بسم الله الرحمن الرحیم

راهنمای هنرآموز

کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی

رشتهٔ الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

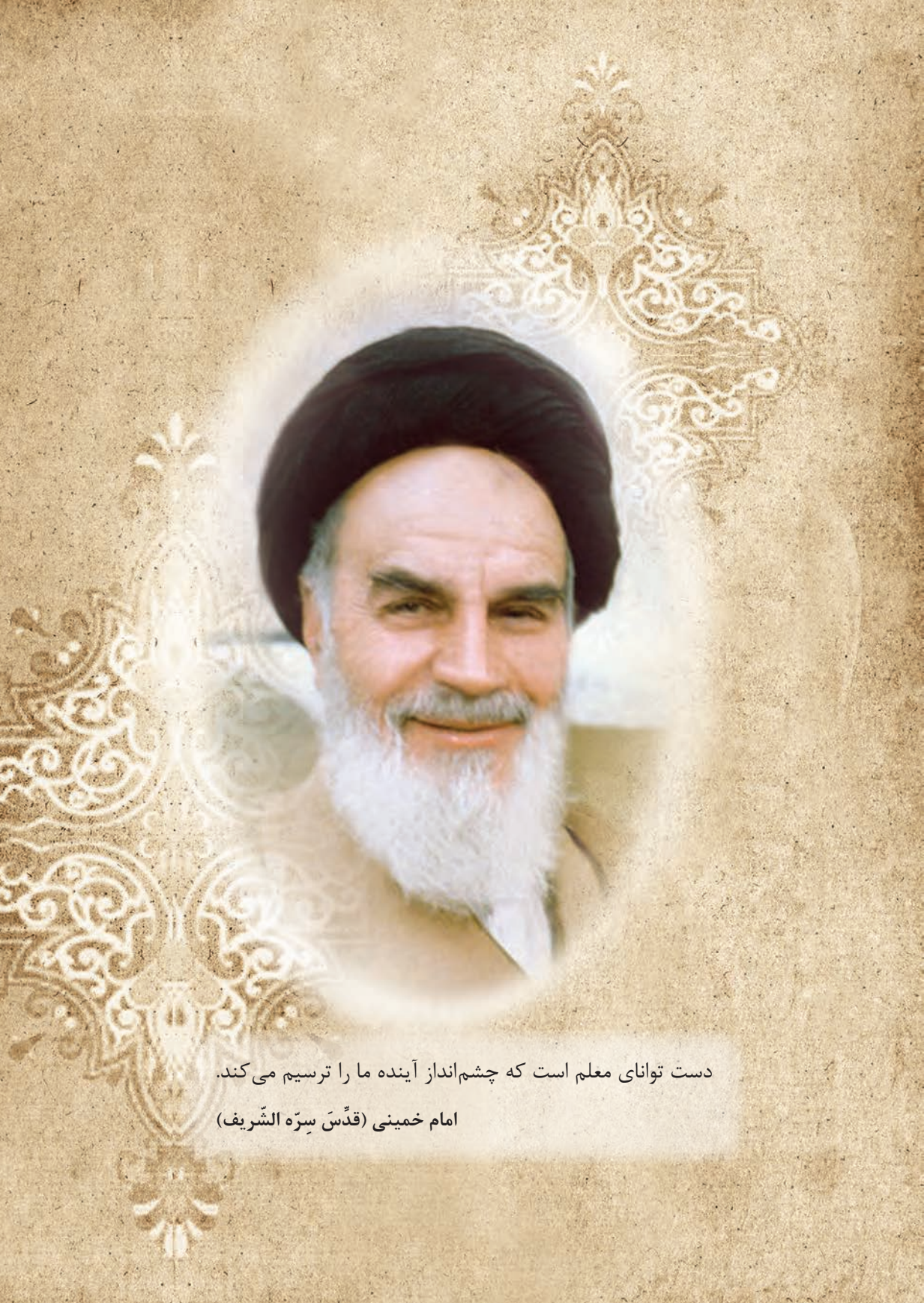
پایهٔ یازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: راهنمای هنرآموز کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ـ ۲۱۱۸۰۷
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: علی‌اکبر مطیع بیرجندی، شهرام خدادادی، امیرحسین ترکمانی، محمدحسن اسلامی، علیرضا حجرگشت، نقی اصغری آقاباقر، مجتبی انصاری‌پور (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
علی عراقی، حمید چراغیان، مجتبی انصاری‌پور (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) ـ مریم وثوقی انباردان (صفحه‌آرا) ـ فاطمه رئیسیان فیروزآباد (رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰
صندوق پستی: ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اول ۱۳۹۷

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

شابک ۶- ۲۹۶۷ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 2967–6**



دست توانای معلم است که چشم‌انداز آینده ما را ترسیم می‌کند.

امام خمینی (قدِّسَ سِرّه الشّریف)

فهرست

فصل اول: کلیات ۱

- ۱ـ۲ـ زمان کل آموزش پودمان‌ها ۳
- ۱ـ۳ـ مسیر یادگیری درس پایهٔ یازدهم ـ کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ۳
- ۱ـ۴ـ استاندارد فضا ۴
- ۱ـ۵ـ شایستگی‌های فنی و غیرفنی ۴
- ۱ـ۶ـ جدول ارتباط افقی ـ عمودی ۵
- ۱ـ۷ـ بودجه‌بندی پیشنهادی سالانه درس کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ۷
- ۱ـ۸ـ طرح درس روزانه ۱۰
- ۱ـ۹ـ نقشه مفهومی کتاب کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ۱۲
- ۱ـ۱۰ـ ارزشیابی شایستگی ۱۳

فصل دوم: بررسی محتوای کتاب درسی ۱۵

منابع ۱۳۲

مقدمه

کتاب راهنمای هنرآموز به‌عنوان یکی از اجزای بسته آموزشی در کنار کتاب درسی، همراه هنرجو و فیلم و نرم‌افزار نقش مهمی در فرایند یاددهی ـ یادگیری خواهد داشت.
کتاب راهنمای هنرآموز کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی به هنرآموزان ارجمند کمک می‌کند تا در تدریس کارگاهی کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی و ارزشیابی این درس تسلط بیشتر داشته باشند و نگاه واحدی را در این درس دنبال نمایند.
این کتاب در دو فصل ارایه شده است. در فصل اوّل، کلیات و روش‌های تدریس شامل مسیر یادگیری درس، شایستگی‌های فنی و غیر فنی، جداول ارتباط افقی ـ عمودی، بودجه‌بندی سالانه، طرح درس روزانه پیشنهادی و در انتها نحوه ارزشیابی آورده شده است.
در فصل دوم کتاب راهنما، بررسی محتوای کتاب درس با هدف دانش‌افزایی بیشتر برای همکاران گرامی و همچنان پاسخ به فعالیت و تمرین‌هایی که در کتاب درسی آمده است، اشاره شده است.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموز

نظام آموزش فنی‌وحرفه‌ای تحولی جدید بر مبنای نیازسنجی انجام شده از بازار کار و مشاغل مرتبط با رشته الکتروتکنیک صورت گرفته است. به‌عبارت دیگر درس‌های آورده شده در دوره سه‌ساله جدید با توجه به نیاز دنیای کار و آینده‌نگری در حوزه شغلی برق انجام شده است. کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی از جمله مهارت‌های اصلی و مهم در رشته الکتروتکنیک بوده و هنرجویان برای اوّلین‌بار با شبکه مصرف‌کننده سه‌فاز آشنا می‌شوند.

به‌همین منظور پودمان اوّل کتاب درسی به این موضوع اشاره دارد. پیشنهاد می‌شود همکاران گرامی در نهایت دقت کارهای عملی این پودمان را تا تحقق شایستگی هنرجویان در این مهارت‌ها دنبال نمایند.

در پودمان کابل‌کشی بخشی از فعالیت کارگاهی به ساخت تبدیل سینی کابل، نصب کابل روی دیوار و مفصل کابل اختصاص دارد که هر کدام از این مهارت‌ها در دنیای کار اهمیّت داشته و آموزش اصولی و فنی آنها بسیار اهمیّت دارد. در این بخش فیلم‌های آموزشی می‌تواند تأثیرگذاری مضاعفی در آموزش داشته باشد.

سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی شامل ترانسفورماتورهای یک‌فاز و الکتروموتورهای سه‌فاز و یک‌فاز نیز با فیلم‌های آموزشی متناسب با هر فعالیت ارایه شده است.

پیشنهاد می‌شود همکاران گرامی در آموزش هر شایستگی از فیلم‌های آموزشی استفاده نمایند. همچنین استفاده از شبیه‌ساز مولتی سیم در تعمیق یادگیری مفاهیم ماشین‌های الکتریکی بسیار مفید خواهد بود.

مؤلفان

فصل اول

کلیات

آشنایی با کتاب درسی

همکاران ارجمند ؛
کتاب‌درسی کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی شامل پنج فصل یا پودمان بوده و در هر فصل دو واحد یادگیری آورده شده است. نحوه انتخاب این واحدهای یادگیری چنان‌که قبلاً درس طراحی و سیم‌کشی برق ساختمان‌های مسکونی بر مبنای نیازسنجی دنیای کار بوده است. ممکن است در نگاه اول در نظر بعضی از همکاران سیستم‌های یو پی اس یا سیستم درهای خودکار همخوانی چندانی با سیستم‌های جریان ضعیف نداشته باشد ولی از آنجایی که اغلب در نقش بار سیستم‌های یو پی اس ظاهر می‌شوند، تأسیسات جریان ضعیف نظیر دوربین مدار بسته، اعلام سرقت، اعلام حریق و سیستم UPS در این دسته‌بندی جای گرفته است. از طرفی درهای خودکار (اتوماتیک) نیز به دلیل استفاده بیشتر در این خانواده و ارتباط آن با سیستم‌های جریان ضعیف در این دسته‌بندی قرار گرفته است.
در کتاب راهنمای هنرآموز کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی سعی شده است تا پاسخ فعالیت‌ها، تحقیق‌ها و مطالبی آورده شود که ممکن است برای هنرجویان علاقه‌مند مورد توجه قرار گیرد. فیلم‌های آموزشی که محتوای کارهای فرایندی را نمایش می‌دهد و کتاب همراه هنرجو دو جزء دیگر بسته آموزشی است.
کتاب راهنمای هنرآموز در دو فصل ارائه شده است. فصل اول شامل کلیات روش‌های تدریس، طرح درس روزانه، بودجه‌بندی سالانه موضوعات مختلف درسی، جدول ارتباط افقی و عمودی کتاب‌های سال یازدهم و ارزشیابی است.
در فصل دوم این کتاب هدف، ارائه فصل به فصل محتوای کتاب‌درسی و پاسخ به فعالیت‌ها به همراه دانش‌افزایی است. البته در این فصل سعی شده است تأکید بیشتر بر محتواهایی باشد که تنوع داشته یا از مشخصات فنی بیشتری برخوردار است.

۱ـ۱ـ زمان تقریبی آموزش پودمان‌ها:

در جدول ۱ زمان تقریبی و پیشنهادی برای بودجه‌بندی تدریس این پنج پودمان ارائه شده است و در ادامه آن نیز مسیر آموزش نتیجه شده از دنیای کار انتخاب شده است.

۲ـ۱ـ زمان کل آموزش پودمان‌ها:

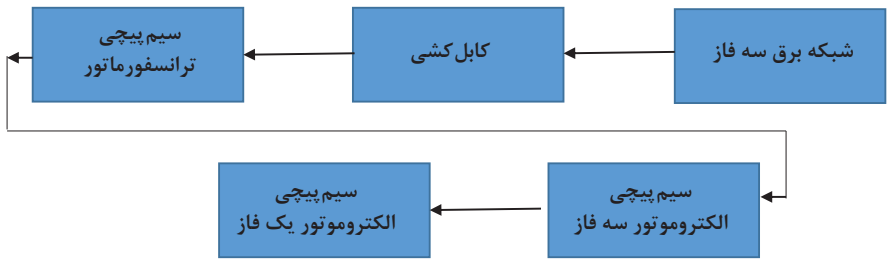
زمان کل آموزش کتاب کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی ۳۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است. این زمان با توجه به محتوی و تناسب زمان آموزش آن بودجه‌بندی و فصل‌بندی شده است (جدول ۱).

جدول ۱ـ پودمان‌های کتاب طراحی و اجرای تأسیسات جریان ضعیف و زمان آن

ردیف	جدول ارائه پودمان	زمان برحسب ساعت
۱	مصرف‌کننده‌های سه فاز	۶۰
۲	کابل‌کشی	۶۰
۳	سیم‌پیچی ترانسفورماتور	۶۰
۴	سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز	۶۰
۵	سیم‌پیچی الکتروموتور تک‌فاز	۶۰
	مجموع	۳۰۰

۳ـ۱ـ مسیر یادگیری درس پایهٔ یازدهم ـ کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی

طبق برنامه‌ریزی و نیازسنجی انجام شده توسط خبرگان دنیای کار، کابل‌کشی و سیم‌پیچی مسیر ارائه شده در شکل ۱ قابل ارائه خواهد بود.



شکل ۱ـ مسیر یادگیری در اسناد نیازسنجی

۴ـ۱ـ استاندارد فضا

این درس به کارگاه مستقل نیاز دارد، اگرچه ماهیت پودمان‌های سه، چهار و پنج با محتوای پودمان اول و دوم متفاوت است ولی با چیدمان مناسب می‌توان فعالیت‌ها و کارهای عملی را در یک کارگاه انجام داد.

■ اجرای این درس نیاز به یک فضای درسی ـ کارگاهی دارد مباحث تئوری در همان محل برای هنرجویان تدریس شده و به دنبال آن کار عملی پودمان‌ها در بخش کارگاهی دنبال می‌شود، و واحد یادگیری سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی بیشترین فضا را دربرمی‌گیرد. مدارهای سه فاز روی تابلوهای مشبک مجهز به کلیدهای کنترلی و حفاظت الکتریکی، انجام می‌شود. کابل‌کشی و فعالیت‌های مربوط به آن در کارگاه مجهز به میز کار و ابزار مکانیک عمومی قابل انجام است.

۵ـ۱ـ شایستگی‌های فنی و غیر فنی

شایستگی به نحوهٔ کار به نحو مطلوب و مطابق استاندارد گفته می‌شود. هر شایستگی از سه جزء، دانش، مهارت و نگرش تشکیل می‌شود. شایستگی‌ها از تقسیم‌بندی کلی، شایستگی‌های فنی حوزه کارهای فنی رشته را در بر می‌گیرد و شایستگی‌های غیرفنی که اهمیت بسیار زیادی دارد تکمیل‌کننده شایستگی‌های فنی و کارآمد شدن فرد در دنیای کار خواهد شد.

۱ـ۵ـ۱ـ شایستگی‌های فنی:

۱ شبکه برق مصرف‌کننده سه فاز
۲ کابل‌کشی
۳ سیم‌پیچی ترانسفورماتور
۴ سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه فاز
۵ سیم‌پیچی الکتروموتورهای یک‌فاز

۲ـ۵ـ۱ـ شایستگی‌های غیرفنی:

۱ **تفکر سیستمی:** درک صحیح از عملکرد الکتروموتورها و ارتباط اجزای سیستم الکترومغناطیسی و مکانیکی آن
۲ **تفکر منطقی:** حل مسئله، استدلال در مورد پدیده‌های مختلف و ارتباط منطقی اجزای سیستم سه فاز و پیدا کردن ارتباط آنها
۳ **مدیریت تجهیزات و مواد:** استفاده بهینه از کابل و سیم لاکی و مواد مصرفی در کارگاه سیم‌پیچی

۴ **مدیریت کیفیت:** ارائه خدمات سیم‌پیچی با هدف جلب و رضایت مشتری
۵ **جمع آوری اطلاعات و مذاکره:** کاربرد فناوری اطلاعات نظیر ترجمه کاتالوگ کلیدها، کابل‌ها و الکتروموتورها و کاربرد نرم‌افزار.
۶ **سواد اطلاعاتی:** سازماندهی اطلاعات، جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات ماشین‌های الکتریکی و کابل‌کشی
۷ **تفکر انتقادی:** سعی در تشخیص عیوب و تحلیل عملکرد ماشین‌های الکتریکی در حالت‌های مختلف و عیوب نصب کابل‌کشی
۸ **مستندسازی:** تهیه گزارش از سیم‌پیچی انواع الکتروموتورها و انواع کابل‌کشی و بارهای مختلف سه فاز
۹ **مسئولیت‌پذیری:** تعهد و وظیفه‌شناسی در انجام کارهای عملی برق سه فاز و سیم‌پیچی الکتروموتورها

۶ـ۱ـ جدول ارتباط افقی ـ عمودی

این جدول نحوه ارتباط محتوای پودمان‌های مختلف کتاب‌های‌درسی پایه یازدهم را نشان می‌دهد. سعی شده است در انتخاب نوع واحدهای یادگیری رعایت پیش‌نیازها انجام شود. کارهایی که انجام آنها در اتاقک و یا سایت رایانه‌ای قابلیت انجام دارند در جدول ۲ با رنگ متفاوت پیشنهاد شده است.

جدول۲ـ ارتباط عمودی ـ افقی دروس کارگاهی پایه یازدهم

	تاریخ	طراحی و نصب سیستم‌های حفاظتی و خانه هوشمند	درس کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی	
I	هفته ۱	نقطه کار مدول PV	راه‌اندازی موتور ۳Ø در اتصال λ با کلید۱ـ۰	I
	هفته ۲	تأثیر زاویه، دما و سایه روی مدول	راه‌اندازی موتور ۳Ø در اتصال Δ با کلید۱ـ۰	
	هفته ۳	اندازه‌گیری پارامترهای مدول	راه‌اندازی موتور ۳Ø با کلید Δـλ	
	هفته ۴	اتصال ناسازگار مدول‌ها	راه‌اندازی موتور ۳Ø با کلید چپگرد راستگرد	
II	هفته ۵	شارژ باطری با مدول ـ کنترل شارژ	اتصال ستاره لامپی متعادل و نامتعادل	II

II	هفته ۶	راه‌اندازی PV منفصل از شبکه	اتصال مثلث لامپی متعادل و نامتعادل
	هفته ۷	قطعه‌شناسی و کاتالوگ‌خوانی	اتصال کلید ولت‌متر تابلویی و چراغ سیگنال
	هفته ۸	نصب نرم‌افزار، واردکردن قطعات	کابلشو زدن به کابل
	هفته ۹	مدار روشنایی با حسگر حرکتی	نصب کابل روی دیوار با بست
	هفته ۱۰	مدار کلید ۴پل در سالن پذیرایی	ساخت سینی کاهشی
III	هفته۱۱	کنترل روشنایی‌هالوژن ـLED	ساخت ساپورت L
	هفته ۱۲	کنترل روشنایی با لوکس متر	مفصل‌زدن کابل
	هفته۱۳	کنترل پریز یخچال در آشپزخانه	کار با کولیس ـ میکرومتر و سیم و ...
	هفته ۱۴	کنترل نشت آب منازل*	ساخت ترانسفورماتور ۱ ورودی ۱ خروجی
	هفته ۱۵	جوش ترمیت انشعابات ۳و۴ راه	ساخت ترانسفورماتور چند خروجی
IV	هفته ۱۶	اتصال‌هادی هم‌بندی مسی به میلگردهای موجود در سازه	ساخت ترانسفورماتور *
	هفته ۱۷	جوشکاری میلگردهای هم‌بندی	خارج کردن سیم‌پیچ سوخته و عایق‌کاری
	هفته ۱۸	وصل شدن به قطعه اتصال	محاسبه‌و دیاگرام موتور ۳Ø ـ (G=۲p)
	هفته ۱۹	نصب صاعقه‌گیر	سیم‌پیچی موتور ۳Ø ـ (G=۲p)
	هفته ۲۰	نصب SPD در تابلو اصلی	محاسبه و دیاگرام موتور۳Ø ـ ۱طبقه به ازای قطب
	هفته ۲۱	اندازه‌گیری شارژ باطری و تست مبدل ولتاژ	سیم‌پیچی موتور۳Ø ـ ۱طبقه به ازای قطب
	هفته ۲۲	اندازه‌گیری مقاومت زمین PV	محاسبه و دیاگرام موتور۳Ø ـ ۲طبقه
V	هفته ۲۳	اندازه‌گیری شارژ باطری و تست مبدل ولتاژ	سیم‌پیچی موتور۳Ø ـ ۲طبقه
	هفته ۲۴	بررسی عملکرد کنترل شارژ	محاسبه و دیاگرام موتورهای طرح دو فاز
	هفته ۲۵	مقدار توان مدول و ظرفیت باتری مورد نیاز و قیمت تمام شده یکPV	سیم‌پیچی موتورهای طرح دوفاز

هفته ۲۶	نقشه‌کشی هم‌بندی با AutoCAD	محاسبه و دیاگرام موتورهای ۱Ø با خازن راه انداز	V
هفته ۲۷	نقشه‌کشی KNX با AutoCAD	سیم‌پیچی موتورهای ۱Ø با خازن راه انداز	
هفته ۲۸	نقشه‌کشی PV با AutoCAD	محاسبه و دیاگرام موتور ۱Ø دو سرعته (کولر)	
هفته ۲۹	انجام پروژه با نرم‌افزار PVsyst	سیم‌پیچی موتور ۱Ø دو سرعته (کولر)	V

* کارهای نیمه تجویزی

۷ـ۱ـ بودجه‌بندی پیشنهادی سالانه درس کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی

بودجه‌بندی سالانه پودمان‌های کتاب کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی با هدف ارائه موضوع هر قسمت مهم واحد یادگیری، اهداف جزء واحد یادگیری و فعالیت تکمیلی آورده شده است.

بودجه‌بندی پیشنهادی سالانه درس کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ ـ بودجه بندی پیشنهادی سالانه درس کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی					
ردیف	ماه	فصل	واحد	موضوع	هدف	فعالیت‌های تکمیلی
۱	مهر	۱	شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز	راه‌اندازی موتور ۳Ø در اتصال λ با کلید۱ـ۰	جریان خط و فاز و مدار سه فاز در حالت ستاره	بررسی جریان راه‌اندازی در حالت ستاره الکتروموتورهای مختلف
۲	مهر	۱	شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز	راه‌اندازی موتور ۳Ø در اتصال Δ با کلید۱ـ۰	جریان خط و فاز مدار سه فاز در حالت ستاره	بررسی جریان راه‌اندازی در حالت مثلث الکتروموتورهای مختلف
۳	مهر	۱	شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز	راه‌اندازی موتور ۳Ø با کلید λ ـ Δ	مدار سه فاز ستاره ـ مثلث	بررسی جریان راه‌اندازی در حالت ستاره ـ مثلث الکتروموتورهای مختلف
۴	مهر	۱	شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز	راه‌اندازی موتور ۳Ø با کلیدچپگرد راستگرد	مدار چپگرد و راستگرد و کلید آن	چپگرد ـ راستگرد انواع الکتروموتور
۵	آبان	۱	شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز	اتصال ستاره لامپی متعادل و نامتعادل	اثر جریان و ولتاژ در بار متعادل و نامتعادل در حالت ستاره	اتصال لامپ‌ها با توان مختلف
۶	آبان	۱	شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز	اتصال مثلث لامپی متعادل و نامتعادل	اثر جریان و ولتاژ در بار متعادل و نامتعادل در حالت مثلث	اتصال لامپ‌ها با توان مختلف
۷	آبان	۱	شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز	اتصال کلید ولت‌متر تابلویی و چراغ سیگنال	نحوه اتصال کلید ولت متری	تست انواع کلید تابلویی ولت‌متر
۸	آبان	۲	کابل‌کشی	کابلشو زدن به کابل	مهارت کابلشو زدن	کاربرد انواع کابلشوی مختلف
۹	آذر	۲	کابل‌کشی	نصب کابل روی دیوار با بست	مهارت نصب کابل روی دیوار	نصب چندین نوع کابل روی دیوار
۱۰	آذر	۲	کابل‌کشی	ساخت سینی کشی	سینی‌کشی کابل	کاربرد چند نوع سینی کابل
۱۱	آذر	۲	کابل‌کشی	ساخت ساپورت L	وظیفه ساپورت (نگه دارنده)	انواع ساپورت
۱۲	آذر	۲	کابل‌کشی	مفصل‌زدن کابل	مفصل‌زدن و مراحل آن	انواع مفصل کابل

۱۳	دی	۳	سیم‌پیچی ترانسفورماتور	کار با کولیس ـ میکرومتر و سیم و...	کار با ابزار اندازه‌گیری قطر سیم	تحلیل رفتار ترانسفورماتور با شبیه ساز
۱۴	دی	۳	سیم‌پیچی ترانسفورماتور	ساخت ترانسفورماتور ۱ ورودی ۱ خروجی	سیم‌پیچی ترانسفورماتور	تحلیل رفتار ترانسفورماتور با شبیه ساز
۱۵	دی	۳	سیم‌پیچی ترانسفورماتور	ساخت ترانسفورماتور چند خروجی	ترانسفورماتور چند سر خروجی	تحلیل رفتار ترانسفورماتور با شبیه ساز
۱۶	دی	۳	سیم‌پیچی ترانسفورماتور	ساخت ترانسفورماتور *	مونتاژ ترانسفورماتور	تحلیل رفتار ترانسفورماتور با شبیه ساز
۱۷	بهمن	۴	سیم‌پیچی موتورهای سه فاز	خارج کردن سیم پیچ سوخته وعایقکاری	آشنایی با کلاف، شیار و انواع سیم لاکی	شناخت انواع سیم لاکی
۱۸	بهمن	۴	سیم‌پیچی موتورهای سه فاز	محاسبه‌و دیاگرام موتور ۳Ø ـ (G=۲p)	محاسبه و ترسیم دیاگرام	بررسی انواع دیگر الکتروموتورها
۱۹	بهمن	۴	سیم‌پیچی موتورهای سه فاز	سیم‌پیچی موتور ۳Ø ـ (G=۲p)	سیم‌پیچی الکتروموتور	بررسی انواع دیگر الکتروموتورها
۲۰	بهمن	۴	سیم‌پیچی موتورهای سه فاز	محاسبه و دیاگرام موتور ۳Ø ـ ۱طبقه به ازای قطب	محاسبه و ترسیم دیاگرام	بررسی انواع دیگر الکتروموتورها
۲۱	اسفند	۴	سیم‌پیچی موتورهای سه فاز	سیم‌پیچی موتور ۳Ø ـ ۱طبقه به ازای قطب	سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز	بررسی انواع دیگر الکتروموتورها
۲۲	اسفند	۴	سیم‌پیچی موتورهای سه فاز	محاسبه‌و دیاگرام موتور ۳Ø ـ ۲طبقه	ترسیم دیاگرام دو طبقه	بررسی انواع دیگر الکتروموتورها
۲۳	اسفند	۴	سیم‌پیچی موتورهای سه فاز	سیم‌پیچی موتور ۳Ø ـ ۲طبقه	سیم‌پیچی الکتروموتور دو طبقه	بررسی انواع دیگر الکتروموتورها
۲۴	اسفند	۵	سیم‌پیچی موتورهای تک فاز	محاسبه و دیاگرام موتورهای طرح دوفاز	موتورهای طرح دو فاز	بررسی انواع دیگر الکتروموتورها
۲۵	فروردین	۵	سیم‌پیچی موتورهای تک فاز	سیم‌پیچی موتورهای طرح دوفاز	سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز	بررسی انواع الکتروموتورهای تک فاز
۲۶	فروردین	۵	سیم‌پیچی موتورهای تک فاز	محاسبه و دیاگرام موتورهای ۱Ø با خازن راه انداز	محاسبه و ترسیم دیاگرام الکتروموتور خازن‌دار	بررسی انواع الکتروموتورهای تک فاز
۲۷	اردیبهشت	۵	سیم‌پیچی موتورهای تک فاز	سیم‌پیچی موتورهای ۱Ø با خازن راه انداز	محاسبه و ترسیم دیاگرام الکتروموتور خازن‌دار	بررسی انواع الکتروموتورهای تک فاز
۲۸	اردیبهشت	۵	سیم‌پیچی موتورهای تک فاز	محاسبه و دیاگرام موتور ۱Ø دو سرعته (کولر)	ترسیم دیاگرام الکتروموتور کولر آبی	بررسی انواع الکتروموتورهای تک فاز
۲۹	اردیبهشت	۵	سیم‌پیچی موتورهای تک فاز	سیم‌پیچی موتور ۱Ø دو سرعته (کولر)	سیم‌پیچی الکتروموتور کولر	بررسی انواع الکتروموتورهای تک فاز

۸ـ۱ـ طرح درس روزانه

طرح درس روزانه یک قالب و چهارچوب کلی برای اجرای موفق یک جلسه آموزش در اختیار هنرآموز قرار می‌دهد. برای نمونه و مثال طرح درس آورده شده در جدول ۴ طرح درس روزانه پیشنهادی برای یک جلسه آموزش شایستگی واحد یادگیری سیم‌پیچی ترانسفورماتور می‌باشد.

جدول ۴ـ نمونه‌ای از یک طرح درس روزانه

طرح درس روزانه/ استان تنظیم:	اداره آموزش و پرورش	هنرستان فنی‌وحرفه‌ای
طرح درس روزانه	اداره آموزش و پرورش	هنرستان فنی‌وحرفه‌ای

نام کتاب: کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی **پایه:** یازدهم **مقطع:** فنی‌وحرفه‌ای متوسطه **رشته:** الکتروتکنیک **صفحات:** **طرح درس شماره:** ۱۲	**موضوع درس:** محاسبه و سیم‌پیچی ترانسفورماتور	**تاریخ:** **مدت زمان کارگاهی:** ۲۴۰ دقیقه **تعداد هنرجویان:** ۱۶ نفر **تعداد صفحات:** ۳

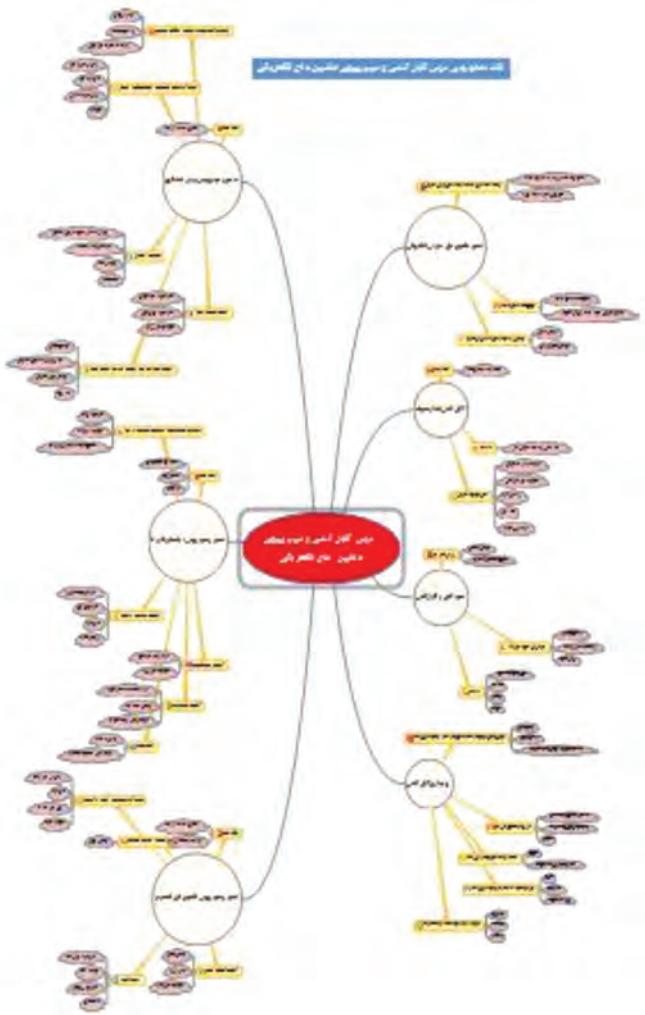
شیوهٔ تدریس: تدریس دو نفره Dual training
استاندارد عملکرد(performance standard):نصب و سیم‌کشی روی تابلوی مشبک بدون داکت و ترمینال‌گذاری تابلویی، سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک فاز، یک ورودی، یک خروجی، ۲۲۰ ولت به ۱۲ ولت طبق محاسبه

اهداف کلی: محاسبه و سیم‌پیچی ترانسفورماتور	
هدف‌های جزئی	■ محاسبه ترانسفورماتور (تعداد دور، قطر سیم) ■ سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور ■ سیم‌پیچی ثانویه ترانسفورماتور ■ لحیم‌کاری، آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور
هدف‌های یادگیری	محاسبه ترانسفورماتور یک فاز را انجام دهد. سر سیم ترانسفورماتور را به سیم خروجی لحیم کند. آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه را انجام دهد.
الگوی نوین در فرایند یاددهی و یادگیری	**آموزش مبتنی بر شایستگی(CBT)**
مقدمه	پس از سلام و احوال پرسی و حضور غیاب درس را شروع می‌کنیم آشنایی با ترانسفورماتور واقعی، ایدئال، افزاینده و کاهنده.
رئوس مطالب	القای متقابل محاسبات ترانسفورماتور سیم‌پیچی ترانسفورماتور

روش اجرا	ابتدا القای متقابل و اصول عملکرد ترانسفورماتور و محاسبات آن و سپس سیم‌پیچی ترانسفورماتور
مواد و وسایل آموزشی	کلاس و کارگاه (فضای آموزشی مناسب برای ۱۶ نفر) تابلو وایت بُرد ویدئو پروژکتورو یا تابلو هوشمند سیم لاکی ـ قرقره ـ قلع ـ لحیم ـ هویه ـ بوبین سیم‌پیچ
فعالیت‌های قبل از تدریس	طراحی و بودجه بندی تدریس آماده‌سازی و سایل ■ آماده‌سازی رسانه‌های آموزشی
ارزشیابی تشخیصی	طرح سؤالات مثل: کاربرد ترانسفورماتور را بیان کند. وظیفه ترانسفورماتور چیست؟
معرفی درس جدید و ایجاد انگیزه	اهمیت ترانسفورماتور در خطوط انتقال، توزیع شبکه برق تاریخچه ابداع ترانسفورماتور و ضرورت آن
فعالیت ضمن تدریس فرایند یاددهی و یادگیری	ارائه مطلب با آثار رسانه‌های تعاملی در مورد مدار مورد نظر ■ نمایش فیلم مستند سیم‌پیچی ترانسفورماتور ■ معرفی انواع ترانسفورماتور با نمایش عکس
ارزشیابی تکوینی	تفاوت ترانسفورماتور ایدئال و واقعی را بیان کنید. مراحل سیم‌پیچی ترانسفورماتور را شرح دهید. آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور را تعریف کنید.
جمع‌بندی و اختتامیه	مروری بر کل مطالب و درخواست از هنرجویان برای تهیه گزارش عملکردی مقایسه نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های الکتریکی حاصل از ترانسفورماتورهای سیم‌پیچی شده.

۹ـ۱ـ نقشه مفهومی کتاب کابل کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی

نقشه مفهومی یک ابزار گویا برای معرفی جزییات محتوای پودمان‌ها و واحدهای یادگیری است. نقشه مفهومی کتاب کابل کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی مطابق شکل ۲ در پنج پودمان و ده واحد یادگیری به معرفی المان‌ها و جزییات محتوای کتاب‌درسی می‌پردازد. برای آشنایی بیشتر با اینفوگرافی و نقشه مفهومی‌مذکور بخشی از این نقشه در شکل ۳ در اندازه بزرگ‌تر نشان داده شده است.



شکل ۲ـ نقشه مفهومی

شکل ۳ـ بخشی از نقشه مفهومی

با کمی‌دقت در نقشه مفهومی‌در می‌یابیم هر یک از پودمان‌ها شامل دو واحد یادگیری بوده و هر یک از واحدهای یادگیری به نسبت عنوان و موضوع واحد یادگیری به جزییات، کارها و ابزار مناسب پرداخته است.

۱۰ـ۱ـ ارزشیابی شایستگی

ارزشیابی شایستگی‌های کتاب کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی یکی از مهم‌ترین قسمت‌های برنامه‌درسی این درس است. توصیه می‌شود برای ارزشیابی کتاب‌درسی کابل‌کشی و سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی مطابق جدول ارزشیابی آورده شده (جدول۴) عمل شود. در این ارزشیابی شرح کار انجام شده، استاندارد عملکرد انجام کار، شایستگی‌های کار شاخص‌ها و شرایط نقش بسیار مهمی دارند. استاندارد عملکرد کار، حدود، شرایط مکان و زمان و نحوه دقیق انجام کار را توصیف می‌کند و شاخص‌های ارزشیابی، شایستگی لازم برای استاندارد کار را ارائه می‌دهد. نحوه نمره‌دهی نیز به سه دسته تقسیم شده است. این سه دسته‌بندی شامل پایین‌تر از حد انتظار، در حد انتظار و بالاتر از حد انتظار می‌باشد. حداقل نمره قبولی هر واحد شایستگی کار ۱۲ نمره است.

در پایان سال تحصیلی به ازای هر پودمان با فرض حد نصاب نمره قبولی (۲ نمره) ده نمره در مجموع و با احتساب نمره مستمر به ازای ۲ نمره، هنرجو با نمره ۱۲ قبول خواهد شد. چنانچه نمرهٔ ایشان در ارزشیابی شایستگی بالاتر از حد انتظار باشد برای هر پودمان ۳ نمره و در مجموع ۱۵ نمره خواهد داشت و در صورت احتساب نمره مستمر این نمره قابلیت قابل ارتقاء تا ۲۰ نمره دارد. به عبارت دیگر هر نمره پودمان با ضریب پنج مدنظر قرار می‌گیرد و برای نمره پودمان با احتساب نمره مستمر به‌عنوان نمره شایستگی آن پودمان لحاظ می‌شود.

تذکر: نمره ایمنی شرط لازم برای احراز شایستگی است.

جدول ۵ــ ارزشیابی شایستگی واحد کار سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز

شرح کار:
شناسایی قطعات ساختمان الکتروموتور
تئوری میدان دوّار
بازکردن الکتروموتور
بازپیچی الکتروموتور
محاسبه و رسم دیاگرام

استاندارد عملکرد: بازپیچی و سیم پیچی الکتروموتور سه فاز در کارگاه سیم پیچی با رعایت موارد ایمنی

شاخص‌ها:
شناسایی قطعات الکتروموتور
آشنایی با میدان دوار
مراحل بازپیچی
رسم دیاگرام

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: فضای مناسب ـ ابزار مناسب ـ مدت زمان متناسب با حجم کار
ابزار و تجهیزات: بوبین پیچ ـ الکتروموتور شیار خالی و سوخته ـ میز تست الکتروموتور ـ لباس کار ـ دستکش

معیار شایستگی:

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	بازپیچی الکتروموتور سه فاز	۲	
۲	رسم دیاگرام و سیم‌پیچی	۲	
۳	بازکردن الکتروموتور	۱	
۴	عایق‌کاری شیارهای الکتروموتور	۱	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کار تیمی مستندسازی ویژگی شخصیتی		۲	
میانگین نمرات			*

فصل ۲

بررسی محتوای کتاب درسی

مقدمه واحد یادگیری چیست: همکار گرامی مقدمه هر واحد یادگیری محل ورود به بحث جدید واحد یادگیری است بنابراین برای ورود به‌این محتوی باید هنرجویان با انگیزهٔ کافی آن را دنبال کنند. مقدمه واحدهای یادگیری با فراهم‌کردن زمینه‌های زیر برای هر واحد یادگیری طراحی شده است.

- دید کلی از محتوی به یادگیرنده ارائه کند.
- ایجاد انگیزه کند و برای یادگیرنده اشتیاق لازم جهت دنبال‌کردن محتوای واحد یادگیری فراهم کند.
- یک سؤال در ذهن یادگیرنده ایجاد کند و در صورت ارائه تاریخچه بتواند ایجاد جرقه در ذهن هنرجویان کند.
- مقدمه سعی دارد چرایی فناوری را در ذهن یادگیرنده تداعی کند.

شبکه برق و مصرف‌کننده‌های سه فاز

هدف: آشنایی با شبکه برق سه فاز، اتصال مصرف‌کننده‌های سه فاز متعادل و نامتعادل و بررسی پارامترهای الکتریکی بارهای سه فاز

مقدمه: در کتاب دانش فنی پایه، هنرجویان با روش‌های تولید انرژی الکتریکی و نیروگاه‌های مختلف آشنا شوند و از طرفی در کتاب‌های قبلی کارگاهی زمینه فعالیت آنها با برق تک فاز است ولی در این درس برای اولین بار هنرجویان با مقوله ولتاژ و جریان سه فاز آشنا می‌شوند. با تفاوت روابط و منحنی‌های حاکم بر مدارهای الکتریکی سه فاز آشنا می‌شوند. تفاوت روابط و منحنی‌های حاکم بر مدارهای الکتریکی سه فاز و تک فاز مثل توان‌ها و ولتاژ و جریان در این درس باید تشریح شود.
یکی از نکات بسیار مهم در اجرای کارهای عملی مربوط به این پودمان، ایمنی برق کارگاهی است. توصیه می‌شود هنرآموزان محترم حتماً تمام نکات ایمنی تابلوی آزمایش و تابلوی اصلی مربوط به مدارهای عملی را بررسی کرده و از صحت عملکرد آنها اطمینان حاصل کنند.

۱ـ۱مقایسه برق سه فاز و تک فاز:

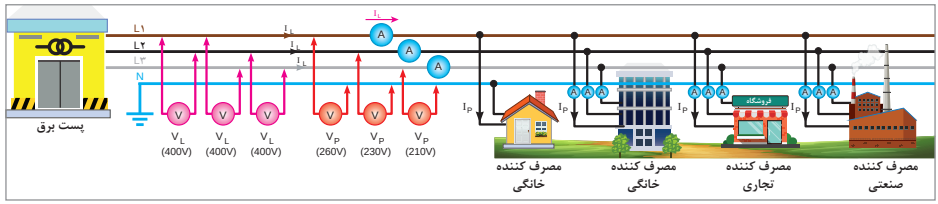
برای پی‌بردن هنرجویان به اهمیت برق سه فاز اشاره به موارد ذیل ضروری است:
۱ مزیت برق سه فاز نسبت به تک فاز
۲ ترسیم منحنی سه فاز از روی منحنی سینوسی تک فاز
۳ یکسو کردن منحنی سه فاز و تک فاز

الف)انتقال انرژی الکتریکی

انرژی الکتریکی به صورت سه فاز در نیروگاه‌ها در محدوده ۱۵ Kv تولید می‌شود و توسط ترانسفورماتور افزاینده به ولتاژی معادل ۲۳۰ Kv در هر فاز افزایش می‌یابد. این افزایش ولتاژ به‌طور طبیعی در ترانسفورماتور، کاهش جریان خروجی نیروگاه، کاهش تلفات خط انتقال و کاهش سطح مقطع خط انتقال را به‌همراه خواهد داشت.
در این قسمت می‌توان انواع دکل‌های خطوط انتقال را معرفی کرد. ولتاژ خط انتقال از روی تعداد مقره‌های زنجیره مقره قابل تشخیص است، برای این منظور می‌توان از فیلم راهنمای هنرآموز استفاده کرد.

ب) توزیع انرژی الکتریکی

در این قسمت توالی خطوط هوایی توزیع برق معرفی شده است. نام سیم و رنگ و علامت اختصاری مطابق استاندارد IEC آورده شده است. در کنار این موضوع می‌توان از کابل‌های خود نگهدار که در پودمان بعد نیز آورده شده به عنوان جایگزین خطوط هوایی صحبت کرد. شکل ۱ که در صفحه ۱۱ کتاب‌درسی آمده برای بیان تفاوت ولتاژ خط و فاز بسیار آموزنده و مفید است.

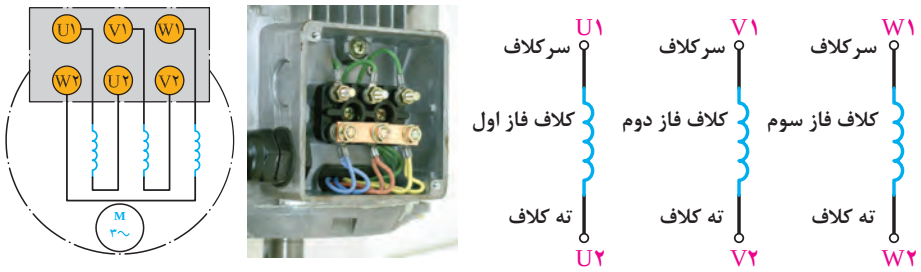


شکل ۱ــ ولتاژ وجریان خط و فاز و مصرف‌کننده سه فاز وتک‌فاز

۲ــ۱ــ الکتروموتورهای الکتریکی سه فاز

در این بخش ابتدا معرفی کلاف‌های سیم‌پیچی الکتروموتور و نام ترمینال‌ها در تخته کلم یا جعبه ترمینال مورد توجه است.

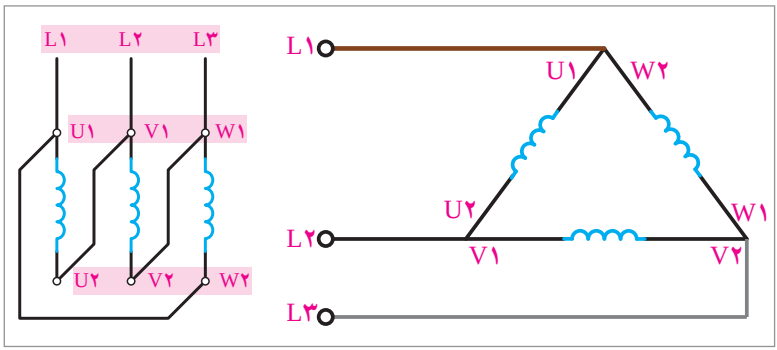
در شمای فنی، الکتروموتور با یک دایره نشان داده می‌شود. شکل ۲ که با شماره ۲۱ در کتاب‌درسی آمده است نمونه خوبی برای نشان‌دادن کلاف‌های سه گانه داخل الکتروموتور و ترمینال‌های تخته کلم است.



شکل ۲ــ اتصال مثلث کلاف الکتروموتورسه فاز

۱ـ۲ـ۱ـ اتصال ستاره و مثلث

در هر دو حالت اتصال الکتروموتور به شبکه سه فاز خطوط فاز L۱, L۲, L۳ به سر کلاف‌های V۱,W۱,U۱ متصل می‌شود، منتهی برای حالت ستاره سر کلاف‌های W۲,V۲,U۲به یکدیگر متصل می‌شود. لیکن در حالت مثلث سر هر کلاف به انتهای کلاف مجاور متصل می‌شود. در این حالت U۱ به W۲، V۱ به U۲ و W۱ به V۲ متصل می‌شود (شکل۳).



شکل ۳ـ نحوه اتصال مثلث

در کتاب‌های قدیمی و استانداردهای دیگر به جای سه فاز L۱,L۲,L۳ از حروف R,S,T استفاده می‌شود. در این کتاب مبنای شناخت فازها L۱,L۲,L۳ است. یکی از نقاط چالشی و بعضاً ابهام برانگیز برای هنرجویان اتصال تسمه‌های فلزی مسی در دو حالت ستاره و مثلث داخل تخته کلم است.

حتماً ذکر این نکته اهمیت دارد که برای اتصال حالت مثلث به دلیل عدم اتصال تسمه‌های مسی باید سر و ته کلاف‌ها از داخل موتور به ترمینال‌ها جابه‌جا شود تا اتصال مثلث راحت قابل اجرا باشد.

۳ـ۱ـ راه‌اندازی الکتروموتور با کلیدهای سه فاز

در این قسمت ابتدا طبق تقسیم‌بندی شمای فنی کلیدها در شکل ۲۷ تقسیم‌بندی کلی از کلیدها و وظیفهٔ آنها ارائه شده و معمولاً با کلید صفر و یک این مصرف آغاز می‌شود.

شمای حقیقی کلید صفر و یک در حالت صفر (۰) بدون هیچ نشانه و در حالت یک (I) با علامت ضربدر (×) مشخص شده است. این علامت اتصال دو ترمینال متناظر با خانه مدنظر را نشان می‌دهد.

۴ـ۱ـ کاربرد مولتی مترهای دیجیتالی:

مولتی مترهای تابلویی به دو دسته آنالوگ (عقربه‌ای) و دیجیتال (عددی) تقسیم می‌شوند.
آمپرمترها و ولت مترهای آنالوگ امروز جای خود را به دلایلی از جمله دقت بیشتر، زیبایی و جانمایی بهتر و خوانش مقادیر اندازه‌گیری شده به دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال داده‌اند (شکل۴).

شکل۴ـ مولتی متر تابلویی آنالوگ و دیجیتال

از طرفی با یک مولتی متر دیجیتال می‌توان پارامترهای بیشتری را اندازه‌گیری کرد. به‌عنوان مثال با یک مولتی‌متر دیجیتال سه فاز می‌توان پارامترهای ولتاژ خط و فاز، جریان‌های مصرفی هر سه فاز و نمایش فرکانس را اندازه‌گیری کرد. بعضی از این مولتی مترها حتی قابلیت اندازه‌گیری ولتاژ در حالت عادی و True RMS را نیز دارا هستند (شکل۵).دقت اندازه‌گیری مقادیر مؤثر شکل موج مربعی با مولتی‌مترهای معمولی خیلی ضعیف است. به همین منظور خروجی اینورترها و یو پی اس‌ها را با مولتی‌مترهای True RMS اندازه‌گیری می‌کنند.

شکل۵ـ مولتی متر تابلویی True RMS

همکاران ارجمند، در کتاب‌درسی تأکید شده است که برای اندازه‌گیری ولتاژها و جریان‌های خطی از وسایل اندازه‌گیری مجتمع استفاده شود که در اصطلاح به آنها سوپر ولت متر یا آمپرمتر گفته می‌شود، ولی برای مقادیر فازی ولتاژ و جریان از ولت متر یا آمپرمتر تکی استفاده شود (شکل۶).

شکل۶ـ سوپر ولت مترـ آمپرمتر دیجیتال و ولت متر تکی دیجیتال

کار عملی شماره ۱

۵ـ۱ـ راه‌اندازی موتور سه فاز در اتصال ستاره با کلید قطع و وصل (صفرـ یک)

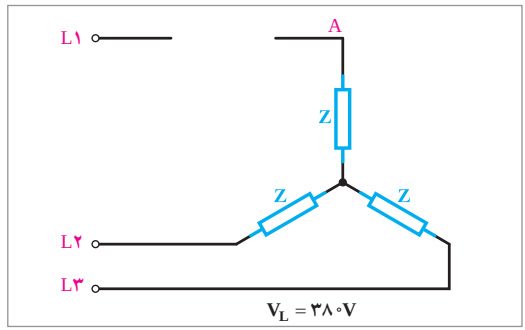
بهتر است در این کار عملی برای اندازه‌گیری جریان‌های فاز A۳,A۲,A۱ از آمپرمتر دیجیتال تکی و برای اندازه‌گیری Vp۱,Vp۲,Vp۳ از ولت متر دیجیتال تکی استفاده شود.
پس از اتمام سیم‌کشی با رعایت نکات ایمنی مقادیر ولتاژ و جریان فازی و خطی اندازه‌گیری و در جدول شماره یک ثبت شود.

الف) حالت نرمال

اگر سیم‌پیچی‌های الکتروموتور متعادل و دارای امپدانس داخلی برابر باشد طبیعی است که مقادیر جریان‌ها برابر بوده و جریان سیم نول صفر خواهد بود.

ب) حالت قطع یک فاز

اگر یک فاز قطع شود، جریان فاز مربوط صفر و جریان دو فاز دیگر تغییر خواهد کرد چون الکتروموتور در حالت ستاره است. دو گروه سیم پیچ الکتروموتور بین دو فاز با یکدیگر سری شده و دو سر هر سیم پیچ در حدود ۱۸۰ تا ۲۰۰ ولت قرار می‌گیرد. این در حالی است که در حالت عدم قطع سیم نول ولتاژ خط ۳۸۰ تا ۴۰۰ ولت و ولتاژ فاز برابر ۲۳۰ ولت خواهد بود (شکل۷).



شکل۷ـ مدار معادل قطع یک فاز در حالت ستاره

۶ـ۱ـ اتصال مثلث سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز:

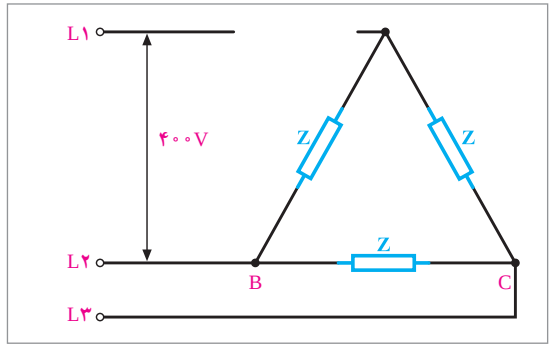
راه‌اندازی الکتروموتور در این حالت با کلید صفر ـ یک شبیه حالت ستاره است. فقط سربندی در تخته کلم (جعبه ترمینال) تغییر کرده است.

الف) حالت نرمال

در این حالت مقادیر جریان خط از حالت ستاره بیشتر خواهد بود.

ب) حالت قطع تک فاز

چنانچه در حالت مثلث یک فاز قطع شود، دو گروه کلاف الکتروموتور با یکدیگر سری شده و امپدانس حاصل از این دو کلاف متوالی با یک گروه کلاف دیگر الکتروموتور موازی می‌شود (شکل۸).



شکل۸ـ مدار معادل قطع یک فاز در حالت مثلث

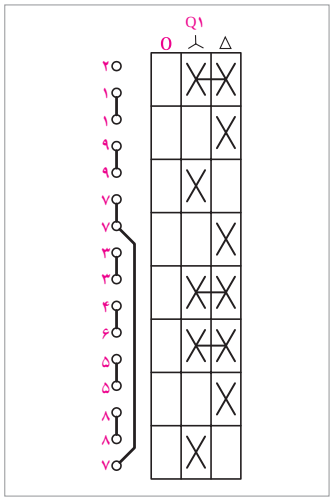
در این وضعیت یک گروه کلاف ولتاژ خط و فاز برابر ۴۰۰ ولت (یا ۳۸۰ ولت) داشته ولی دو کلاف متوالی شده نصف ولتاژ خط تحت ولتاژی برابر ۲۰۰ ولت (یا ۱۸۰ ولت) قرار خواهند گرفت. جریان‌های فاز قطعاً با یکدیگر برابر نیست.

یادآوری: دو فاز شدن الکتروموتور سه فاز می‌تواند منجر به آسیب رسیدن به سیم پیچ الکتروموتور شود. برای جلوگیری از این آسیب رسیدن به الکتروموتور از دستگاه کنترل فاز استفاده می‌شود (شکل۹).

شکل۹ـ دستگاه کنترل فاز

۷ـ۱ـ کلید ستاره ـ مثلث

همکاران گرامی، یکی از نوآوری‌ها، آموزش کلیدهای مدار سه فاز در این قسمت تحلیل اتصالات مسیر برق و مصرف‌کننده توسط کلید است. تشخیص عملکرد اتصال که توسط علامت ضربدر(×) مشخص می‌شود در اتصالات کلید هدف اصلی در این بخش است. به‌عنوان مثال بعضی از اتصالات با عوض‌کردن کلید از حالت ستاره به مثلث یا بالعکس تغییر نمی‌کند. این حالت‌ها با علامت ×ـ× مشخص می‌شود (شکل۱۰).



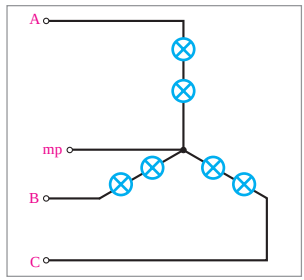
شکل۱۰ـ حالت‌های ثابت اتصال با تغییر وضعیت کلید

۸ـ۱ـ بررسی مفاهیم بارهای متعادل و نامتعادل در مصرف کننده‌های سه فاز

بار متعادل سه فاز باری است که در هر فاز از نظر مقدار و فاز (زاویه) با بقیه فازها برابر باشد. اگر یکی از این مقادیر با دیگری برابر نباشد اصطلاحاً بار نامتعادل خواهد بود.
همکاران گرامی، هنرجویان تا این مقطع در دروس سال دهم و یازدهم با مبحث امپدانس (z) آشنایی لازم را ندارند. بنابراین در معرفی بارهای ترکیبی متعادل R ـ L یا R ـ C با ترسیم شکل و نشان دادن مقادیر مقاومت، سلف و خازن می‌توان بدون کاربرد روابط مفاهیم را منتقل کرد.
برابر نبودن جریان‌های فازی در اتصال ستاره در حالت بار نامتعادل سیم نول را جریان‌دار کرده و مقدار I_N مخالف صفر خواهد شد. تفهیم این نکته در اتصال ستاره بسیار اهمیت دارد.

۱ـ۸ـ۱ـ مدار لامپی با اتصال ستاره متعادل

اگر چه حالت ستاره از ۳ لامپ نیز می‌توان استفاده کرد برای مقایسه حالت ستاره و مثلث در کل حالت‌ها از ۲ لامپ متوالی شده در هر فاز استفاده می‌شود و در مجموع ۶ لامپ به‌کار می‌رود. در این حالت به‌دلیل تقارن و تعادل بارها جریان نول صفر است (شکل ۱۱).



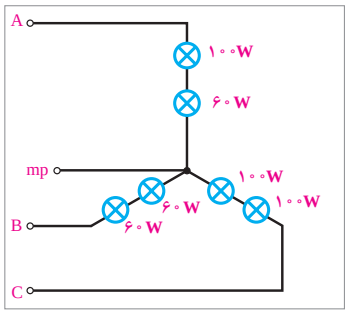
شکل ۱۱ـ بار ستاره متعادل

۲ـ۸ـ۱ـ مدار لامپی با اتصال ستاره و قطع یکفاز

در این حالت تعداد لامپ‌ها برابر ۶ عدد و در هر شاخه (فاز) از دو لامپ سری هم می‌توان استفاده نمود. در کتاب توان‌های ۶۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ ولت پیشنهاد شده است. طبیعی است به‌دلیل اختلاف توان در هر شاخه جریان‌های خط برابر نبوده و سیستم نول جریان صفر نخواهد داشت. شرایط قطع یک فاز و قطع یک لامپ مانند حالت متعادل قابل تحلیل و بررسی است.

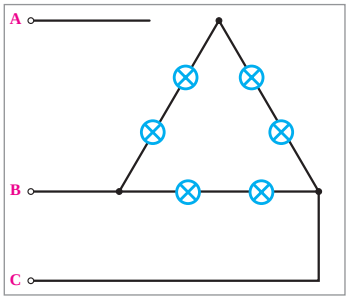
۳ـ۸ـ۱ـ اتصال مثلث

اتصال مثلث نیز مانند اتصال ستاره در دو حالت متعادل و نامتعادل قابل تحلیل و بررسی است. در این حالت نیز از ۶ لامپ سری هم‌توان برای حالت مثلث و ستاره و همین تعداد با توان‌های متفاوت برای حالت بار نامتعادل بهره بگیرید (شکل ۱۲).



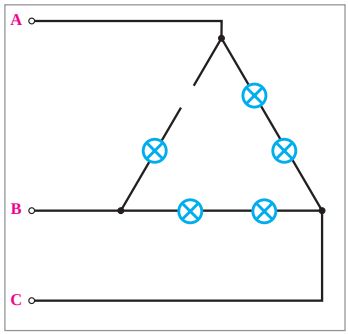
شکل ۱۲ـ بار ستاره نامتعادل

الف)اتصال مثلث متعادل: در این حالت دو سر هر لامپ ۱۰۰W ولتاژی معادل نصف ولتاژ خط حدود ۱۸۰ ولت قرار می‌گیرد. چنانچه یکی از فازها قطع شود ۴ لامپ با یکدیگر متوالی شده و حاصل آنها با دو لامپ شاخه دیگر موازی خواهد شد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳ـ قطع یکفاز در حالت مثلث متعادل

بنابراین در این حالت جریان و ولتاژ شاخه بین دو فاز ثابت ولی جریان و ولتاژ دو سر دو شاخه سری شده و تغییر می‌کند و ولتاژی در حدود ۹۵ ولت در سر لامپ‌های سری شده قرار می‌گیرد. چنانچه یکی از لامپ‌ها از مدار خارج شود یا بسوزد جریان آن شاخه صفر شده و بقیه لامپ جریان و ولتاژ قبلی را خواهد داشت (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ـ قطع یک لامپ در حالت مثلث متعادل

ب)اتصال مثلث نامتعادل: در این حالت از ۶ لامپ با توان‌های متفاوت در شاخه‌های مثلث استفاده می‌شود.
اثر قطع یک‌فاز و خارج‌کردن یک لامپ از مدار با توجه به تفاوت توان لامپ‌ها ولی مشابه با حالت متعادل قابل تحلیل و بررسی است.

۹ـ۱مدارات سه فاز با استفاده از لامپ رشته ای

برای رسیدن به این گونه مفاهیم استفاده از مدارهای لامپی بسیار تسهیل‌کننده خواهد بود. در این اتصالات لامپی (ستاره و مثلث) علاوه بر مقادیر اندازه‌گیری شده نور لامپ نیز به قضاوت و تحلیل هنرجویان در مورد رفتار مدار بسیار کمک می‌کند. معمولاً برای این منظور در حالت ستاره از ۳ لامپ ۱۰۰W رشته‌ای معمولی و برای حالت مثلث به دلیل ولتاژ خط و فاز ۳۸۰ ولت از دو لامپ ۱۰۰W رشته‌ای با اتصال متوالی (سری) استفاده می‌شود.در کتاب درسی برای مطالعه وضعیت لامپ‌ها، در هر دو حالت ستاره و مثلث از دو لامپ سری شده رشته‌ای در هر فاز بهره گرفته شده است.

کابل کشی

پاسخ به فعالیت

۱ **خطوط هوایی کابل چند سیمه با کابل خودنگهدار چه تفاوتی دارد؟** در سال‌های اخیر به‌دلیل قیمت بالای مس متأسفانه سرقت سیم‌های شبکه‌های هوایی زیاد شده و برای جلوگیری از این مشکل، راه حل جدیدی را طلب می‌کند. ضمن اینکه انشعابات غیر مجاز نیز مزید بر علت شده است.

شکل۱ــ کابل خود نگهدار

در محلات قدیمی شهرها، مناطق پر درخت و به‌طور کلی مسیرها و معابر کم عرض، احداث شبکه هوایی چند سیمه با سیم لخت برای تأمین برق مطمئن و سرویس‌دهی منظم و کم‌خطر را با مشکل مواجه می‌سازد که در این حالت استفاده از کابل‌های روکش‌دار (خودنگهدار) راه حل مناسبی می‌باشد (شکل ۱).

البته تلفات در کابل‌های خودنگهدار بیشتر است. این تلفات نسبت به مزایای دیگر کابل‌های خودنگهدار چندان مهم تلقی نمی‌شود.

روکش کابل‌های خودنگهدار به دلیل قرارگرفتن طولانی مدت در آفتاب و سرمای فصول سال ترک برداشته و در بارندگی آسیب‌پذیر می‌شود که میزان خاموشی در این حالت بیشتر می‌شود. اتصال شبکه و سیم مسی به کابل خود نگهدار و آلومینیوم که دو فلز غیر همنام می‌باشند باعث خوردگی شده و در مدت زمان طولانی باعث ایجاد جرقه و قطعی شبکه می‌شود.

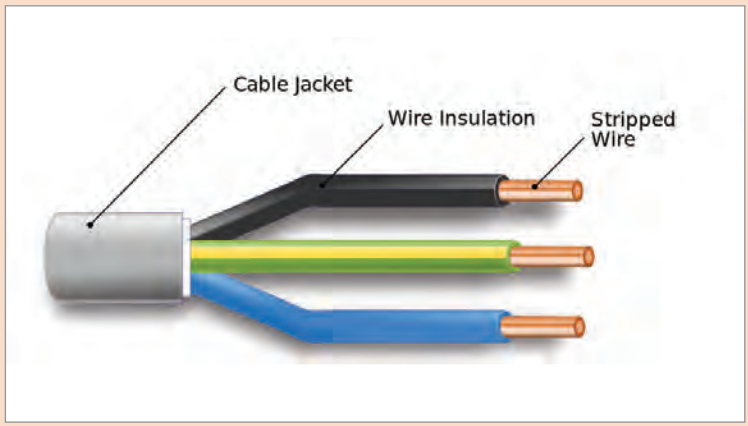
۲ **اتصال نشان داده شده در شکل ۵ چه کاربردی دارد؟** اتصال نشان داده شده در شکل ۱یک بست مهار کابل می‌باشد که معمولاً در هنگام ورود کابل به ساختمان از تیرهای هوایی جهت مهار و جلوگیری از آسیب دیدن کابل مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل۲).

شکل۲ـ بست و مهار کابل منشعب از تیر هوایی

۳ **چه عاملی مانع خوردگی درکابلشو بی متال می‌شود؟** این کابلشو توسط تکنولوژی friction welding ساخته می‌شود. در یک نوع کابلشو با رفع مشکل اتصال دوفلزناهمگون با مشکل خوردگی الکتریکی رفع شده است (جوشکاری اصطکاکی).
به طورکلی دو نوع کابلشوی الکتریکی رایج است که در نوع DTL_۱ فصل مشترک مس ـ آلومینیوم در بخش کف‌های کابلشو قرار گرفته در حالیکه در نوع DTL_۲ این بخش در قسمت لوله‌های کابلشو است، نتایج حاصل از آزمون پیر شدگی الکتریکی نشان می‌دهد در حالی که در ابتدای نصب دو نوع کابلشو مقاومت اتصال و مقاومت کلی تقریباً یکسان است ولی پایداری الکتریکی کابلشوی نوع اول مناسب نیست. در کابلشوی نوع اول، برای جبران تفاوت هدایت الکتریکی مساحت بخش کفه‌ای کابلشو افزایش داده شده با این حال پایداری مقاومت کابلشوی نوع اول قابل قبول نیست.
فصل مشترک مس ـ آلومینیوم در کابلشوی نوع اول به‌دلیل مسایلی از قبیل حضور عیوب ناشی از خروج و پیچیدگی فصل مشترک، استعداد بالاتری برای تشکیل فازهای بین فلزی دارد و بیشترین دمای کابلشو نوع اول در نزدیکی فصل مشترک مس ـ آلومینیوم است درحالی‌که در نوع دوم این‌طور نیست، در نوع اول پس از نصب

بین بخش آلومینیم کابلشو و شین مسی اتصال و ارتباط برقرار می‌شود که این امر مغایر با اهداف کاربرد دو فلزی می‌باشد و خود باعث بروز مشکلات خوردگی گالوانیک خواهد شد. پایداری اتصال در کابلشو نوع دوم بسیار بیشتر از نوع اول است.

۴ **اجزای نشان داده شده کابل را شرح دهید؟** غلاف کابل (ژاکت کابل) ـ عایق سیم ـ هادی سیم



شکل ۳ـ اجزای کابل

۵ **در مورد کابل‌کشی دیده شده در شکل ۲۰ بحث کنید؟** در مورد فاصلهٔ بست‌ها ـ در مورد زاویهٔ خمش کابل‌ها ـ در مورد فاصله کابل‌ها

۶ **اگر R شعاع خمش و D قطر کابل باشد مقدار شعاع خمش چند برابر قطر کابل است؟**

کابل با عایق پلاستیکی $\frac{V_0}{V} \leq 0,6/1$ $R=15\times d$

کابل چند رشته‌ای $R=15\times d$

کابل تک رشته‌ای $R=15\times d$

کیلو ولت $\frac{V_0}{V} > 0,6/1$ $R=15\times d$

۷ **تنش فشردگی در صورت خمش نامناسب چه پیامدی برای کابل دارد؟** هرگونه گره‌خوردگی در کابل می‌تواند رسانای سیم و کابل را تحت تأثیر قرار دهد چرا که باعث گرما می‌شود به‌طور کلی سیم و کابل انعطاف‌پذیر برای تنش پیچشی طراحی نشده‌اند و در سمت فشردگی باعث جمع شدن غلاف کابل می‌شود که این امر در درازمدت سبب از بین رفتن غلاف کابل می‌شود.

۸ **کابل کشی نشان داده شده در شکل چه ایرادی دارد؟** شعاع خمش کابل رعایت نشده است.

۹ **آیا نصب کابل مطابق شکل ۴۰ مجاز است؟** بله مجاز است در مواقعی که کابل حامل سیگنال‌های آنالوگ باشد برای خارج شدن کابل از محدوده میدان مغناطیسی کابل‌های قدرت در صورتی که احتمال آسیب دیدن مکانیکی وجود نداشته باشد مجاز می‌باشد.

شکل ۴ـ نصب خاص کابل

۱۰ **در سینی کابل یکپارچه برای جلوگیری از تجمیع رطوبت و عرق‌کردن کابل چه پیشنهادی دارید؟** اگر استفاده از سینی کابل به‌منظور محافظت از تداخل امواج الکترومغناطیسی و رادیویی نباشد، مشکل انباشت رطوبت را می‌توان با حفر سوراخ‌های ۱/۴ اینچی یا حداقل یک متری در کف سینی کابل برای خروج رطوبت مرتفع نمود.

۱۱ **چه مهارت‌های کابل کشی در شکل ۵۶ به‌کار گرفته شده است؟** رعایت فاصله بین بست‌ها، رعایت زاویه خمش ،رعایت فاصله مابین کابل‌ها، استفاده از سینی کابل.

۱۲ **برچسب شکل ۶۵ چه نکاتی در مورد نردبان کابل هشدار می‌دهد؟** نردبان و ساپورت فقط برای تحمل وزن کابل طراحی شده‌اند و نباید از آنها به‌عنوان مسیر عبور و مرور استفاده کرد.

۱۳ **کدام شرکت در داخل یا خارج از کشور مشغول به تولید سینی کابل، نردبان کابل و متعلقات کابل است؟ کاتالوگ‌های آن را دانلود کنید و در کلاس بحث کنید؟** شرکت توان گستر بهین، سپکو، سینی کابل کبیر، Eaton

۱۴ **کاتالوگ شکل ۵ مربوط به یک مفصل است در مورد آن تحقیق کنید؟**

۱ـ نوع مفصل اتصال دوراهی سر به سر نوع IZ۳

۲ـ با کاست رزینی نوع EG

۳ـ تا سطح مقطع ۱۶+۳۵×۳ میلی‌متر مربع

۴ـ V۰ ولتاژ اسمی میان‌هادی و زمین،V ولتاژ اسمی میان‌هادی‌ها

۵ـ ساخته شده از بهترین مواد از کشور آلمان

شکل۵ـ کاتالوگ مفصل

۱۵ **در مورد انواع دیگر مفصل و اینکه برای چه نوع کابلی مناسب هستند تحقیق کنید؟**

مفصل حرارتی برای اتصال دو کابل شامل GLS_GLM_GLC_GLT مفصل کانکس برای کابل‌های تا ۳۶Kv که عبارت‌اند از روش مستقیم و انشعابی مفصل نواری برای کابل‌های با عایق XLP، EPR PE دارای لایه‌های نیمه‌هادی باشد، با

سیم یا نور مسی که شامل نواری۶۳Kv و نواری رزینی مسی یا آلومینیوم آرمودار و بدون آرمو سرب‌دار و بدون سرب قابل استفاده است.
مفصل سرد: مفصل‌های کلاً شرینک برای ولتاژهای متوسط جهت کابل‌های تک‌هسته و سه‌هسته با عایق XLPE و EPR و هادی مسی و آلومینیومی طراحی شده‌اند.
مفصل‌های فشاری برای ولتاژ بالا: با استفاده از تکنولوژی ELIPON که شامل مفصل فشاری MSA (یک جزیی) و msa (سه جزیی) تمام قسمت‌های از لاستیک سیلیکون با گرید بالا و هسته کنترل‌کننده و میدان الکتریکی که مخروطی شکل هستند در داخل روکش‌ها جاسازی شده‌اند.

سیم‌پیچی ترانسفورماتورها

مقدمه: در تدوین این قسمت کتاب راهنمای هنرآموز نیز سعی شده است مطالب محتوای پودمان در سطح وسیع‌تر تجزیه و تحلیل شود. با استفاده از نرم‌افزارهای موجود، با نمایش مجازی خواسته‌های پودمان‌های مربوطه دنبال شود. پاسخ تمرینات و فعالیت‌ها داده شود تا آموزش یکنواخت حاصل شود. در صورت دسترسی همکاران به نرم‌افزارهایی که آموزش مطالب پودمان را ساده‌تر بیان می‌کنند، خواهشمند است آنها را در اختیار گروه تألیف دفتر قرار دهند تا در چاپ سپاری‌های بعد به همکاران معرفی شود.

۱ـ۳ مبدل‌های صنعتی

مبدل‌های صنعتی را می‌توان به دو گروه دسته‌بندی کرد:
الف) ترانسفورماتورها
ب) ترانسدیوسرها

۱ـ۱ـ۳ ترانسفورماتورها: ترانسفورماتورها در نوع انرژی ورودی و خروجی تغییر ایجاد نمی‌کنند و برای اهداف خاص ابعاد انرژی را تغییر می‌دهند مثلاً درترانسفورماتورهای الکتریکی، با تغییر تعداد دورسیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه، می‌توان در اندازه جریان، اندازه ولتاژ، اندازه اختلاف فاز ولتاژ ورودی و خروجی، تغییرات موردنظر را ایجاد نمود. در ترانسفورماتورهای مکانیکی در مجموعه گیربکس می‌توان گشتاور دور را با توجه به محیط چرخ‌دنده‌ها تغییر داد. در سر بالایی با دنده سنگین دورکاهش یافته، گشتاور زیاد می‌شود و در سرپایینی با دنده سبک دور زیاد شده، گشتاور کاهش می‌یابد بدون آنکه نوع انرژی در ورودی و خروجی گیربکس تغییر کند.

۲ـ۱ـ۳ ترانسدیوسرها: ترانسدیوسرها مبدل‌هایی هستند، که نوع انرژی را تغییر می‌دهند مثلاً ژنراتورها انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند یا موتورهای الکتریکی انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. توربین‌ها انرژی حرارتی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند و لامپ‌ها انرژی الکتریکی را به انرژی نورانی تبدیل می‌کنند.
برای رسیدن به اهداف موردنظر در ساختن ترانسفورماتورها، از طراحی‌های متنوع استفاده می‌شود. در ساختن ترانسفورماتورهای جوشکاری، به علت دسترسی به

ولتاژ کم در هنگام جوشکاری، از تکنیک افزایش پراکندگی استفاده می‌شود و برای این منظور اولیه و ثانویه را جداگانه در بازوی‌ها قرار می‌دهند و برعکس در ترانسفورماتورهای توزیع برای کاهش تلفات پراکندگی سیم پیچ اولیه و ثانویه را روی‌هم در بازوی وسط قرار می‌دهند. در ترانسفورهای صنعتی از القای متقابل استفاده می‌شود تا هسته اشباع نشود و انرژی درحد مطلوب از اولیه به ثانویه انتقال پیدا کند. در ترانسفورماتورهای پالس دهنده، با همسوکردن شار اولیه و ثانویه در هسته امکان تولید پالس کوتاه را فراهم می‌کنند تا بتوانند در مدارهای فرمان تریستورها و سایر قطعات الکترونیک صنعتی استفاده کنند. با انواع اتصالات از قبیل اتصالات سربه‌سر یا سر به ته، اتصال T، اتصال کاسکاد (Cascade) و غیره به انواع ارتباطات ولتاژها و جریان‌ها در سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه دسترسی پیدا می‌کنند.

پرسش

حداقل ولتاژ برای ترانسفورماتورهای جوشکاری چندولت است؟

جواب: ولتاژ ثانویه در ترانسفورماتورهای جوشکاری درحالت بی باری درحدود ۹۰ولت و در هنگام جوشکاری در محدوده ۱۶ الی ۳۶ ولت است. در صنعت ۲۳یا ۲۴ولت می‌باشد.

توجه

افت ولتاژ از ۹۰ ولت به ۲۴ ولت از بی‌باری تا بارداری از طریق تلفات پراکندگی حاصل می‌شود.

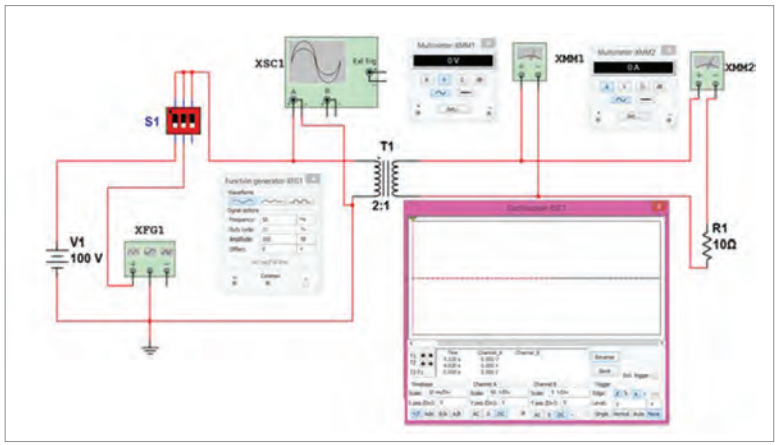
پدیده القای الکترومغناطیسی

القا از کلمه لقا یا دیدار یا ملاقات گرفته می‌شود و اگر دو یا چند جسم، در کنار هم قرار گیرند و بر همدیگر اثر بگذارند، پدیده القا رخ می‌دهد. این پدیده ممکن است اثرات سازنده یا اثرات مخرب داشته باشد. القای سازنده را مثبت و القای مخرب را منفی می‌گویند. پدیده الکترومغناطیسی همواره با تغییر شار آشکار می‌شود، خواه این تغییر شار با جریان الکتریکی متناوب ایجاد شود، خواه با جریان DC متغیر ایجاد شود. این پدیده را با چند آزمایش از طریق نرم‌افزار می‌توان دنبال کرد. برای این کار از نرم‌افزار مولتی سیم استفاده می‌شود.

قطعات موردنیاز:

۱ ترانسفورماتور ۲/۱	یک عدد
۲ کلید S1 سه پل	یک عدد

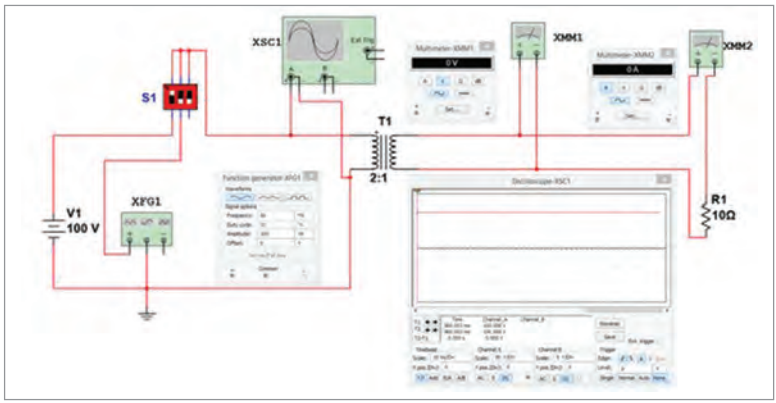
۳ فانکشن ژنراتور با تنظیم V_{P-P} =۱۰۰ و f =۵۰ Hz یک عدد
۴ اسیلوسکوپ دوکاناله با تنظیم TIMEDIV =۱۰ ms و voltdiv =۵۰ v یک عدد
۵ منبع ولتاژ dc ۱۰۰ولتی یک عدد
۶ ولت متر و آمپرمتر متناوب از هرکدام یک عدد
۷ مصرف‌کننده ۱۰ اهمی یک عدد
نحوه مونتاژ قطعات مشابه شکل ۱ است.



شکل ۱ــ پدیده القای الکترومغناطیسی

آزمایش اول

ابتدا در ورودی ترانسفورماتور از طریق کلید S۱ منبع ولتاژ dc ۱۰۰ ولت قراردهید و مدار را روشن کنید. نتایج آزمایش به قرار زیر خواهد بود.



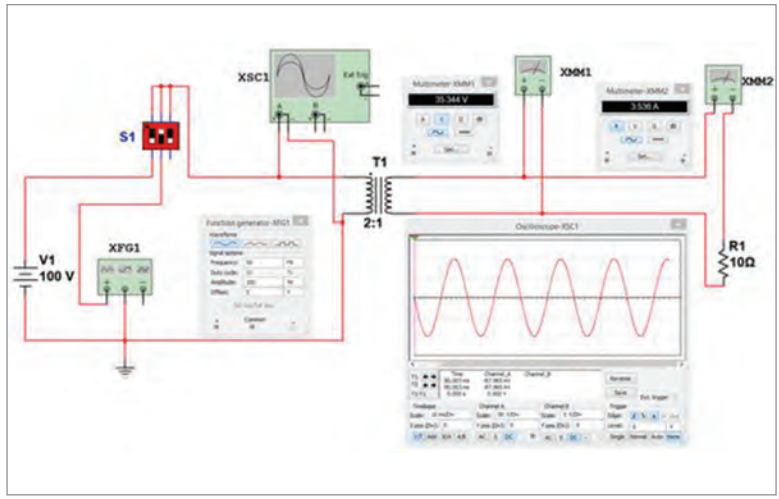
شکل ۲ــ منبع DC

در این آزمایش اسیلوسکوپ دامنه ۱۰۰ولت dc را نشان می‌دهد ولت‌متر و آمپرمتر مقادیری صفر را نشان می‌دهند و این مقادیر بیان می‌کنند که در خروجی ترانسفورماتور هیچ ولتاژ و جریان القا نشده است.

ترانسفورماتورها با جریان dc با دامنه ثابت کار نمی‌کنند چون جریان dc با دامنه ثابت شار متغیر تولید نمی‌کند.

آزمایش دوم

کلید S۱ را در وضعیت فانکشن ژنراتور در حالت موج سینوسی قرار دهید و مقادیر را از ولت‌متر و آمپرمتر قرائت کنید نتایج به قرار زیر خواهد بود (شکل۳).



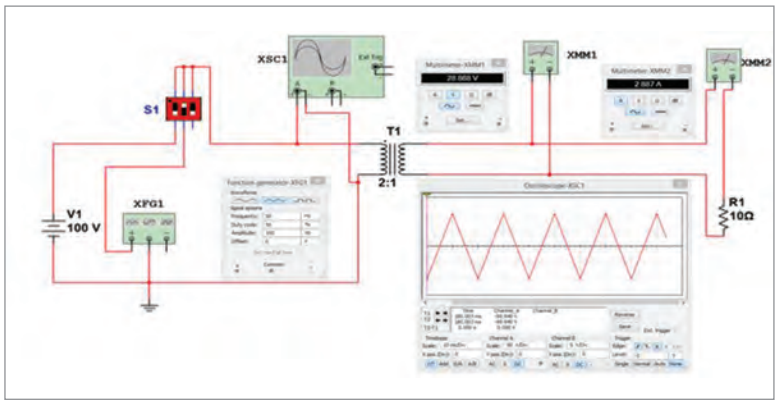
شکل ۳ــ منبع سینوسی (متناوب)

مقادیر نشان داده شده توسط ولت‌متر و آمپرمتر بیانگر وجود ولتاژ و جریان القایی در ثانویه ترانسفورماتور است.

ترانسفورماتورها با جریان ac با دامنه متغیر کار می‌کنند چون جریان ac با دامنه متغیر شار متغیر تولید می‌کند

آزمایش سوم

کلید S1 را در وضعیت فانکشن ژنراتور در حالت موج دندان اره‌ای قرار دهید و مقادیر را از ولت‌متر و آمپرمتر قرائت کنید نتایج به قرار زیر خواهد بود (شکل۴).



شکل ۴ـ منبع با موج دندان اره‌ای

مقادیر نشان داده شده توسط ولت‌متر وآمپرمتر بیانگر وجود ولتاژ و جریان القایی در ثانویه ترانسفورماتور است.

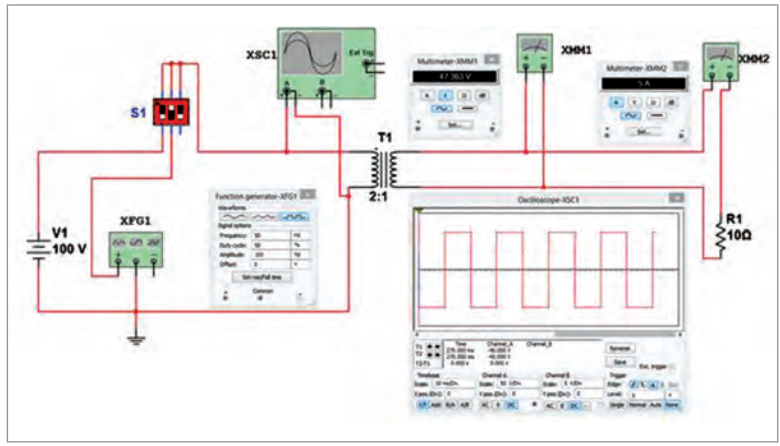
ترانسفورماتورها باجریان دانه اره‌ای با دامنه متغیر کار می‌کنند.

آزمایش چهارم

کلید S1 را در وضعیت فانکشن ژنراتور در حالت موج مربع مستطیلی قرار دهید و مقادیر را از ولت متر و آمپرمتر قرائت کنید نتایج به قرار زیر خواهد بود.

در این آزمایش هم در ثانویه ولتاژ القا می‌شود و علت آن قطع وصل جریان می‌باشد که دامنه متغیری ایجاد می‌کند و باعث القای ولتاژ می‌شود. از این نوع شکل موج در ماشین‌های بنزینی برای تولید ولتاژ زیاد برای ایجاد جرقه درسر شمع‌ها استفاده می‌شود و این وظیفه در کویل ماشین انجام می‌شود قطع وصل توسط مگنت یا چکش برق (در ماشین‌های قدیمی) انجام می‌شود.

ترانسفورماتورها باجریان مربع مستطیلی با دامنه متغیر کار می‌کنند.



شکل ۵ــ منبع با موج مربعی

القای الکترومغناطیسی با تغییر شار مغناطیسی طبق رابطه ۱ــ۳ میسر می‌شود.

$$E = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \neq 0 \qquad (۱ــ۳)$$

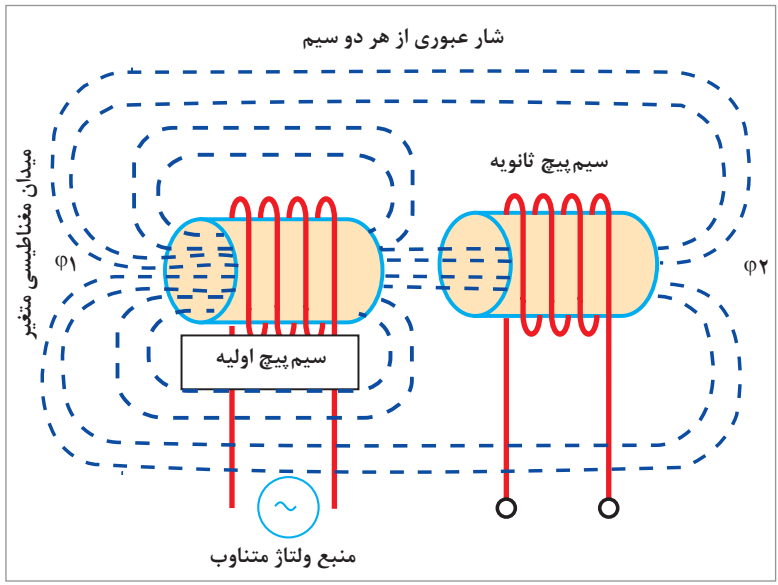
پرسش

تصورکنید یک وسیله برقی دارید که با ولتاژ ۱۱۰ ولت کار می‌کند با توجه به ولتاژ شبکه برق ۲۲۰ ولت چگونه می‌توان از آن استفاده کرد؟

جواب: از یک ترانسفورماتور (یا یک اتوترانسفورماتور) ۲۲۰v/۱۱۰v می‌توان ولتاژ شبکه را به ۱۱۰ ولت تبدیل کرد و در قسمت فشار ضعیف، مصرف‌کننده را تغذیه نمود.

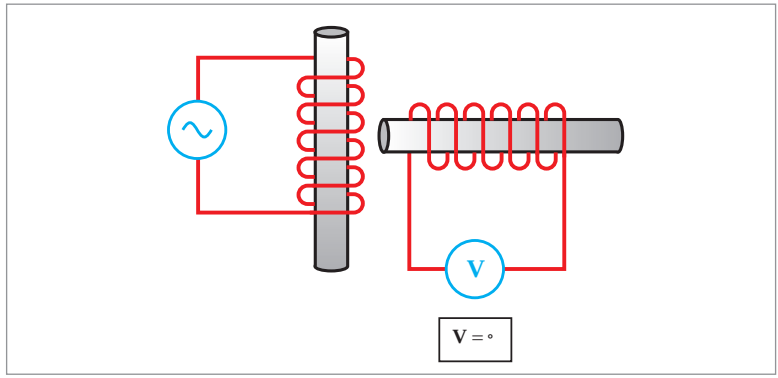
توجه

در تعریف ضریب کوپلینگ به شکل شماره کتاب درسی داده شده است و در شکل ۳ کتاب شارهای φ_1 و φ_2 مشخص نیست. بهتر است ضریب کوپلینگ با استفاده از شکل ۷ تعریف شود.



شکل ۶ــ شکل شماره ۳ کتاب درسی

اگر قرار باشد اثرالقایی دو سیم‌پیچ که کنار هم قرارگرفته‌اند به حداقل برسد کافی است آنها را در موقعیت عمود برهم قرار داد. در این حالت مقدار k تقریباً صفر خواهد شد.

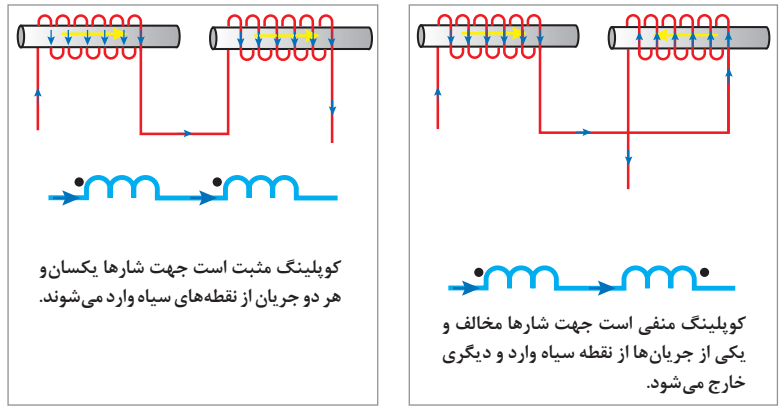


شکل ۷ــ حداقل القایی

درجه کوپلینگ دو سیم پیچ عمود بر هم برابر صفر است.

۲ـ۳ اساس کار ترانسفورماتور

در بخش اساس کار ترانسفورماتور توضیح داده شده که، ترانسفورماتورها براساس القای متقابل کار می‌کند به عبارت دیگر کوپلینگ سیم‌پیچ اولیه و سیم پیچ ثانویه تقریباً کامل و تزویج دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه منفی است. در این تزویج شار مغناطیسی سیم‌پیچ ثانوی، در خلاف جهت شار سیم‌پیچ اولیه می‌باشد. در این نوع تزویج هسته در بارهای نامی به اشباع نمی‌رسد. اصولاً در پدیده الکترومغناطیسی براساس قانون لنز، تزویج منفی است. ارتباط الکتریکی بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه یا تغذیه مستقل سیم‌پیچ‌ها، تزویج بین دو سیم‌پیچ را ممکن است مثبت یا منفی برقرارکند که به روش اتصال سیم‌پیچ‌ها بستگی خواهد داشت نوع تزویج اندوکتانس کل و مشخصات ترانسفورماتور را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. نوع تزویج را می‌توان از قاعده دست راست یا نقطه‌های سیاه که در کنار سیم‌پیچ‌ها قرار می‌دهند تشخیص داد. در شکل ۸ به‌طور نمادی آنها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۸ـ کوپلینگ مثبت و منفی

توجه

اگرجریان‌های سیم پیچ‌ها هر دو از نقطه سیاه وارد یا هر دو خارج شوند تزویج مثبت می‌باشد و اگر یکی از جریان‌ها از نقطه سیاه وارد و دیگری خارج شود تزویج منفی می‌باشد.

براساس قانون فاراده ولنز، نیروی محرکه القایی در سیم پیچ اولیه به‌صورت زیر بیان می‌شود. روشن است این نیروی محرکه ناشی از عبور جریان متغیر از سیم‌پیچ اولیه می‌باشد. فرض می‌کنیم شار تولید از جریان متناوب سینوسی درسیم پیچ اولیه به‌صورت رابطه (۲ـ۳) باشد.

$$\varphi_1 = \varphi_m \cos(\omega t) \qquad (۳_۲)$$

براساس رابطه (۱ـ۳) می‌توان نوشت:

$$E_1(t) = -N_1 \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -N_1 \frac{d\varphi}{dt}$$

$$E_1(t) = -N_1 \frac{d(\varphi_m \cos(\omega t))}{dt} = -N_1(-\varphi_m \omega \sin(\omega t))$$

مقدار مؤثر این موج برابر است با:

$$E_1 r.m.s = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}(-N_1(-\varphi_m \omega \sin(\omega t))^2 d\omega t}$$

$$E_1 r.m.s = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} N_1^2 \varphi_m^2 \omega^2 \sin^2(\omega t) d\omega t} = \sqrt{\frac{N_1^2 \varphi_m^2}{2\pi}\int_0^{2\pi}(\frac{1-\cos 2\omega t}{2})d\omega t t}$$

$$= \frac{N_1 \omega \varphi_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\omega t - \frac{\sin 2\omega t}{4}\right]_0^{2\pi}}$$

$$E_1 r.m.s = \frac{N_1 \omega \varphi_m}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 \times B_m \times A \times 2\pi \times f}{\sqrt{2}} = 4/44 \times f \times B_m \times A \times N_1$$

$$E_2 r.m.s = 4/44 \times f \times B_m \times A \times N_2$$

در کارکرد ترانسفورماتور، در هر لحظه جریان ورودی در سیم پیچ اولیه از رابطه $I_1 = \frac{\vec{V}_1 - \vec{E}_1}{\vec{Z}_1}$ به‌دست می‌آید. بردار $\vec{E}_1$ ناشی از بردار بوده و ۹۰ درجه از آن عقب‌تر است. بنابراین در لحظات استارت مقدار $\vec{E}_1$ برابر صفر می‌باشد و این امر باعث می‌شود جریان شروع به کار ترانسفورماتور براساس $I_1 = \frac{\vec{V}_1 - 0}{\vec{Z}_1}$ برقرار شود که چندین برابر جریان نامی ترانسفورماتوراست. به‌تدریج با رشد $\vec{E}_1$ به مقدارنامی، جریان نامی در سیم‌پیچ برقرار می‌گردد.

تحقیق

ترانسفورماتوری که تعداد دور اولیه وثانویه برابراست ($N_1=N_2$) چه کاربردی دارد؟

جواب: از این نوع ترانسفورماتورها برای ایزوله کردن مصرف‌کننده‌ها از شبکه الکتریکی استفاده می‌شود تا مصرف کننده‌ها را درمقابل خطراتی از قبیل اتصال کوتاه یا اعمال ولتاژ زیاد، که در طرف شبکه اتفاق می‌افتد حفاظت کنند همچنین ترانسفورماتورهای یک به یک برای کاهش خطرات برق‌گرفتگی نیز استفاده می‌گردد چون سیم فاز آن با زمین ارتباط ندارد و برق‌گرفتگی زمانی اتفاق می‌افتد که با هر دو سیم طرف مصرف‌کننده تماس برقرار شود در شبکه برق تماس با هر کدام از فازها و برقراری جریان از طرف زمین برق‌گرفتگی را فراهم می‌کند.

آنچه در اساس کار ترانسفورماتور حائز اهمیت است، خودتنظیمی ترانسفورماتور است که جریان بار در ثانویه متناسب با امپدانس بار در ثانویه برقرار می‌شود و متناسب با آن شار مغناطیسی φ_2 که مخالف شار مغناطیسی φ_0 است برقرار می‌شود و E_1 را کاهش می‌دهد و جریان بی‌باری از I_0 به I_1 را افزایش می‌دهد تا با تولید شار φ'_2 اثرات بار را خنثی نماید و مجدداً شار φ_0 برقرار شود. این موضوع بیان می‌کند که جریان دریافتی ترانسفورماتورها از شبکه متناسب با بار تغذیه در ثانویه می‌باشد که به خودتنظیمی ترانسفورماتورمعروف است.

فعالیت

چرا هسته ترانسفورماتور با توجه به شکل ۸ به شکل EI ساخته می‌شود؟

جواب: در برش EI حداقل پرتی و ریزش برای ورقه‌های آهنی خواهیم داشت و از حجم و مؤثر هسته در حد مطلوب استفاده می‌شود. موقعیت مطلوب برای برش‌های I و E در تشکیل هسته فراهم می شود و مسیر مناسب برای شار مغناطیسی ایجاد می‌گردد.

در اندازه‌گیری‌های مقادیر، هنرجویان باید مهارت لازم را پیدا کنند که با توجه به مقدار دقت اندازه‌گیری وسیله مناسب را انتخاب کنند. برای دقت ۰/۰۱ ازمیکرومترو برای دقت ۰/۱ از کولیس استفاده کنند.

فعالیت

مقدار نشان داده شده در شکل توسط میکرومتر چقدراست؟

جواب: میکرومتر سمت راست ۲/۸۸ میلی‌متر و میکرومتر سمت چپ ۴/۲۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

فعالیت

مقادیری که دستگاه‌های کولیس در شکل‌های زیر نشان می‌دهند مشخص کنید.

جواب: شکل الف مقدار ۳۱/۸ میلی‌متر، شکل پ مقدار ۳۳/۶ میلی‌متر، شکل به‌مقدار ۴۰/۰ میلی متر و شکل ت مقدار ۱۲۱/۷ میلی‌متر را نشان می‌دهند.

وارنیش و پرشمان

برای قراردادن وارنیش بین اتصالات، بهتر است ابتدا دو سرسیم‌های اتصالی به اندازه ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر (ترجیحاً ۱/۵ سانتی‌متر) برداشته شود و پس از برداشتن عایق آنها، پیچیده شوند سپس مطابق شکل‌های۱۷ وارنیش گذاشته شود.

در پیچیدن سیم‌پیچ‌های اولیه وثانویه روی قرقره اختلاف پتانسیل بین لایه بیش از ۳۵ ولت باشد لازم است بین لایه‌ها عایق پرشمان گذاشته شود.

فعالیت

برای اندازه‌گیری مقاومت عایقی بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه مطابق شکل ۹ از میگر استفاده کنید.

شکل ۹ــ کاربرد میگر در اندازه‌گیری مقاومت عایقی

پرسش

اگرسیم‌پیچ اولیه و سیم‌پیچ ثانویه اتصال الکتریکی پیدا کند چه اتفاقی در عملکرد ترانسفورماتور اتفاق می‌افتد؟

جواب: با اتصال سیم پیچ اولیه و سیم‌پیچ ثانویه علاوه بر ارتباط مغناطیسی بین سیم‌پیچ‌ها، اتصال الکتریکی نیز برقرار می‌شود و موضوع ایزوله شدن مصرف‌کننده منتفی شده و خطر برق‌گرفتگی به‌وجود می‌آید و احتمال اعمال ولتاژ فشار قوی بر مصرف‌کننده میسر شده و مصرف‌کننده توسط ولتاژ فشارقوی آسیب می‌بیند. زیرا توان انتقالی هم از طریق میدان الکترومغناطیسی و مدار الکتریکی منتقل می‌شود.در ضمن روابط حاکم برترانسفورماتور از روابط طراحی شده تبعیت نخواهد کرد.

پرسش

در شکل ۲۱ سؤال شده است که چه ارتباطی بین مقدار وسط هسته (f) و دو بازوی کناری (c) وجود دارد ؟ و علت این ارتباط چیست ؟

جواب: اندازه f دوبرابر اندازه c می‌باشد و علت آن عبارت است از:
شارهای عبوری از بازوهای کناری از بازوی وسطی (f) عبور می‌کنند و بازوی f باید حداقل دوبرابر بازوهای c وسعت داشته باشد تا به‌راحتی شارهای بازوهای c را انتقال دهد و پدیده اشباع پیش نیاید و ترانسفورماتور مطلوب کار کند.

پرسش

تفاوت ترانسفورماتور ایدئال و واقعی چیست؟ چرا در عمل ترانسفورماتور ایدئال وجود ندارد؟

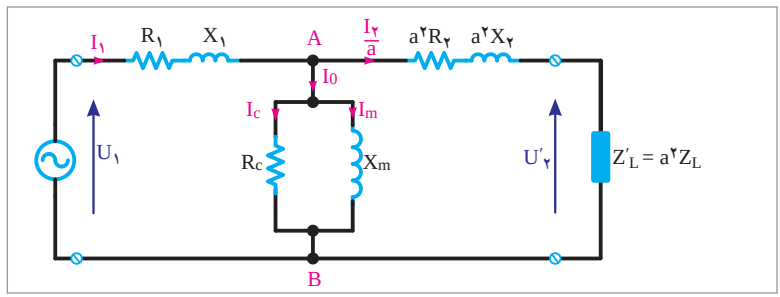
جواب: در ترانسفورماتورهای ایدئال راندمان صددرصد است در صورتی که در ترانسفورماتورها واقعی، راندمان کمتر از صددرصد است در ترانسفورماتورهای ایدئال مقاومت اهمی و القایی سیم پیچ‌ها صفر است درصورتی که در ترانسفورماتورهای واقعی سیم پیچ دارای مقاومت اهمی القایی است و باعث تلفات اهمی و تلفات پراکندگی و افت ولتاژ می‌شود. چون در طبیعت عنصر بدون مقاومت پیدا نمی‌شود لذا ترانسفورماتور ایدئال وجود ندارد و فقط در ذهن ما تعریف می‌شوند.

فعالیت

چرا ولتاژ بی‌باری ترانسفورماتور از مقدار محاسبه شده بیشتر است؟

جواب: محاسبات ترانسفورماتورها براساس حالت بارداری انجام می‌شود به عبارت دیگر مقادیر محاسبه شده در بار کامل در خروجی ظاهر می‌شود. روشن است درحالت بی باری چون جریان ثانویه صفر است لذا افت ولتاژ نخواهیم داشت ولتاژ خروجی از جمع‌برداری ولتاژ نامی زیر بار و افت ولتاژ خواهد بود که از ولتاژ نامی بیشتر است.

این موضوع را می‌توان با توجه به مدارمعادل ترانسفورماتورها در شکل ۱۰ تحقیق نمود.



شکل ۱۰ــ مدار معادل ترانسفورماتور

$$\overrightarrow{U_{AB}} = \overrightarrow{U'_{۲}} + \overrightarrow{\frac{I_{۲}}{a}a^{۲}R_{۲}} + \overrightarrow{\frac{I_{۲}}{a}a^{۲}X_{۲}}$$

در حالت بی‌باری مقدار $\frac{I_{۲}}{a}$ برابر صفر است و اندازه $U'_{۲}$ برابر U_{AB} می‌شود این مقدار $U'_{۲}$ از مقدار $U'_{۲}$ در حالت بارداری به اندازه $\overrightarrow{\frac{I_{۲}}{a}a^{۲}R_{۲}} + \overrightarrow{\frac{I_{۲}}{a}a^{۲}X_{۲}}$ بیشتر است.

تحقیق

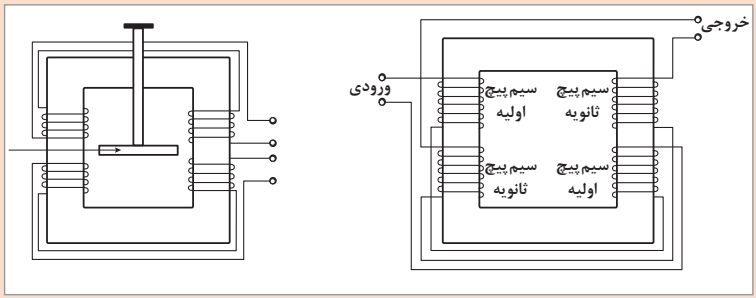
سیم پیچی ترانسفورماتورهای وسایل زیر روی یک بازو یا دو بازوی مختلف هسته پیچیده شده است؟

الف) ترانسفورماتور هویه تفنگی

ب) ترانسفورماتور جوشکاری مدل پله‌ای

ج)ترانسفورماتور جوشکاری مدل هسته متحرک

پاسخ: با توجه به ساختمان ترانسفورماتور هویه تفنگی و جوشکاری پله‌ای و جوشکاری با مدل هسته متحرک در شکل‌های ۱۱ مشاهده می‌شود سیم‌پیچ‌ها روی دو باز و هسته پیچیده می‌شوند.



شکل۱۱ــ ساختمان ترانسفورماتور جوشکاری مدل پله‌ای

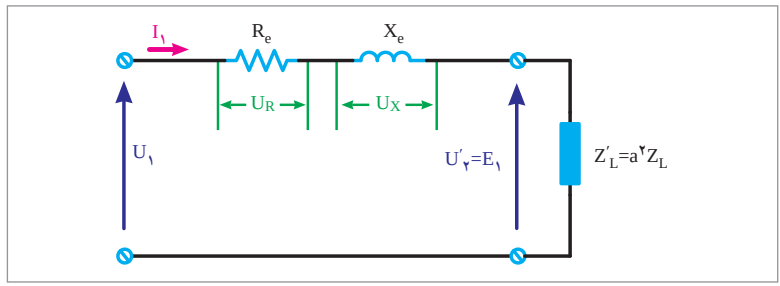
شکل۱۱ــ ساختمان ترانسفورماتور جوشکاری مدل هسته متحرک

شکل ۱۱ــ ساختمان ترانسفورماتور هویه تفنگی

شکل ۱۱ــ هسته ترانسفورماتور هویه تفنگی و ترانسفورماتور و جوشکاری مدل پله‌ای و هسته متحرک

۳ـ۳ مدار معادل ترانسفورماتورهای قدرت

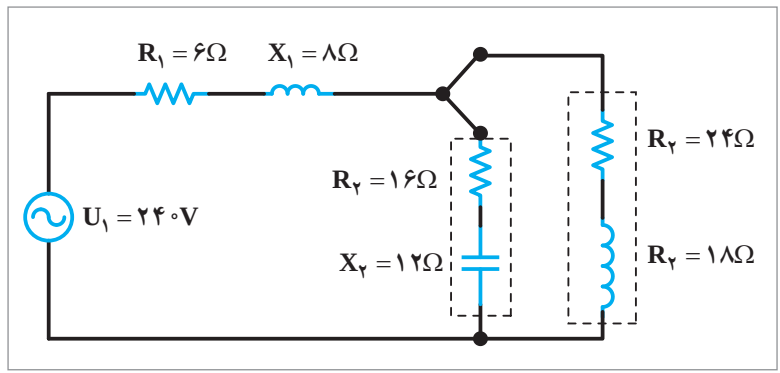
ترانسفورماتورهای قدرت به‌علت ناچیز بودن تلفات بی‌باری در مدار معادل هسته صرف‌نظر می‌شود و مدار معادل ترانسفورماتورقدرت به‌صورت شکل ۱۲ بیان خواهد شد. دیاگرام‌های برداری را در بارهای مختلف بر اساس این مدار معادل به‌دست می‌آورند.



شکل ۱۲ـ مدار معادل ترانسفورماتور قدرت

$$\overrightarrow{U_1} = \overrightarrow{U'_2} + \overrightarrow{I_1 \times R_e} + \overrightarrow{I_1 \times x_e}$$

مدار معادل یک ترانسفورماتور قدرت از سمت اولیه، مطابق شکل ۱۳ است. این مدار را با مولتی سیم تشکیل دهید و در هر حالت افت فشار کلی را، از طریق اندازه‌گیری به‌دست آورید.

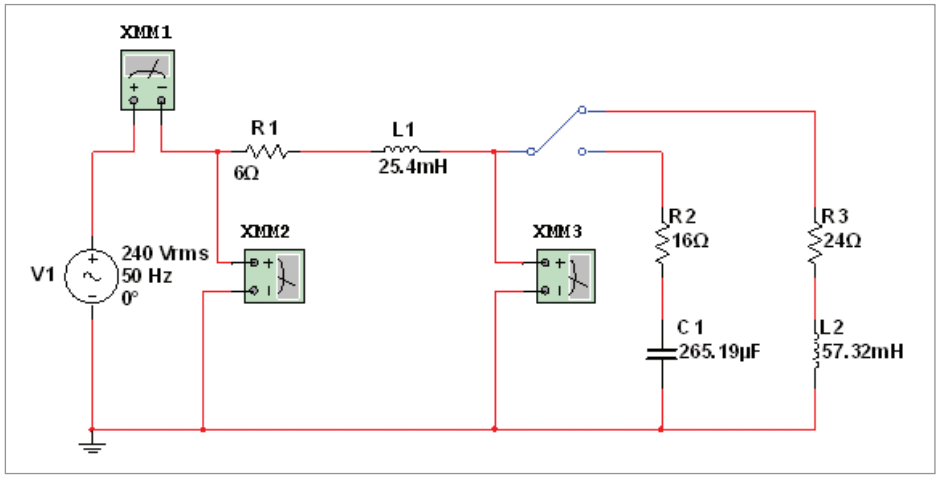


شکل ۱۳ـ مدار معادل ترانسفورماتور قدرت از سمت اولیه

حل:

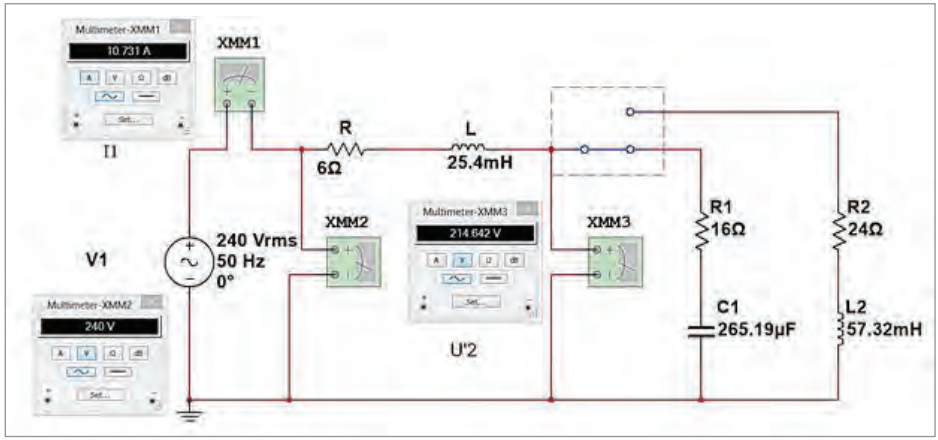
ابتدا مقادیر سلف‌ها و خازن را برحسب هانری و فاراد به‌دست آورید. شکل ۱۴ به‌دست می‌آید.

$$L_e = \frac{۸}{۳۱۴} = ۲۵/۴\text{mH} \quad , \quad C = \frac{۱}{X_{C\omega}} = \frac{۱}{۱۲ \times ۳۱۴} = ۲۶۵/۳۹\mu\text{F} \quad , \quad L = \frac{۱۸}{۳۱۴} = ۵۷/۳۲\text{mH}$$

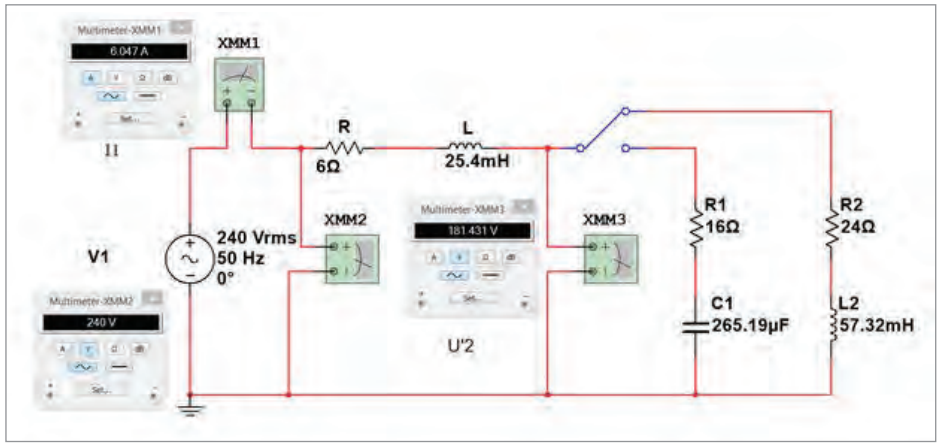


شکل ۱۴ــ مدار معادل در سیستم مولتی سیم

مقادیر قرائت شده در بار اول و دوم مطابق شکل ۱۵ و ۱۶ است.



شکل ۱۵ــ مقادیر قرائت در بار اولی



شکل ۱۶ــ مقادیر قرائت در بار دومی

در شکل ۱۶ مقادیر به‌شرح زیر است:

$U_1=۲۴۰$, $U'_2=۲۱۴/۶۱$, $I_1=۱۰/۸۴۶A$

$\Delta U = U_1 - U'_2 = ۲۴۰-۲۱۴/۶۴ = ۲۵/۳۵V$

در شکل ۱۷ مقادیر به‌شرح زیر است:

$U_1 = ۲۴۰$, $U'_2 = ۱۸۱/۴۳$

$\Delta U = ۲۴۰-۱۸۱/۴۳ = ۵۸/۵۷V$

افت ولتاژ در بارهای سلفی اهمی بیشتر است.

۴ــ۳ تعیین ولتاژ و جریان اتصال کوتاه از طریق اندازه‌گیری در فضای مجازی

ترانسفورماتوری ۲۲KVA بارنامی را تحت ولتاژ ۲۲۰ ولت تغذیه می‌کند ضریب تبدیل این ترانسفورماتور $a=\frac{N_1}{N_2}=۵$ و سایر مشخصات آن به قرار زیر است.

$R_1=۶\Omega$, $X_1=۸\Omega$, $R_2=۰/۳\Omega$, $X_2=۰/۴\Omega$, $R_C=۳۰۰\Omega$, $X_m=۴۰۰$, $U_{1n}=۱۲۰۰$

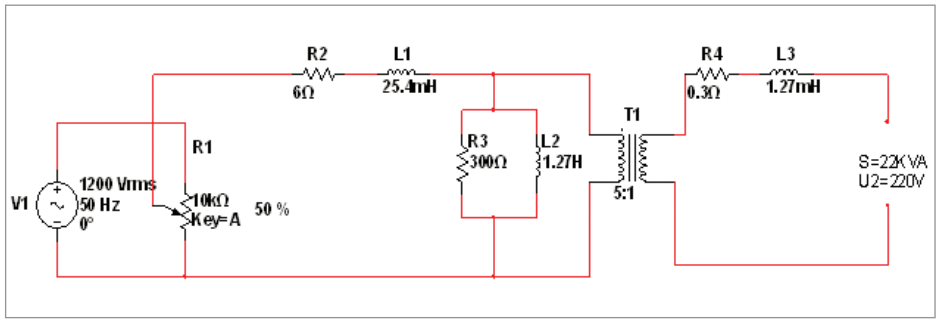
مدار معادل این ترانسفورماتور را در مولتی سیم تشکیل دهید و ولتاژ اتصال کوتاه و جریان اتصال کوتاه آن را از طریق اندازه‌گیری به‌دست آورید.

مشخصات مدار معادل را محاسبه و آن را در مولتی سیم تشکیل می‌دهیم. یک منبع ولتاژ متغیر در محدوده ولتاژ نامی اولیه در اولیه قرار می‌دهیم.

$$R'_{۲} = a^{۲} \times R_{۲} = ۵^{۲} \times ۰/۳ = ۷/۵\Omega \ , \ X'_{۲} = a^{۲} \times X_{۲} = ۵^{۲} \times ۰/۴ = ۱۰\Omega \ , \ L_{۱} = \frac{۸}{۳۱۴} = ۲۵/۴ mH$$

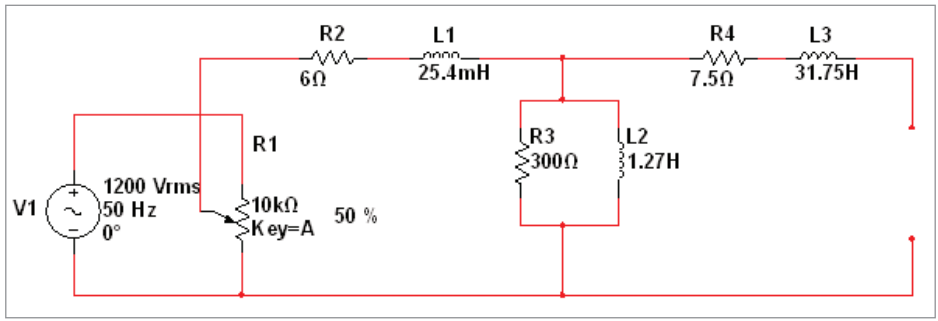
$$L_{۲} = ۱/۲۷ mH \ , \ L'_{۲} = a^{۲} \times L_{۲} = ۲۵ \times ۱/۲۷ mH = ۳۱/۷۵ mH \ , \ Lm = \frac{۴۰۰}{۳۱۴} = ۱/۲۷ H$$

مدار معادل به صورت شکل ۱۷ می‌باشد.



شکل ۱۷ــ مدار معادل ترانسفورماتور

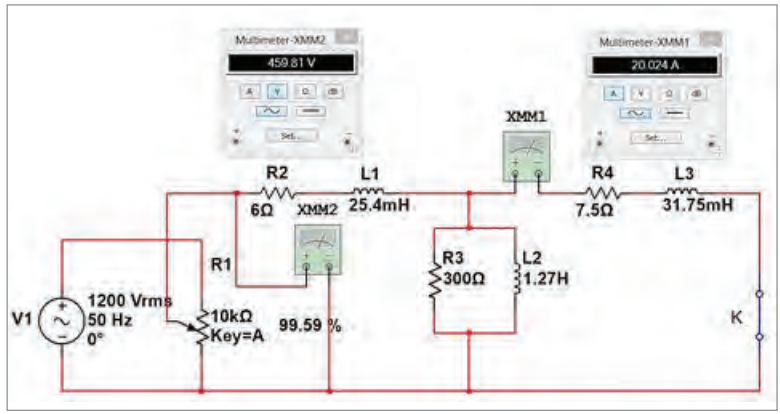
مدار معادل از دیدگاه اولیه مطابق شکل ۱۸خواهد بود.



شکل ۱۸ــ مدار معادل از دیدگاه اولیه ترانسفورماتور

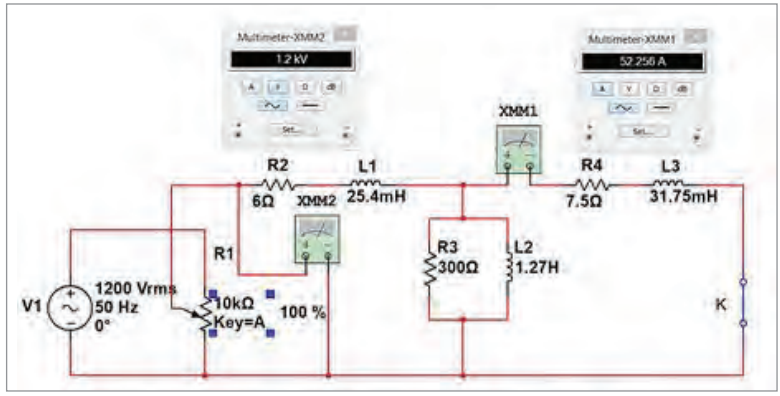
برای به‌دست آوردن ولتاژ اتصال کوتاه مدار مطابق شکل ۱۹ تشکیل دهید و پتانسیومتر را رو صفر تنظیم کنید. سپس کلید K را ببندید و پتانسیومتر را

را به آرامی تغییر دهید تا آمپرمتر معادل جریان ثانویه را در اولیه نشان دهد. جریان نامی اولیه برابر $I_{۲n}=\frac{S_۲}{U_۲}=\frac{۲۲۰۰۰}{۲۲۰}=۱۰۰A$ و معادل آن در اولیه $I'_{۲n}=\frac{I_{۲n}}{a}=۵=۲۰A$ می‌باشد در این حالت مقداری که آمپر نشان می‌دهد ولتاژ اتصال کوتاه () V_{SC} می‌باشد.



شکل۱۹ـ مدار آزمایش ولتاژ اتصال کوتاه

برای تعیین جریان اتصال کوتاه، پتانسیومتر را در مقدار ۱۲۰۰ ولت قرار دهید این آزمایش در عمل بسیار خطرناک است و بلافاصله به ترانسفورماتور آسیب می‌رساند. (شکل ۲۰)



شکل ۲۰ـ جریان اتصال کوتاه

پرسش

چه ارتباطی بین مقدار جریان اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور و ولتاژ اتصال کوتاه آن وجود دارد؟

جواب: باتوجه به رابطه $I_{SC}=\frac{I_n}{u_k}$ و $u_k=\frac{V_{SC}}{V_n}$ مشاهده می‌شود هرچقدر ولتاژ اتصال کوتاه زیاد باشد ولتاژ اتصال کوتاه نسبی زیاد می‌شود و چون جریان اتصال کوتاه با ولتاژ اتصال کوتاه نسبی رابطه عکس دارد می‌توان نتیجه گرفت هرچقدر ولتاژ اتصال کوتاه کم باشد جریان اتصال کوتاه زیاد خواهدشد به عبارت دیگر ولتاژ اتصال کوتاه معیاری است بر امپدانس داخلی ترانسفورماتور. هرچه‌مقدار ولتاژ اتصال کوتاه کم باشد امپدانس داخلی کم می‌شود و جریان شدیدی در زمان اتصال کوتاه جاری می‌شود و برای ترانسفورماتور خطرناک می‌باشد و در مقابل تلفات ترانسفورماتور کم و راندمان بالا خواهد بود. زیاد بودن ولتاژ اتصال کوتاه بیانگر امپدانس داخلی زیاد برای ترانسفورماتور است و در زمان اتصال کوتاه جریان کمتری عبور کرده و تحمل ترانسفورماتور زیاد می‌شود در مقابل تلفات زیاد است و راندمان کم خواهد بود.

تحقیق

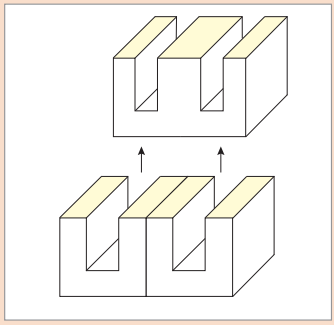
چه تفاوتی بین راندمان ترانسفورماتورهای قدرت و ترانسفورماتورهای کوچک آزمایشگاهی وجود دارد؟

جواب: امپدانس و ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتورهای قدرت خیلی کمتر از امپدانس و ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتورهای کوچک است بنابراین تلفات نسبی ترانسفورماتورهای قدرت نسبت به تلفات ترانسفورهای کوچک خیلی کم بوده و راندمان بالاتری خواهند داشت.

فعالیت

در دو مدل هسته E و U شکل ۲۷ چه ارتباطی بین سطح مقطع هسته وجود دارد؟ در مورد آن بحث کنید.

جواب: هسته ترانسفورماتورهای E ازکنار هم قرارگرفتن دوهسته U به‌دست می‌آید بدین طریق عرض بازوی وسطی E دو برابر عرض بازوهای کناری می‌شود تا شار مغناطیسی بدون مشکل از بازوی وسطی عبورکند (شکل ۲۱).



شکل ۲۱ــ ازکنارهم قراردادن دوهسته u، یک هسته E به‌دست می‌آید.

پرسش

اگر سیم پیچ ترانسفورماتور به ولتاژ DC متصل شود، مقدار ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور چقدر خواهد بود؟ چرا؟

جواب: باتوجه به آزمایش شکل ۱ مشاهده می‌شود مقادیر دستگاه‌های اندازه‌گیری درطرف ثانویه صفر است پس هیچ ولتاژی درثانویه القا نمی‌شود و دلیل این است که جریان DC شار متغیر ایجاد نمی‌کند تا ولتاژ القا گردد.

فعالیت

مقدار دور بر ولت به چه عواملی بستگی دارد؟ اگر فرکانس افزایش یابد دور بر ولت چه تغییری می‌کند؟

جواب: باتوجه به رابطه $N_V = \frac{10^8}{4/44 \times f \times B_m \times S}$ مشاهده می‌شود NV (دور بر ولت)

با **Bm**، **S** و **f** رابطه عکس دارند بنابراین با افزایش فرکانس دور بر ولت کاهش می‌یابد.

پرسش

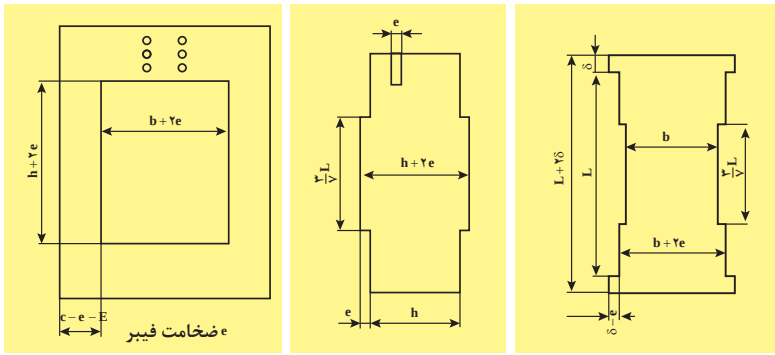
چرا با افزایش قدرت ترانسفورماتور مقدار درصد افت ولتاژ کمتر می‌شود؟

جواب: با افزایش قدرت ترانسفورماتور سطح مقطع هسته و قطر سیم‌پیچ‌ها افزایش می‌یابد این امر باعث کاهش دور و کاهش امپدانس ترانسفورماتور می‌شود و درصد نسبی افت ولتاژ کم می‌شود.

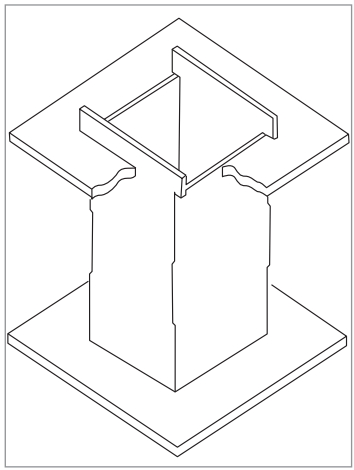
در طراحی ترانسفورماتورها اگر به قرقره‌های استاندارد و آماده دسترسی نداشته باشید می‌توانید از ابعاد داده شده استفاده کنید و این ابعاد متناسب با سطح مقطع محاسبه با مقیاس $\frac{S_n}{S}$ ابعاد داده شده است. به این ترتیب می‌توانید قرقره موردنیاز را تهیه کنید. S_n سطح مقطع نامی محاسبه شده و S سطح مقطع قرقره در شکل ۲۲ نشان داده شده است.

۵ـ۳ ساخت قرقره ازفیبر استخوانی

در ساخت ترانسفورماتورهایی که سیم‌پیچ با سیم‌های ضخیم تشکیل می‌شود از قرقره‌های فیبر استخوانی با ضخامت‌های ۱/۵، ۲/۱ و ۲/۵ استفاده می‌شود هر قدر توان ترانسفورماتور بیشتر می‌شود ازفیبرهای استخوانی ضخیم‌تر استفاده می‌شود. ابعاد قطعات قرقره با توجه به ضخامت فیبر که آن را با e نشان می‌دهند تعیین می‌شود و از هر کدام دو عدد با دقت تهیه می‌شود. سپس آنها را مطابق شکل ۲۳ جمع می‌کنند.



شکل ۲۲ـ ابعاد قرقره فیبراستخوانی



شکل ۲۳ـ مونتاژ قرقره فیبر استخوانی

ساخت قرقره ازکاغذ پرشمان

برای ساخت قرقره اطلاعات مورد نیاز را از هسته ترانسفورماتور استخراج می‌کنیم.

۱ طول وعرض بازوی میانی ورق هسته

۲ ضخامت ورق

۳ ضخامت کاغذ پرشمان (e)

۴ ضریب فضا (ε)، اندازه ضریب فضا را ۰/۳ الی ۰/۵ میلی‌متر منظور می‌شود.

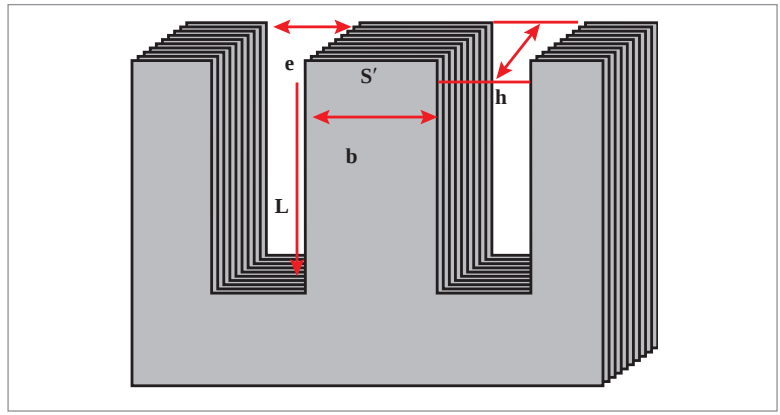
۵ سطح مقطع ظاهری هسته (S′)

۶ طول تیغه

۷ عرض تیغه (h)

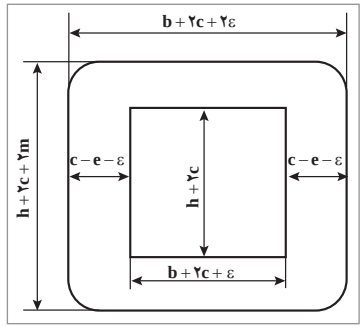
۸ ارتفاع ورق‌های روی هم $h = \frac{s'}{b}$

این اطلاعات از شکل ۲۴ قابل استخراج است.



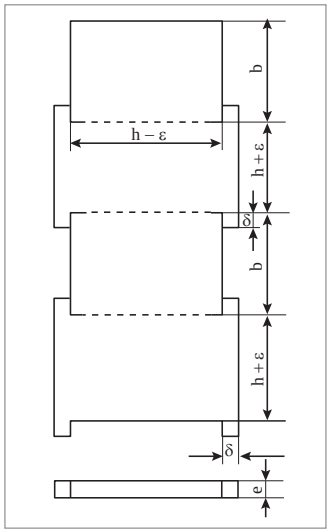
شکل ۲۴ـ ابعاد هسته EI

باتوجه به ابعاد ورق هسته، دو برش مطابق شکل ۲۵ تهیه می‌کنیم ابتدا اندازه‌ها روی کاغذ پرشمان پیاده کرده سپس آنها را برش می‌دهیم اندازه m را در حدود ۵ میلی‌متر درنظر می‌گیرند.



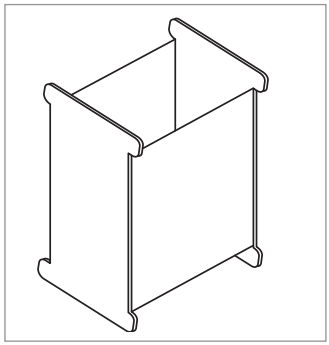
شکل ۲۵ـ لبه قرقره (درپوش)

با اندازه‌های استاندارد روی کاغذ مطابق شکل ۲۶بدنه جانبی قرقره را تهیه می‌کنیم برای این منظور، ابتدا اندازه‌های مورد نیاز را روی کاغذ پرشمان خط‌کشی می‌کنیم و با قیچی کاغذ را می‌بریم
برای خوب تا شدن وجوه مختلف، ابعادی که با خط چین نشان داده شده است را با سوزن خط‌کش خط می‌اندازیم.



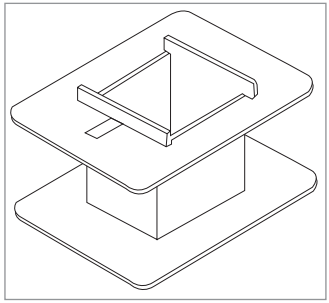
شکل ۲۶ـ بدنه جانبی قرقره

پس از تهیه بدنه قرقره آن را مطابق شکل ۲۷ تا می‌کنیم.



شکل ۲۷ـ بدنه قرقره

در این مرحله درپوش‌ها مطابق شکل ۲۸ نصب می‌کنیم.



شکل۲۸ـ درپوش

فعالیت

اگر سیم پیچی اولیه و ثانویه نامرتب باشد هنگام جا زدن هسته چه مشکلی پیش می‌آید؟

جواب: نامرتب پیچیدن سیم‌ها باعث می‌شود از فضای قرقره خوب استفاده نشود در بعضی قسمت‌ها سیم‌ها از اطراف قرقره بیرون می‌زنند و در قسمت‌های دیگر فضای خالی رها می‌شود و چون در ساخت قرقره‌ها ابعاد و پنجره ورق‌های EI لحاظ می‌شود هرگونه برآمدگی یا خروج سیم‌ها از بغل قرقره‌ها مانع جارفتن ورقه‌ها E در داخل قرقره می‌شود و در اثر اعمال فشار زیاد زخمی‌شدن سیم‌ها را به‌همراه خواهد داشت که موجب اتصال حلقه می‌شود.

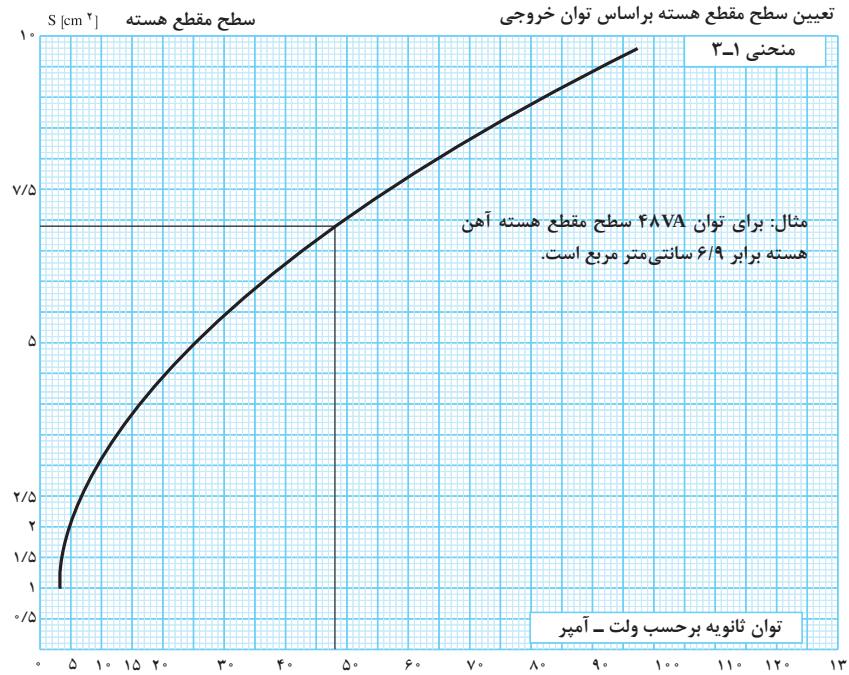
۶ـ ۳ محاسبات عملِ ترانسفورماتورهایِ تک فاز بااستفاده از منحنی‌ها

با استفاده از منحنی‌ها، سرعت عمل و دقت طراحی ترانسفورماتورها افزایش می‌یابد. در این روش به ارتباط کمیت‌های الکتریکی دسترسی نداریم و با محاسبات ابتدایی می‌توانیم ترانسفورماتورها را طراحی کنیم. برای این منظور از یک سری منحنی‌ها استفاده می‌شود ابتدا به شناسایی و طرز استفاده از این منحنی‌ها می‌پردازیم. اکثر این منحنی‌ها براساس توان خروجی ($P_۲ = U_۲ \times I_۲$) تعریف شده‌اند و کافی است توان مورد نظر را روی محور X‌ها انتخاب و خطی به موازات Y ها عمود کرده وکمیت موردنظر از تلاقی خط رسم شده با منحنی به‌دست آورد.

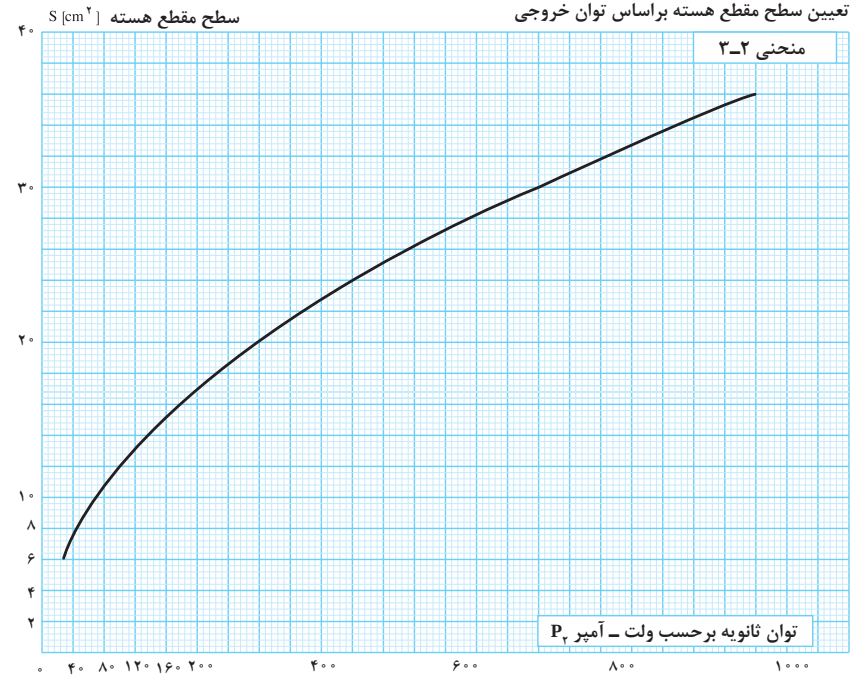
به‌عنوان مثال از منحنی ۱ـ۳ برای توان ۴۸ ولت آمپر سطح مقطع ۶/۹ سانتی‌متر مربع تعیین می‌شود.

در بقیه منحنی‌ها ارتباط توان‌ها، سطح مقطع، دور بر ولت و نظایر آن از طریق نقطه‌یابی قابل دسترسی است.

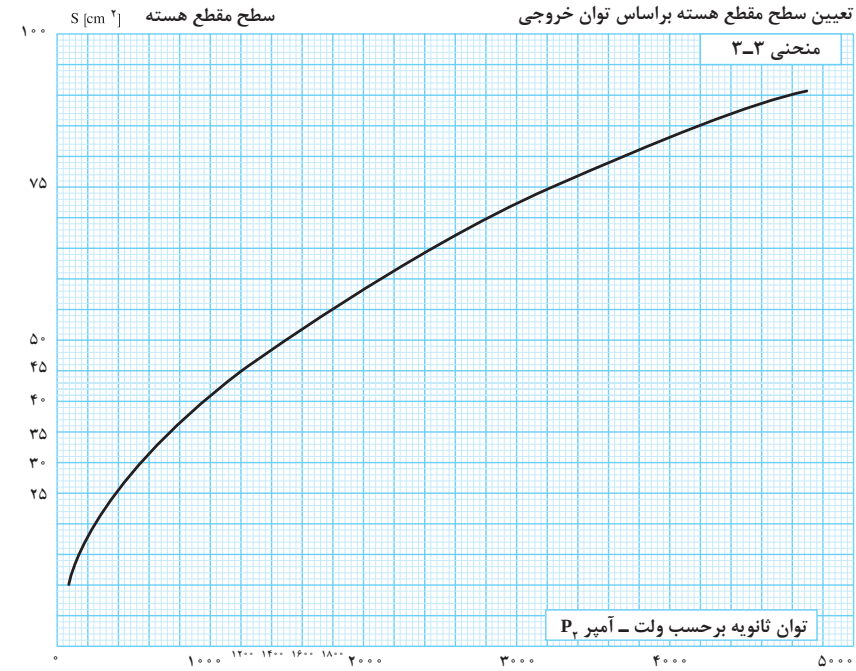
تعیین سطح مقطع هسته براساس توان خروجی



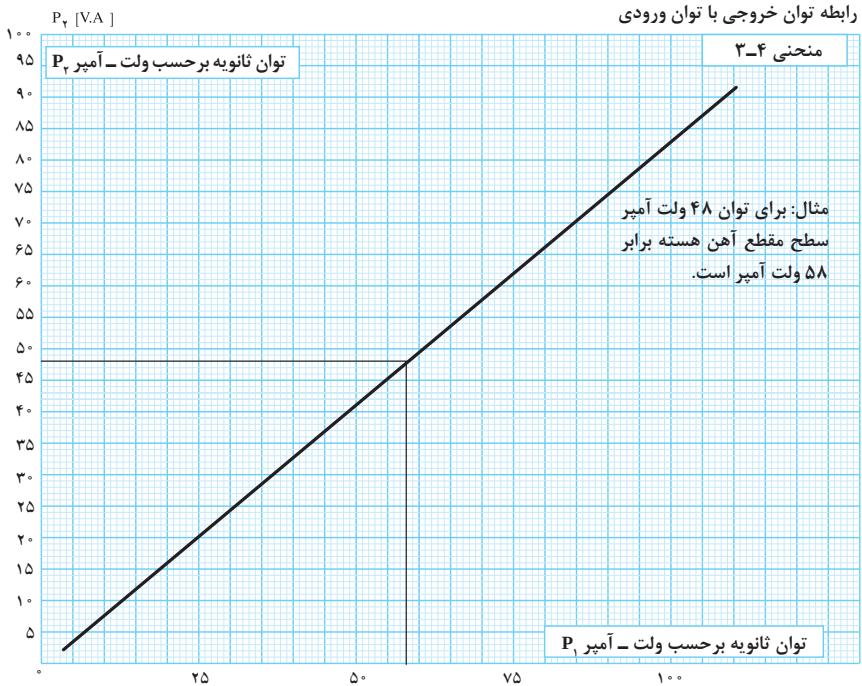
تعیین سطح مقطع هسته براساس توان خروجی



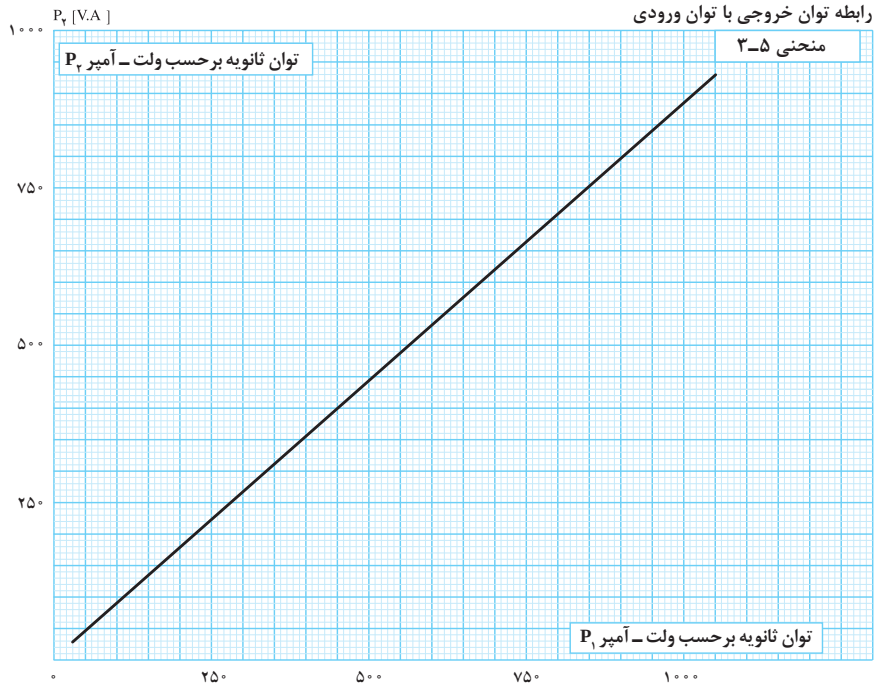
تعیین سطح مقطع هسته براساس توان خروجی



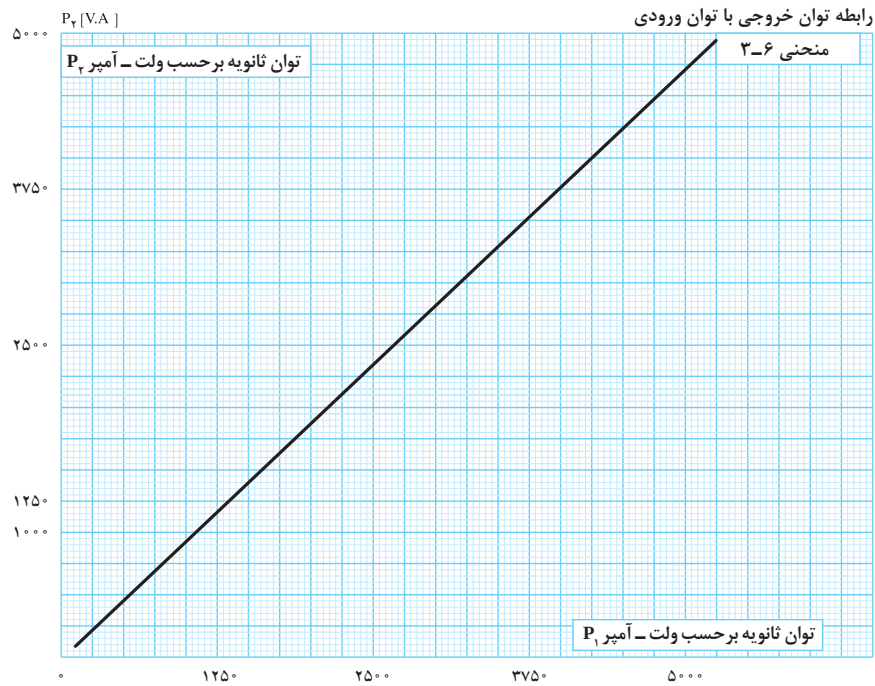
رابطه توان خروجی با توان ورودی



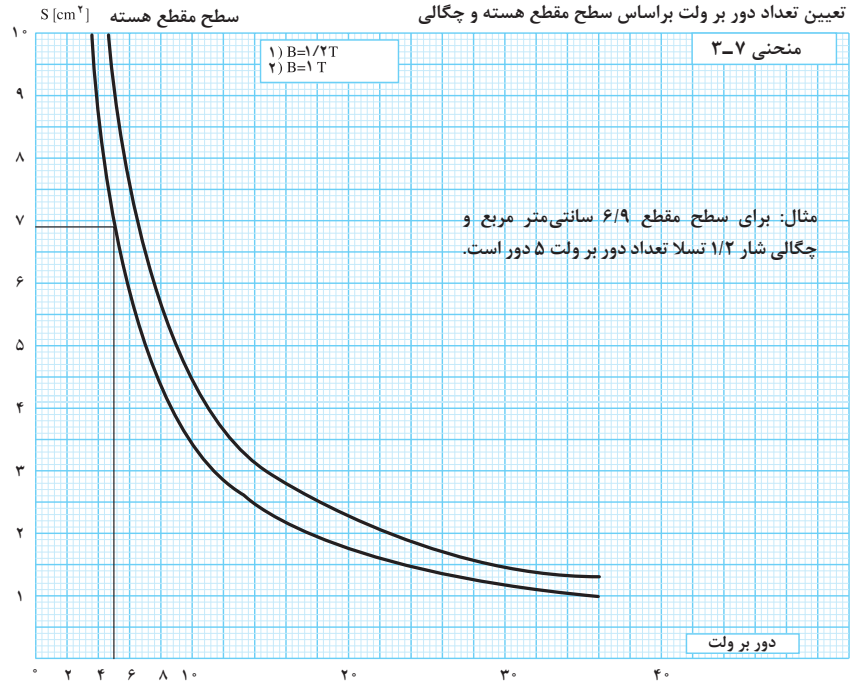
رابطه توان خروجی با توان ورودی



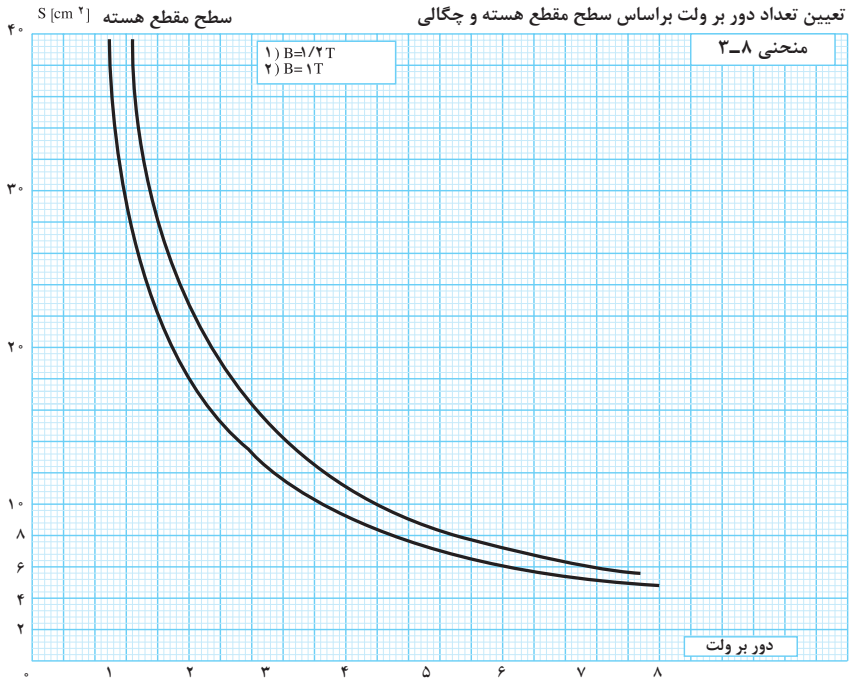
رابطه توان خروجی با توان ورودی



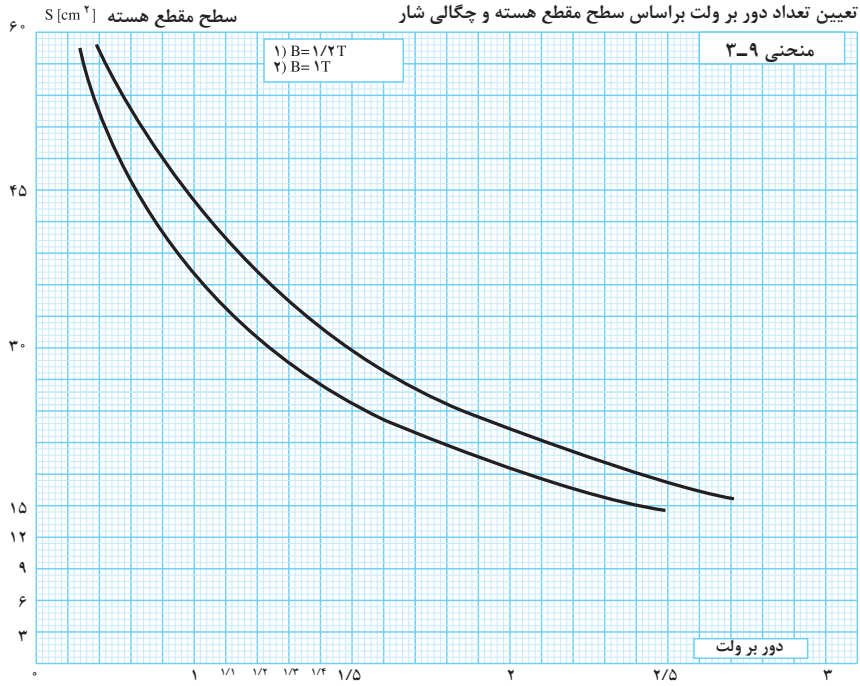
تعیین تعداد دور بر ولت براساس سطح مقطع هسته و چگالی



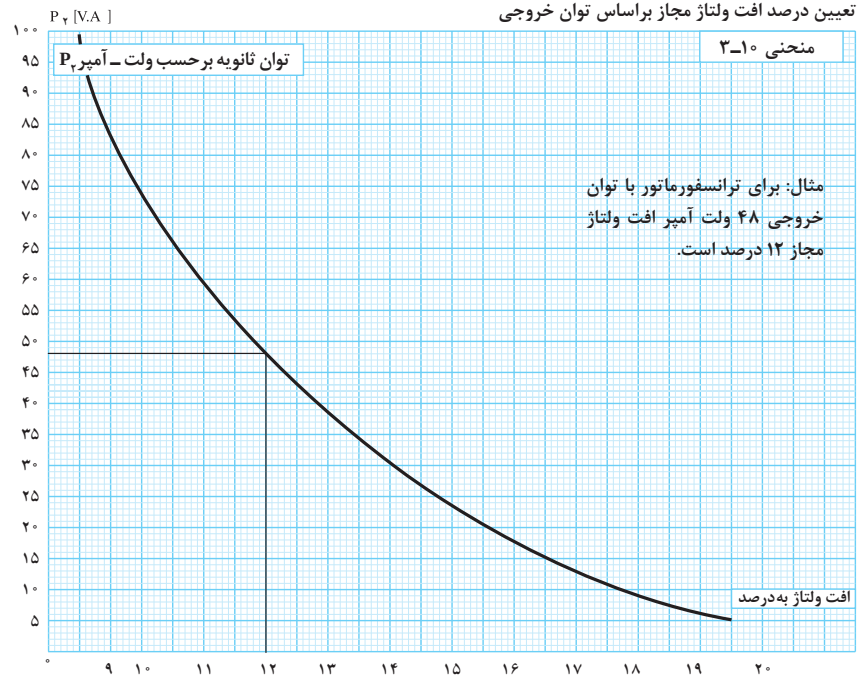
تعیین تعداد دور بر ولت براساس سطح مقطع هسته و چگالی



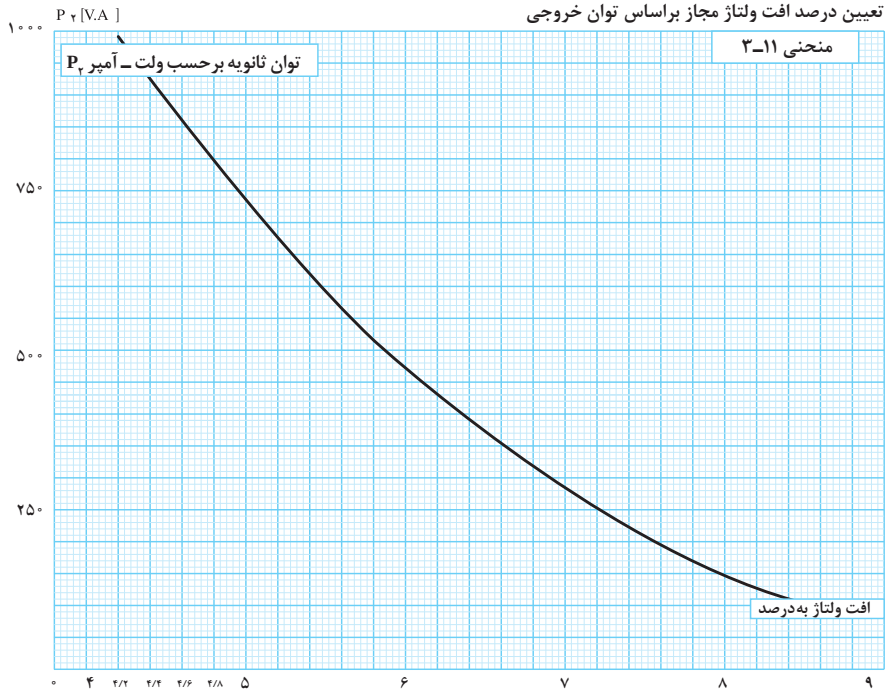
تعیین تعداد دور بر ولت براساس سطح مقطع هسته و چگالی شار



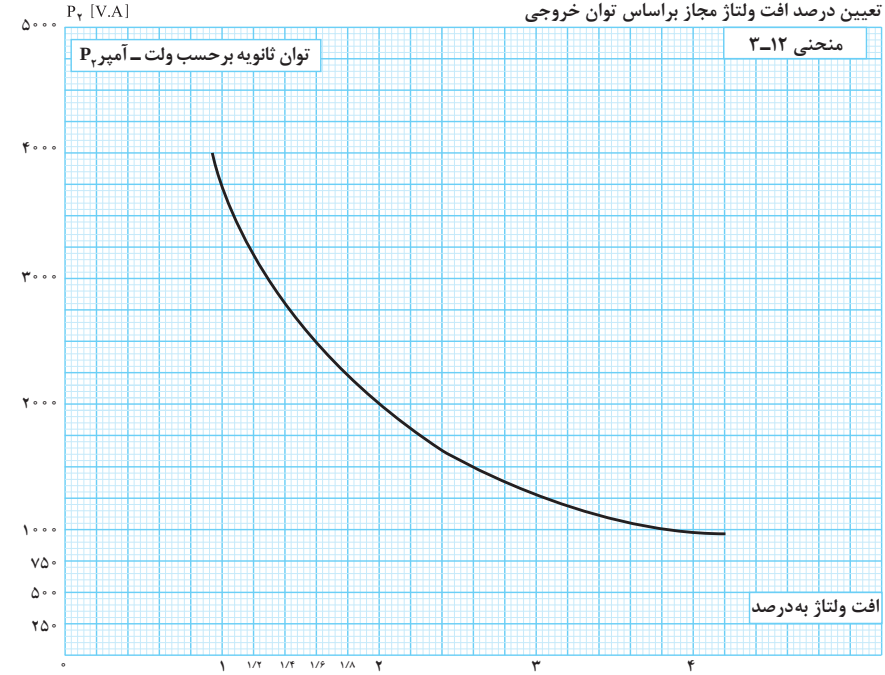
تعیین درصد افت ولتاژ مجاز براساس توان خروجی



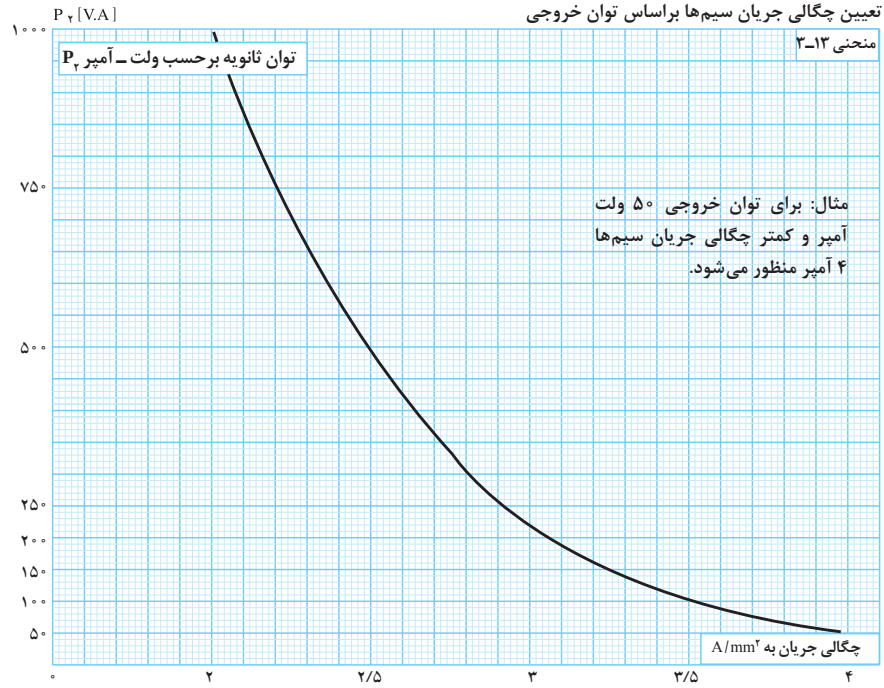
تعیین درصد افت ولتاژ مجاز براساس توان خروجی

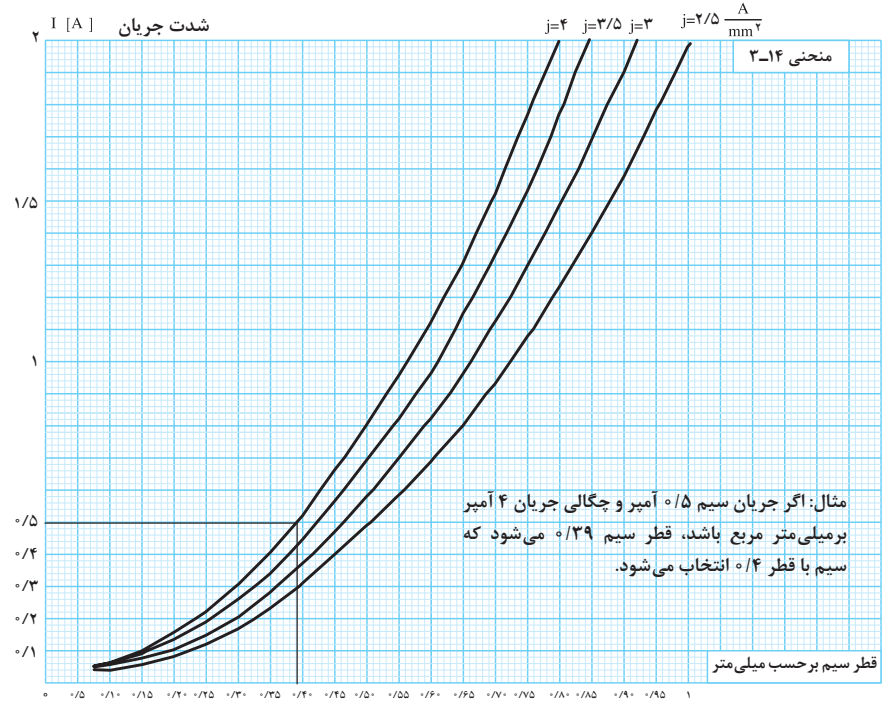


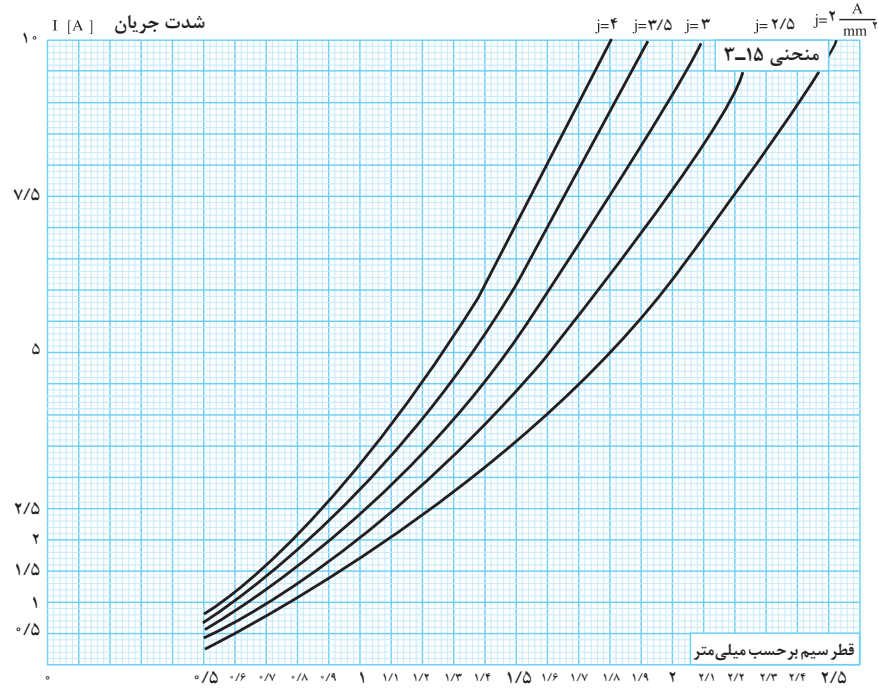
تعیین درصد افت ولتاژ مجاز براساس توان خروجی



تعیین چگالی جریان سیم‌ها براساس توان خروجی

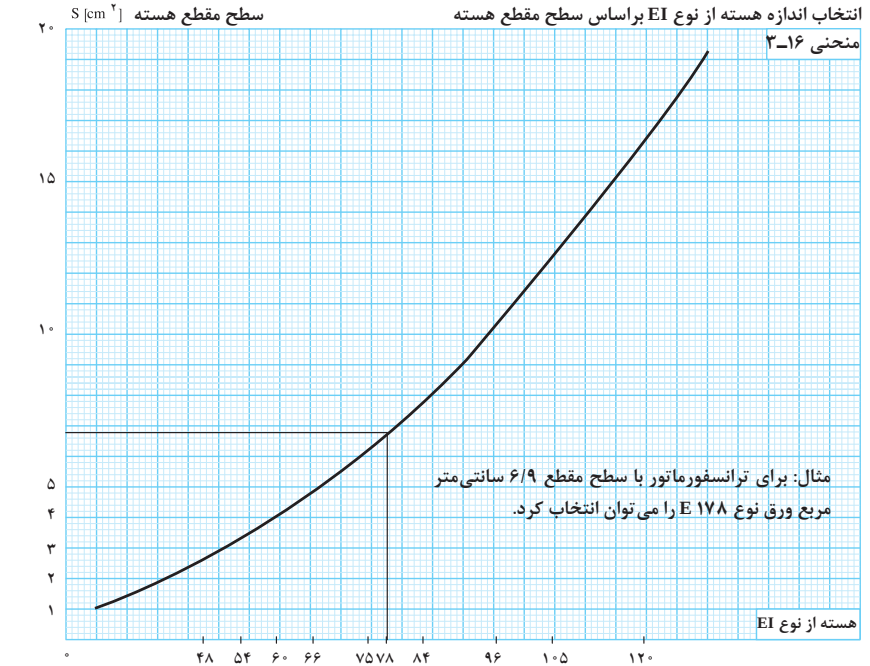






تعیین قطر سیم براساس جریان سیم و چگالی جریان

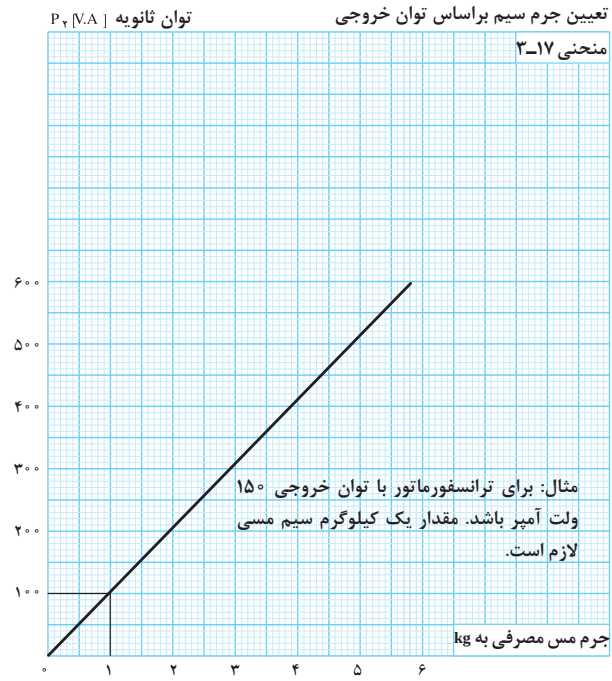
انتخاب اندازه هسته از نوع EI براساس سطح مقطع هسته



مثال: برای ترانسفورماتور با سطح مقطع ۶/۹ سانتی‌متر مربع ورق نوع E ۱۷۸ را می‌توان انتخاب کرد.

تعیین جرم سیم براساس توان خروجی

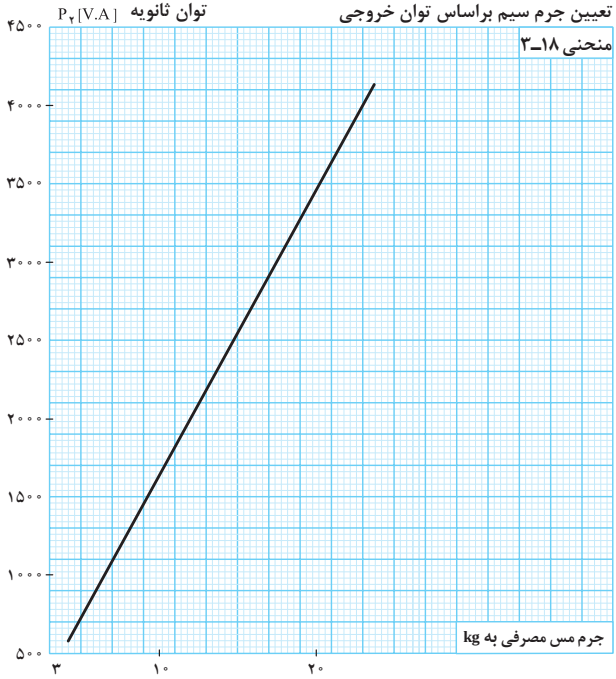
منحنی ۱۷ـ۳



مثال: برای ترانسفورماتور با توان خروجی ۱۵۰ ولت آمپر باشد. مقدار یک کیلوگرم سیم مسی لازم است.

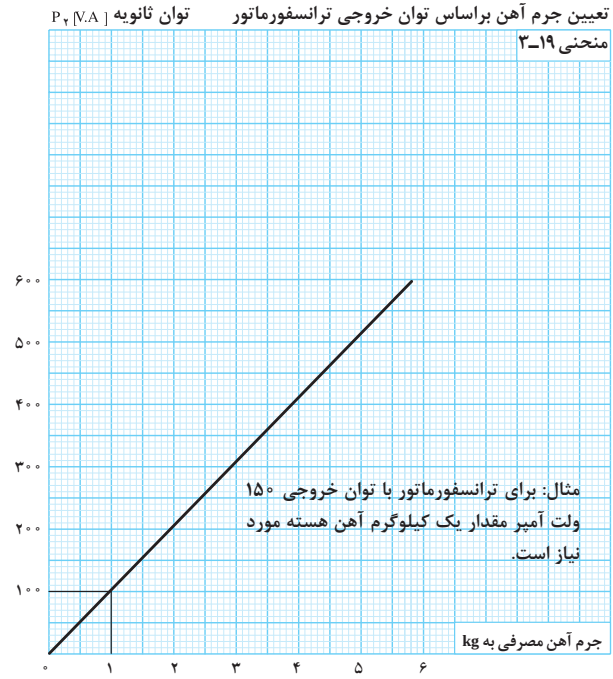
تعیین جرم سیم براساس توان خروجی

منحنی ۱۸ـ۳



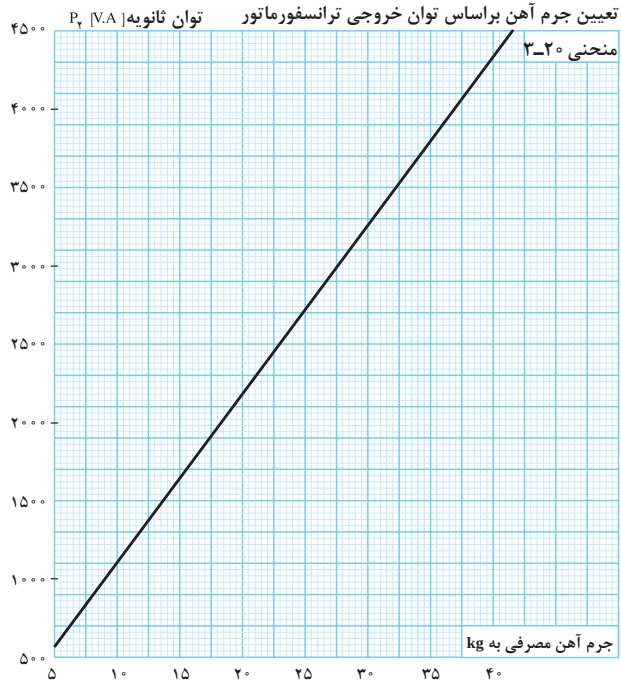
تعیین جرم آهن براساس توان خروجی ترانسفورماتور

منحنی ۱۹ـ۳



تعیین جرم آهن براساس توان خروجی ترانسفورماتور

منحنی ۲۰ـ۳



برای کاربرد منحنی‌های گفته شده در طراحی ترانسفورماتور جدول ۱ـ۳ تشکیل می‌دهیم و آن را کامل می‌کنیم.

جدول ۱ـ۳ استفاده از منحنی طراحی ترانسفورماتور

$U_۱ = V$ ولتاژ اولیه $U_{۲۱}=V, U_{۲۲}=U_{۲۳}=V, I_{۲۱}=A_۱ I_{۲۲}=A, I_{۲۳}=A$		$d' = mm$ ضخامت ورق		$P_۲ = P_{۲۱} + P_{۲۲} + P_{۲۳} + \ldots$ V.A
$P_{۲۱} = I_{۲۱} \times U_{۲۱} =$		V.A $P_{۲۲} = I_{۲۲} \times U_{۲۲} =$	V.A $P_{۲۳} = I_{۲۳} \times U_{۲۳} =$	V.A
خواسته‌ها	**منحنی**	**فرمول**	**محاسبات**	**نتیجه**
S	۱			
$P_۱$	۲			
$N_۲$	۳	$N_۱ = U_۱ \times N_۲$		
$N_۱$				
$\Delta U_{۲۱}$	۴	$N_{۲۱} = U_{۲۱} \times N_۲ (۱ + \Delta U_{۲۱})$		
$\Delta U_{۲۲}$	۴	$N_{۲۲} = U_{۲۲} \times N_۲ (۱ + \Delta U_{۲۲})$		
$\Delta U_{۲۳}$	۴	$N_{۲۳} = U_{۲۳} \times N_۲ (۱ + \Delta U_{۲۳})$		
$N_{۲۱}$				
$N_{۲۲}$		$I_۱ = P_۱ / V_۱$		
$N_{۲۳}$				
J	۵			
$I_۱$	۶			
$d_{۲۱}$	۷			
$d_{۲۱}$	۷			
$d_{۲۲}$	۷			
$d_{۲۳}$	۷			
نوع EI	۸			
تعداد ورق‌های EI		$n = (۱/۱ \times S) / (f \times d')$		
وزن مس مصرفی	۹			
وزن آهن مصرفی	۱۰			
ابعاد قرقره			a b L $h = \frac{۱/۱ \times S}{f}$	

مثال: ترانسفورماتوری به مشخصات V_1=۲۲۰ V، V_2=۲۴ V، I_2=۱/۵A، d_2=۰/۵۰ mm را از طریق منحنی‌ها طرح کنید.

U_1 = ۲۲۰ V ولتاژ اولیه U_{21}=V, U_{22}=U_{23}=V, I_{21}=$A_1$$I_{22}$=A, I_{23}=A		d′ = ۰/۵۰ mm ضخامت ورق		P_2 = ۲۴ + ۰/۵ + ۳۶ V.A
P_{21} = I_{21} × U_{21} =		V.A P_{22} = I_{22} × U_{22} =	V.A P_{23} = I_{23} × U_{23} =	V.A
خواسته‌ها	**منحنی**	**فرمول**	**محاسبات**	**نتیجه**
S	۱			۵/۹cm^2
P_1	۲			۴۲/۵V.A
N_2	۳	$N_1 = U_1 \times N_2$	۲۲۰ × ۶/۴	۶/۴
N_1				۱۴۸۰
ΔU_{21}	۴	$N_{21} = U_{21} \times N_2 (1 + \Delta U_{21})$		۱۲/۵
ΔU_{22}	۴	$N_{22} = U_{22} \times N_2 (1 + \Delta U_{22})$		–
ΔU_{23}	۴	$N_{22} = U_{22} \times N_2 (1 + \Delta U_{23})$		–
N_{21}			۱۲×۶/۴×(۱۰۰/۱۴۵)	۱۷۵
N_{22}		$I_1 = P_1 / V_1$		–
N_{23}		۳۲۶		–
J	۵			۴
I_1	۶			۰/۱۹۵
d_{11}	۷			۰/۲۳
d_{21}	۷			۰/۲۰
d_{22}	۷			–
d_{23}	۷			–
نوع EI	۸			۶۶
تعداد ورق‌های EI		$n = (1/1 \times S) / (f \times d')$		۵۹
وزن مس مصرفی	۹			۲۵۰g
وزن آهن مصرفی	۱۰			۲۵۰g
ابعاد قرقره			a = ۱۳/۱ b = ۱۲/۶ L = ۲۸ $h = \frac{1/1 \times S}{f} = \frac{1/1 \times ۵/۹ \times ۱۰۰}{۲۲}$	h = ۲۹/۵mm

ز بوسیدنی‌های این روزگار　　یکی هم بود دست آموزگار

علی عراقی متولد ۱۳۳۰ شمسی شهرستان مرند است. وی تحصیلات ابتدایی را در دبستان جاماسب یکان کهریز مرند و دوره متوسطه را در ارومیه گذراند و سپس وارد دانشکده پلی‌تکنیک تهران شد. عراقی در ادامه مدرک فوق لیسانس از دانشگاه تربیت مدرس تهران در رشته برق قدرت دریافت کرد. او فعالیت‌های آموزشی خود را از آموزش و پرورش ارومیه در سال ۱۳۴۹ شروع کرد و پس از آن در هنرستان‌های تهران و همچنین دانشگاه شهید رجایی به تدریس پرداخت. علاوه بر تدریس در مراکز علمی دولتی با صنعت ارتباط داشته و در دوره‌های کوتاه‌مدت، آموزش‌هایی برای ارتقای سطح علمی تکنسین‌ها و مهندسین شرکت‌های مختلف مانند، ذوب آهن، مجتمع فولاد مبارکه، مس سرچشمه کرمان و ... داشته است. در دوران دفاع مقدس و شرایط دشوار تأمین تجهیزات کارخانه‌ها وی با تعمیر و بازپیچی موتورهای الکتریکی، آنها را به‌چرخه تولید باز می‌گرداند. مهندس عراقی در سال‌های متمادی بعد از انقلاب اسلامی در طی ۲۰ سال موفق به تربیت تعداد بی‌شماری از دبیران فنی برق شده است که بسیاری از آنها امروز سرآمد آموزش‌های فنی و حرفه‌ای کشور و بازار کار هستند. تجارب ارزنده این معلم فرهیخته و دلسوز، تألیف چندین جلد کتاب درسی تخصصی در نظام‌های آموزش فنی می‌باشد که برگ زرینی از تلاش‌های ارزنده او در این راه است. مهندس عراقی در سال‌های ۷۲ و ۸۰ به‌عنوان مدرس نمونه کشوری انتخاب شد.

پودمان ۴
کتاب درسی

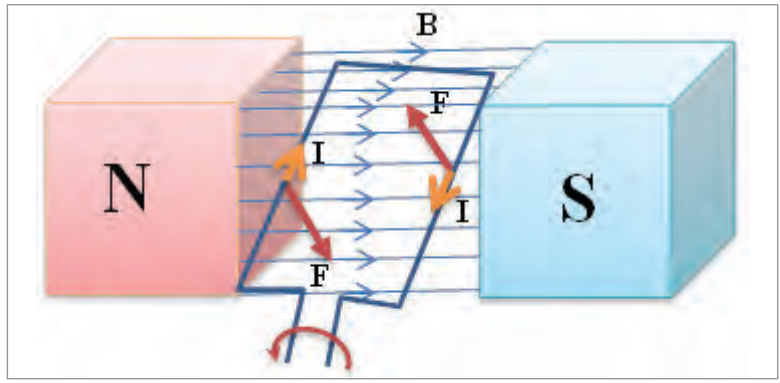
سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه فاز

مقدمه

اهمیت الکترو موتورهای الکتریکی در تأمین اهداف صنعتی و خانگی و توسعه آنها با رشد تکنولوژی ایجاب می‌کند این بخش را نیز در حد وسیع‌تر مورد مطالعه قراردهیم وتا حدودی خواسته آموزشی را برآورده کنیم این امر میسر نخواهد شد که دانش و مهارت همکاران عزیز درحد مطلوب ارتقا داده شود مطمئن هستیم ارائه این راهنما با ترکیب تجارب همکاران ما را به اهداف مطلوب آموزش این پودمان سوق خواهد داد.

۱ـ۴ـ عملکرد الکتروموتورها:

اساس کار موتورهای الکتریکی درواقع اعمال نیرو بر هادی جریان‌دار در میدان مغناطیسی است اگر هادی به‌شکل قاب درآید و از آن جریان الکتریکی عبور کند و در میدان مغناطیسی متقارن قرارگیرد در بازوی این قاب دو نیروی مساوی موازی و مختلف‌الجهت (زوج نیرو یا کوپل نیرو) ایجاد می‌شود و خاصیت زوج نیرو ایجاد گشتاور است. بدین طریق قاب حول محورخود قادر خواهد بود به‌گردش درآید. مقدار گشتاور ایجاد شده به‌بزرگی میدان مغناطیسی، شعاع بازوها، طول مؤثر هادی‌ها درمیدان مغناطیسی و جریان عبوری از هادی‌ها بستگی دارد. گشتاور یک کمیت برداری است که عامل مؤثر گشتن یک جسم حول محورش می‌باشد و واحد آن نیوتن متراست ازنظر معادله ابعادی ازجنس انرژی جهت‌دار می‌باشد (شکل ۱).

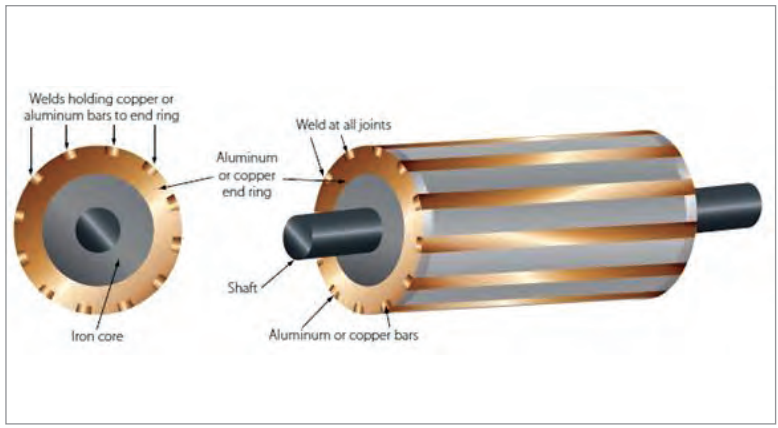


شکل ۱ـ ایجاد گشتاور الکتروموتور

ارتباط بردارهای B,F,I را قاعده دست چپ تعیین می‌کند براین اساس اگر کف دست چپ در ورودی خطوط میدان از قطب N به قطب S قرارگیرد چهارانگشت جهت جریان و انگشت شست جهت نیروی F را نشان خواهد داد.

در ساختن هسته رتور واستاتور از ورقه‌ها دینامو‌بلش استفاده می‌شود، به هرکدام از ورقه‌های دینامو‌بلش یک لمینت می‌گویند یک طرف آنها عایق است با کنار هم چیدن این لمینت‌ها شیارهایی پیدا می‌شوند. ورقه‌ها را به‌گونه‌ای کنار هم قرار می‌دهند که طرف عایق آنها به‌طرف هادی ورق دیگر باشد که در مجموع ورقه‌های چیده شده روی هم نسبت به‌هم عایق باشند در داخل شیارهای ورقه‌های رتور را با مفتول‌های آلومینیومی یا مسی قرار می‌دهند و دوسر آنها با صفحات یا رینگ به همدیگر اتصال می‌دهند و در داخل شیارهای استاتور باتوجه به‌سرعت و قطب‌ها کلاف‌هایی تهیه شده و سیم پیچی می‌شوند. مفتول‌های رتور، باپرکردن شیارها توسط مس مذاب یا آلومینیوم مذاب ایجاد می‌شود.

اکثراً سؤال می‌شود در رتور هسته که آهنی و رسانا می‌باشد چرا جریان از مسیرهای مفتول آلومینیومی یا مسی عبور می‌کند و از مسیر هسته آهنی نمی‌گذرد. همان‌طور که در بالا گفته شد ورقه‌های هسته نسبت به‌هم عایق هستند و جریان الکتریکی را هدایت نمی‌کنند مگر جریان‌های فوکو که ناچیز هستند از ورقه‌های آهنی عبور کنند. علاوه برآن آلومینیوم ومس از هدایت بهتری نسبت به‌آهن برخوردار می‌باشند و الکترون‌ها رساناترین مسیر را انتخاب می‌کنند. درشکل ۲ طرز قرار گرفتن مفتول‌های مسی یا آلومینیومی در داخل هسته آهنی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ رتور قفسی

تحقیق

تحقیق کنید فرایند ساخت روتور قفسی چگونه است؟

جواب : ابتدا توسط دستگاه‌های پانچ، سوراخ های مورد نیاز که برابر تعداد مفتول‌ها و متناسب با تعداد قطب‌ها می‌باشد در روی صفحات ایجاد می‌کنند و یک طرف ورق‌ها را عایق می‌کنند با روی هم قرار دادن این ورقه‌ها روی شفت یا محور رتور، مسیرهای مفتول‌ها به‌دست می‌آید این مسیرها را با آلومینیوم مذاب یا مس مذاب پرمی‌کنند که پس از سرد شدن مواد مذاب مفتول در داخل شیارها تشکیل و تثبیت می‌شوند مفتول‌ها را از دو طرف توسط صفحات یا رینگ‌ها به هم اتصال می‌دهند تا مسیر جریان الکتریکی آنها کامل شود.

۴ـ۲ محاسبات سیم پیچی استاتورموتورهای الکتریکی

مطالب ارائه شده در این قسمت صرفاً برای تسلط همکاران به محاسبات سیم‌پیچی استاتور می‌باشد و انتقال محاسبات به هنرجویان هدف نمی‌باشد. برای آنکه پوسته‌های موجود درکارگاه متنوع و در توان‌های مختلف می‌باشند لذا همکاران با مراجعه به این مطالب می‌توانند مشخصات سیم‌پیچی را استخراج نموده، آنها را جهت بازپیچی در اختیار هنرجویان قرار دهند.

۴-۲-۱ برآورد تعداد دور هرکلاف استاتور

در بحث ترانسفورماتورها نیروی محرکه القایی را براساس رابطه ۴ـ۱ تعیین کردیم.

$$E = ۴/۴۴ \times f \times B \times A \times N_{Ph} \qquad (۴ـ۱)$$

در این رابطه B چگالی متوسط میدان در سطح استاتور، A سطح یک قطب که شارمغناطیسی را تولید می‌کنند، f فرکانس و N_{Ph} تعداد دور هرفاز می‌باشد و E نیروی محرکه القایی در هرفاز است.

از رابطه ۴ـ۱ مقدار N_{Ph} را براساس رابطه ۴ـ۲ به‌دست می‌آوریم.

$$N_{Ph} = \frac{E}{۴/۴۴ \times f \times B \times A} \qquad (۴ـ۲)$$

تعداد کلاف‌ها در هرفاز را با γ نشان می‌دهند و از رابطه ۴-۳ محاسبه می‌شود.

$$\gamma = \frac{Z \times t}{۲} \qquad (۴ـ۳)$$

Z تعداد شیارها و t تعداد طبقات سیم پیچی می باشد.

B مقدار متوسط چگالی میدان در سطح استاتوراست و اگر شار تولیدی توسط جریان متناوب سینوسی یا کسینوسی باشد می‌توان آن را به‌صورت زیر به‌دست آورد.

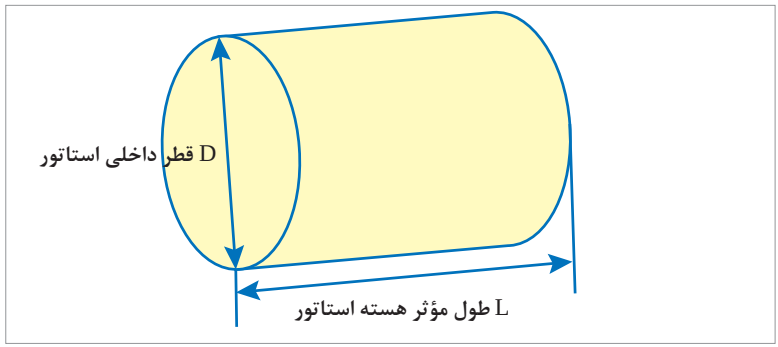
$$B(t) = B_m \sin(\omega t)$$

$$B = \frac{1}{n}\int_0^{\pi} B_m \sin(\omega t)d\omega t = \frac{B_m}{\pi}\left[-\cos \omega t\right]_0^{\pi} = \frac{B_m}{\pi}\left[-\cos(\pi) - (-\cos(0)\right]$$

$$= \frac{B_m}{\pi}\left[1+1\right]$$

$$B = \frac{2}{\pi}B_m \qquad (۴\text{-}۴)$$

B_m ماکزیمم چگالی میدان می‌باشد که به قطر استاتور و تعداد قطب‌ها بستگی دارد و به‌علت آنکه یک کمیت غیرخطی است آن را از منحنی شماره ۱ تعیین می‌کنیم.
A سطح مقطع زیر هر قطب از تقسیم سطح جانبی استاتورکه یک استوانه است بر تعداد قطب‌ها به‌دست می‌آید.



شکل ۳ـ سطح مقطع جانبی داخلی استاتور

اگر سطح جانبی استاتور را به تعداد قطب‌ها تقسیم کنیم A، سطح اشغال توسط هر قطب به‌دست می‌آید (رابطه ۵-۴).

$$S = \pi \times D \times L$$

$$A = \frac{S}{2P} = \frac{\pi \times D \times L}{2P} \qquad (۴\text{-}۵)$$

از جایگزینی روابط ۵-۴، ۴-۴، ۳-۴ در رابطه ۲-۴ می‌توان نوشت:
دور هرکلاف را با N_V نشان خواهیم داد که از تقسیم N_{Ph} بر γ به‌دست می‌آید.

$$N_V = \frac{N_{Ph}}{\gamma} = \frac{E}{۴/۴۴ \times f \times \frac{۲ \times B_m}{\pi} \times \frac{\pi \times D \times L}{۲P} \times \gamma}$$

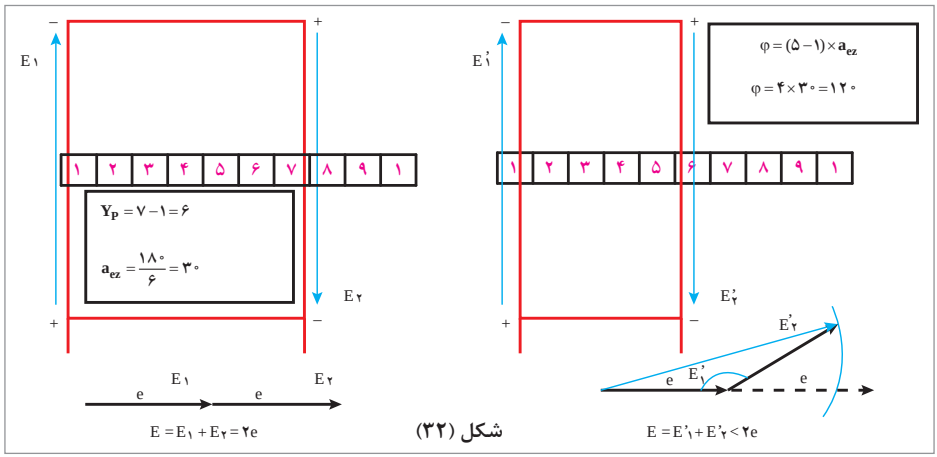
$$N_V = \frac{E \times ۲P}{۴/۴۴ \times f \times ۲ \times B_m \times D \times L \times \gamma} = \frac{V_{Ph}(۱ - \%\Delta V) \times ۲P}{۴/۴۴ \times f \times ۲ \times B_m \times D \times L \times \gamma}$$

$$N_V = \frac{V_{Ph}(۱ - \%\Delta V) \times ۲P}{۴/۴۴ \times f \times ۲ \times B_m \times D \times L \times \gamma} \qquad (۴\text{ـ}۶)$$

رابطه ۶ـ۴ زمانی صادق است که هسته یک پارچه و گام سیم‌پیچی کامل و همه سیم‌ها در دوشیار قرارداده شوند. این شرایط در عمل امکان‌پذیر نمی‌باشد چون همه سیم‌ها در دوشیار جا نمی‌گیرند و باید بین شیار مربوط به فاز توزیع شوند هسته به‌خاطر جلوگیری از تلفات فوکو ورق‌ورق می‌سازند و برای حذف هارمونی‌های مزاحم و سایر مزایا از گام کسری استفاده می‌شود در تورق هسته، حجم مؤثر کمتر از حجم ظاهری می‌شود و در محاسبات باید حجم مؤثر درنظرگرفته شود لذا سیم‌پیچی نسبت به سطح ظاهری یک ضریب تورق پیدا می‌کند که آن را با K نشان خواهیم داد معمولاً K را حدوداً ۰/۹۵ منظور می‌کنند.

۲ـ۲ـ۴ ضریب کوتاهی گام یا ضریب وتر

در گام کامل بین دو بازوی یک کلاف اختلاف فاز ۱۸۰ درجه می‌باشد بنابراین ولتاژهای القایی دراین دو بازو جمع جبری می‌شوند و با گام کسری اختلاف فاز کمتر از ۱۸۰ درجه می‌شود دراین حالت ولتاژ بازوهای یک کلاف از جمع برداری به‌دست می‌آید که کمتر از مقدار جمع جبری می‌باشد که باعث کاهش ولتاژ شده و مشخصات نامی موتور را تغییر می‌دهد و برای آنکه در مشخصات موتور تغییراتی حاصل نشود تعداد دور هرکلاف را به‌اندازه ضریب کوتاهی گام یا ضریب وتر تقویت می‌کنیم (شکل ۴).



شکل ۴ ـ کوتاهی گام

ضریب کوتاهی گام را با K_P نشان می‌دهند از رابطه ۴ـ۷ محاسبه می‌شود.

$$K_P = \sin\left(\frac{y_z \times \alpha_e z}{۲}\right) \qquad (۴\text{ـ}۷)$$

$$y_z = y_P\left(۱ - \frac{۱}{n}\right)$$

$$y_P = \frac{Z}{۲P}$$

$$\alpha_e z = \frac{P \times ۳۶۰}{z}$$

n شماره هارمونی است که در کسری گام هدف، حذف این هارمونی است.

۳ـ۲ـ۴ـ ضریب توزیع

در توزیع سیم‌ها در سطح شیارها مانند کسری گام ولتاژ القایی جمع برداری می‌شوند و کاهش ولتاژ اتفاق می‌افتد و برای جبران کاهش ولتاژ، ولتاژ به اندازه ضریب توزیع تقویت می‌شود. ضریب توزیع را با K_Z نشان می‌دهند و از رابطه ۴ـ۸ به‌دست می‌آید.

$$K_Z = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{۲m}\right)}{q \sin\left(\frac{\pi}{۲mq}\right)} \qquad (۴\text{ـ}۸)$$

$$q = \frac{Z}{۲P \times m}$$

۴ـ۲ـ۴ـ ضریب سیم‌پیچی

به حاصلضرب ضریب توزیع و ضریب کوتاهی گام ضریب سیم‌پیچی می‌گویند و آن را با K_W نشان داده و رابطه ۴ـ۹ حاصل می‌شود.

$$K_W = K_P \times K_Z \qquad (۴ـ۹)$$

بدین طریق فرمول نهایی محاسبه تعداد دور هر کلاف سیم‌پیچی استاتور به‌صورت رابطه ۴ـ۱۰ بیان می‌شود.

$$N_V = \frac{V_{Ph}(۱ - ٪\Delta V)۲P}{۴/۴۴ \times f \times ۲ \times B_m \times D \times L \times \gamma \times K \times K_W} t \qquad (۴ـ۱۰)$$

V_{Ph} ولتاژ فازی است اگر موتور به‌صورت ستاره کار کند در استاندارد ایران اندازه آن ۲۳۰ ولت است و اگر در کار نامی مثلث کار کند مقدار آن ۴۰۰ ولت منظور می‌گردد.

ΔV مقدار افت ولتاژ است براساس تعداد قطب از جدول ۱ انتخاب می‌شود.

جدول ۱ـ تعیین افت ولتاژ براساس تعداد قطب‌ها

۲P تعداد قطب‌ها	۲	۴	۶	۸
Δ_V افت ولتاژ به درصد	۲	۲/۵	۳	۳/۵

۲P تعداد قطب‌ها است.

D قطر داخلی استاتور برحسب متر و L طول مؤثر هسته برحسب متر می‌باشد.

B_m چگالی میدان از منحنی شماره ۱ به‌دست می‌آید.

γ تعداد کلاف‌های به‌کار رفته در هر فاز است که از رابطه ۳ـ۴ به‌دست می‌آید.

K ضریب تورق است که تقریباً برابر ۰/۹۵ می‌باشد.

K_W ضریب سیم‌پیچی می‌باشد که از رابطه ۴ـ۹ به‌دست می‌آید.

۵ـ۲ـ۴ـ محاسبه توان، جریان و قطر سیم موتورها

توان خروجی یک هسته با قطر داخلی D و طول L از رابطه ۱۱ـ۴ به‌دست می‌آید.

$$P_۲ = K \times B_m^۲ \times D^۲ \times L \times N_r \qquad (۴ـ۱۱)$$

در این رابطه $P_۲$ توان خروجی موتور برحسب کیلووات می‌باشد.

K ضریب توان یابی است که به ابعاد هسته موتور بستگی دارد و از منحنی شماره ۲ تعیین می‌شود.

B_m چگالی میدان برحسب تسلا از منحنی شماره ۱ مشخص می‌شود.

D قطر داخلی استاتور برحسب میلی‌متر می‌باشد. ازطریق اندازه‌گیری قطر داخلی استاتور به‌دست می‌آید این مقدار تقریباً با قطر خارجی رتور برابر است.

L طول مؤثر هسته استاتور یا رتور می‌باشد از روش اندازه‌گیری حاصل شده و برحسب میلی‌متر است.

N_r دور رتور در دقیقه می‌باشد با توجه به تعداد قطب و لغزش موتور از رابطه ۱۲ـ۴ قابل محاسبه می‌باشد.

$$N_r = N_r\,(۱-S) \qquad (۴ـ۱۲)$$

$$N_S = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P}$$

S لغزش موتور است که با توجه به ابعاد هسته و تعداد قطب‌های موتور از منحنی شماره ۳ تعیین می‌شود.

۶ـ۲ـ۴ـ برآورد قطر سیم مورد نیاز سیم‌پیچی:

پس از تعیین توان خروجی با توجه به راندمان الکتروموتورها توان دریافتی موتور از رابطه $P_۱ = \frac{P_۲}{\eta}$ معلوم می‌شود.

η راندمان با توجه به ابعاد هسته و تعداد قطب‌ها از منحنی شماره ۵ تعیین می‌شود.

جریان الکتریکی دریافتی را از رابطه ۱۳ـ۴ به‌دست می‌آوریم.

$$I_L = \frac{P_۱}{\sqrt{۳} \times V_L \times \cos\varphi} \qquad (۴ـ۱۳)$$

$\cos\varphi$ ضریب توان از منحنی شماره ۶ با توجه به وابستگی آن به ابعاد هسته و تعداد قطب‌ها تعیین می‌شود.

$$\begin{cases} \text{اتصال ستاره} \rightarrow I_L = I_P \\ \text{اتصال مثلث} \rightarrow I_P = \frac{I_L}{\sqrt{۳}} \end{cases}$$

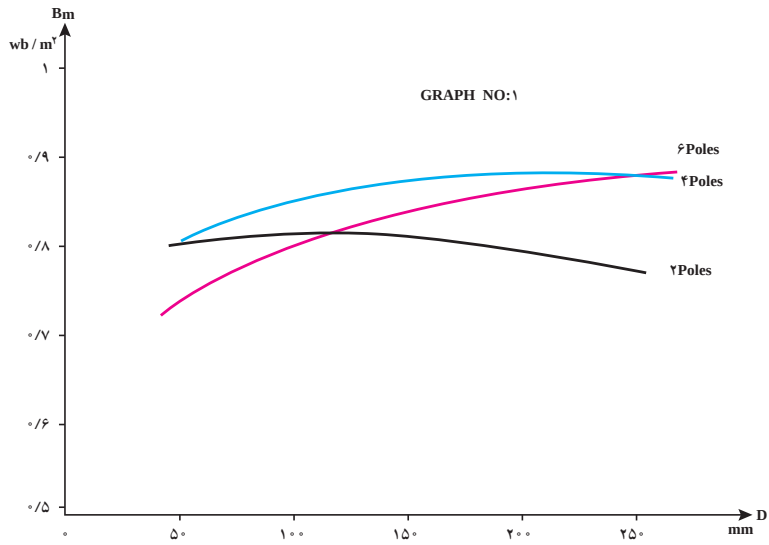
از تقسیم جریان فازی بر چگالی جریان سطح مقطع سیم مشخص می‌شود که می‌توان قطر سیم را تعیین کرد.

$$S = \frac{I_P}{J}$$

$$d = ۱/۱۳\sqrt{S}\ mm \qquad (۴-۱۴)$$

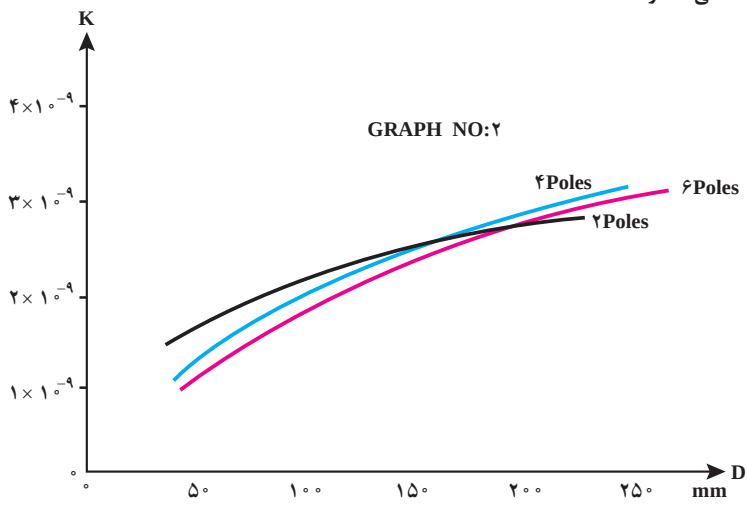
J چگالی جریان از منحنی شماره ۴ با توجه به وابستگی آن به ابعاد هسته و تعداد قطب‌ها تعیین می‌شود.

منحنی شماره ۱



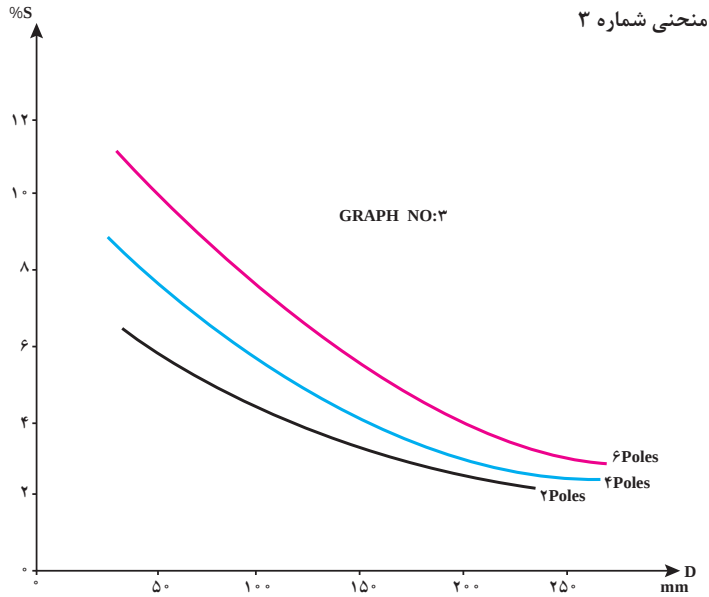
شکل ۵ـ منحنی تعیین چگالی میدان

منحنی شماره ۲



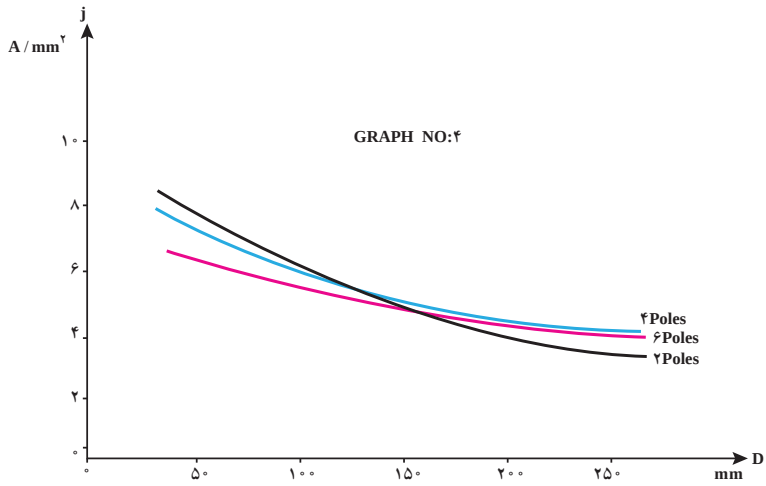
شکل ۶ـ منحنی تعیین ضریب توان یابی (K)

منحنی شماره ۳



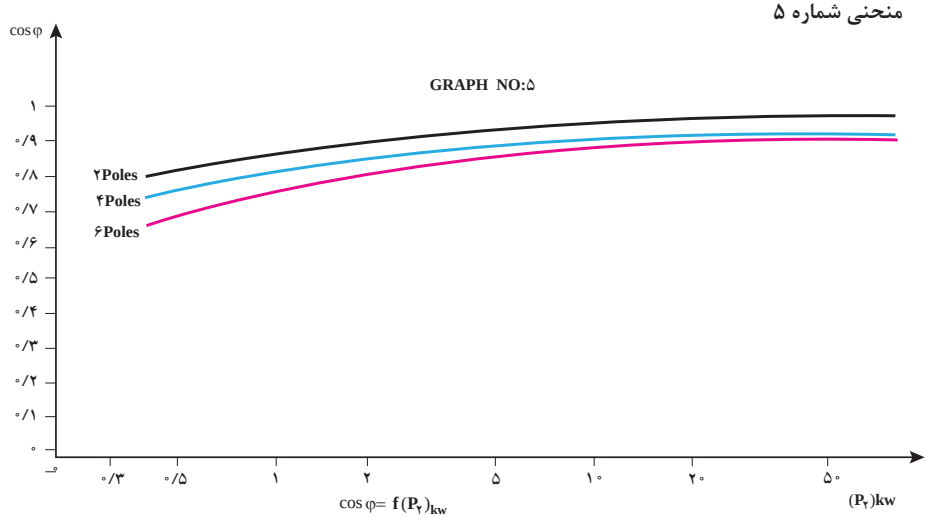
شکل ۷ـ منحنی تعیین لغزش (S)

منحنی شماره ۴



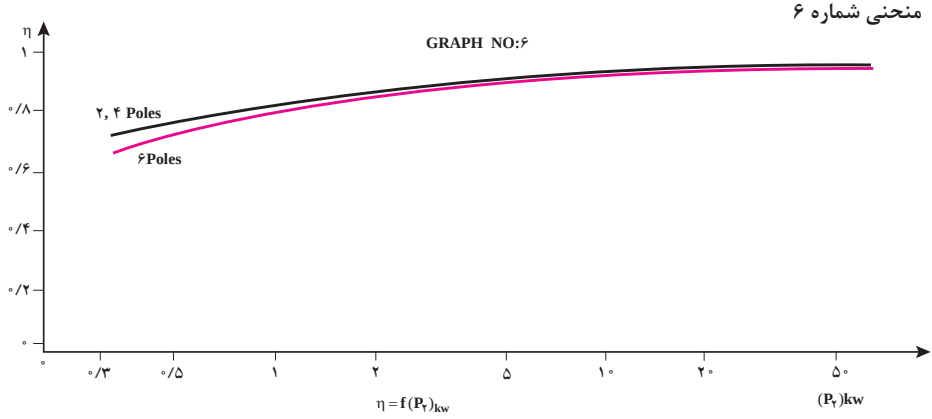
شکل ۸ ـ منحنی تعیین چگالی جریان (J)

منحنی شماره ۵



شکل ۹ـ منحنی تعیین ضریب توان (cosφ)

منحنی شماره ۶



شکل ۱۰ـ منحنی تعیین راندمان (η)

۳ـ۴ـ مفهوم فیزیکی گشتاور

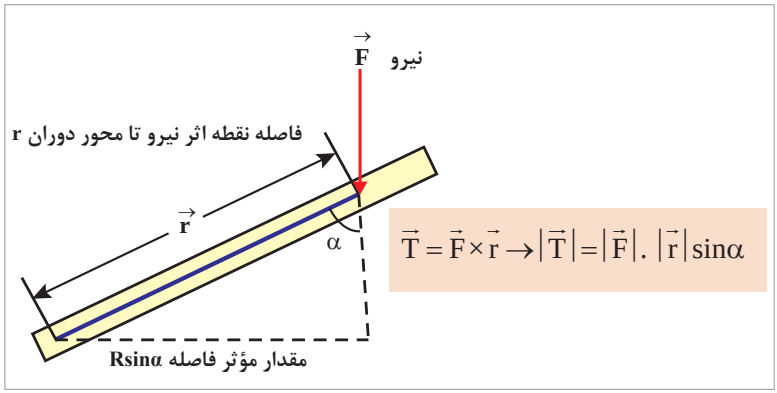
عامل مؤثر گشتن یک جسم را حول یک محور گشتاور نیرو می‌گویند با T نشان می‌دهند (شکل ۱۱).

گشتاور نیرو یک کمیت برداری است و واحد آن نیوتن متر است و عوامل مؤثر در آن عبارت‌اند از:

$\vec{F}$ نیرو (واحد نیوتن)

$\vec{r}$ فاصله نقطه اثر نیرو تا محور دوران (واحد متر)

α زاویه بین نیرو و فاصله نیرو تا محور دوران



شکل ۱۱ـ گشتاور

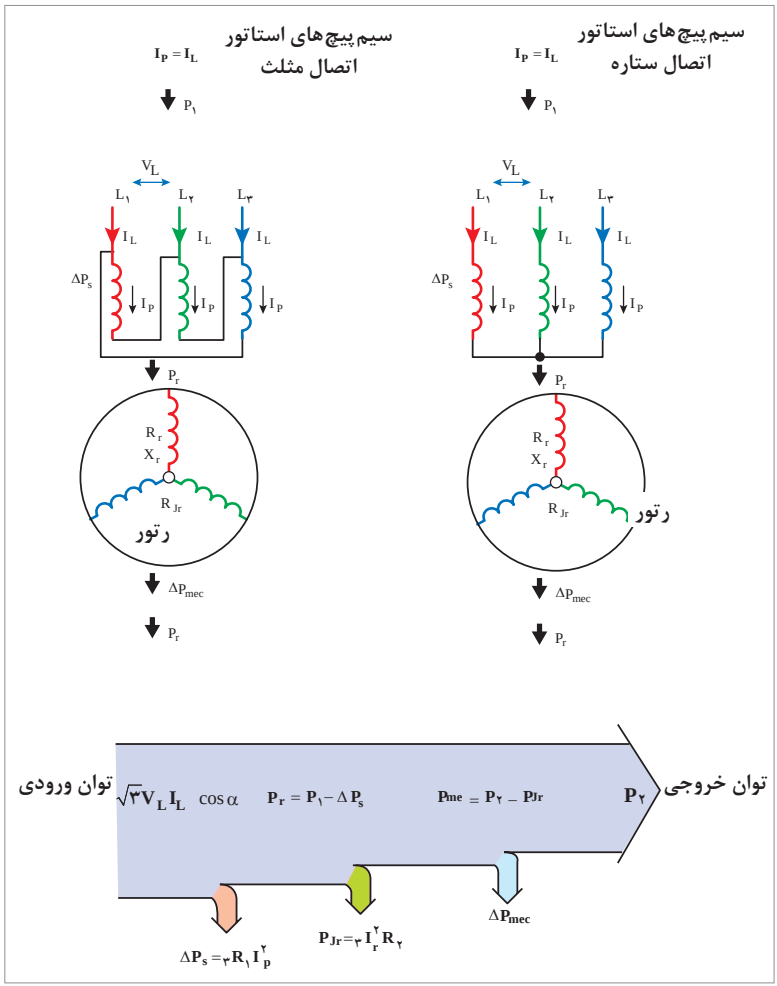
در موتورهای الکتریکی دو نوع گشتاور، گشتاور مکانیکی (یا گشتاور مفید یا گشتاور خروجی) و گشتاور الکترومغناطیسی (گشتاور رتور) وجود دارد. این گشتاورها با توان مکانیکی و توان الکترومغناطیسی تعریف می‌شوند جهت آشنایی با این توان‌ها ابتدا به‌طور مختصر روند توان ورودی و خروجی الکتروموتورها را از طریق دیاگرام توازن توان‌ها بررسی می‌کنیم از شبکه الکتریکی توان ورودی $P_1 = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\varphi$ وارد استاتور می‌شود به اندازه $\Delta p_S = 3I_{P1}^2 R_1$ در استاتور تلف شده و بقیه از طریق فاصله هوایی وارد رتور می‌شود. توان الکترومغناطیسی نام دارد و با $P_r = P_1 - \Delta P_S$ برابر است. از توان ورودی به رتور به اندازه $P_{Jr} = s P_r = 3I_r^2 R_2$ (تلفات ژولی یا تلفات رتور) و به اندازه ΔP_{mec} در سیستم تهویه و اصطکاک یاتاقان‌ها از بین می‌رود و توان خروجی P_2 به بار تحویل داده می‌شود s لغزش موتور است.

۴ـ۴ـ راندمان یا ضریب بهره

نسبت توان خروجی به توان ورودی را راندمان یا ضریب بهره می‌گویند و با η نشان می‌دهند و آن را به درصد بیان می‌کنند.

$$\%\eta = \frac{P_۲}{P_۱} \times ۱۰۰$$

دیاگرام توان در حالت ستاره و مثلث در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲ـ دیاگرام توازن توان

۴ـ۵ـ گشتاور مفید یا مکانیکی

نسبت توان خروجی به سرعت زاویه‌ای رتور را گشتاور مکانیکی می‌گویند و به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$T_m = T_U = T_۲ = \frac{P_۲}{\omega_r} \Rightarrow \omega_r = ۲\pi N_r$$

$$T_U = \frac{P_۲ \times ۶۰}{۲\pi N_r} \text{ N.m}$$

N_r دور رتور در هر دقیقه می‌باشد.

۴ـ۶ـ گشتاور الکترومغناطیسی

نسبت توان رتور یا توان الکترومغناطیسی را به سرعت زاویه‌ای دور سنکرون را گشتاور رتور یا گشتاور الکترومغناطیسی می‌گویند و به‌صورت زیر بیان می‌شود.

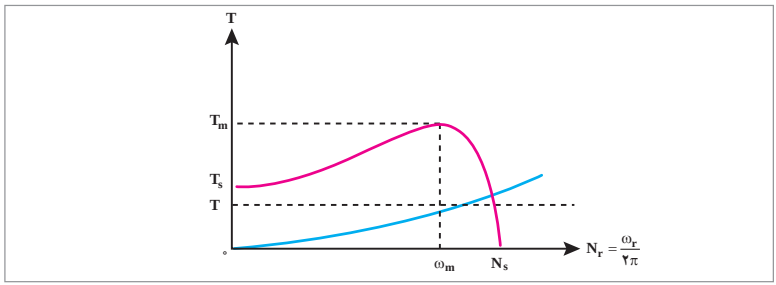
$$T_e = \frac{P_r}{\omega_s} \Rightarrow \omega_s = ۲\pi N_s$$

$$T_e = \frac{P_r \times ۶۰}{۲\pi N_s} \text{ N.m}$$

N_s دور سنکرون در هر دقیقه می‌باشد.

۴ـ۷ـ منحنی گشتاور دور

در بارهای مختلف، دور رتور تحت تأثیر بار قرار می‌گیرد به عبارت دیگر هر چقدر بار موتور سنگین‌تر شود. دور موتور کاهش می‌یابد این کاهش به علت داشتن گشتاور بیشتر برای غلبه بر بار است با کاهش دور، مفتول‌های رتور، خطوط میدان بیشتری را قطع می‌کنند و در آنها، جریان بیشتری القا می‌گردد جریان قوی گشتاور قوی ایجاد می‌کنند و موتور می‌تواند بر بار غلبه کند. از محل تلاقی گشتاور موتور و گشتاور بار گشتاور، نقطه کار موتور مشخص می‌شود.

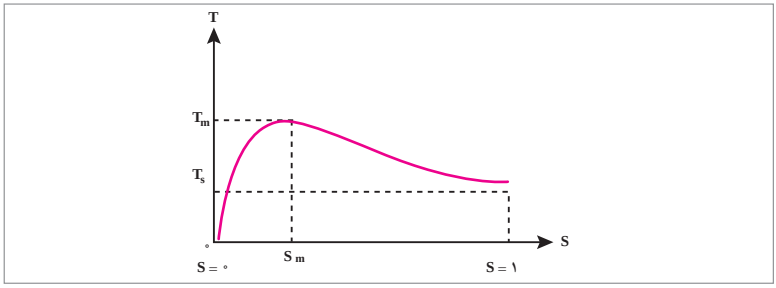


شکل ۱۳ــ منحنی گشتاور دور

T_m گشتاور ماکزیمم نیوتن.متر، T_S گشتاور راه‌اندازی نیوتن.متر، T گشتاور کار N_s دور سنکرون، N_r دور رتور ω_m سرعت زاویه‌ای که گشتاور به ازای آن ماکزیمم می‌شود.

۸ــ۴ــ منحنی گشتاور لغزش

گشتاور یک موتور الکتریکی، براساس مشخصه‌های رتور نیز تعیین می‌شود. اگر مقاومت اهمی هر فاز رتور را به R_2، مقاومت القایی هرفاز رتور را به هنگام راه‌اندازی با X_2، ولتاژ القایی هر فاز رتور در زمان راه‌اندازی E_2 و لغزش موتور S باشد، گشتاور موتور به‌صورت $T = \frac{KE_2^2 SR_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$ بیان می‌شود. در لحظه راه‌اندازی به علت آنکه دور رتور صفر است لغزش $S = \frac{N_S - 0}{N_S} = 1$ می‌باشد. در این حالت گشتاور برابر $T_S = \frac{KE_2^2 SR_2}{R_2^2 + X_2^2}$ می‌شود و آن را گشتاور راه‌اندازی می‌گویند. در لغزش $S_m = \frac{R_2}{X_2}$، گشتاور حداکثر می‌گویند و برابر $T_{max} = \frac{KE_2^2}{2X_2}$ می‌باشد و آن را گشتاور ماکزیمم می‌گویند S_m را لغزش بحرانی می‌گویند در لحظه‌ای $S=0$ آنگاه $N_r \approx N_S$ گشتاور صفر می‌شود.



شکل۱۴ــ منحنی گشتاور لغزش

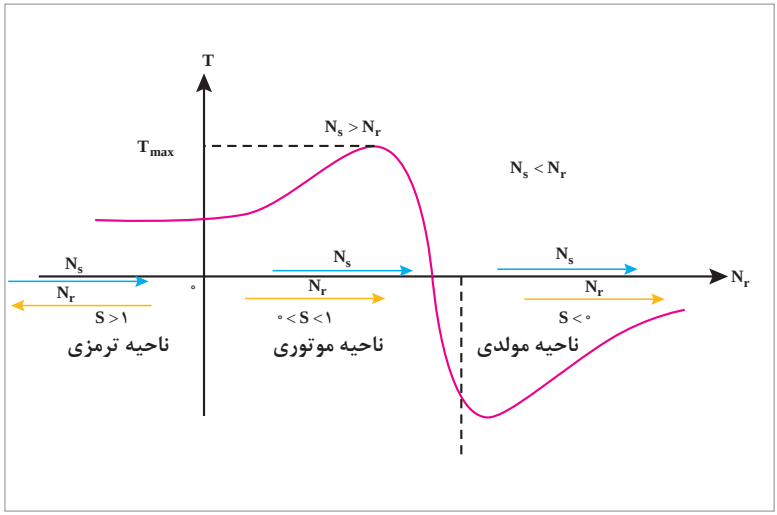
۹ـ۴ـ مشخصه موتورهای آسنکرون در لغزش‌های مختلف

سه حالت کاری در موتورهای آسنکرون وجود دارد

۱ لغزش منفی است در این حالت دور رتور بیشتر از دور حوزه دوار است. وسیله نقلیه که توسط موتور به حرکت در می‌آید در سراشیبی قرار گیرد. یا رتور با یک وسیله خارجی به گردش در می‌آید. دور رتور بیشتر از دور حوزه دوار می‌شود. و موتور خاصیت مولدی پیدا می‌کند. به شبکه برق انرژی می‌دهد. در این حالت $S<0$ می‌شود.

۲ موتور کار طبیعی خود را انجام می‌دهد در این حالت دور رتور کوچک‌تر از دور حوزه دوار است. موتور از شبکه انرژی الکتریکی دریافت می‌کند و آن را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. در این حالت $0 \leq S<1$ است و وظیفه اصلی موتور در این ناحیه کاری است.

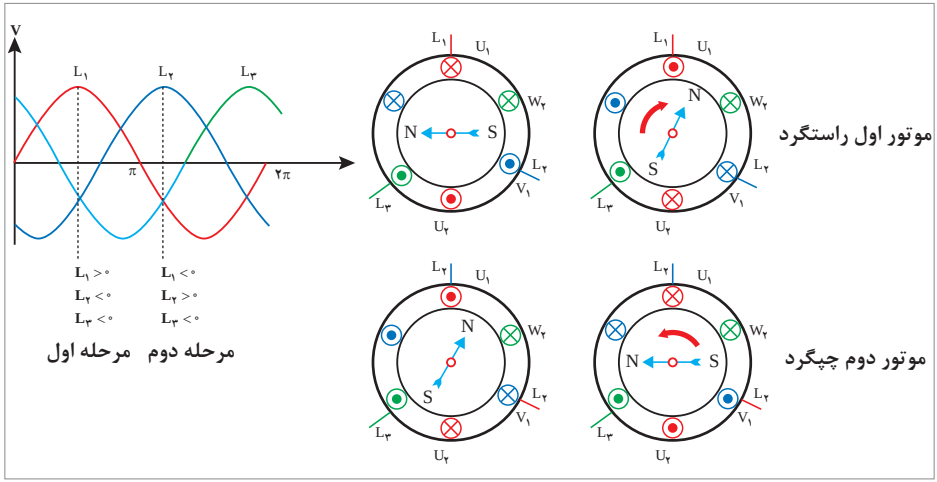
۳ موتور در حالت کاری است، جای دو فاز از سه فاز تغذیه موتور جابه‌جا می‌شود. و جهت گردش دور سنکرون N_s برعکس جهت گردش رتور N_r می‌شود در این حالت موتور خاصیت ترمزی دارد و $S>1$ می‌شود (شکل ۱۵).



شکل ۱۵ـ مشخصه گشتاور دور در لغزش‌های مختلف

۱۰ـ۴ـ تغییر جهت گردش موتورهای آسنکرون

دو موتور مشابه دو قطب را در نظر می‌گیریم سیم‌پیچ‌های U_1، V_1، W_1 موتور اول را به ترتیب با فازهای L_1، L_2، L_3 و سیم‌پیچ‌های U_1، V_1، W_1 موتور دوم را به ترتیب با فازهای L_2، L_3، L_1 تغذیه می‌کنیم در دو مرحله وضعیت قطب‌ها را در سطح استاتور آنها تعیین می‌کنیم. مشاهده می‌شود در موتور اول جابه‌جایی قطب‌ها راستگرد و در موتور دوم جابه‌جایی قطب‌ها چپگرد می‌باشد از آنجایی که گردش رتور در جهت جابه‌جایی قطب‌ها انجام می‌شود بنابراین در موتورهای سه فاز آسنکرون با تعویض جای دوفاز در سیم‌پیچ موتورها، جهت گردش موتورها عوض می‌شود.



شکل ۱۶ـ تغییر جهت الکتروموتور آسنکرون

۱۱ـ۴ـ راه‌اندازی موتورهای القایی آسنکرون سه فاز

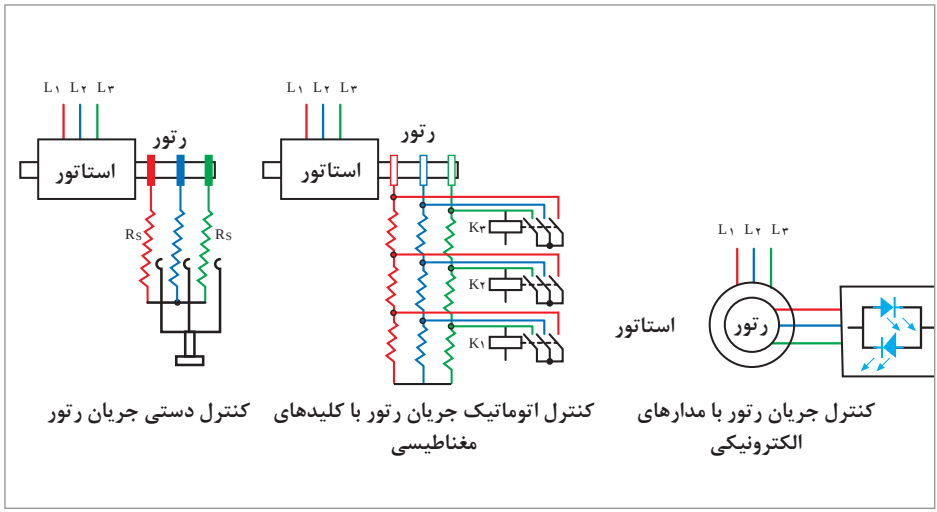
نیروی الکتروموتوری، در موتورهای الکتریکی، جریان دریافتی موتورهای الکتریکی را تعیین می‌کند. نیروی الکتروموتوری با توجه به رابطه $E=K\varphi\omega$، متناسب با تعداد دور گردش رتور تولید می‌گردد. مقدار نیروی الکتروموتوری در بار نامی موتور به ولتاژ تغذیه موتورها خیلی نزدیک است. اختلاف پتانسیل ولتاژ شبکه با نیروی الکتروموتوری و امپدانس معادل هر فاز رتور، جریان موتور را در بار نامی تعیین می‌کند. به هنگام راه‌اندازی دور موتور صفر می‌باشد بنابراین نیروی الکتروموتوری صفربوده و جریان موتور تحت ولتاژ شبکه بدون مخالفت نیروی محرکه برقرار می‌شود که مقدار آن خیلی زیاد بوده و تا ۸ برابر جریان نامی می‌رسد این جریان

را جریان راه‌اندازی می‌گویند. جریان راه‌اندازی به سیم‌پیچ‌های موتور و تأسیسات حفاظتی آن صدمه شدید وارد می‌کند. برای کنترل جریان راه‌اندازی و جلوگیری از صدمات شدید آن با روش‌های مختلف از قبیل، کنترل جریان رتور، کنترل ولتاژ ورودی توسط اتوترانسفورماتور، مدارهای الکترونیکی و روش ستاره و مثلث، موتورها را راه‌اندازی نمود.

۱ـ۱۱ـ۴ـ کنترل جریان رتور با مقاومت راه‌انداز

این روش راه‌اندازی در موتور آسنکرون رتور سیم‌پیچی اجرا می‌شود. با قرار دادن مقاومت راه‌انداز درمسیر مقاومت‌های رتور جریان رتور و در نهایت جریان راه‌اندازی را می‌توان کنترل کرد. در این حالت مقاومت‌های راه‌انداز پس از دور گرفتن رتور به‌تدریج به‌وسیله دست یا کلیدهای مغناطیسی یا مدارات الکترونیکی از مسیر مدار رتور برداشته می‌شوند. با انتخاب مقاومت مناسب، در این روش می‌توان گشتاور راه‌اندازی را به مقدار گشتاور ماکزیمم سوق داد. اگر اندازه مقاومت راه‌انداز سری (R_S) با مقاومت رتور ($R_۲$) در هر فاز، برابر راکتانس القایی رتور در هر فاز در حال راه‌اندازی ($X_۲$) باشد گشتاور راه‌اندازی برابر گشتاور ماکزیمم می‌شود (شکل ۱۷).

$$R_S + R_۲ = X_۲$$



شکل ۱۷ـ کنترل جریان راه‌اندازی از طریق کنترل جریان رتور

۲ـ۱۱ـ۴ـ راه‌اندازی موتورهای القایی با روش کنترل ولتاژ استاتور

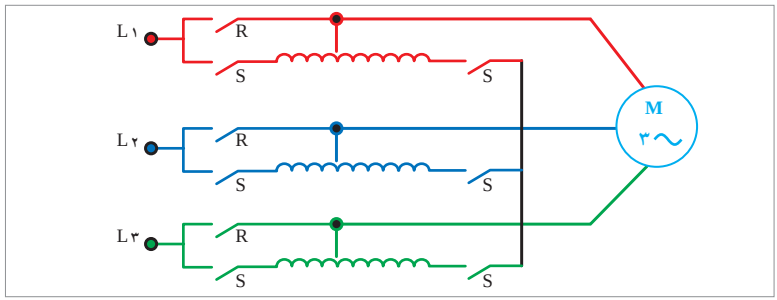
الف) اتوترانسفورماتور: با کاهش ولتاژ ورودی الکتروموتور را می‌توان با کاهش جریان راه‌اندازی کاهش داد. چون گشتاور موتورها با مجذور جریان موتور متناسب است. کاهش جریان سبب خواهد شد که موتور نتواند بر بار غلبه کرده و آن را به گردش درآورد. بنابراین لازم است در زمان راه‌اندازی بار را از موتور جدا کرده، موتور را راه‌اندازی نمود، سپس بار را به موتور وصل کرد. یکی از روش‌های کاهش ولتاژ اتوترانسفور است با ترانسفور ابتدا تقریباً نصف ولتاژ را به سیم‌پیچ‌های موتور اعمال می‌کنند. پس از دورگرفتن موتور اتوترانسفورماتور را از مدار سیم‌پیچ استاتور برمی‌دارند (شکل ۱۸).

R کلیدهای کار معمولی

S کلیدهای استارت

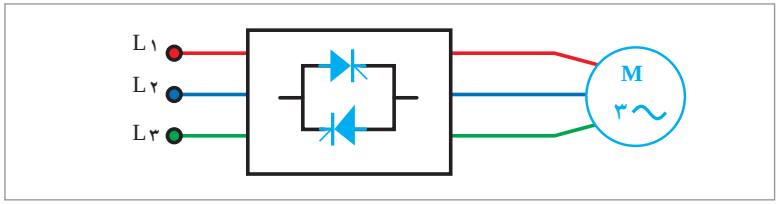
Rها باز Sها بسته، موتور در وضعیت راه‌اندازی

Rها بسته Sها باز، موتور در وضعیت کار



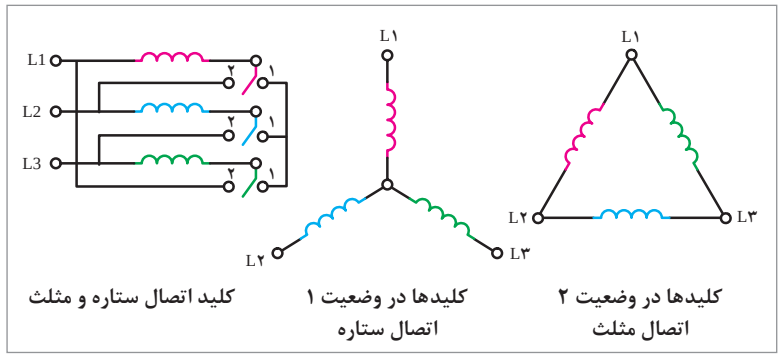
شکل ۱۸ـ راه‌اندازی موتور با کاهش ولتاژ استاتور (روش استاتوری)

ب) سیستم‌های الکترونیکی: با تغییر دامنه ولتاژ ورودی با کنترل‌کننده‌های تریستوری (SCR) می‌توان یک راه‌اندازی نرم را مهیا کرد در شکل ۱۹ بلوک دیاگرام این روش را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۹ـ راه‌اندازی با سیستم الکترونیکی

پ) ستاره مثلث: این روش برای موتورهایی قابل استفاده است که در کار نامی به‌صورت مثلث طراحی شده‌اند به عبارت دیگر سیم‌پیچ‌های هر فاز استاتور به راحتی ولتاژ خطی شبکه را تحمل می‌کنند و توان نامی آنها در اتصال مثلث برقرار می‌شود. در اتصال ستاره ولتاژ فازی روی هر فاز قرار می‌گیرد در نتیجه ولتاژ تغذیه موتور $\frac{۱}{\sqrt{۳}}$ برابر ولتاژ نامی می‌شود و جریان ۳ برابر کاهش می‌یابد (شکل ۲۰).



شکل ۲۰ــ راه‌اندازی ستاره مثلث

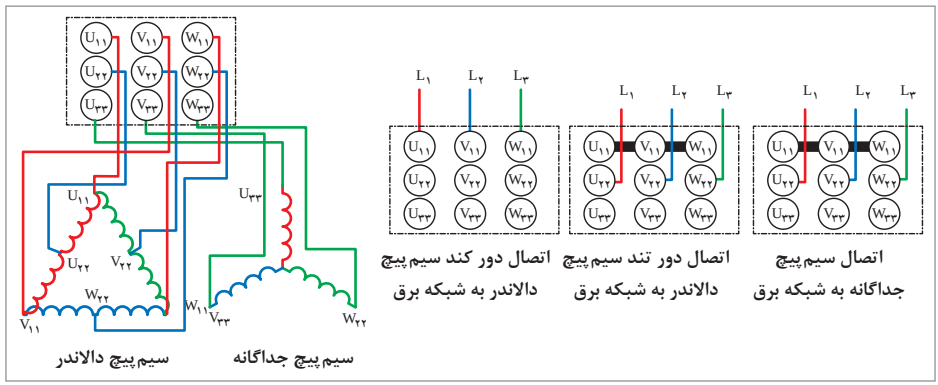
۱۲ــ۴ــ تغییردور موتورهای آسنکرون

برای کنترل دبی سیالات، تغییر سرعت خطوط تولید، داشتن سرعت‌های متفاوت در سیستم‌های مخلوط کننده‌ها و سانتریفوژها از موتورهای الکتریکی انتظار سرعت‌های متفاوت است. سرعت موتورها را با توجه به روابط $N_r = N_S(۱-S) = \frac{f \times ۶۰}{P}(۱-S)$ و $E=K\varphi\omega$ می‌توان با روش‌های زیر تغییر داد.

۱ تغییر دور با تغییر تعداد قطب‌ها
۲ تغییر دور با تغییر فرکانس
۳ تغییر دور با تغییر ولتاژ تغذیه
۴ تغییر دور با تغییر هم‌زمان فرکانس و ولتاژ

الف) تغییر دور موتورها با تغییر قطب‌ها: با افزایش تعداد دور قطب‌ها، جابه‌جایی مکانیکی رتور، کاهش یافته و سرعت موتور کمتر می‌شود. برای این منظور سیم‌پیچ‌های داخل استاتور را برای قطب‌های متفاوت می‌پیچند که با اتصال هرکدام از سیم‌پیچ‌ها به شبکه الکتریکی موتور با دور مربوط به آن سیم‌پیچ به گردش درمی‌آید اگر تغییر قطب‌ها به نسبت ۱ به ۲ باشد از یک سیم‌پیچ با اتصال دالاندر برای دریافت دو دور

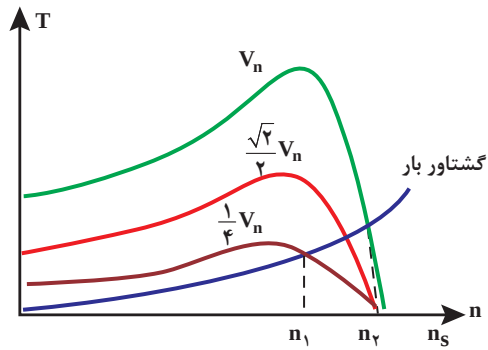
استفاده می‌شود. ممکن است در یک ماشین از ترکیب سیم‌پیچی دالاندر و سیم‌پیچ جداگانه استفاده شود می‌توان حداقل سه سرعت متفاوت از موتور دریافت نمود در شکل ۲۱ سیم‌پیچ داخل این موتورها دیده می‌شود.



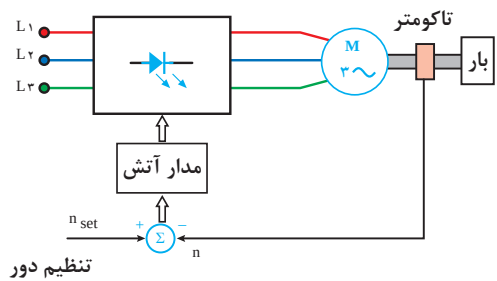
شکل ۲۱ــ تغییر دور موتورها از روش تغییر قطب‌ها

ب) تغییردورموتورها با تغییر فرکانس: دور سنکرون ارتباط مستقیم با فرکانس دارد می‌توان با تغییر فرکانس دور سنکرون را تغییر دهیم با تغییر دور سنکرون دور موتور نیز تغییر می‌کند. امپدانس سیم‌پیچ‌های استاتور و رتور با توجه به رابطه $X_L=2\pi f$ با تغییر فرکانس تغییر خواهد نمود بدین ترتیب مشخصات موتور، جریان دریافتی و گشتاور موتور در تغییر دور از طریق تغییر فرکانس تغییر خواهند کرد.

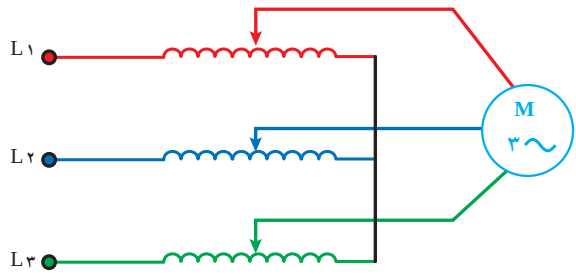
پ) تغییر دور موتورها با تغییر ولتاژ: گشتاور موتورهای القایی با مجذور ولتاژ متناسب است در شکل ۲۲ گشتاور یک موتور القایی در ولتاژ نامی، $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ولتاژ نامی و $\frac{1}{4}$ ولتاژ نامی نشان داده شده است. از تعیین نقطه کار موتور از تقاطع گشتاور بار و گشتاور موتور مشاهده می‌شود دور موتور در محدوده n_1 تا n_2 تغییر می‌کند. تغییر ولتاژ را می‌توان با اتوترانسفورماتور یا با قراردادن سیم‌پیچ در مسیر سیم‌پیچ استاتور یا کنترل‌کننده‌های مدارهای الکترونیک قدرت انجام داد. در کنترل‌کننده‌های الکترونیکی با تعیین سرعت مورد نیاز (n_{set})، جمع‌کننده (Σ) تفاضل $n_{set}-n$ را مشخص می‌کند و برحسب آنکه تفاضل مثبت یا منفی است زاویه آتش تریستور را تغییر می‌دهد. این عمل در ولتاژ خروجی تریستورها اثرکرده و سرعت انتخاب شده را در موتور با سیستم کنترل حلقه باز یا حلقه بسته فراهم می‌کند. تاکومتر از یک سیم‌پیچ و یک آهن‌ربای دایم تشکیل می‌گردد متناسب با دور موتور ولتاژ ایجاد می‌کند تا با ولتاژ مرجع n_{set} برای تنظیم دور مقایسه شود (شکل ۲۳).



شکل ۲۲ـ تغییرات سرعت از طریق ولتاژ تغذیه



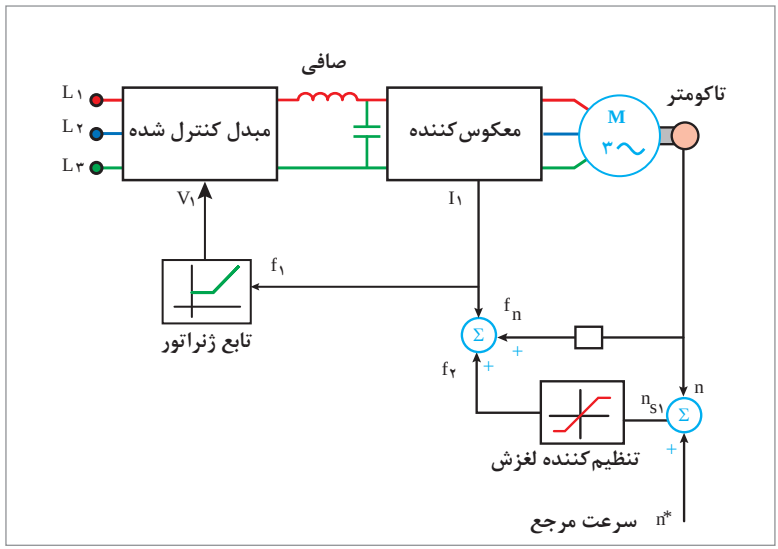
شکل ۲۳ـ۱ تغییر ولتاژوتنظیم دور از طریق مدار الکترونیکی



شکل ۲۳ـ۲ تغییر ولتاژ از طریق اتوترانسفورماتور

شکل ۲۳ـ تغییر دوراز طریق تغییر ولتاژ تغذیه

ت) تغییردور موتورها با تغییر هم‌زمان ولتاژ و فرکانس: در تغییر دور موتورها با تغییر فرکانس با تغییرات نقطه کار موتور روبه‌رو می‌شویم و با تغییر دور موتورها با روش تغییر ولتاژ با تغییرات گشتاور مواجه می‌شویم این تغییرات ممکن است در کارکرد موتور اثر نامطلوب گذاشته و موتور نتواند بر بار غلبه کند چه بسا زیر بار خوابیده، موتور آسیب خواهد دید پس مناسب است به هنگام تغییر سرعت موتور گشتاور موتور ثابت بماند. موتور به بار غلبه کند. بدین منظور در تغییر دور با تغییر فرکانس، متناسب با فرکانس ولتاژ را نیز تغییر می‌دهند به گونه‌ای در هر تغییر نسبت $\frac{V}{f}$ ثابت بماند تا گشتاور ثابت بماند. تغییر توأم و متناسب ولتاژ و فرکانس توسط مجموعه مدارات الکترونیک قدرت به نام درایو (Drive) انجام می‌شود. گسترش تکنولوژی در صنعت امروزی توانسته است سرعت موتورهای آسنکرون را در محدودهٔ وسیعی تغییر دهد این بازه کنترل سرعت از صفر تا سرعت دو برابر سرعت نامی را در برمی‌گیرد. در تغییر سرعت با تغییر فرکانس، از فرکانس صفر تا فرکانس نامی کنترل سرعت در گشتاور ثابت انجام می‌شود و در فرکانس‌های بالا کنترل در توان ثابت انجام می‌گردد. شکل ۲۴ یک نمونه درایو با اینورتر منبع ولتاژ (VSI) (Voltage Source Invertor) نشان می‌دهد. کنترل دور موتور با تغییر هم‌زمان و متناسب فرکانس و ولتاژ را انجام می‌دهد این درایو وضعیت کار موتور را در لغزش‌های فروپاشی حفاظت می‌کند لغزش فروپاشی لغزش موتور در گشتاور ماکزیمم است.



شکل ۲۴ـ سیستم کنترل دور با تنظیم فرکانس با $\frac{V}{f}$ ثابت

۱۳ـ۴ـ تأثیر تغییرات بار بر فرکانس، دور، جریان، ضریب توان رتور

افزایش بار موتور سبب می‌شود دور موتور کاهش یابد تا مفتول‌های رتور خطوط میدان مغناطیسی بیشتری را قطع کنند و جریان بیشتری در آنها القا شود. در این حالت گشتاور موتور تقویت‌شده، موتور بر بار غلبه می‌کند. تغییر دور رتور در بارهای مختلف، لغزش موتور را براساس رابطه $S=\frac{N_S-N_r}{N_S}$ تغییر می‌دهد. تغییر لغزش، باعث تغییر فرکانس جریان رتور می‌شود. تغییر فرکانس رتور راکتانس رتور را تغییر می‌دهد تغییر راکتانس موجب تغییر امپدانس و جریان و ضریب توان و گشتاور موتور خواهد شد. آثار این تغییرات را می‌توان در روابط زیر بیان کرد که به روابط اساسی موتورهای آسنکرون معروف هستند.

الف) فرکانس جریان رتور: $f_r=S\times f$ لغزش و f فرکانس برق تغذیه می‌باشد.

ب) امپدانس هرفازرتور: $Z_r=\sqrt{R_2^2+(SX_2)^2}$ ، R_2 مقاومت هرفاز رتور و x_2 مقاومت القایی هرفاز رتور درهنگام راه‌اندازی است؟

ولتاژالقایی درهرفاز رتور

$E_r=S\times E_2$ ولتاژالقایی درهرفاز رتور در راه‌اندازی E_2 است.

پ) جریان هرفاز رتور

$$I_r=\frac{E_r}{Z_r}=\frac{S\times E_2}{\sqrt{R_2^2+(SX_2)^2}}$$

ت) ضریب توان رتور

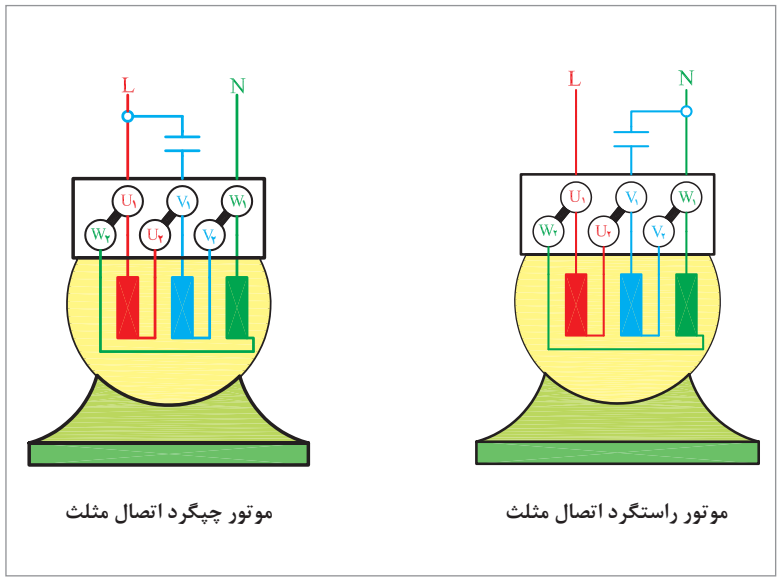
$$\cos\varphi_r=\frac{R_2}{Z_r}=\frac{R_2}{\sqrt{R_2^2+(SX_2)^2}}$$

۴ـ۱۴ راه‌اندازی موتور سه فاز با برق تک فاز

در کارگاه‌های محلی، گاهی به علت عدم دسترسی به برق سه فاز، موتورهای سه فاز را با برق تک فاز راه‌اندازی می‌کنند از آن جایی که لازم است، سیم‌پیچ موتورهای سه فاز با برق متناوب سه فاز با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه بین فازها تغذیه شود، در راه‌اندازی موتورهای سه فاز با برق متناوب تک فاز اختلاف فاز ۹۰ درجه توسط خازن ایجاد می‌شود و لازم است اتصال سیم‌پیچ‌های موتور به صورت مثلث باشد تا به هر فاز ولتاژ فازی داده شود بنابراین، این موتورها در راه‌اندازی برق تک فاز توان نامی را نمی‌توانند ارائه بدهند و حدود ۸۰٪ توان نامی، کار خواهند کرد. برای تغییر جهت گردش موتورها، اتصال خازن را بین سیم نول و فاز جابه‌جا می‌کنند. به‌طور تقریب برای هر کیلو وات توان موتور ظرفیت خازن را ۷۰ میکروفاراد منظور می‌کنند. ظرفیت خازن را از رابطه زیر باتلرانس ۲۰٪ نیز می‌توان به‌دست آورد (شکل ۲۵).

$$C_{\mu F} = \frac{۲ \times I \times ۱۰^{۶}}{\omega . U} \sin \varphi$$

C ظرفیت خازن برحسب میکروفاراد
I جریان نامی موتور ـ ω سرعت زاویه‌ای
U ولتاژ برق متناوب تک فاز ـ sinφ ضریب توان غیرمؤثر موتور



موتور چپگرد اتصال مثلث

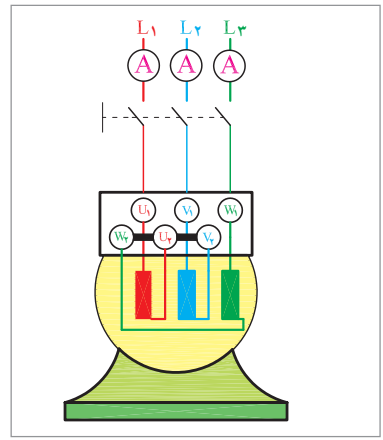
موتور راستگرد اتصال مثلث

شکل ۲۵ـ راه‌اندازی موتور سه فاز در برق تک فاز

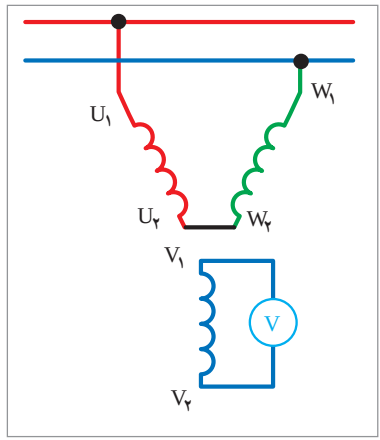
۱۵ـ۴ـ تشخیص سروته کلاف‌ها موتورهای سه فاز ونام‌گذاری صحیح آنها

ابتدا ۶ سر سیم‌پیچ‌ها را در جعبه اتصال آزاد می‌کنیم از طریق یک اهم متر یا لامپ سری ابتدا و انتهای هر فاز را مشخص می‌کنیم. ابتدا و انتهای فاز اول را به U_1 , U_2 و فاز دوم را V_1 , V_2 و فاز سوم را به W_1 , W_2 نام‌گذاری می‌کنیم. و سرهای نام‌گذاری شده را مطابق شکل ۲۵ به تخته کلم اتصال می‌دهیم و به شبکه برق وصل می‌کنیم اگر موتور بدون سروصدا و ملایم کار کرد و هر سه آمپر مقادیر مساوی و برابر جریان نامی نشان دادند نام‌گذاری و اتصال صحیح است وگرنه ممکن است نام‌گذاری U_1 , U_2 اشتباه باشد جای U_1 را با U_2 عوض کرده و موتور به برق وصل می‌کنیم اگر موتور به‌طور صحیح کار کرد اشتباه در U_1 , U_2 بوده که برطرف می‌شود وگرنه ممکن است نامگذاری سرهای دوفاز دیگراشتباه است. U_1 , U_2 را به جای اولیه برمی‌گردانیم و جای V_1 , V_2 را در تخته کلم عوض می‌کنیم و موتور را به شبکه برق وصل می‌کنیم اگر کار موتور طبیعی و صحیح باشد اشتباه در فاز V_1 , V_2 بوده و اشتباه برطرف می‌گردد وگرنه جای دو سر فاز W_1 , W_2 اشتباه است در این حالت موقعیت دو سر فاز V_1 , V_2 را به حالت اولیه برگردانیده و جای W_1 , W_2 را عوض می‌کنیم و نام‌گذاری صحیح فازها حاصل خواهد شد.

در روش دیگرپس از پیدا کردن سرهای هر فاز و نام‌گذاری آنها مدار با ولتاژ تقریباً نصف ولتاژ نامی دوفاز مطابق شکل ۲۶ تغذیه می‌کنیم و ولت‌متر مقدار صفر را نشان دهد نام‌گذاری صحیح است در غیراین صورت دو سر فازها جابه‌جا کرده تا ولت متر مقدار صفر را نشان دهد در این نام‌گذاری براساس شکل ۲۷ صحیح خواهد شد.

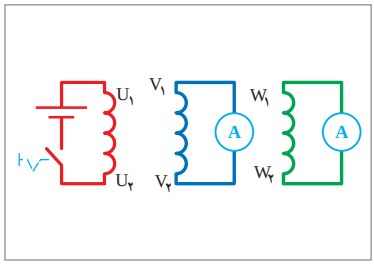


شکل ۲۶ـ تغذیه با نصف ولتاژ نامی



شکل ۲۷ـ نامگذاری سرهای کلاف

در روش سوم از یک باطری پس ازتعیین سرها استفاده می‌کنیم و مدار مطابق شکل ۲۸ می‌بندیم اگر با زدن کلید هر دو میلی‌آمپر به یک سمت راست منحرف شدند اتصال درست است وگرنه سروته کلاف‌ها باید جابه‌جا شوند تا دو میلی آمپرمتر به یک طرف منحرف شوند.



شکل ۲۸ــ تعیین سرهای کلاف

۱۶ــ۴ سیم‌پیچی شیارکسری

شرایط خاص سیم‌پیچی درتغییر دور موتورها یا سیم‌پیچی الکتروموتورها وضعیتی پیش می‌آید که $q=\frac{Z}{۲P.m}$ عدد صحیح در نمی‌آید و به صورت یک کسر بیان می‌شود به این نوع سیم‌پیچی ها سیم‌پیچی شیار کسری می‌گویند. برای آنکه در سیم‌پیچی شیار کسری از تقارن سیم‌پیچی اطمینان حاصل کنیم شرایط تقارن را بررسی می‌کنیم

الف) شرط تقارن در سیم‌پیچی یک طبقه آن است که $\frac{Z}{۲.m}$ عدد صحیح باشد.

ب) شرط تقارن در سیم‌پیچی یک طبقه آن است که $\frac{Z}{m}$ عدد صحیح باشد.

ج) اگر $q=\frac{Z}{۲P.m}$ را ساده کنیم که صورت و مخرج کسر نسبت به هم اول باشند و آن را به صورت زیر بیان کنیم.

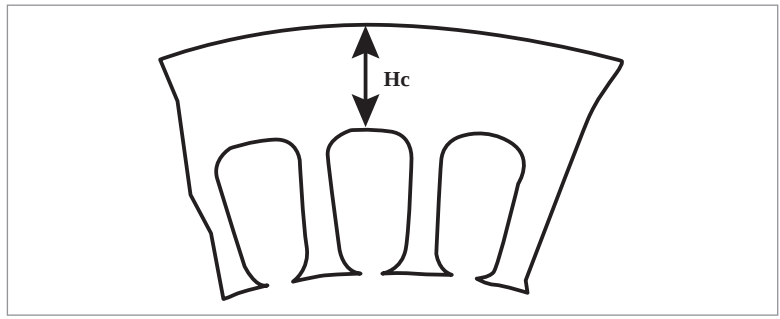
$$q=\frac{Z}{۲P.m}=\frac{C}{d}=k+\frac{a}{d}$$

در این حالت زمانی تقارن برقرار است که حاصل $\frac{۲p}{d}$ عدد صحیح باشد. روش سیم‌بندی شیار کسری محاسبات تعداد دور کلاف و قطر سیم را تحت‌الشعاع قرار نمی‌دهد فقط آرایش کلاف‌ها را برای یک سیم‌پیچی متقارن مشخص می‌کند. نقطه قابل توجهی که در تغییر سیم‌پیچی الکتروموتورها باید به آن توجه نمود یوغ استاتور است که آیا ضخامت هسته جوابگوی تغییر سیم‌پیچی می‌باشد یا نه. اگر از قطب کمتر به قطب بیشتر تغییر سیم‌پیچی داده شود مشکلی به‌وجود نمی‌آید ولی از قطب بیشتر به قطب کمتر، تغییر سیم‌پیچی مجاز نمی‌باشد چون ضخامت هسته در قطب بیشتر، کمتر از قطب کمتر است و هسته سریع به اشباع رسیده،

موتور برای دریافت توان نامی از شبکه جریان خیلی زیاد دریافت می‌کند. این جریان، موتور را تهدید جدی خواهد کرد. برای آنکه قطب مجاز را برای سیم‌پیچی مشخص کنیم از رابطه $H_C = \frac{B_m \times D_s}{B_C \times 2P}$ استفاده می‌شود در این رابطه H_C یوغ یا ضخامت هسته، B_m چگالی میدان، D_s قطر داخلی استاتور، B_C چگالی متوسط میدان که ازجدول شکل ۲۹ به‌دست می‌آید و $2P$ تعداد قطب‌هایی که استاتور براساس آن طراحی شده است بنابراین در تغییر سیم‌پیچی از قطب‌ها بیشتر از این مقدار مجاز است نه کمتر.

تعدادقطب‌ها	۲	۴	۶
B_C (تسلا)	۱/۴۵	۱/۴۸	۱/۵

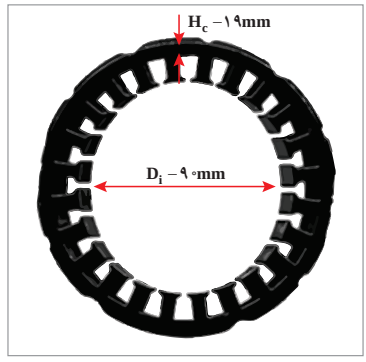
اندوکسیون متوسط یوغ استاتور



شکل ۲۹ـ یوغ استاتور

مثال ۱:

قطر داخلی یک استاتور ۸۰ میلی‌متر و ارتفاع یوغ آن ۱۹ میلی‌متر است تعداد قطب‌های این موتور را به‌دست آورید. آیا این موتور را می‌توان ۴ قطب سیم‌بندی کرد (شکل ۳۰).



شکل ۳۰ـ مشخصه یک استاتور

حل:

$D_i = ۸۰mm, H_C = ۱۹mm$

$$H_C = \frac{B_m \times D_i}{B_e \times ۲P}$$

$$۱۹mm = \frac{۱ \times ۸۰mm}{۲ \times ۲P} \Rightarrow ۲P = \frac{۸۰}{۳۸} = ۲/۱$$

$۲P = ۲$

ازقطب کمتر، به قطب بیشتر، سیم‌پیچی مجاز است پس۲قطب را می‌توان ۴ قطب سیم‌پیچی کرد.

سیم‌پیچی‌های شیار کسری را به صورت یک طبقه و دو طبقه می‌توان انجام داد. برای متقارن کردن سیم‌پیچی از روش‌های جابه‌جایی بازوها در شیارها، دو طبقه کردن بعضی شیارها، حذف بعضی شیارها و جدول مخصوص استفاده می‌شود در این قسمت به طراحی سیم‌پیچی با جدول مخصوص اکتفا می‌کنیم اگر گام فازی $Y_{ph} = \frac{۲}{۳}Y_P$ عدد صحیح باشد در جدول مخصوص ازفاصله Y_{ph} تا شیار در شماره‌های جدول استفاده می‌شود. و اگر $Y_{ph} = \frac{۲}{۳}Y_P$ عدد صحیح نباشد از $۲Y_{ph}$ در فاصله بین شیارها استفاده می‌شود در سیم‌بندی شیار کسری ممکن است تعداد پیچک‌های گروه کلاف‌ها برابر نباشند و برای آرایش کلاف‌ها از نقطه‌نظر تعداد پیچک‌ها از رابطه $q = \frac{Z}{۲P.m} = \frac{C}{d} = k + \frac{a}{d}$ استفاده می‌شود این رابطه بیان می‌کند سیم‌پیچی در هرفاز a گروه کلاف $K+۱$ پیچکی و a ـ d گروه کلاف K پیچکی دارد.

مثال ۲:

دیاگرام گسترده سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز ۳۰ شیار ۸ قطب را به‌صورت دو طبقه و حذف هارمونی سوم طراحی و رسم کنید.

الف) محاسبات سیم‌پیچی

$$Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۳۰}{۸} = \frac{۱۵}{۴} = ۳/۷۵$$

$$q = \frac{Z}{۲Pm} = \frac{۳۰}{۸ \times ۳} = \frac{۵}{۴} = \frac{C}{d} = ۱ + \frac{۱}{۴} \rightarrow K = ۱, a = ۱, d = ۴$$

$$C = ۵ \rightarrow Y_{Ph} = \frac{۲}{۳}Y_P = \frac{۲}{۳} \times \frac{۳۰}{۸} = ۲/۵ \text{ عدد صحیح نیست}, \quad ۲Y_{Ph} = \frac{۴}{۳}Y_P = \frac{۴}{۳} \times \frac{۳۰}{۸} = ۵$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z} = \frac{۴ \times ۳۶۰}{۳۰} = ۴۸$$

شروع فاز اول $= ۱$

شروع فاز دوم $= ۱ + \frac{۱۲۰}{۴۸} = ۶$

شروع فاز سوم $= ۱ + \frac{۲۴۰}{۴۸} = ۱۱$

ب) تشکیل جدول

دو نوع جدول درنظر می‌گیرند جدول عملی برای سیم‌پیچی‌هایی که عدد صحیح باشند و جدول علمی برای سیم‌پیچی‌هایی که $۲Y_{Ph}$ عدد صحیح باشد (شکل ۳۱).

جدول علمی

m / ۲P	$U_۱ , U_۲$	$V_۱ , V_۲$	$W_۱ , W_۲$

جدول عملی

m / ۲P	$U_۱ , U_۲$	$W_۱ , W_۲$	$V_۱ , V_۲$

شکل ۳۱ جداول علمی و عملی

درمثال فوق چون $۲Y_{Ph}$ عدد صحیح است ازجدول علمی استفاده می‌کنیم قابل توجه است دستورات کار برای جدول علمی و عملی پس از انتخاب نوع جدول یکی است. پس ازتعیین جدول و انتخاب ستون‌ها به تعداد فازها و انتخاب ردیف‌ها به قطب‌ها، هر ستون را به صورت کسر ساده شده $q = \frac{Z}{۲Pm} = \frac{C}{d}$ یعنی C قسمت تقسیم می‌کنیم از خانه شماره ۱ اعداد مربوط به طبقه اول را ازشماره۱ به فاصله d ـ ۱ در خانه‌های جدول ۲ درج می‌کنیم.

جدول ۲ـ آرایش بازوها در طبقه رویی

۲P \ m	U_1, U_2					V_1, V_2					W_1, W_2				
N	۱				۲				۳				۴		
S		۵				۶				۷				۸	
N			۹				۱۰				۱۱				۱۲
S				۱۳				۱۴				۱۵			
N	۱۶				۱۷				۱۸				۱۹		
S		۲۰				۲۱				۲۲				۲۳	
N			۲۴				۲۵				۲۶				۲۷
S				۲۸				۲۹				۳۰			

برای کامل کردن طبقه دوم باتوجه به گام کسری حذف هارمونی سوم داریم

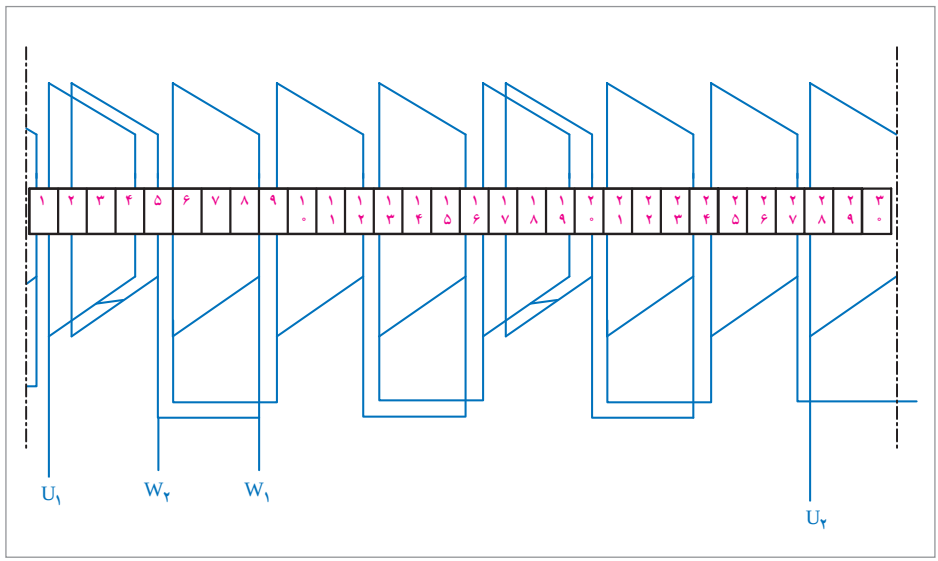
$$Y_Z = Z_P\left(۱-\frac{۱}{۳۰}\right)=\frac{۳۰}{۸}\left(۱-\frac{۱}{۳}\right)=۲/۵ \rightarrow Y_Z = ۳$$

چون گام سیم‌بندی عدد اعشاری نمی‌تواند باشد آن را با اضافه ۰/۵ به صورت عدد صحیح درنظر می‌گیریم. بازوهای طبقه دوم را ازخانه شماره ۱ با اندازه Y_Z=۳ به خانه پایین یعنی به قطب S حرکت می‌دهیم وبا فاصله ۳=۱ـ d طبقه دوم را کامل می‌کنیم (جدول ۳).

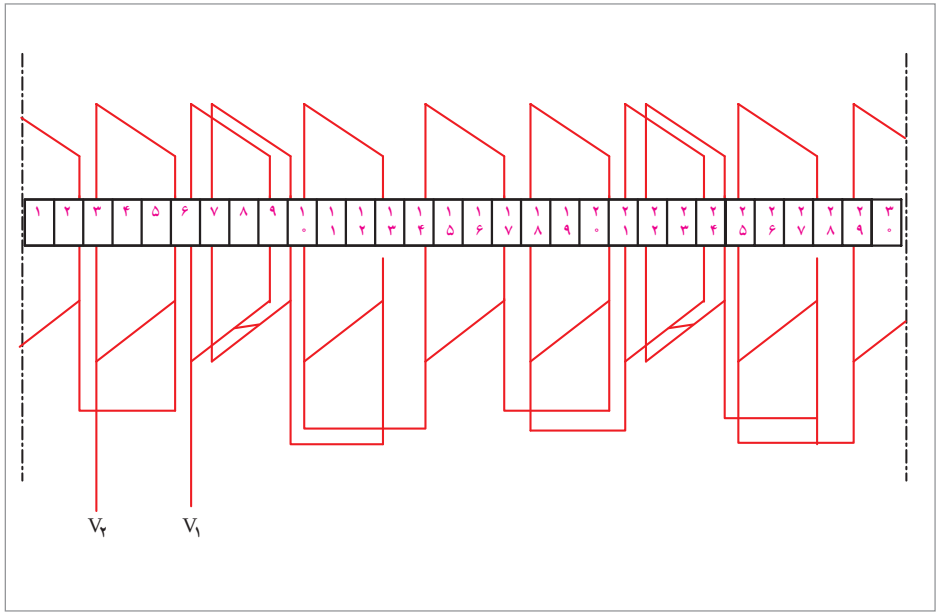
جدول ۳ـ تکمیل طبقه پایینی

m/۲P	U_1 , U_2					V_1 , V_2					W_1 , W_2				
N	۱			۱′	۲			۲′	۳			۳	۴		
S	۴′ Y_Z	۵			۵′	۶			۶′	۷			۷	۸	
N		۸′	۹			۹′	۱۰			۱۰′	۱۱			۱۱′	۱۲
S			۱۲′	۱۳			۱۳′	۱۴			۱۴′	۱۵			۱۵′
N	۱۶			۱۶′	۱۷			۱۷′	۱۸			۱۸′	۱۹		
S	۱۹′	۲۰			۲۰′	۲۱			۲۱′	۲۲			۲۲′	۲۳	
N		۲۳′	۲۴			۲۴′	۲۵			۲۵′	۲۶			۲۶′	۲۷
S			۲۷′	۲۸			۲۸′	۲۹			۲۹′	۳۰			۳۰′

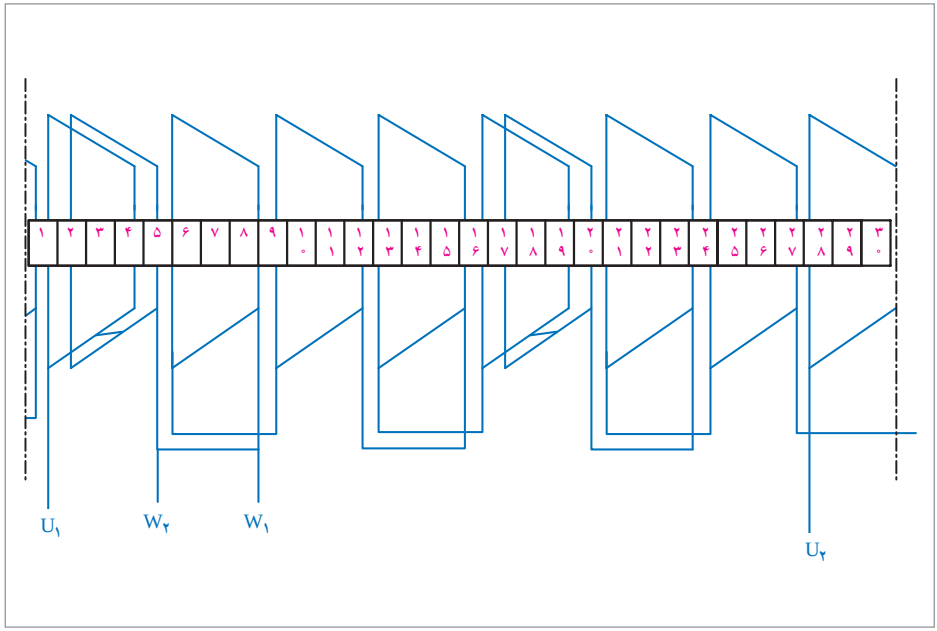
ترسیم دیاگرام مطابق شکل های شماره ۳۲ تا ۳۴ است.



شکل ۳۲ـ سیم‌بندی فازاول



شکل ۳۳ـ سیم‌بندی فازدوم



شکل ۳۴ـ سیم‌بندی فازسوم

مثال ۳ـ برای جدول مخصوص

یک استاتور ۲۴ شیار در اختیار بگیرید با اندازه‌گیری طول و قطر استاتور با اتصال مثلث در شبکه سه فاز ۳۸۰/۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز، تعداد دور و قطر سیم را محاسبه کنید این موتور به‌صورت ۶ قطب یک طبقه سیم‌پیچی می‌شود دیاگرام گسترده سیم‌پیچی آن را رسم کنید و سیم‌پیچی آن را اجرا کنید.

الف)محاسبات طرح دیاگرام سیم‌پیچی

$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{6} = 4$$

$$q = \frac{Z}{2Pm} = \frac{24}{6\times 3} = \frac{4}{3} = \frac{C}{d}$$

$$q = 1 + \frac{1}{3} \rightarrow K = 1\,,\ a = 1\,,\ d = 3$$

$$C = 4 \rightarrow Y_{Ph} = \frac{2}{3} Y_p = \frac{2}{3}\times 4 = \frac{8}{3}$$ عدد صحیح نیست

$$\alpha_{eZ} = \frac{P\times 360}{Z} = \frac{4\times 360}{24} = 60$$

شروع فاز اول = ۱

شروع فاز دوم $= 1 + \frac{120}{60} = 3$

شروع فاز سوم $= 1 + \frac{240}{60} = 5$

ب)تشکیل جدول

در جدول مخصوص به تعداد کلاف‌های هر فاز، ستون باز می‌کنیم تعداد ردیف‌ها برابر تعداد اتصالات موتور در تخته کلم می‌باشد. چون Y_{Ph} عدد صحیح نمی‌باشد فاصله اعداد در ردیف‌های جدول برابر $2Y_P$ می‌باشد. در تکمیل جدول اگر به عدد بزرگ‌تر از تعداد شیارها برسیم از عدد موجود تعداد شیارها را کسرکرده، به حاصل یک واحد اضافه می‌کنیم و به تکمیل جدول ۴ ادامه می‌دهیم.

$$\gamma = \frac{Z\times t}{2m} = \frac{24\times 1}{2\times 3} = 4 \rightarrow 2Y_p = 8$$

جدول ۴ـ جدول مخصوص

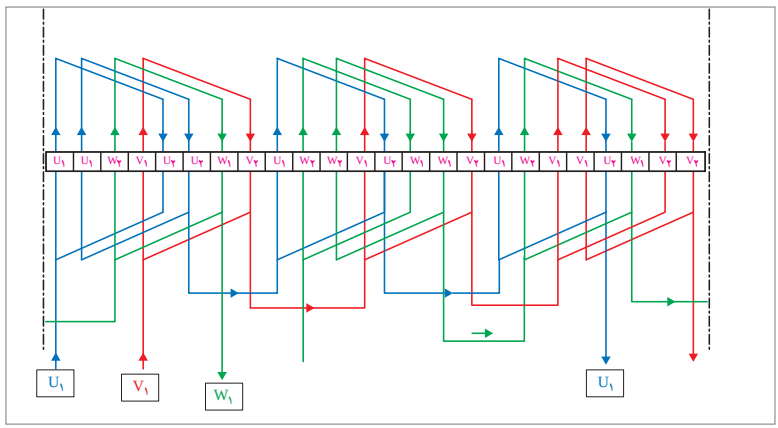
۷	۱	محاسبات	۲	محاسبات	۳	محاسبات	۴	محاسبات
U_1	۱	۱+۸	۹	۹+۸	۱۷	۱۷+۸=۲۵ ۲۵_۲۴+۱	۲	۲+۸
W_2	۱۰	۱۰+۸	۱۸	۱۸+۸=۲۶ ۲۶_۲۴+۱	۳	۳+۸	۱۱	۱۱+۸
V_1	۱۹	۱۹+۸=۲۷ ۲۷_۲۴+۱	۴	۴+۸	۱۲	۱۲+۸	۲۰	۲۰+۸=۲۸ ۲۸_۲۴+۱
U_2	۵	۵+۸	۱۳	۱۳+۸	۲۱	۲۱+۸=۲۹ ۲۹_۲۴+۱	۶	۶+۸
W_1	۱۴	۱۴+۸	۲۲	۲۲+۸=۳۰ ۳۰_۲۴+۱	۷	۷+۸	۱۵	۱۵+۸=۲۳
V_2	۲۳	۲۳+۸=۳۱ ۳۱_۲۴+۱	۸	۸+۸	۱۶	۱۶+۸	۲۴	

پ)رسم دیاگرام

موقعیت‌های به‌دست آمده برای W_2، V_1، W_1، U_2، U_1 را در شیارهای موتور ثبت می‌کنیم.

U_1	U_1	W_2	V_1	U_2	U_2	W_1	V_2	U_1	W_2	W_2	V_1	U_2	W_1	W_1	V_2	U_1	W_2	V_1	V_1	U_2	W_1	V_2	V_2
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴

N	S	N	S	N	S



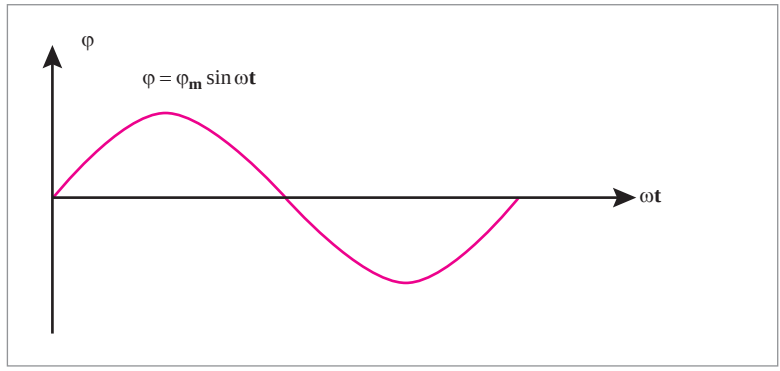
شکل ۳۵ـ دیاگرام گستره موتور ۲۴ شیار۶ قطب یک طبقه

۱۷ـ۴ـ هارمونیک‌های یک موج

در تغذیه سیم‌پیچی‌های استاتور اگر امواج سه فاز که تغییرات سینوسی دارند بتوانند در سطح استاتور شار مغناطیسی سینوسی ایجاد کنند موتور نرم کار کرده، عارضه‌ای نخواهد داشت و بدون سروصدا و با مقادیر نامی به گردش در می‌آید و عمر طبیعی خود را خواهد داشت. ولی در عمل با این پدیده مطلوب مواجه نیستیم زیرا، عدم توزیع یکنواخت شار در شیارها به علت خاصیت تجمع شار در نوک تیز شیاره، پسماند مغناطیسی و عکس‌العمل میدان عرضی جریان مفتول‌های رتور و سایر عوامل باعث می‌شود توزیع شار در سطح استاتور، از یکنواختی خارج شود و ضربان‌هایی در یاتاقان‌ها و لرزش‌هایی در رتور مشاهده گردد. این امر علاوه‌بر ایجاد سر وصدا و آسیب دیدن یاتاقان‌ها و کاهش راندمان موتور، عمر مفید مؤثر را کاهش خواهد داد. یکی از روش‌های کاهش اثرات نامطلوب، حذف بعضی از امواج مولد موج اصلی، برای یکنواخت کردن آن می‌باشد که این کار با سیم‌پیچی، گام کسری میسر می‌شود.

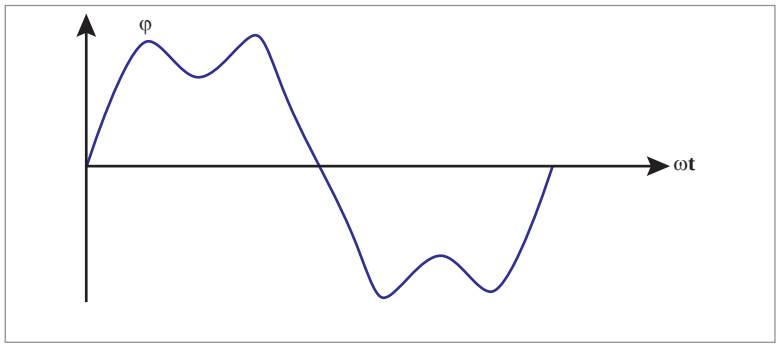
فرض می‌کنیم در حالت ایده‌آل، شار سینوسی فاز L۱ در سطح استاتور، به صورت سینوسی مطابق ۳۶ باشد. روشن است در فازهای بعدی این شار با ۱۲۰ درجه اختلاف فاز ایجاد می‌گردد.

$$\varphi_1 = \varphi_m \sin \omega t \quad , \quad \varphi_2 = \varphi_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad , \quad \varphi_3 = \varphi_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$



شکل ۳۶

این موج دارای فرکانس f می‌باشد و یک موج فرد است. در اثر اعمال رفتارهای ناخواسته روی موج، از یکنواختی خارج می‌شود، فرض می‌کنیم به شکل ۳۷ تبدیل شود.



شکل ۳۷

امواج متناوب را می‌توان براساس سری فوریه به امواجی که فرکانس‌های آنها مضرب صحیحی از فرکانس موج مورد نظر است، تجزیه نمود که ترکیب‌های امواج موج اصلی را تشکیل می‌دهند. به این امواج تشکیل‌دهنده که فرکانس آنها مضرب صحیحی از موج اصلی است، هارمونیک‌های موج می‌گویند.

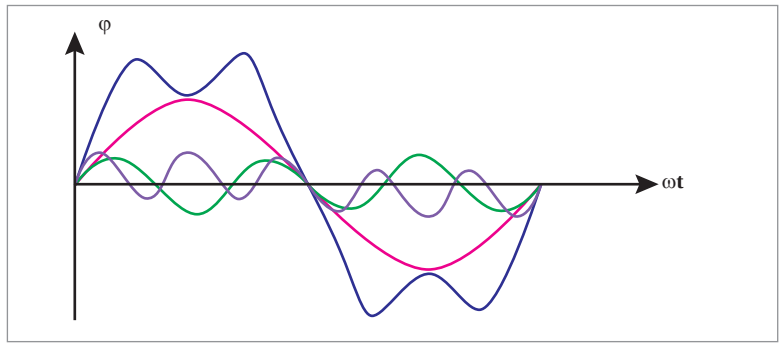
$$f(\omega t) = f(۰) + \sum_{۰}^{n}[a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)]$$

$$f(۰) = \frac{۱}{۲\pi}\int_{۰}^{۲\pi} f(\omega t)d\omega t$$

$$a_n = \frac{۱}{۲\pi}\int_{۰}^{۲\pi} f(\omega t)\cos(n\omega t)d\omega t$$

$$b_n = \frac{۱}{۲\pi}\int_{۰}^{۲\pi} f(\omega t)\sin(n\omega t)d\omega t \qquad b_۰ = ۰$$

تابع فوق فرد است بنابراین ضرایب $\sin(n\omega t)$ها یعنی $b_۰ = ۰$ می‌باشد و در ضرایب $\cos(n\omega t)$ امواج زوج مقدار متوسط صفر خواهند داشت. بنابراین امواج تشکیل‌دهنده امواج فرد ضرایب $\cos(n\omega t)$ خواهد بود. در شکل ۳۸ هارمونیک که فرکانس آن ۵۰ هرتز و هارمونیک سوم با فرکانس ۱۵۰ هرتز و هارمونیک پنجم با فرکانس ۲۵۰ هرتز نشان داده شده است.

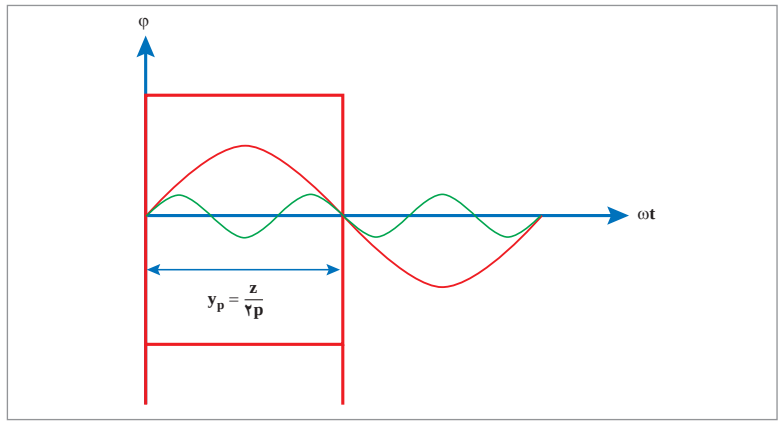


شکل ۳۸

با افزایش فرکانس هارمونیک‌ها روبه کاهش گذاشته و اثرات آنها در ساختار موج روبه کاهش می‌گذارد. بنابراین مهم‌ترین هارمونیک‌ها در مولدها و موتورهای الکتریکی هارمونیک سوم و پنجم و هفتم و یازدهم خواهند بود. در اتصال ستاره چون مجموع هارمونیک‌ها ازسیم مشترک نول عبور می‌کنند لذا به اختلاف ۱۲۰ درجه هارمونیک‌ها مضرب سه اثر همدیگر را از بین می‌برند. پس در مولدها که اتصال ستاره دارند مزاحم‌ترین هارمونیک، هارمونیک پنجم، هفتم و یازدهم می‌باشند.

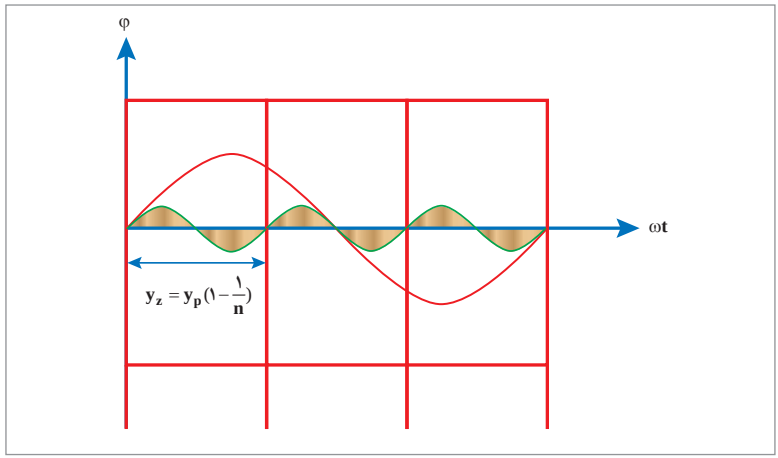
۱ـ۱۷ـ۴ حذف هارمونیک‌ها با گام کسری

درسیم بندی گام کامل بین بازو های رفت و برگشت یک کلاف ۱۸۰درجه اختلاف وجود دارد که موقعیت این بازوها را در شکل ۳۹ با هارمونیک اصلی و سوم مشاهده می‌کنید.



شکل۳۹

در شکل ۳۹ اگرگام کلاف را به اندازه $\frac{\pi}{۳}$ کاهش دهیم، نیم سیکل‌های مثبت منفی هارمونیک سوم اثرات همدیگر را خنثی خواهند کرد و این عمل برای حذف هارمونی پنجم کاهش گام، به اندازه $\frac{\pi}{۵}$ می‌باشد. بدین طریق برای حذف هارمونی nام کافی است کسری گام به اندازه $\frac{\pi}{n}$ باشد (شکل ۴۰).



شکل ۴۰ـ حذف هارمونیک سوم با کسری گام $\frac{\pi}{۳}$

فعالیت

دو نفر روی دو صندلی مقابل هم قرار گیرید و به تناوب جای خود را با هم عوض کنید. حال این کار را با چهار صندلی و چهار نفر انجام دهید و به ترتیب جای خود را در یک جهت عوض کنید. در کدام حالت زودتر به صندلی قبلی برمی‌گردید؟ چرا؟ اگر تعداد صندلی و افراد بیشتر شود چه اتفاقی در زمان این جابه‌جایی رخ می‌دهد؟

جواب: نفرات در صندلی دو نفره با دو بار جابه‌جایی به جایگاه خود برمی‌گردند و در هر جابه‌جایی نصف مسیر را طی می‌کنند. در مورد چهار صندلی با چهار نفرکه نفرات مجاور با هم جای‌شان را عوض می‌کنند درهر جابه‌جایی یک چهارم مسیر پیموده می‌شود پس چهار بار لازم است جابه‌جایی صورت بگیرد تا افراد به جایگاه اولیه خود برسند. بنابراین سرعت گردش در چهار نفره نصف سرعت گردش دو نفره می‌باشد. هر چقدرتعداد صندلی‌ها و نفرات زیاد شوند سرعت گردش کاهش می‌یابد. در موتورها هرچقدر تعداد قطب‌ها زیاد شود سرعت گردش موتورکاهش می‌یابد.

فعالیت

سرعت میدان دوار مولدهای نیروگاه آبی کارون سه استان خوزستان ۱۸۷/۵ r.p.m است. این مولد نیروگاهی چند قطب است؟

جواب:

$N_S = ۱۸۷/۵ \quad r.p.m$

$f = ۵۰ \ Hz$

$$N_S = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P} \Rightarrow ۲P = \frac{f \times ۱۲۰}{N_S}$$

$$۲P = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۱۸۷/۵} = ۳۲$$

فعالیت

تغییرات لغزش (S) و سرعت لغزش (Δn) به چه عاملی بستگی دارد؟

جواب:

با توجه به روابط $S = \frac{N_S - N_R}{N_S}$ ، $N_S = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P}$ و $\Delta n = N_S - N_R$ مشاهده می‌شود فرکانس شبکه، تعداد قطب‌های موتور ثابت است پس در روابط داده شده N_S ثابت است بنابراین $\Delta_n S$ با تغییر N_R تغییرخواهدکرد و N_R با تغییر بار تغییر می‌کند بنابراین تغییرات بار S و Δ_n را تغییر خواهد داد.

پرسش

تغییر جهت چرخش رتور چه کاربردهایی دارد؟ نام ببرید.

جواب: در مسیرهای رفت و برگشت سیستم‌های انتقال، حرکت بالا و پایین در آسانسورها، لازم است جهت حرکت عوض شود تا حرکت در خلاف وضعیت قبلی امکان‌پذیر باشد. این عمل درموتورهای الکتریکی با تغییر جهت گردش موتور امکان‌پذیر است.

پرسش

آیا ضربه و حرارت بیش از حد روی مشخصه مغناطیسی ورقه دینامو‌بلش تأثیر منفی دارد؟

جواب: مواد مغناطیسی زمانی که ملکول‌هایش به ارتعاش درآیند با جذب قطب‌ها غیرهمنام، مغناطیسی خاصیت مغناطیسی را از دست می‌دهند. ازآنجایی که ضربه‌های بزرگ و حرارت بیش از حد مجاز، باعث ارتعاش ملکول‌های مواد مغناطیسی می‌شوند، بنابراین ضربه‌های شدید و حرارت زیاد، اثر منفی در خواص مغناطیسی ورقه‌های دینامو‌بلش خواهد گذاشت.

فعالیت

تعداد قطب الکتروموتورهای شکل ۴۴ را تعیین کنید.

جواب:

$f=۶۰\ Hz \quad , N_r=۱۷۸۵$

$$۲P \cong \frac{f \times ۱۲۰}{N_r} \cong \frac{۶۰ \times ۱۲۰}{۱۷۸۵} \cong ۴$$

$f=۵۰\ Hz \quad , N_r=۱۴۳۰$

$$۲P \cong \frac{f \times ۱۲۰}{N_r} \cong \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۱۴۳۰} \cong ۴$$

$f=۵۰\ Hz \quad , Nr=۱۴۰۰$

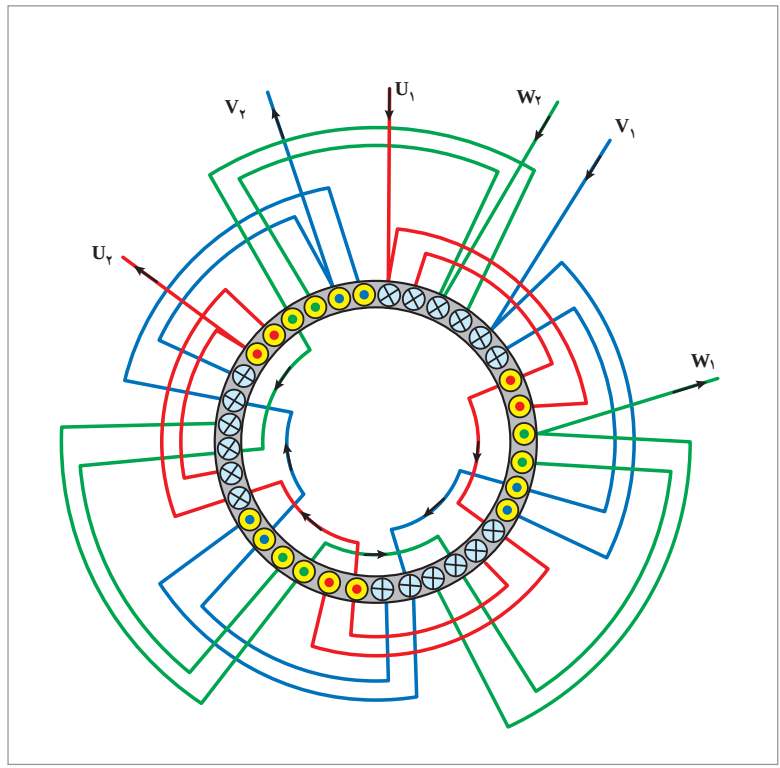
$$۲P \cong \frac{f \times ۱۲۰}{N_r} \cong \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۱۴۰۰} \cong ۴$$

پرسش

سیم‌پیچی الکتروموتور از روی دیاگرام چند قطب است؟

جواب: توجه شود دیاگرام دایره ای شکل ۶۶ مربوط به شکل گسترده شکل ۶۵ نمی‌باشد، زیرا دیاگرام مدور شکل ۶۶ با توجه به گام قطبی $Y_P=10-1=9$ و $2P=\frac{Z}{Y_P}=\frac{36}{9}=4$ می‌باشد در صورتی که دیاگرام گسترده شکل ۶۵، ۶ قطب می‌باشد.

پیشنهاد می‌شود دیاگرام گسترده برای شکل ۶۵ کتاب درسی مطابق شکل ۴۱ جایگزین شود.

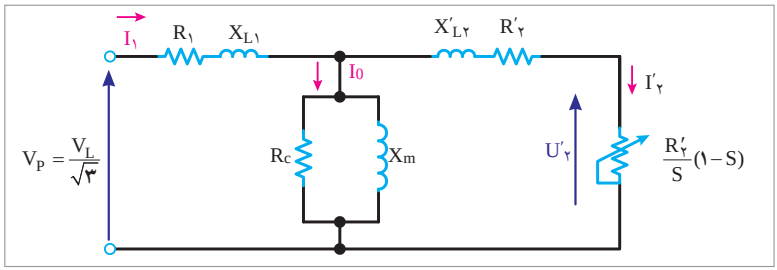


شکل ۴۱ـ دیاگرام دایره‌ای موتور ۳۶ شیار ۶ قطب

۱۸ـ۴ـ تحلیل موتورهای آسنکرون با نرم‌افزار مولتی‌سیم

در این قسمت می‌خواهیم جریان‌های راه‌اندازی و جریان نامی، توان بی‌باری و توان الکترومغناطیسی و تلفات ماشین را با توجه به مدار معادل موتور آسنکرون مورد مطالعه قرار دهیم.

مدار معادل یک فاز موتور آسنکرون از دیدگاه استاتور به صورت زیر بیان می‌شود.در مدار معادل به علت تقارن فازها، روی یک فاز مطالعات را انجام می‌دهند و نتیجه را به ۳ ضرب می‌کنند (شکل۴۲).



شکل ۴۲ـ مدار معادل یک موتور آسنکرون

یک موتور القایی ۴۰۰ ولت ۴ قطبی و ۵۰ هرتز مفروض است و سرعت نسبی آن ۱۴۴۰ دور در دقیقه است. فرض می‌کنیم تلفات مکانیکی ۸۰۰ وات باشد و سایر مشخصات آن به قرار زیر است.

$R_۱ = ۰/۲۵\ \Omega$

$R'_۲ = ۰/۲\Omega$

$X_{L۱} = XL'_۲ = ۰/۵\Omega$

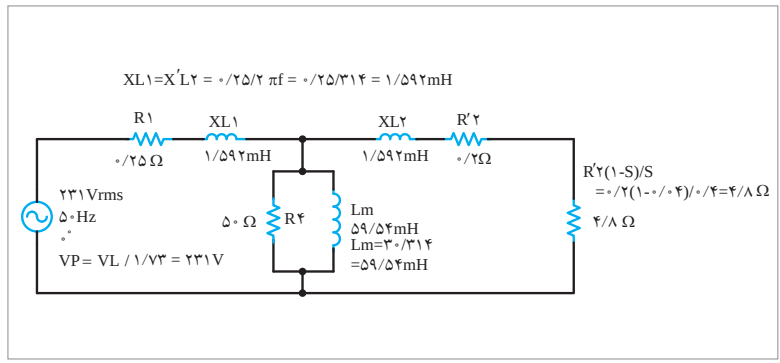
$X_m = ۳۰\Omega$

$R_C = ۴۰\Omega$

مدار معادل این موتور را در مولتی‌سیم پیدا کرده و از طریق اندازه‌گیری جریان راه‌اندازی، جریان نامی، توان خروجی، توان ورودی، راندمان، گشتاور خروجی و ضریب توان آن را به‌دست آورید (شکل ۴۳).

$$\omega = ۲\pi f = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۵۰ = ۳۱۴$$

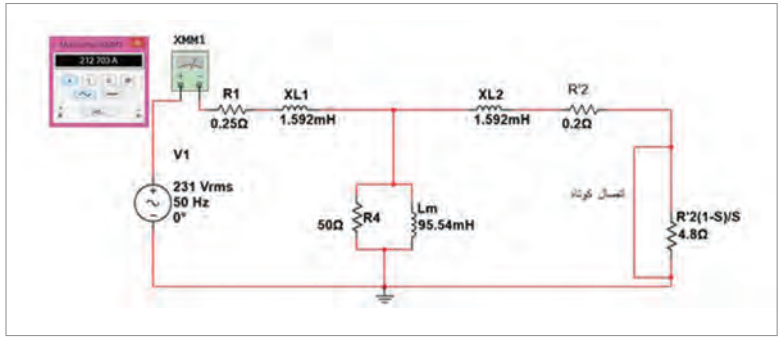
$$N_s = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۴} = ۱۵۰۰ \qquad S = \frac{۱۵۰۰ - ۱۴۴۰}{۱۵۰۰} = ۰/۰۴$$



شکل ۴۳ــ مقادیر مدار معادل در مولتی سیم

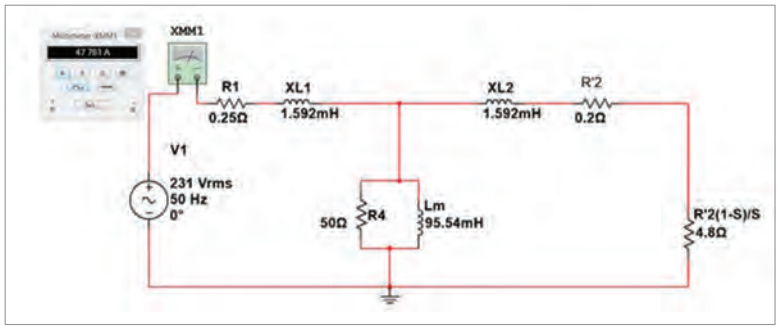
اندازه‌گیری جریان راه‌اندازی

در حالت راه‌اندازی به علت آنکه موتور کار نمی‌کند لغزش برابر ۱ است. در این حال مقدار $\frac{R'_۲}{S}(۱-S)=۰$ می‌باشد، به عبارت دیگر این مقاومت اتصال کوتاه عمل می‌کند مدار را به صورت زیر بسته و مقداری که آمپرمتر نشان می‌دهد جریان راه‌اندازی می‌باشد و اندازه آن برابر ۲۱۲/۷ آمپراست (شکل ۴۴).



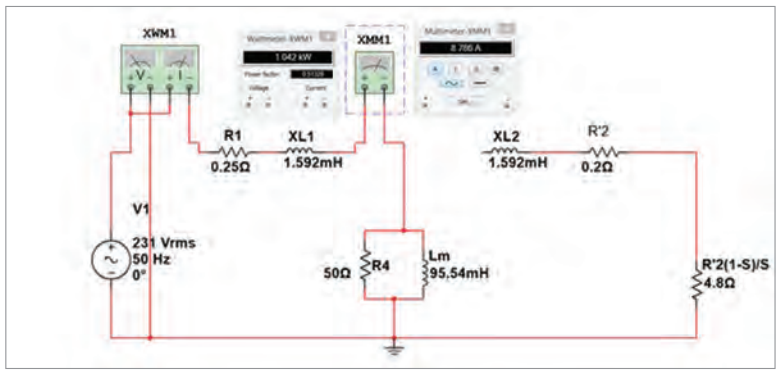
شکل ۴۴ــ اندازه‌گیری جریان راه‌اندازی

در اندازه‌گیری جریان نامی مسیر اتصال کوتاه باز شده و مقاومت $\frac{R'_2}{S}(1-S) = ۴/۸$ در مدار معادل قرار می‌گیرد. این مقدار برابر ۴۷/۷۶ آمپر می‌شود که جریان راه‌اندازی $\frac{۲۱۲/۷}{۴۷/۷۶} = ۴/۴۵$ برابر جریان نامی است به موتور صدمه می‌رساند و باید کنترل شود (شکل۴۵).



شکل ۴۵ـ اندازه‌گیری جریان نامی

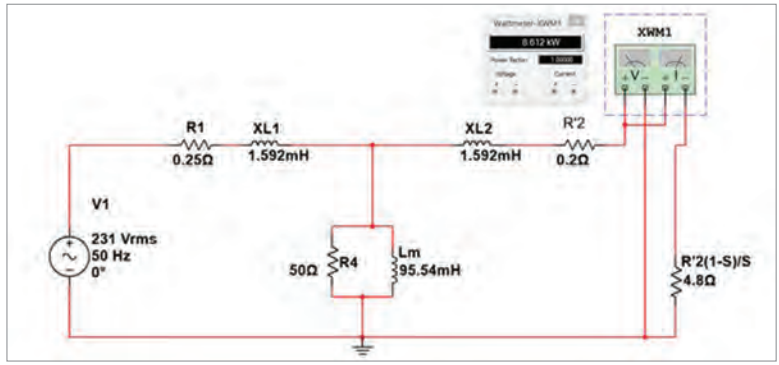
در اندازه‌گیری توان بی‌باری جریان رتور تقریباً صفر است و مسیر رتور را باز می‌کند و مقداری که وات متر نشان می‌دهد تقریباً تلفات بی‌باری خواهد بود.مقدار آن ۱۰۴۲ وات به‌دست می‌آید و جریان بی‌باری ۸/۷۸۶ آمپر است (شکل ۴۶).



شکل ۴۶ـ اندازه‌گیری تلفات بی‌باری موتور و جریان بی‌باری

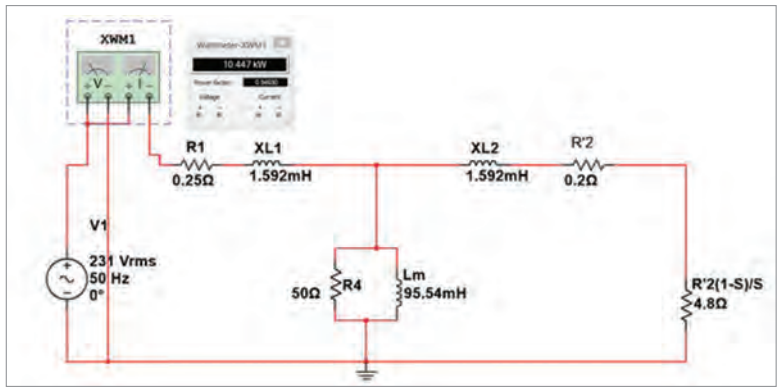
توان الکترومغناطیسی توسط مقاومت توسعه یافته به محور موتور انتقال می‌یابد و مقداری که وات متر در مقاومت توسعه یافته نشان می‌دهد توان الکترومغناطیسی است

که از توان خروجی به اندازه تلفات مکانیکی بیشتر است. مقدار این توان برابر ۸۶۱۲ وات می‌باشد و توان خروجی برابر ۷۸۱۲w = ۸۰۰ - ۸۶۱۲ می‌باشد (شکل ۴۷).



شکل ۴۷ـ اندازه‌گیری توان الکترومغناطیسی

توان ورودی و ضریب توان به طریق زیر اندازه‌گیری می‌شود. توان ورودی ۱۰۴۴۷ وات و ضریب توان برابر ۰/۹۴ می‌باشد (شکل ۴۸).



شکل ۴۸ـ اندازه‌گیری توان ورودی و ضریب توان

$$\Delta P = P_1 - P_2 = ۱۰۴۴۷ - ۷۸۱۲ = ۲۶۶۵\ W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{۷۸۱۲}{۱۰۴۷۷} \times ۱۰۰ = \%۷۴/۵$$

سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی تک‌فاز

مقدمه

هر کدام از موتورهای تک‌فاز به علت تنوع آنها در شکل‌های اسپیلیت، طرح دوفاز، چاکدار، اتورسال، ریپولسیونی و ... از محاسبات خاص برخوردارند. در این قسمت سعی می‌کنیم محاسبات موتورهایی که کاربرد بیشتری دارند مورد مطالعه قرار دهیم. در موتورهای تک‌فاز مقاومتی (اسپیلیت‌فاز) برای ایجاد اختلاف فاز در محدوده ۶۰ درجه الکتریکی بین جریان سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ راه‌انداز، مقاومت اهمی سیم‌پیچ راه‌انداز تقریباً سه برابر مقاومت اهمی سیم‌پیچ اصلی می‌گیرند و این عمل از کاهش سطح مقطع سیم‌پیچ راه‌انداز انجام می‌شود. بنابراین سیم‌پیچ راه‌انداز تحمل جریان‌های زیاد را در زمان‌های زیاد نخواهد داشت. لازم است پس از ایجاد دور مناسب (۷۵٪ دورنامی) توسط کلید گریز از مرکز یا رله‌های مغناطیسی از مدار الکتریکی خارج شود. در موتورهای راه‌انداز خازنی دایم یا موقت، خازن‌ها را به گونه‌ای انتخاب می‌کنند که در راه‌اندازی بین جریان سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ راه‌انداز، ۹۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز ایجاد شود تا حداکثر گشتاور در راه‌اندازی حاصل شود. به علت خروج سیم‌پیچی استارت از مدار الکتریکی پس از راه‌اندازی، عملاً $\frac{۱}{۳}$ هسته در تولید انرژی مکانیکی مشارکت نمی‌کند و این امر باعث می‌شود راندمان این موتور نسبت به موتورهای سه‌فاز خیلی پایین باشد. برای افزایش راندمان و بهره‌وری از کل هسته، از سیم‌پیچی طرح دوفاز استفاده می‌شود که یکی از سیم‌پیچ‌ها همواره با یک خازن دینامیکی در مدار سری می‌شود و اختلاف فاز بین دوسیم‌پیچ به ۹۰ درجه الکتریکی برسد.

۵ـ۱ محاسبات سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز با سیم‌پیچ استارت موقت

۵ـ۱ـ۵ محاسبه قطر سیم اصلی و استارت

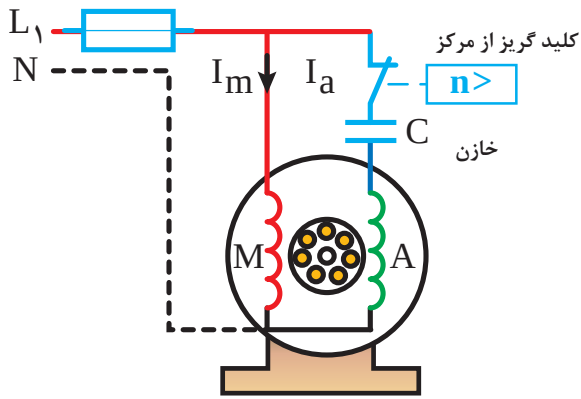
قدرت هسته استاتور موتورهای تک‌فاز نظیر موتورهای سه‌فاز با توجه به منحنی‌های داده شده از شماره ۱ تا ۶ در پودمان شماره ۴ از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$P_{۲} = K \times B^{۲}m \times L \times N_{r}$$

$$N_{r} = \frac{۱۲۰ \times f}{۲P}(۱ - S)$$

در موتورهای تک‌فاز با سیم موقت $\frac{۲}{۳}$ هسته در تولید توان شرکت می‌کند. توان موتور $\frac{۲}{۳}$ توان بالا می‌باشد. بنابراین:

$$P_m = \frac{۲}{۳} \times K \times B^{۲}m \times D^{۲} \times L \times N_r \qquad (۵\text{ـ}۱)$$



M سیم‌پیچ اصلی و A سیم‌پیچ استارت با کمکی است.

شکل ۱ـ الکتروموتور تک‌فاز

در شکل ۱ جریان سیم‌پیچ اصلی با توجه به رابطه ۱ـ۵، که از رابطه ۲ـ۵ به‌دست می‌آید.

$$I_m = \frac{P_m}{U \times \cos\varphi \times \eta} \qquad (۵\text{ـ}۲)$$

η و $\cos\varphi$ را ازجدول ۱ استخراج می‌کنیم.

جدول۱ـ استخراج مقادیر برحسب توان

قدرت (وات)	سیم‌پیچ استارت در مدار باقی می‌ماند.				سیم‌پیچ استارت از مدار خارج می‌شود.			
	$\cos\varphi$		η		$\cos\varphi$		η	
	۲P = ۲	۲P = ۴	۲P = ۲	۲P = ۴	۲P = ۲	۲P = ۴	۲P = ۲	۲P = ۴
۳۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۴

۴۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۰۵	۰/۴۹	۰/۴۸
۵۰	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۸۵	۰/۵۴	۰/۵۲۵	۰/۵۱۵
۷۵	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۶۲۵	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۵
۱۰۰	۰/۸۹۵	۰/۸۹۵	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۶۰۵	۰/۵۸	۰/۵۷
۱۲۵	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۶۳۵	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۶۲۵	۰/۶۰	۰/۵۹
۱۵۰	۰/۹۰۵	۰/۹۰۵	۰/۶۴۵	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۶۳۵	۰/۶۱	۰/۶۰
۲۰۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۶۶	۰/۶۴۵	۰/۷۰	۰/۶۵۵	۰/۶۳	۰/۶۲
۲۵۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۶۷	۰/۶۵۵	۰/۷۱۵	۰/۶۷	۰/۶۴۵	۰/۶۳۵
۳۰۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۶۸	۰/۶۶۵	۰/۷۲۵	۰/۶۸	۰/۶۵۵	۰/۶۴۵
۴۰۰	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۰/۶۹	۰/۶۷۵	۰/۷۴	۰/۶۹۵	۰/۶۷	۰/۶۶
۵۰۰	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۰/۷۱	۰/۶۸۵	۰/۷۵	۰/۷۰۵	۰/۶۸	۰/۶۶۵
۶۰۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۵۵	۰/۷۱	۰/۶۸۵	۰/۶۷
۷۰۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۷۱۵	۰/۶۹	۰/۶۷۵
۸۰۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۲۵	۰/۷۱۵	۰/۷۶۵	۰/۷۲	۰/۶۹۵	۰/۶۸
۱۰۰۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۷۵	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۶۸۵

توان سیم‌پیچ استارت:

$$P_a = \frac{۱}{۳} \times K \times B^{۲} m \times D^{۲} \times L \times N_r \qquad (۵\text{ـ}۳)$$

جریان سیم‌پیچ استارت :

$$I_a = \frac{P_a}{U \times \cos\varphi \times \eta}$$

با توجه به منحنی چگالی جریان قطر سیم اصلی و استارت به‌دست می‌آید.

قطر سیم اصلی $d_m = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_m}{J}}$

قطر سیم استارت $d_a = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_a}{J}}$

۲ـ۱ـ۵ محاسبه تعداد دور کلاف‌ها

الف) محاسبه تعداد دورکلاف‌های سیم‌پیچ اصلی: $\frac{۲}{۳}$ شیارها در سیم‌پیچی موتور تک‌فاز با استارت موقت را کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی اشغال می‌کند، اگر تعداد شیارهای سیم پیچ اصلی را به Z_A و تعداد شیارهای کل استاتور را با Z نشان دهیم می‌توان نوشت:

$$Z_A = \frac{۲}{۳} Z \qquad (۵ـ۴)$$

چون هر کلاف با دو بازو، دو شیار را اشغال خواهد کرد اگرتعداد کلاف سیم‌پیچ اصلی را با γ_A نشان دهیم مقدار آن از رابطه ۵ـ۵ قابل محاسبه است.

تعداد کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی $\gamma_A = \frac{Z_A}{۲} = \frac{۲}{۳} Z \times \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{۳} Z$ (۵ـ۵)

تعداد شیارهای اصلی برای هر قطب از رابطه ۵ـ۶ به‌دست می‌آید.

تعداد شیارهای اصلی برای هر قطب $q_A = \frac{Z_A}{۴ \times P \times m}$ (۵ـ۶)

m تعداد فازها برابر یک است در موتورهایی که سیم‌بندی آنها متحدالمرکز است، گام سیم‌پیچی از رابطه $Y_{ZA} = \frac{Z_A}{۲P}$ تعیین می‌شود.

مثال ۱: آرایش کلاف اصلی موتور ۳۶ شیار، ۴ قطب را تعیین کنید.

$$Z = ۳۶ \,,\quad ۲P = ۴$$

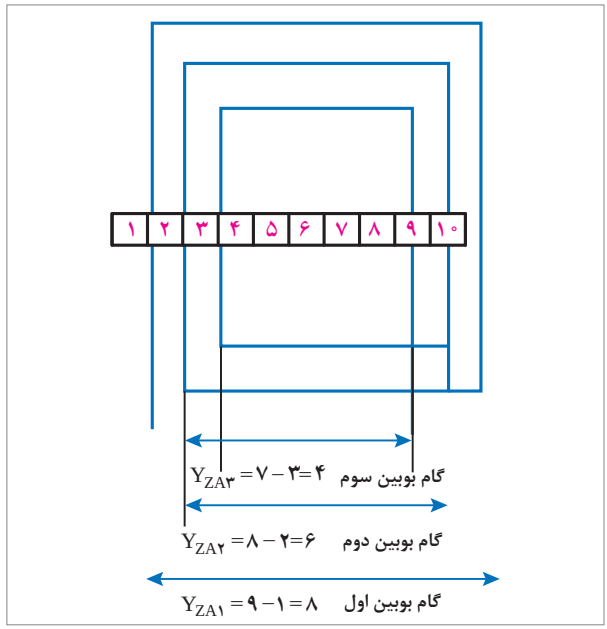
$$Z_A = \frac{۲}{۳} Z = \frac{۲}{۳} \times ۳۶ = ۲۴$$

$$Y_{ZA} = \frac{Z_A}{۲P} = \frac{۲۴}{۴} = ۶$$

$$q_A = \frac{Z_A}{۴ \times P \times m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۲ \times ۱} = ۳$$

تعداد گروه کلاف‌ها $G = \frac{\gamma A}{۲_{qA}} = \frac{۲۴}{۲ \times ۳} = ۴$

دیاگرام سیم‌پیچی شبیه شکل ۲ خواهد بود.



شکل ۲ـ دیاگرام سیم‌پیچی

زاویه الکتریکی شیارها:

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

ضریب وتر از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$K_P = \sin(\frac{\pi}{۲} \times \varepsilon) = \sin(\frac{۱۸۰}{۲} \times \frac{Y_Z}{Y_P})$$

$$K_P = \sin(\frac{۱۸۰}{۲} \times \frac{Y_Z}{\frac{Z}{۲_P}}) = \sin(\frac{P \times ۳۶۰}{۲} \times Y_Z) = \sin(\frac{Y_Z \times \alpha_{ez}}{۲})$$

$$K_{P۱} = \sin(\frac{Y_{ZA۱} \times \alpha_{eZ}}{۲}) = \sin(\frac{۸ \times ۲۰}{۲}) = ۰/۹۸۵$$

$$K_{P۲} = \sin(\frac{Y_{ZA۲} \times \alpha_{eZ}}{۲}) = \sin(\frac{۶ \times ۲۰}{۲}) = ۰/۸۶۶$$

$$K_{P۳} = \sin(\frac{Y_{ZA۳} \times \alpha_{eZ}}{۲}) = \sin(\frac{۴ \times ۲۰}{۲}) = ۰/۶۴$$

$$SUB = K_{P۱} + K_{P۲} + K_{P۳} = ۰/۹۸۵ + ۰/۸۶۶ + ۰/۶۴ = ۲/۵$$

درصد توزیع دوربوبین‌ها به نسبت ضرایب کوتاهی گام‌ها خواهد بود.

$$\%N_{A۱} = \frac{K_{P۱} \times ۱۰۰}{SUB} = \frac{۰/۹۸۵ \times ۱۰۰}{۲/۵} = ۳۹/۴\%$$

$$\%N_{A۲} = \frac{K_{P۲} \times ۱۰۰}{SUB} = \frac{۰/۸۶۶ \times ۱۰۰}{۲/۵} = ۳۴/۶۴\%$$

$$\%N_{A۳} = \frac{K_{P۳} \times ۱۰۰}{SUB} = \frac{۰/۶۴ \times ۱۰۰}{۲/۵} = ۲۵/۶\%$$

ضریب کل سیم‌پیچی به قرار زیر حساب می‌شود.

$$K_{WA} = \frac{K_{A۱} \times \%N_{A۱} + K_{A۲} \times N_{A۲} + K_{P۳} \times \%N_{A۳}}{\%N_{A۱} + \%N_{A۲} + \%N_{A۳}}$$

پس از تعیین K_{WA} تعداد دور کل سیم‌پیچی را از رابطه به‌دست می‌آوریم و بین کلاف‌ها متناسب با درصد توزیع تقسیم می‌کنیم.

$$N_{ph} = \frac{U_{ph}(۱ - \%\Delta U) \times ۲P}{۴/۴۴ \times f \times B_m \times L \times D \times K_{WA} \times ۰/۹۵}$$

سهم هرگروه کلاف از رابطه $N_{bA} = \frac{N_{phA}}{۴P}$ به‌دست می‌آید، بدین ترتیب تعداد دور کلاف‌ها در هر گروه کلاف به قرار زیر مشخص می‌گردد.

تعداد دور کلاف بزرگ (اول)	$N_{A۱}=\frac{K_{A۱}\times ۱۰۰}{SUB}\times N_{bA}$
تعداد دور کلاف متوسط (دوم)	$N_{A۲}=\frac{K_{A۲}\times ۱۰۰}{SUB}\times N_{bA}$
تعداد دور کلاف کوچک (سوم)	$N_{A۳}=\frac{K_{A۳}\times ۱۰۰}{SUB}\times N_{bA}$

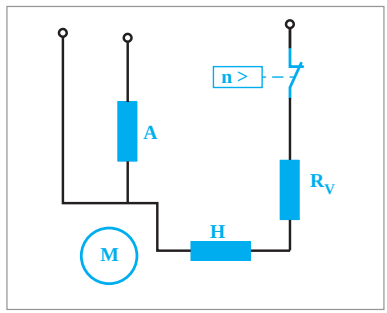
ب) محاسبه تعداد دور کلاف‌های سیم‌پیچ استارت: اگر تعداد دور سیم‌پیچ استارت را به N_H و ضریب سیم‌پیچی استارت را به K_{WH} نشان دهیم بین تعداد دور استارت و دور اصلی در گروه کلاف رابطه زیر برقرار است.

$$N_H=\frac{K_{WA}\times NbA}{K_{WH}}\times K$$

ضریب K را برابر ۱/۵ در نظر می‌گیرند. پس از تعیین N_H با توجه به اینکه $\frac{۱}{۳}$ شیارهای استاتور با سیم‌پیچ استارت اشغال می‌شود نظیر توزیع سیم‌پیچ اصلی، سهم دور هر کلاف استارت را به‌دست می‌آوریم. توجه شود در اغلب سیم‌پیچی‌ها آرایش کلاف‌های استارت را نظیر سیم‌پیچ اصلی در نظر می‌گیرند.

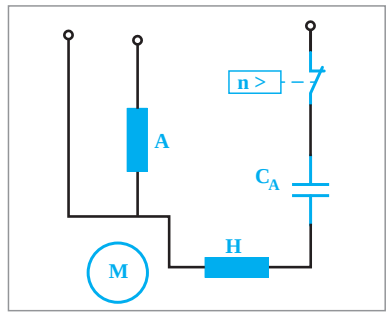
پ) محاسبه ظرفیت خازن ومقاومت سیم‌پیچ استارت

اگر موتور یک فاز القایی با راه‌انداز مقاومتی باشد مقدار مقاومت راه‌انداز از رابطه $R_V=\frac{U}{I_A}tg^{۲}(\frac{\varphi}{۲})$ به‌دست می‌آید. R_V مقاومتی است که با سیم‌پیچ استارت سری می‌شود. I_A جریان سیم اصلی است، اختلاف فاز ولتاژ و جریان در سیم‌پیچ اصلی است (شکل ۳). مقاومت راه‌انداز از رابطه $R_H=R_V+R_A\times tg^{۲}(\frac{\varphi}{۲})$ تعیین می‌شود.



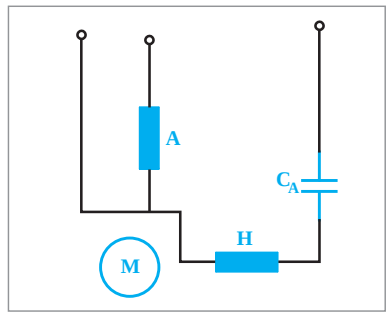
شکل ۳

R_A مقاومت اهمی سیم‌پیچ اصلی است.
اگر در راه‌اندازی از خازن موقت استفاده کنیم اندازه ظرفیت خازن از رابطه $C_A = \frac{۱}{۳} \times \frac{I_A \times ۱۰^۶}{\omega \times U \times tg\varphi \times \sqrt{۱ - tg^۲\varphi}} \mu F$ محاسبه می‌شود (شکل۴).



شکل ۴

در موتورهایی که خازن و سیم‌پیچ استارت (طرح دوفاز) پس از راه‌اندازی در مدار باقی می‌مانند ظرفیت خازن از رابطه $C_B = \frac{۱}{۲} \times \frac{I_A \times \sin\varphi \times ۱۰^۶}{\omega \times U} \mu F$ به‌دست می‌آید. محاسبات موتورهای طرح دوفاز نظیر موتورهای طرح سه‌فاز می‌باشد با این تفاوت که تعداد فاز $m = ۲$ در نظر گرفته می‌شود و اختلاف فاز بین سیم‌پیچ‌های دوفاز ۹۰ درجه الکتریکی می‌باشد (شکل۵).



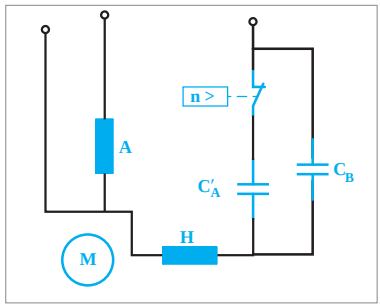
شکل ۵

در موتورهایی که هم خازن دائم و هم خازن موقت دارند ظرفیت خازن موقت سه برابر ظرفیت خازن دائم است. خازن موقت الکترولیتی و خازن دائم روغنی می‌باشد

در مدار شکل ۸۱ خازن موقت با C'_A و خازن دایم با C_B نشان داده شده است (شکل ۶)

ظرفیت خازن موقت $C'_A = \frac{۲}{۳} \times \frac{I_A \times \sin\varphi \times ۱۰^۶}{\omega \times U}$ μF ظرفیت خازن دائم

$$C_B = \frac{۱}{۲} \times \frac{I_A \times \sin\varphi \times ۱۰^۶}{\omega \times U} \quad \text{و} \quad C'_A = ۳C_B$$



شکل ۶

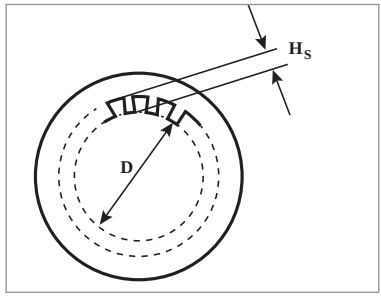
برای راه‌اندازی موتور سه‌فاز در جریان تک‌فاز از خازن استفاده می‌کنند که ظرفیت خازن از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$C = \frac{۲ \times I \times ۱۰^۶}{\omega \times U} = \sin\varphi \ \mu F$$

تعیین طول یک دور کلاف (اندازه قالب‌ها)

با توجه به شکل ۷ طول هر کلاف از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$L = \frac{۸/۴\,(D + H_S) \times Y_Z}{Z} + ۲L_S$$



شکل ۷ــ عمق شیار

در این رابطه L_S طول مؤثر استاتور برحسب سانتی‌متر و D قطر استاتور، برحسب سانتی متر و H_S عمق شیار برحسب سانتی‌متر می‌باشد. کل متراژ سیم‌پیچی از رابطه $L_{At} = L_{A1} \times N_{A1} + L_{A2} \times N_{A2} + L_{A3} \times N_{A3}$ تعیین می‌شود و می‌توان مقاومت اهمی سیم‌پیچی را از رابطه $R_a = \rho \frac{L_{At} \times G_A}{A}$ به‌دست آورد. در این رابطه G_A تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچی و A سطح مقطع سیم برحسب میلی‌مترمربع و ρ مقاومت مخصوص برحسب $\frac{\Omega mm^2}{m}$ می‌باشد. $\rho_{cu} = \frac{1}{56} \frac{\Omega mm^2}{m}$ و $\rho_{AI} = \frac{1}{35} \frac{\Omega mm^2}{m}$ است.

۲ـ۵ـ محاسبات موتورهای قطب چاک‌دار

اساس محاسبات این موتورها نظیر محاسبه موتورهای طرح دوفاز می‌باشد، با توجه به اینکه تعداد شیارهای آن براساس شیارهای چاک‌دار برابر ۸ شیار می‌باشد و از رابطه $\gamma_A = Z_A = \frac{1}{2} Z$ تعدادکلاف‌های هر فاز مشخص می‌گردد.

مثال ۲:

قطر هسته پمپ کولر ۳/۶ سانتی‌متر و طول آن ۱/۵۵سانتی‌متر است. تعداد دور و قطر سیم مسی آن را به‌دست آورید. فرکانس منبع تغذیه ۵۰ هرتز و ولتاژ آن ۲۲۰ ولت است.

حل:

در این موتورها هر چاک دو شیار محسوب می‌شود.

$$Z = 8 \quad , \quad 2P = 2$$

$$\gamma A = Z_A = \frac{1}{2 \times m} Z = \frac{1}{2 \times 2} \times 8 = 2$$

$$N_b = \frac{U(1 - \%\Delta U) \times 2P}{4/44 \times 2 \times f \times B_m \times D \times L \times K_{WA} \times 0/95 \times \gamma A}$$

$$Y_{ZA} = \frac{Z_A}{2P} = \frac{4}{2} = 2$$

$$K_{PA} = \sin\left(\frac{2 \times 360}{8}\right) = 1 \Rightarrow K_{WA} = 1$$

$$N_b = \frac{220(1 - 0/02) \times 2}{4/44 \times 2 \times 50 \times 0/79 \times 0/036 \times 0/0155 \times 0/95 \times 2} = 1160 \text{ دور}$$

$$P_2 = K \times B_m^2 \times D2 \times L \times N_r$$

$$N_r = N_S(1-S) = \frac{۱۲۰\times ۵۰}{۲}(۱-۰/۰۶۲) = ۲۸۱۴ \text{r.p.m}$$

$$P_۲ = ۱/۵\times ۱۰^{-۹}\times ۰/۷۹\times ۳۶^۲\times ۱۵/۵\times ۲۸۱۴ = ۰/۵۳\text{KW}$$

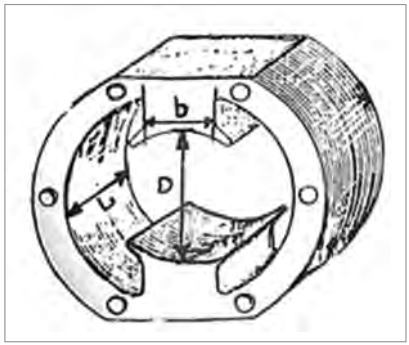
$$I_A = \frac{P_۲\times ۱۰۰۰}{۲\times U\times \cos\varphi\times \eta} = \frac{۰/۵۳\times ۱۰۰۰}{۲\times ۲۲۰\times ۰/۸۵\times ۰/۵۷} = ۰/۲۵\text{A}$$

$$d = ۱/۱۳\sqrt{A} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۲۵}{۸/۲}} = ۰/۱۹۷ \approx ۰/۲۰\text{mm}$$

۳ـ۵ـ محاسبات سیم‌پیچی موتورهای اونیورسال

الف) محاسبه تعداد دور سیم بالشتک

تعداد دور هر بالشتک از رابطه $N_b = \frac{۱/۱۶\times U\times ۱۰^۳}{b\times L\times B_m}$ محاسبه می‌شود. در این رابطه b عرض هسته است که در شکل ۸ مشاهده می‌شود و B_m از منحنی شکل ۹ تعیین می‌شود.



شکل ۸ـ موتور قطب چاک‌دار

تعداد دور هر کلاف آرمیچر از رابطه $N_a = \frac{۲/۸۳\times N_b}{K}$ به‌دست می‌آید. K تعداد تیغه‌های کلکتور است.

ب) محاسبه قطر سیم آرمیچر و بالشتک

برای به‌دست آوردن قطر سیم آرمیچر ابتدا جریان هر راه جریان را به‌دست می‌آوریم.

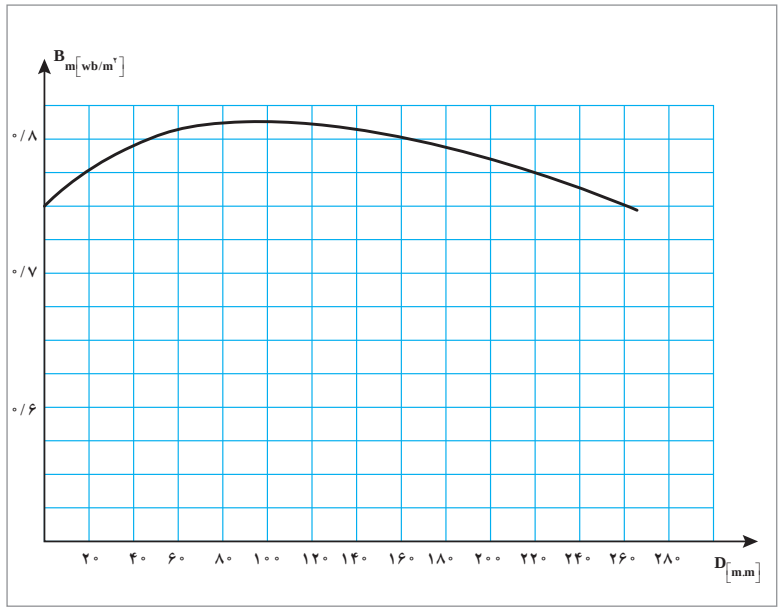
$$I_a = \frac{\pi \times D \times B}{N_a}$$

N_a تعداد دور سیم‌بندی آرمیچر و B چگالی میدان از منحنی شکل ۸۵ تعیین می‌شود.

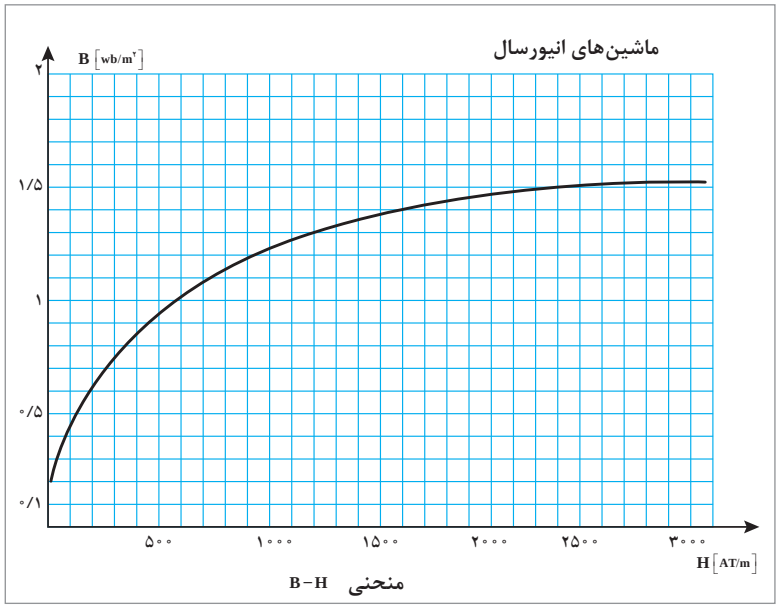
$$d_a = ۱/۱۱۳\sqrt{\frac{I_a}{j}}\ mm$$

J چگالی جریان از منحنی شکل ۹ تعیین می‌شود، چون در ماشین‌های انیورسال ۲ مسیر جریان داریم، لذا جریان در بالشتک‌ها دو برابر جریان آرمیچر است بنابراین قطر سیم بالشتک‌ها به قرار زیر تعیین می‌شود.

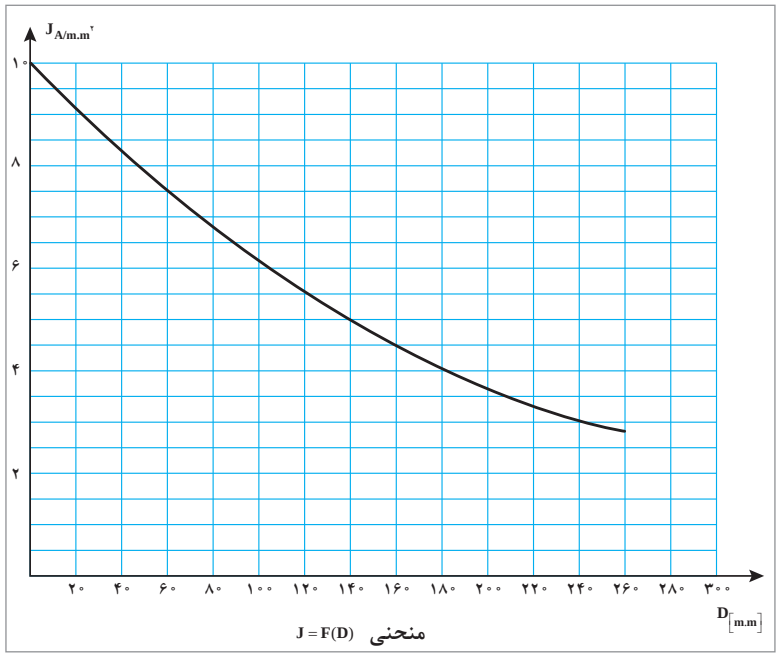
$$d_b = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۲ \times I_a}{j}}\ mm$$



شکل ۹ــ منحنی قطر وچگالی


ماشین‌های انیورسال
B [wb/m۲]
۲
۱/۵
۱
۰/۵
۰/۱
۵۰۰
۱۰۰۰
۱۵۰۰
۲۰۰۰
۲۵۰۰
۳۰۰۰
H [AT/m]
منحنی B−H

شکل ۱۰


J A/m.m۲
۱۰
۸
۶
۴
۲
۲۰ ۴۰ ۶۰ ۸۰ ۱۰۰ ۱۲۰ ۱۴۰ ۱۶۰ ۱۸۰ ۲۰۰ ۲۲۰ ۲۴۰ ۲۶۰ ۲۸۰ ۳۰۰
D [m.m]
منحنی J = F(D)

شکل ۱۱

پرسش

چند نمونه از دیگر کاربردهای الکتروموتورهای تک فاز را نام ببرید.

جواب: موتورهای یخچال، آب‌میوه‌گیری، دریل، کولر، پمپ آب، بالابرها، جاروبرقی، مخلوط‌کن‌ها، چرخ گوشت و ...

تحقیق

آیا سیم‌پیچ کمکی از نظر ضخامت و تعداد دور با سیم‌پیچ اصلی برابر است؟

جواب: ضخامت سیم‌پیچ کمکی را به علت موقت بودن براساس ولتاژ کمتر از ولتاژ سیم‌پیچ اصلی در نظر می‌گیرند و چون به مدت کوتاه در مدار الکتریکی قرار می‌گیرد لذا نسبت به سیم‌پیچ اصلی کمتر است، ولی در موتورهای طرح دوفاز ضخامت سیم‌پیچ اصلی و کمکی تقریباً برابر هستند. تعداد دور سیم‌پیچ کمکی به علت در برداشتن تعداد شیار کمتر از تعداد دور بیشتری برخوردار است.

تحقیق

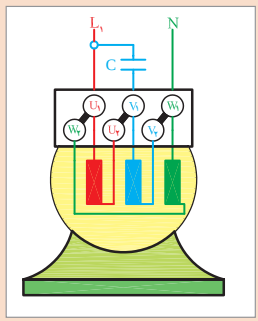
اگر کلید گریز از مرکز به هر دلیلی تغییر حالت ندهد چه پیامدی برای الکتروموتور خواهد داشت؟

جواب: اگر کلید گریز از مرکز در حالت راه‌اندازی تغییر وضعیت نداده باشد موتور راه‌اندازی نمی‌شود و موتور در حالت رتور قفل شده عمل کرده، چندین برابر جریان نامی از شبکه دریافت می‌کند و موتور می‌سوزد. اگر کلید در راه‌اندازی سیم‌پیچ استارت را در مدار قرار دهد و مدار آن را در ۷۵٪ دور نامی قطع نکند به علت هم‌ارز نبودن میدان سیم‌پیچ استارت با میدان سیم‌پیچ اصلی، موتور با سروصدا و نامتقارن کار خواهد کرد و جریان زیاد از شبکه دریافت خواهد نمود و از آنجایی که سیم‌پیچ استارت ضعیف و برای لحظه کوتاه طراحی می‌شود ولتاژ کم را تحمل می‌کند در مدت زمان کوتاه سوخته و از بین خواهد رفت.

تحقیق

آیا ممکن است الکتروموتور سه‌فاز را با اتصال به شبکه برق شهر (تک‌فاز) راه‌اندازی کرد؟

جواب: موتورهای سه‌فاز را با کمک خازن با مدار اتصالی شکل ۱۲ می‌توان راه‌اندازی کرد و ظرفیت خازن برای هر کیلووات را ۷۰ میکروفاراد در نظر می‌گیرند.



شکل ۱۲

پرسش

دیاگرام گسترده و دایره‌ای هر کدام از چه نمایی سیم‌پیچی الکتروموتور را نشان می‌دهد؟

جواب: دیاگرام گسترده نمای برش داده شده طولی سیم‌پیچی استاتور را نشان می‌دهد و دیاگرام دایره‌ای مقطع عرضی سیم‌پیچی استاتور را نشان می‌دهد.

تمرین

چگونه می‌توان از صحت خازن اطمینان حاصل کرد؟

جواب: مبتدی‌ترین روش استفاده از اهم‌متر است. ابتدا دو سر خازن را به هم وصل می‌کنیم تا در صورت داشتن ولتاژ ذخیره شده تخلیه شود سپس دو سر آن را به یک اهم‌متر، که در رنج $R \times ۱۰۰۰$ قرار دارد وصل می‌کنیم. اگر عقربه اهم‌متر با سرعت زیاد به صفر اهم‌متر برود سپس به آرامی به ∞ اهم‌متر برگردد خازن سالم است روش دقیق آن اندازه‌گیری ظرفیت آن از طریق مدار الکتریکی یا پل‌های اندازه‌گیری می‌باشد.

پرسش

پس از تغییر وضعیت کلید کولر از حالت خاموش به حالت روشن کولر راه‌اندازی نمی‌شود. به علت آن در کدام مورد اشاره شده است؟

الف) سیم‌پیچ راه‌انداز سوخته است.

ب) کلید گریز از مرکز به حالت اولیه برنگشته است.

جواب: هر دو گزینه ممکن است صحیح باشد. چون اگرسیم‌پیچ استارت بسوزد موتور راه‌اندازی نمی‌شود و اگر کلید گریز از مرکز به حالت اول برنگردد مدار سیم‌پیچ استارت از شبکه تغذیه نخواهد کرد و گشتاور راه‌اندازی صفر خواهد شد و موتور راه نخواهد افتاد.

پرسش

با توجه به تعداد قطب حالت‌های دور کند و تند کولر در هر حالت دور نامی کولر چند دور در دقیقه است؟

جواب: معمولاً موتورهای کولر با لغزش ۶٪ کار می‌کنند و دور کند آنها ۶ قطب و دور تند آنها ۴ قطب می‌باشد.

$$N_r = N_S(۱ - S)$$

$$N_S = \frac{f \times ۱۲۰}{P}$$

$$\begin{cases} \text{دور کند} \rightarrow N_r = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۶}(۱ - ۰/۰۶) = ۹۴۰ r.p.m \\ \text{دور تند} \rightarrow N_r = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۴}(۱ - ۰/۰۶) = ۱۴۱۰ r.p.m \end{cases}$$

منابع و مآخذ

۱ برنامه درسی رشته الکتروتکنیک، ۱۳۹۳.
۲ محاسبات عملی ترانسفورماتورها و چوک‌ها، مؤلف علی عراقی، فتح الله نظریان، احمد معیری.
۳ محاسبه و طراحی موتورهای الکتریکی تک‌فاز، انیورسال و سیم‌پیچی آرمیچر مؤلفین علی عراقی، علی رحیمیان‌پرور، محمود حیدری، احمد معیری.
۴ ماشین‌های الکتریکی، مؤلف دکتر پ ـ س ـ سن، ترجمه دکتر مهرداد عابدی، مهندس محمدتقی نبوی.
۵ تکنولوژی و کارگاه برق صنعتی، محمود اعتضادی، ناصر ساعتچی و ...، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.
۶ بروشورها و کاتالوگ‌های شرکت‌های کابل و سیم

هنرآموزان محترم، می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب گاه: www.tvoccd.medu.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش