن فاصله‌ی هوایی با گرد و خاک 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 به سرعت 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.

### ۲-۹- تشخیص عیب‌های الکتریکی و رفع آن

بعد از این که مطمئن شدیم ماشین الکتریکی ما عیب مکانیکی ندارد، به سراغ عیب‌های الکتریکی خواهیم رفت. عیب الکتریکی 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 این جا عیوب عمومی موتورهای سه فاز و یک فاز و حتی در برخی موارد تنها عیوب موتورهای سه فاز ذکر خواهد شد؛ زیرا موتورهای یک فاز معمولاً عیب‌هایی پیدا می‌کنند که نظیر آن‌ها در موتور سه فاز به وجود نمی‌آید. به این دلیل، عیب‌یابی موتورهای یک فاز جداگانه گفته خواهد شد.

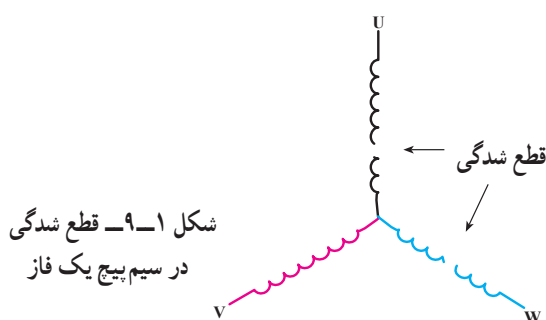
#### ۱-۲-۹- موتورهای سه فاز: برای مشاهده‌ی تغییر

خصوصیات کار، باید ابتدا در مسیر هر یک از فازها یک آمپر متر 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 به برق اتفاقات زیر ممکن است رخ دهند.

الف: موتور هیچ‌گونه عکس‌العملی از خود نشان ندهد و آمپر مترها نیز هیچ‌گونه جریانی را نشان ندهند.

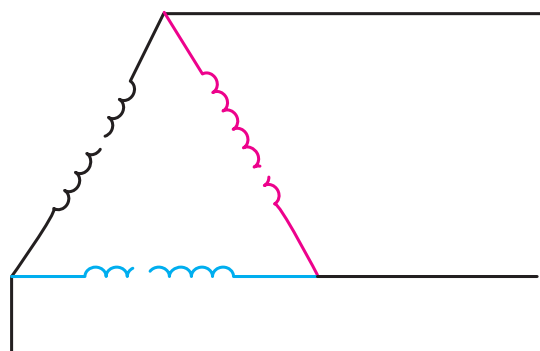
#### ۱- اتصال ستاره: در این حالت در مسیر سیم پیچی

فازها قطع شدگی وجود دارد که ممکن است مانند شکل ۱-۹ این قطع شدگی در داخل کلاف‌ها یا مانند شکل ۲-۹ در نقطه‌ی صفر ستاره باشد. برای کسب اطمینان از قطع شدگی باید مقاومت بین دو فاز را اندازه گرفت.

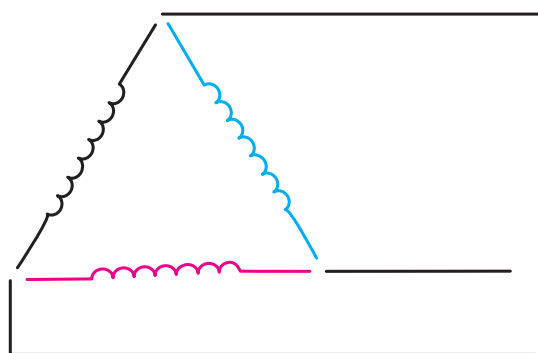


## ۲- اتصال مثلث: اگر اتصال موتور مثلث باشد و

آمپرترها هیچ جریانی را نشان ندهند، قطع شدگی یا مانند شکل ۹-۴ در هر سه گروه کلاف فازها یا این که مانند شکل ۹-۵ در محل اتصال گروه کلاف‌های فازها به یکدیگر است.

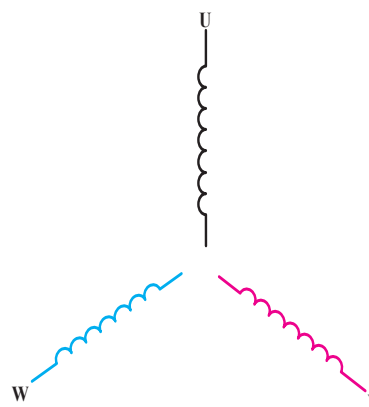


شکل ۹-۴ قطع شدگی در هر سه سیم پیچ



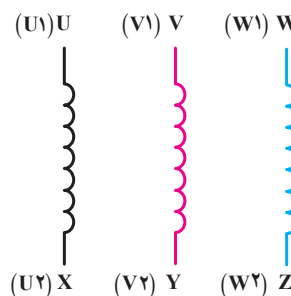
شکل ۹-۵ قطع شدگی در محل اتصال سیم پیچ‌ها

ب: بعد از وصل موتور سه فاز به شبکه، موتور راه نیفتاده است ولی ارتعاش می‌کند و صدا می‌دهد. اگر اتصال کلاف‌های موتور به صورت ستاره باشد و یکی از آمپرترها 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 آمپرتر آن جریانی را نشان ندهد، قطع شده است. در این صورت، با دنبال کردن مسیر جریان می‌توانیم محل قطع شدگی را که در سیم‌های رابط و یا در کلاف موتور است پیدا کنیم. در صورتی که اتصال کلاف‌های موتور به صورت مثلث باشد و آمپرترها نیز مقادیر مختلفی را نشان بدهند، احتمالاً یکی از کلاف‌های موتور قطع است که می‌توان مانند شکل ۹-۶



شکل ۹-۲ قطع شدگی در محل نقطه‌ی صفر ستاره

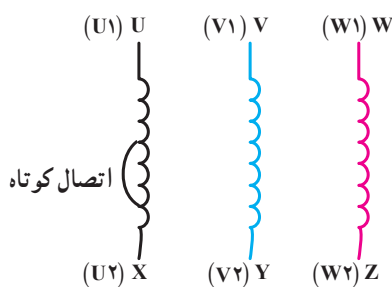
در این حالت، مقاومت بین دو فاز باید . باشد. برای این کار می‌توان از اهم‌تر یا یک لامپ سری با سیم پیچ هر فاز استفاده کرد. بدین ترتیب باید اتصالات سر و ته گروه کلاف‌های موتور را از یک‌دیگر جدا کنیم و سپس مانند شکل ۹-۳ مقاومت اتصالات گروه کلاف‌های هر سیم پیچ را اندازه بگیریم. در صورتی که مقدار مقاومت در هر یک از گروه کلاف‌های بی‌نهایت باشد (در آزمایش با لامپ، لامپ روشن نشود) قطع شدگی در داخل گروه کلاف خواهد بود.



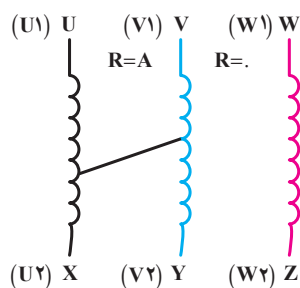
شکل ۹-۳ قطع شدگی در سیم پیچ یک فاز

در اغلب موارد باید سیم پیچی موتوری را که سیم پیچ‌های آن قطع شدگی دارند، تجدید کرد. اگر مقاومت بین  $U-X$  و  $V-Y$  و  $W-Z$  حدود اهم باشد، علت نشان ندادن آمپرترها، باز بودن نقطه‌ی صفر ستاره است که باید این نقاط را با دقت به یکدیگر وصل کرد و سپس با اهم‌تر مقاومت بین دو فاز را مجدداً اندازه گرفت. اگر مقدار مقاومت حدود اهم بود، موتور سالم است.

برای تشخیص اتصال کوتاه بین حلقه‌های مربوط به دوفاز، 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 ۹-۸).



شکل ۹-۷ اتصال کوتاه در سیم پیچ یک فاز

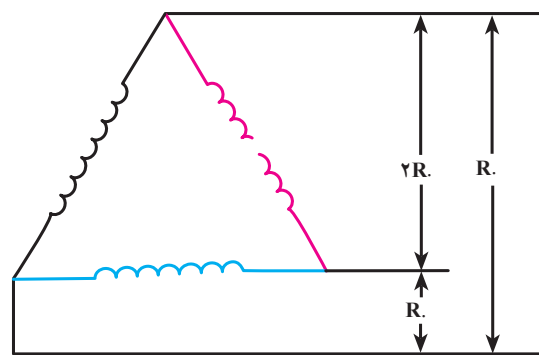


شکل ۹-۸ اتصال کوتاه در سیم پیچ‌های دوفاز

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 پی برد.

در ضمن برای تشخیص اتصال کوتاه حلقه‌ها می‌توان از دستگاهی به نام پروف رکس نیز استفاده کرد. برای این کار پروف رکس را در داخل استاتور و مماس با آن می‌چرخانند. به محض تماس پروف رکس 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



شکل ۹-۶ قطع شدگی در سیم پیچ یک فاز

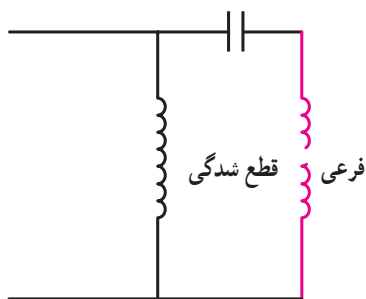
با اندازه‌گیری مقاومت گروه کلاف‌های هر فاز، گروه کلاف قطع شده را تشخیص داد.

دو سر کلافی که در آن قطع شدگی اتفاق افتاده 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 نمی‌رسد.

معمولاً اتصال بدنه یا اتصال کوتاه حلقه‌ها می‌تواند چنین اشکالی را به بار آورد. منظور از اتصال بدنه در این جا یعنی این که یکی از حلقه‌های سیم‌پیچی در موتور به بدنه اتصال پیدا کرده است.

برای پیدا کردن اتصال بدنه می‌توانیم از یک مگر (مگا اهم متر) استفاده کنیم. بدین ترتیب که یک سر سیم مگر را به بدنه موتور و سر دیگر را به تک تک 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 این که مطمئن شدیم در موتور اتصال بدنه وجود ندارد، باید اتصال بین حلقه‌های یک فاز یا دو فاز با هم دیگر 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 ۹-۷ 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.



شکل ۱۰-۹ قطع شدگی در سیم پیچ فرعی

برای تشخیص سیم پیچ معیوب، سیم پیچ اصلی و فرعی را از یکدیگر جدا می‌کنیم و سپس با اهم متر سیم پیچ قطع شده را تشخیص می‌دهیم. قطع شدگی در مسیر سیم پیچ فرعی ممکن است در کلید گریز از مرکز، خازن، خود سیم پیچی یا در سیم‌های رابط بین این‌ها باشد. برای تشخیص عضو معیوب ابتدا دو سر سیم پیچ فرعی را با اهم متر امتحان می‌کنیم. پس از کسب اطمینان از سالم بودن سیم پیچ 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 اهم متر را به دو سر خازن وصل می‌کنیم. اگر خازن سالم باشد، باید ابتدا عقربه اهم متر 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 پارازیت گیر) صدق نمی‌کند. اتصال کوتاه حلقه‌ها و هم چنین اتصال بدنه نیز می‌تواند چنین معایبی را پیش آورد که با آزمایش‌های مربوط می‌توان آن‌ها را تشخیص داد.

۲- موتور راه می‌افتد ولی جریان زیادی می‌کشد؛ اتصال کوتاه حلقه‌ها، اتصال بدنه یا خارج نشدن سیم پیچ کمکی بعد از راه اندازی، ممکن است موجب بروز چنین معایبی شود. 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 کنیف شدن مسیر حرکت قسمت متحرک کلید باشد.

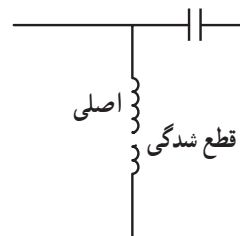
اتصال بدنه یا اتصال کوتاه حلقه‌ها وجود داشته باشد که می‌توانیم با دستگاه مگر ابتدا وجود یا عدم وجود اتصال بدنه را آزمایش کنیم. اگر پس از آزمایش معلوم شد که اتصال بدنه وجود ندارد، باید آزمایش اتصال کوتاه حلقه‌ها را انجام داد و به نوع عیب پی‌برد.

ث: موتور بعد از راه اندازی 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. در این صورت، 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.

۲-۲-۹- موتورهای یک فازه: همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، موتورهای یک فاز براساس سیستم راه اندازی از موتورهای سه فاز متمایز می‌شوند. در این جا عیب‌یابی موتورهای یک فاز را براساس سیستم راه اندازی به طریق زیر مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

الف — موتورهای خازن دار: برای تشخیص عیب موتورهای یک فازه‌ی خازن دار نیز با وصل کردن آن‌ها برای چند لحظه به ولتاژ نامی و اندازه گیری جریان آن و مشاهده ی تغییرات کار موتور می‌توان عیب را تشخیص داد و به رفع آن پرداخت. بعد از وصل کردن موتور به شبکه، ممکن است حالت‌های زیر پیش آید:

۱- موتور صدای هوم می‌دهد ولی راه نمی‌افتد: در این حالت ممکن است سیم پیچی اصلی (شکل ۹-۹) یا مسیر فرعی (شکل ۱۰-۹) در یک نقطه قطع شده باشد.



شکل ۹-۹ قطع شدگی در سیم پیچ اصلی

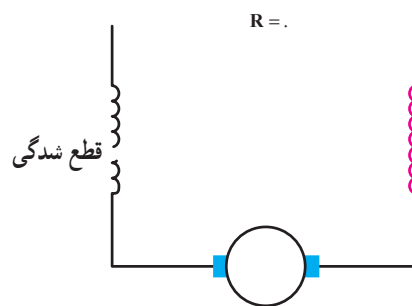
۳- موتور راه نمی افتد و فیوز را هم می سوزاند ؛ اتصال کوتاه بسیاری از حلقه ها (سوختگی موتور) و هم چنین اتصال بدنه، چنین عیبی را به وجود می آورد.

۴- موتور راه می افتد ولی به دور نامی نمی رسد ؛ در این حالت، معمولاً خارج نشدن سیم پیچ کمکی از مدار یا اتصال کوتاه چند حلقه سیم پیچ اصلی یا فرعی یا اتصال بدنه که با لرزش شدید موتور نیز همراه است، می تواند سبب بروز چنین عیبی باشد.

۵- موتور راه می افتد ولی بیش از حد نرمال داغ می کند ؛ اتصال کوتاه بسیاری از حلقه ها و خارج نشدن سیم پیچ کمکی، سبب چنین عیبی است. در این حالت، به اصطلاح موتور نیم سوز شده است.

ب - عیب یابی موتورهای کلکتوردار (سری): تشخیص عیوب این گونه موتورها تقریباً همانند موتورهای یک فاز خازن دار است. برای این کار، ابتدا موتور را برای چند لحظه به شبکه وصل می کنیم و تغییر خصوصیات الکتریکی آن را مشاهده می نماییم و از روی آن به یافتن عیب می پردازیم.

۱- بعد از وصل موتور به شبکه، موتور راه نمی افتد و آمپر متر نیز هیچ گونه جریانی را نشان نمی دهد ؛ در این حالت، مسیر جریان قطع است. این قطع شدگی می تواند در سیم پیچی استاتور یا در آرمیچر یا در زغال ها و جارو نگه دارها باشد. برای پیدا کردن محل قطع شدگی، ابتدا مقاومت دو سر جاروبک ها را اندازه می گیریم. در صورتی که مدار آن ها وصل باشد، قطع شدگی در سیم پیچ استاتور است (شکل ۱۱-۹).



شکل ۱۱-۹- قطع شدگی در سیم پیچ استاتور

اگر مقاومت بین دو سر جاروبک ها بی نهایت بود، یا سیم های آرمیچر قطع شد یا قطع شدگی در خود زغال ها (مانند خرابی فنرها و تماس نداشتن زغال ها با تیغه ها) است. قطع شدگی در آرمیچر را می توان ابتدا با مشاهده ی مستقیم تشخیص داد. در صورتی که با مشاهده ی عینی نتوان این عیب را پیدا کرد، با اندازه گرفتن مقاومت بین تیغه ها می توان آن را معین نمود. دو تیغه که سرهای کلکتور یا وسط کلاف مربوط به آن ها قطع شده باشد، از بقیه ی تیغه ها مقاومت بیش تری نشان می دهند.

۲- موتور راه می افتد ولی دو سر جاروبک ها جرقه ی شدیدی می زند ؛ در این حالت، خراب بودن زغال ها، خرابی فنرهای پشت زغال ها، قطع شدگی سیم پیچ آرمیچر، بالانس نبودن آرمیچر و اتصال کوتاه حلقه های استاتور و خود آرمیچر می تواند چنین عیبی را به وجود آورد.

ابتدا زغال ها را در می آوریم و با دقت نگاه می کنیم. در صورت سالم بودن زغال ها و کسب اطمینان از قرار گرفتن صحیح آن ها روی تیغه ها، فنرها را بازدید می کنیم. در صورت سالم بودن آن ها به سراغ سیم پیچی استاتور می رویم. اگر سیم پیچی استاتور نیز سالم باشد، به سراغ خود آرمیچر می رویم.

۳- موتور راه نمی افتد و فیوز نیز می سوزد ؛ اتصال کوتاه حلقه های استاتور و در مواردی اتصال بدنه مسبب چنین عیبی است. ۴- موتور زیر بار می ایستد ؛ خرابی زغال ها، اتصال کوتاه حلقه های سیم پیچی، قطع شدن سیم های آرمیچر و اتصال کوتاه حلقه های آن نیز می تواند مسبب چنین عیبی باشد.

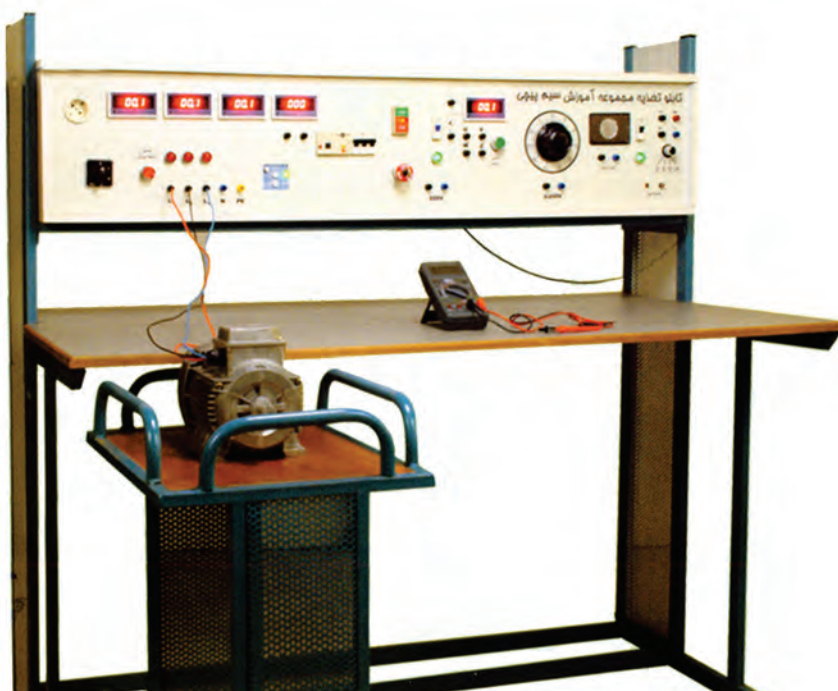
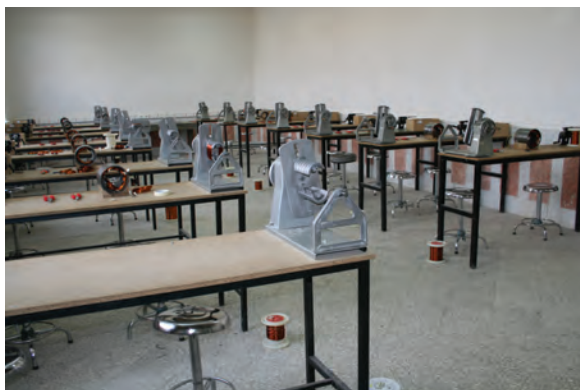
جدول ۱-۹ با توجه به تغییر خصوصیات کار ماشین، عیوب موجود و هم چنین چگونگی تشخیص آن عیوب را نشان می دهد.

جدول ۹-۱

تغییر خصوصیات	نوع عیب	نحوه تشخیص
موتور راه نمی‌افتد	– مدار اصلی یا فرعی در یک نقطه قطع شده است.	– با اهم‌متر باید مسیر جریان را امتحان کرد.
	– اتصال بدنه.	– آزمایش با مگر.
	– اتصال کوتاه تمامی حلقه‌ها.	– با پروف رکس سیم پیچ آزمایش شود.
	– برق به موتور نمی‌رسد.	– سیم‌های رابط آزمایش شوند.
	– رتور گیر کرده است.	– باید رتور را با دست به چپ و راست چرخاند.
	– خازن راه‌اندازی خراب است.	– آزمایش شود.
یکی از فازها یا هر سه فاز جریان بیش‌تر از جریان نامی می‌کشند.	– اتصال بدنه.	– آزمایش با مگر.
	– اتصال کوتاه حلقه‌ها.	– آزمایش با پروف رکس.
	– تغییرات ولتاژ.	– با ولت‌متر ولتاژ اندازه‌گیری شود.
سرعت موتور از حد نرمال کم‌تر است.	– اتصال کوتاه بعضی حلقه‌ها.	– با پروف رکس امتحان شود.
	– تغییرات ولتاژ (کم شدن).	– با ولت‌متر ولتاژ اندازه‌گیری شود.
	– سیم پیچ کمکی در مدار باقی مانده است.	– کلید گریز از مرکز بازدید شود.
موتور بیش از حد نرمال داغ می‌کند.	– اتصال کوتاه حلقه‌ها.	– با پروف رکس امتحان شود.
	– اتصال بدنه.	– با مگر امتحان شود.
	– تغییرات ولتاژ.	– با ولت‌متر ولتاژها اندازه‌گیری شود.



## چیدمان و تابلوی پیشنهادی برای کارگاه:



## منابع و مآخذ

### برای این کتاب

- ۱- محاسبه و سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی (تئوری و عملی) حسین رحمتی‌زاده
- ۲- ماشین‌های الکتریکی جلد اول ترجمه: مهندس گیوی
- ۳- موتورهای الکتریکی ترجمه: دکتر محمد طالقانی
- ۴- سایت‌های اینترنتی مرتبط با موضوع
- ۵- عراقی، علی (۱۳۸۴)، سیم‌پیچی موتورهای سه فاز، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش).
- ۶- عراقی، علی (۱۳۸۴)، بازیچی الکتروموتورها، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش).
- ۷- خدادادی، شهرام (۱۳۸۴)، راه‌اندازی موتورهای سه فاز و تک‌فاز، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش)

### برای مطالعه‌ی بیشتر

- ۱- عراقی، علی و همکاران (۱۳۸۲)، کولرهای آبی، ساختمان، تعمیر و نگهداری، انتشارات کیفیت.
- ۲- عراقی، علی، رحیمیان‌پرور، معیری (۱۳۸۲)، محاسبه و طراحی موتورهای الکتریکی القایی سه فاز، انتشارات کیفیت.
- ۳- عراقی، علی، رحیمیان‌پرور، حیدری محمد (۱۳۸۲)، محاسبه و طراحی موتورهای الکتریکی تک‌فاز، اونیورسال و سیم‌بندی آرمیچر. انتشارات کیفیت.
- ۴- عراقی، علی و همکاران (۱۳۸۲)، محاسبات عملی ترانسفورماتورها و چوک‌ها. انتشارات کیفیت.
- ۵- عراقی، علی (۱۳۸۷)، سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز. شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش).
- ۶- عراقی، علی (۱۳۸۷)، ساخت ترانسفورماتور، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش).
- ۷- مرحوم احمد ریاضی، محاسبات عملی ترانسفورماتورهای کوچک

