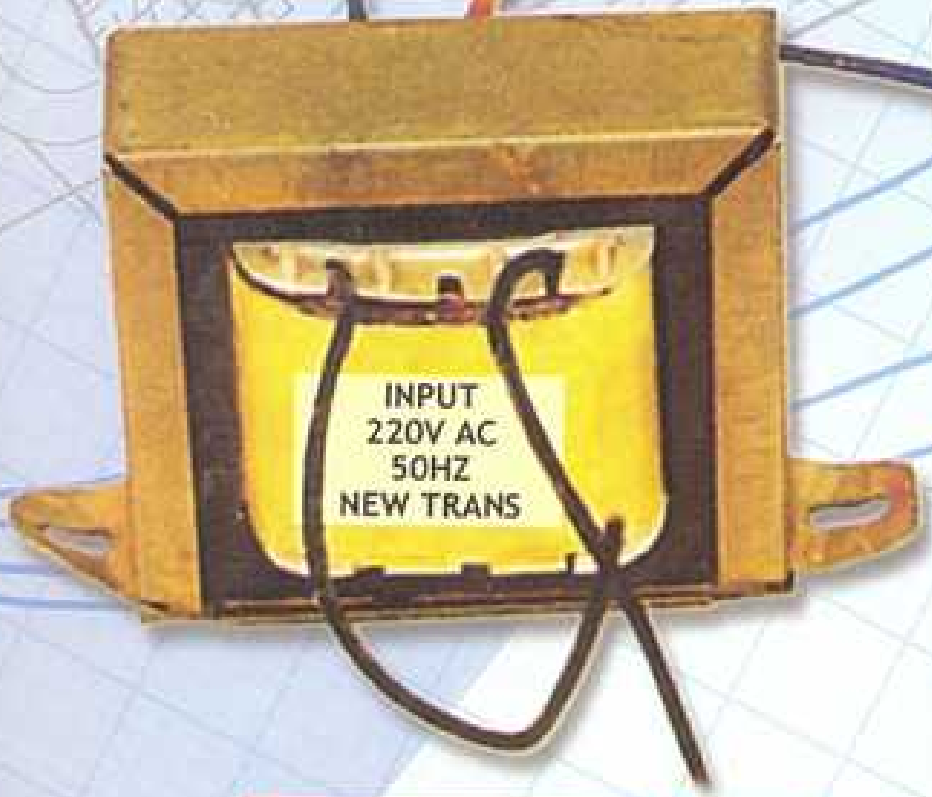
جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
سازمان تحقیقات و برنامه‌ریزی

ساخت ترانسفورماتور

شاخه‌ی کاردانش (گروه تحصیلی برق)

رشته‌های مهارتی: ماشین‌های الکتریکی - ماشین‌های الکتریکی درجه (۱)



بسم الله الرحمن الرحیم

ساخت ترانسفورماتور

شاخه: کاردانش

زمینه: صنعت

گروه تحصیلی: برق

زیرگروه: الکتروتکنیک

رشته‌های مهارتی: ماشین‌های الکتریکی درجه (۱) ـ ماشین‌های الکتریکی

شماره‌ی رشته‌های مهارتی: ۳۰۵-۱۰۱-۱۰-۱و ۳۰۶-۱۰۱-۱۰-۱

کد رایانه‌ای رشته‌های مهارتی: ۹۳۷۵و۹۳۷۶

نام استاندارد مهارتی مبنا: تعمیرماشین‌های الکتریکی درجه (۲)

کد استاندارد متولی: ۸-۵۳/۴۸ و۷۵

شماره درس: ۸۳۰۰/۳ و۸۳۰۱/۳

۶۲۱ عراقی، علی.
۳۱۴ ر ساخت ترانسفورماتور / مؤلف : علی عراقی.ـ تهران :شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش
م ۲۹۴ ع/ و پرورش) ۱۳۸۴.
۱۳۸۴ ۱۵۶ص : مصور. ـ (شاخه‌ی کار دانش : شماره‌ی درس ۸۳۰۰/۳ و۸۳۰۱/۳)
متون درسی شاخه‌ی کاردانش، زمینه صنعت، گروه تحصیلی مکانیک، زیرگروه الکتروتکنیک،
رشته‌های مهارتی ماشین‌های الکتریکی درجه (۱) ـ ماشین‌های الکتریکی
برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر برنامه‌ریزی وتألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و
کاردانش
۱ـ ترانسفورماتورها ،الف/ایران ،وزارت آموزش و پرورش ـ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های
فنی وحرفه‌ای و کاردانش ب. عنوان

۱۳۸۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز:

پیشنهادات و نظرات خود را درباره‌ی محتوای این کتاب به نشانی تهران- صندوق پستی شماره‌ی ۱۵/۲۸۷۴ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایید.

پست الکترونیکی info@tvoccd.sch.ir

آدرس الکترونیکی www.tvoccd.sch.ir

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب: ساخت ترانسفورماتور ـ ۶۰۵

مؤلف: مهندس علی عراقی

ویراستار فنی: مهندس فریدون علومی

ویراستار ادبی: ماهدخت عقیقی

تألیف، آماده‌سازی و نظارت بر چاپ: دفتر تألیف و انتشارات شرکت صنایع آموزشی

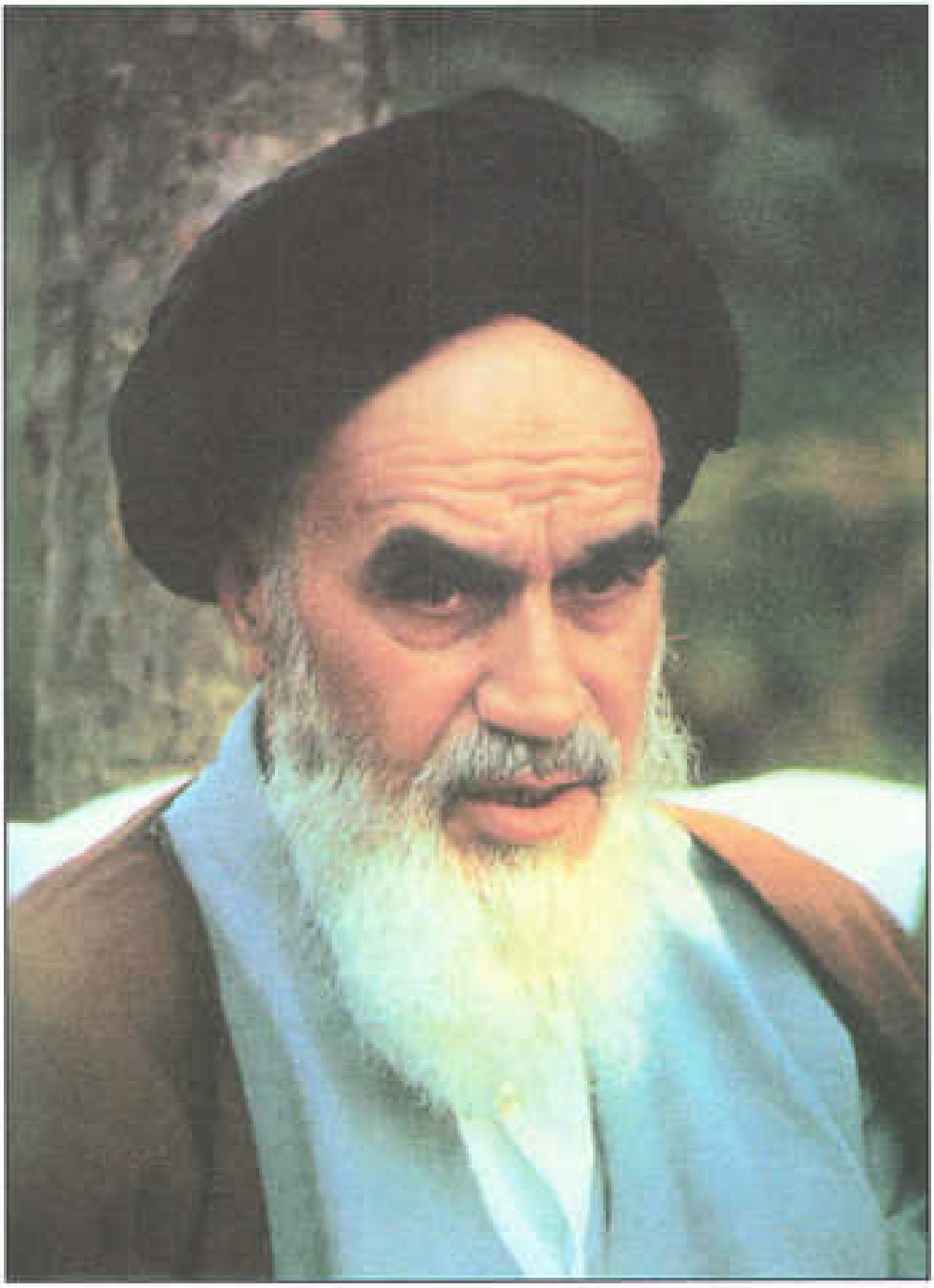
ناشر: شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش): تهران- جاده‌ی مخصوص کرج- بعد از کیلومتر ۷ ـ ابتدای بزرگراه آزادگان به طرف جنوب، تلفن: ۴۵۲۲۴۴۴۲، دورنگار: ۴۵۰۳۷۷۰، صندوق پستی: ۱۳۴۴۵/۳۷۹

چاپخانه: گیل

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوم ۱۳۸۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۴-۱۲۰۴-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-1204-4



شما عزیزان کوشش کنیدکه ازاین وابستگی بیرون آیید واحتیاجات کشورخودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید واز اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشریف»

مقدمه‌ای بر چگونگی برنامه ریزی کتاب‌های پودمانی

برنامه ریزی تألیف «**پودمان‌های مهارت**» یا «**کتاب‌های تخصصی شاخه کاردانش**» بر مبنای استانداردهای کتاب «**مجموعه برنامه‌های درسی رشته‌های مهارتی شاخه کاردانش، مجموعه ششم**» صورت گرفته است. براین اساس ابتدا توانایی‌های هم خانواده (Harmonic Power) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. سپس مجموعه مهارت‌های هم خانواده به صورت واحدهای کار تحت عنوان (Unit) دسته بندی می‌شوند. در نهایت واحدهای کار هم خانواده با هم مجدداً دسته بندی شده و پودمان مهارتی (Module) را شکل می‌دهند.

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

به منظور آشنایی هرچه بیشتر مربیان، هنرآموزان و هنرجویان شاخه کاردانش و سایر علاقه‌مندان و دست اندرکاران آموزش‌های مهارتی با روش تدوین، «**پودمان‌های مهارت**»، توصیه می‌شود الگوهای ارائه شده در نمون برگ‌های شماره (۱)، (۲) و (۳) مورد بررسی قرار گیرد. در ارائه دسته‌بندی‌ها، زمان مورد نیاز برای آموزش آنها نیز تعیین می‌گردد، با روش مذکور یک «**پودمان**» به عنوان کتاب درسی مورد تأیید وزارت آموزش و پرورش در «**شاخه کاردانش**» چاپ سپاری می‌شود.

به طور کلی هر استاندارد مهارت به تعدادی پودمان مهارت (M_1 و M_2 و ...) و هر پودمان نیز به تعدادی واحد کار (U_1 و U_2 و ...) و هر واحد کار نیز به تعدادی توانایی ویژه (P_1 و P_2 و ...) تقسیم می‌شوند. نمون برگ شماره (۱) برای دسته‌بندی توانایی‌ها بکار میرود. در این نمون برگ مشاهده می‌کنیم که در هر واحدکار چه نوع توانایی‌هایی وجود دارد. در نمون برگ شماره (۲) واحدهای کار مرتبط با پودمان و در نمون برگ شماره (۳) اطلاعات کامل مربوط به هر پودمان درج شده است. بدیهی است هنرآموزان و هنرجویان ارجمند شاخه کاردانش و کلیه عزیزانی که در امر توسعه آموزش‌های مهارتی فعالیت دارند، می‌توانند ما را در غنای کیفی پودمان‌ها که برای توسعه آموزش‌های مهارتی تدوین شده است رهنمون و یاور باشند.

سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی
دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

P=Power U=Unit M=Module

پیشگفتار

حمد و ستایش پروردگاری را که جای جای هستی را با آیات و جلوه‌های خویش بیاراست، تا صاحبان خرد در آن اندیشه کنند.

هنرآموزان گرامی و فراگیران عزیز:

کتابی که اینک پیش رو دارید، یکی از کتاب های درسی نظام جدید آموزشی در شاخه کار دانش، زمینه صنعت می‌باشد که به کوشش شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش) تألیف و چاپ شده است. این شرکت در سال ۱۳۵۴ با هدف طراحی، تولید وتأمین تجهیزات کمک آموزشی، آزمایشگاهی و کارگاهی برای تمام مقاطع تحصیلی (از پیش دبستانی تا دانشگاه) تأسیس شده است.

مهم‌ترین رسالت شرکت، حمایت و پشتیبانی همه جانبه از آموزش کشور در جهت تحقق اهداف آموزش و پرورش است در این راستا با بهره‌گیری از آخرین فناوری کشورهای پیشرفته صنعتی بسیاری ازتجهیزات آموزشی کلاس‌ها، آزمایشگاه‌ها وکارگاه‌ها را تولید نموده است.

یکی دیگر از خدمات شرکت صنایع آموزشی، همکاری با سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش برای تألیف کتاب های درسی است. در تألیف این کتاب‌ها پیشکسوتان و صاحب نظران آموزش های فنی و حرفه‌ای و مهارتی در نهایت صمیمیت، این شرکت را یاری داده‌اند تا کتابی آسان، روان و خودآموز تهیه و در اختیار فراگیران عزیز مهارت‌های صنعتی قرار دهند. شیوه نگارش این کتاب منطبق با شیوه آموزش مهارت پودمانی (Modular) یا پیمانه‌ای می‌باشد. این شیوه آموزش مهارت، هم اکنون در بسیاری از کشورهای پیشرفته صنعتی اجرا می‌شود.

امید است مدیران محترم مراکز آموزشی با تمام توان در جهت اجرای هرچه بهتر این شیوه نوین آموزش و مهارت همت گمارند تا بتوانیم به کلیه اهداف آموزشی کتاب جامه عمل بپوشانیم. با دست‌یابی به این اهداف آموزشی است که فراگیران عزیز در زمره صنعتگران خلاق و کارآفرین کشور عزیزمان قرارگیرند و نقش عمده‌ای در شکوفایی صنعت و اشتغال زایی ایفا نمایند.

شرکت صنایع آموزشی

واحد تحقیقات و طرح و برنامه

مقدمه

تنوع وسایل الکتریکی از قبیل وسایل ارتباطی، مصرف کننده‌های خانگی و وسایل صوتی تصویری سبب شده است برق در زندگی بشر امروزی نقش اساسی داشته باشد و در بسیاری از موارد ادامه حیات یا نبود برق با مشکلات عدیده مواجه می شود. اکثر وسایل به منظور کاهش خطرات برق گرفتگی، کاهش حجم و صرفه جویی اقتصادی در ولتاژهای تغذیه پایین طراحی می‌شوند، چون تولید صنعتی برق در ولتاژهای پایین از لحاظ مسائل انتقال، توزیع و اقتصادی امکان پذیر نیست، لذا یک واسطه الکتریکی لازم است که امکان طراحی هر نوع وسیله را با هر ولتاژ مورد نیاز، برای طراحان فراهم کند و در نهایت آنها را به شبکه تولید صنعتی برق ارتباط دهد. این وسیله با اهمیت، ترانسفورماتور می‌باشد. ترانسفورماتورها قادرند با تغییر در اندازه ولتاژ و جریان الکتریکی، ولتاژ و جریان الکتریکی معینی را ایجاد و ارتباط مصرف کننده‌ها را از چند میلی آمپر تا چند مگاآمپر به شبکه برق برقرار کنند. ولتاژهای چند ولت تا هزاران ولت را برای مصرف کننده‌ها تأمین کنند. وجود ترانسفورماتورها سبب شده است مولدهای انرژی در مکان‌های مناسب با توجه به امکانات تولید از نقطه نظر سوخت و منابع آبی ساخته شوند و انرژی تولیدی آنها با سیم‌های رابط به محل‌های مصرف انتقال داده شوند. با توجه به نقش ترانسفورماتورهای یک فاز و سه فاز در ارتباط مصرف کننده‌ها به شبکه برق، طراحی ترانسفورماتورهای یک فاز تا قدرت ۳ KVA را در این مجموعه مطالعه خواهیم کرد.

اغلب سعی شده است مطالب بیشتر از بعد عملی ارائه شوند بدین منظور از جداول بیشتر استفاده شده است و در مواردی که دانستن تئوری‌ها ضروری به نظر می‌رسید بیشتر به نتایج فرمول‌های مربوطه پرداخته شده است و اثبات آنها را در حد پایین دنبال کرده‌ایم امید است هنرجویان با مطالعه این مجموعه در ساخت ترانسفورماتورها، قدم‌های اولیه را بردارند. از آنجایی که هر مجموعه‌ای دور از عیب نمی‌باشد از عزیزان استدعا می‌شود در بهبود و رفع نواقص ما را یاری کنند و نظرات اصلاحی را به دفتر تألیف کتب درسی ارسال نمایند.

با تشکر

مؤلف

فهرست عناوین

عنوان صفحه

واحد کار اول :توانایی لحیم کاری سیم‌های الکتریکی

پیش آزمون (۱) ۲
۱-۱- لحیم، ابزارها و واسطه‌های لحیم‌کاری ۳
۱-۲- لحیم کاری نرم روی سیم‌های الکتریکی ۸
۱-۳- ابزار مورد نیاز برای اتصال سیم‌ها ۱۲
۱-۴-ایمنی در لحیم‌کاری ۱۷
۱-۵- کارشماره (۱) ۱۹
۱-۶- کارشماره (۲) ۲۰
۱-۷- کارشماره (۳) ۲۱
۱-۸- کارشماره (۴) ۲۱
آزمون پایانی (۱) ۲۲

واحد کار دوم: اندازه‌گیری قطر سیم

پیش آزمون (۲) ۲۴
۲-۱- طبقه‌بندی سیم‌ها ۲۵
۲-۲- چگالی جریان ۲۵
۲-۳-میکرومتر ۲۸
۲-۴- کارشماره (۱) ۲۹
۲-۵- کارشماره (۲) ۳۰
۲-۶- کارشماره (۳) ۳۱
آزمون پایانی (۲) ۳۲

واحد کار سوم: توانایی ساختن قرقره ترانسفورماتور

پیش آزمون (۳) ۳۴
۳-۱- ساختمان ترانسفورماتورها ۳۵
۳-۲- هسته آهنی ترانسفورماتورها ۳۶
۳-۳- سیم‌پیچ‌ها ۴۳
۳-۴- قرقره سیم پیچی ۴۵
۳-۵- کارشماره (۱) ۵۳
۳-۶- کارشماره (۲) ۵۵

آزمون پایانی (۳) ۵۶

واحد کار چهارم: توانایی محاسبه و سیم پیچی ترانسفورماتور و اتوترانسفورماتور تا قدرت ۳KVA

پیش آزمون (۴) ۵۸
۴-۱- اساس کار ترانسفورماتور ۵۹
۴-۲- ترانسفورماتورهای ایده آل ۶۲
۴-۳- ترانسفورماتورهای حقیقی ۶۲
۴-۴- افت فشار کلی در ترانسفورماتورها ۶۴
۴-۵- تلفات توان در ترانسفورماتورها ۶۴
۴-۶-محاسبات عملی سیم پیچی ترانسفورماتورها ۶۵
۴-۷-ترانسفورماتورهای با چند ورودی و چند خروجی ۷۶
۴-۸- اتوترانسفورماتورها و محاسبات عملی آنها ۷۹
۴-۹- محاسبات عملی ترانسفورماتورهای تک‌فاز با استفاده از منحنی ها ۸۲
۴-۱۰- کارشماره (۱) ۱۰۶
۴-۱۱- کارشماره (۲) ۱۰۹
۴-۱۲- کارشماره (۳) ۱۰۹
آزمون پایانی (۴) ۱۱۰

واحد کار پنجم: توانایی آزمایش ترانسفورماتور تک فاز تا قدرت ۳KVA

پیش آزمون (۵) ۱۱۲
۵-۱- اندازه‌گیری و دستگاه‌های اندازه‌گیری ۱۱۳
۵-۲- روش‌ها و مفاهیم اندازه‌گیری ۱۱۳
۵-۳- مشخصات کلی دستگاه‌های اندازه گیری عقربه‌ای ۱۱۶
۵-۴- انواع وسایل اندازه‌گیری عقربه‌ای ۱۲۱
۵-۵- اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی ۱۲۸
۵-۶- تلفات ترانسفورماتورها ۱۳۸
۵-۷- کارشماره (۱) ۱۴۳
۵-۸- کارشماره (۲) ۱۴۵
۵-۹- کارشماره (۳) ۱۴۷
۵-۱۰- کارشماره (۴) ۱۴۸
۵-۱۱- کارشماره (۵) ۱۴۹
آزمون پایانی (۵) ۱۵۰
پاسخ پیش‌آزمون‌ها ۱۵۲
منابع و مأخذ ۱۵۳

هدف کلی پودمان

محاسبه و ساخت ترانسفورماتور و اتوترانسفورماتورهای تک فاز تا قدرت ۳ KVA

واحدکار	شماره توانایی	عنوان توانایی	ساعت		
			نظری	عملی	جمع
۱	۸	توانایی تجهیم کاری سیم‌ها	۴	۱۶	۲۰
۲	۱۰	توانایی اندازه‌گیری قطر سیم	۳	۱	۴
۳	۹	توانایی ساختن قرقره ترانسفورماتور	۴	۲۴	۲۸
۴	۱۲	توانایی محاسبه و سیم پیچی ترانسفورماتور و اتوترانسفورماتور تکفاز تا قدرت ۳ KVA	۱۳	۴۲	۵۵
۵	۱۳	توانایی آزمایش ترانسفورماتور تک فاز تا قدرت ۳ KVA	۱۶	۲۰	۳۶
		جمع کل	۴۰	۱۰۳	۱۴۳

واحد کار اول

توانایی لحیم کاری سیم ها

هدف کلی:

لحیم کاری سیم های الکتریکی

هدف‌های رفتاری:

فراگیر پس از آموزش این واحد کار قادر خواهد بود:

۱ـ انواع لحیم کاری را نام ببرد.
۲ـ وسایل تمیز کردن محل لحیم کاری را نام ببرد.
۳ـ با روش مکانیکی و شیمیایی محل های لحیم کاری را تمیز کند.
۴ـ روش استفاده از وسایل تولید گرما در لحیم کاری را شرح دهد.
۵ـ کاربرد ابزارهای مورد نیاز لحیم کاری را رعایت کند.
۶ـ نکات ایمنی در لحیم کاری را شرح دهید.
۷ـ روش های تمیز کردن لاک سیم ها را توضیح دهد.
۸ـ لزوم استفاده از وارنیش را در لحیم کاری سیم های الکتریکی، بیان کند.
۹ـ مراحل لحیم کاری نرم را روی سیم های هادی الکتریکی نام ببرد.
۱۰ـ لحیم کاری سیم های الکتریکی را انجام دهد.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۴	۱۶	۲۰

پیش آزمون (۱)

۱ـ مزیت لحیم کاری نسبت به اتصال جوش کدام است؟

۱ ـ تحمل دمای بالا
۲ ـ جداسازی ساده قطعات
۳ ـ تخریب منطقی اتصال به هنگام جداسازی قطعات
۴ ـ استحکام زیاد بین اجزای مرتبط

۲ـ وسیله مناسب برای لحیم کاری سخت کدام است؟

۱ ـ هویه
۲ ـ حمام قلع
۳ ـ شعله
۴ ـ شعله با هویه

۳ـ مناسب ترین وسیله برای باز کردن پیچ های ⊕ کدام است؟

۱ ـ پیچ گوشتی تخت
۲ ـ جانو
۳ ـ پیچ گوشتی چهارسو
۴ ـ انبردست

۴ـ از سیم چین برای ..... سیم ها استفاده می‌شود.

۱ ـ بریدن
۲ ـ بریدن و لخت کردن
۳ ـ بریدن سیم ها و باز کردن بین ها
۴ ـ لخت کردن

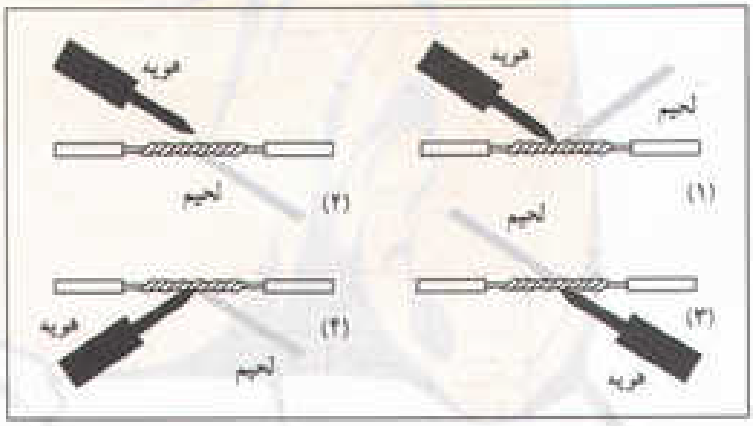
۵ـ در محل کار ..... باید برقرار باشد تا ..... برسد.

۱ ـ نظم ـ امکان بروز حادثه به حداقل
۲ ـ سرعت عمل زیاد ـ بروز حادثه به حداقل
۳ ـ خونسردی ـ بی تفاوتی به حداکثر
۴ ـ سرعت عمل زیاد ـ بی دقتی به حداکثر

۶ـ ویژگی های مواد تمیز کننده لحیم کاری کدام است؟

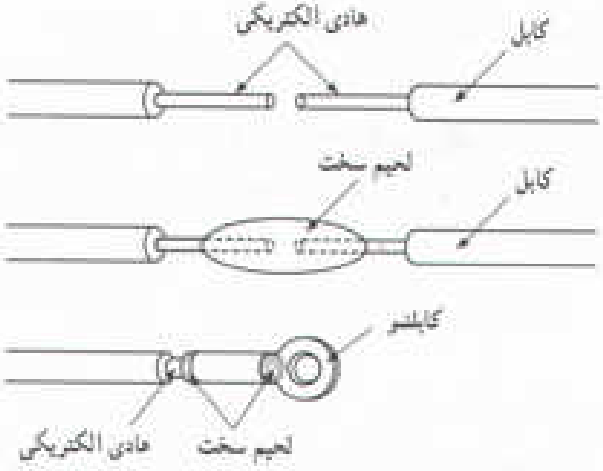
۱ ـ غیر سمی هستند و تنفس آن ها مجاز است.
۲ ـ سمی هستند و تنفس کم آن ها مجاز است.
۳ ـ غیر سمی هستند و تنفس آن ها غیر مجاز است.
۴ ـ سمی هستند و تنفس آن ها غیر مجاز است.

۷ـ لحیم کاری صحیح کدام است؟



۱ـ۱ـ لحیم، ابزارها و واسطه های لحیم کاری

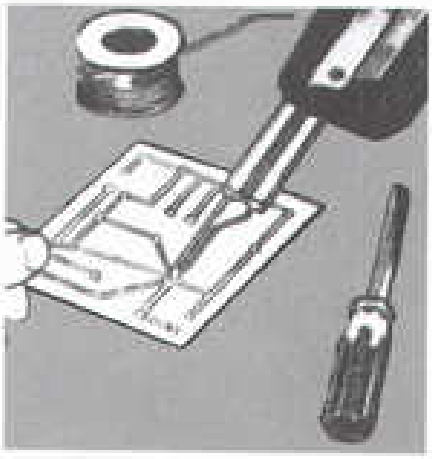
ارتباط اجزای دستگاه های الکتریکی با توجه به ظرافت قطعات به روش های متفاوت انجام می شود. ارتباط آن ها با روش لحیم سخت انجام می شود مانند مفتول های مسی و سر کابل ها که با روش لحیم سخت به یکدیگر اتصال داده می شوند. (شکل ۱-۱) در این حالت دمای محیط کار بالا است. هنگام باز کردن محل اتصال، مکان جوش خورده باید تخریب شود.



شکل ۱-۱

در دماهای پایین تر (کمتر از ۴۵ درجه سانتی گراد) ارتباط اجزای دستگاه های الکتریکی از طریق لحیم کاری نرم انجام می‌شود. در این حالت مادهٔ لحیم از آلیاژ سرب ـ قلع انتخاب می‌شود. این نوع لحیم کاری نسبت به حرارت حساس است و استحکام بین اجزای لحیم شده کم است. با گرم کردن محل اتصال، دو قطعه لحیم شده بدون تخریب منطقه اتصال به راحتی از هم جدا می شوند. (شکل ۲-۱)

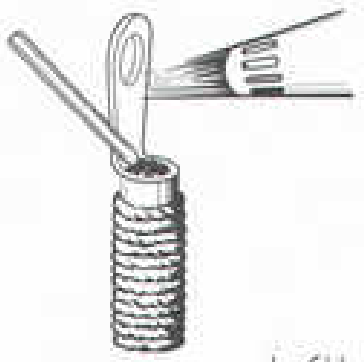
در این واحد کار هدف آموزش اتصال سیم‌ها به روش لحیم کاری نرم می باشد.



شکل ۲-۱

۱ـ۱ـ۱ـ منابع گرمایی: برای گرم کردن محل لحیم کاری تا درجه حرارت کار، از منابع گرمازا استفاده می‌شود. این منابع حرارت لازم را برای گرم کردن محل لحیم کاری تأمین می کنند. مواد ذوب شونده در بین قطعات اتصال یابنده، نفوذ می کند و پس از سرد شدن اتصال مناسبی بین قطعات برقرار می شود. در لحیم کاری نرم از منابع ذخیره کننده گرمایی، مانند هویه شعله چراغ گوره‌ای استفاده می‌شود. (شکل ۳-۱)

الف ـ هویه



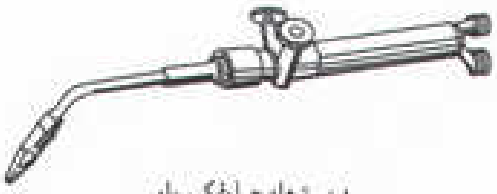
ب ـ شعله چراغ گوره‌ای

شکل ۳-۱

در انتخاب وسایل گرمازا باید به بازدهی گرمای دستگاه توجه کرد تا گرمای کافی را تأمین کند. با انتخاب منبع تولید گرمای ضعیف، مدت زمان عمل لحیم‌کاری زیاد و ماده سیال اکسیده می‌شود. در نتیجه لحیم‌کاری بین قطعات مناسب نخواهد شد. اگر از منبع تولید گرمای قوی و بیش از حد مورد نیاز استفاده شود انتقال گرما از مواد سیال به سایر قسمت های دستگاه خطراتی به دنبال خواهد داشت.

وسایل گرمازا که در شکل (۴-۱) نشان داده شده اند برای لحیم کاری سخت به کار می روند، در لحیم کاری سخت به علت نیاز به «دمای کار» زیاد از مشعل، یا چراغ کوره‌ای استفاده می‌شود.

الف ـ هویه



ب ـ شعله چراغ کوره‌ای

شکل ۴-۱

برای گرم کردن محل لحیم کاری در لحیم‌کاری نرم، از انواع هویه های برقی استفاده می شود. در شکل (۵-۱) نمونه‌ای از این هویه‌ها را مشاهده می کنید.

الف ـ هویه‌های قلمی

ب ـ هویه‌های هفت تیری

شکل ۵-۱- انواع هویه‌برقی

شکل ۶-۱

هویه هفت تیری: هویه هفت تیری یکی از متداول ترین منابع گرمایی است که در لحیم کاری از آن استفاده می‌شود. این دستگاه در واقع یک ترانسفورماتور کاهنده است که از سه قسمت اصلی تشکیل شده است. (شکل ۶-۱)

- سیم پیچ اولیه که به منبع تغذیه الکتریکی جریان متناوب متصل می شود.

- هسته مغناطیسی که از طریق آن تمار مغناطیسی متناوب، مدار خود را کامل می‌کند و موجب ایجاد جریان الکتریکی در سیم پیچ ثانویه می شود. این جریان از طریق سیم پیچ ثانویه و سیم نوک هویه مدار خود را می‌بندد.

چون مقاومت سیم نوک هویه خیلی بیشتر از حلقه ثانویه است لذا انرژی گرمایی تلف شده، نوک هویه را به شدت گرم می کند.

- سیم پیچ ثانویه که در بازوی دوم هسته قرار می‌گیرد معمولاً شامل یک یا چند دور سیم مسی با قطر زیاد می‌باشد.

مزیت عمده هویه هفت تیری، سرعت گرم شدن آن است به مجرد این که روی شستی آن فشار وارد شود نوک آن گرم می‌شود بدین طریق در هر زمانی که بخواهیم آن را گرم می کنیم. در شکل (۷-۱) نمونه‌ای از هویه هفت تیری نشان داده شده است.

شکل ۷-۱

ضرورت دارد نوک هویه یا سر هویه، سطوح لحیم شونده قبل و بعد از لحیم‌کاری تمیز شوند زیرا در اثر اکسیده شدن نوک هویه، انتقال حرارت به سطح کار کاهش می یابد. زنگ زدگی و جرب بودن سطح کار، موجب می شود مواد سیال در سطح کار به خوبی نتواند نفوذ کند و از کیفیت لحیم کاری کاسته می شود. تمیز کاری یا به‌طور مکانیکی یا از طریق شیمیایی انجام می شود.

۲-۱-۱- مواد لحیم نرم: در صنعت برق اکثر اتصالات بین سیم های الکتریکی از نوع لحیم کاری نرم می باشند. مواد لحیمی نرم برای لحیم، فلزات سنگین و آلیاژهای آن ها، همچنین جهت ایجاد پوشش (قلع اندود) برای جلوگیری از زنگ‌زدگی استفاده می‌شود در کارهای الکتریکی بیشتر از مواد لحیمی نرم که از آلیاژهای قلع - سرب ساخته می شود، مخصوصاً از ماده لحیمی L-Sn 63Pb استفاده می شود، که شامل تقریباً ۶۵٪ قلع و ۳۵٪ سرب است و نقطه ذوب آن ۱۸۵ درجه سیلسیوس

(دمای مناسب لحیم‌کاری الکتریکی) می‌باشد.

مواد لحیمی نرم را به صورت گروه های زیر طبقه بندی می‌کنند.

الف ـ مواد لحیمی نرم سرب ـ قلع (درصد سرب بالا) و سرب ـ قلع (درصد قلع بالا)

ب ـ مواد لحیمی نرم (سرب ـ قلع) با کمی مس یا نقره

ج ـ مواد لحیمی ویژه

جدول (۱-۱) لحیم‌های نرم استاندارد بر اساس DIN 1707

گروه	علامت اختصاری	ترکیب به درصد وزن		حوزه ذوب به °C		کاربرد
		قلع (Sn)	قلع (Pb)	از	الی	
مواد لحیمی نرم سرب ـ قلع و قلع ـ سرب	L-PbSn 2	2	98	320	325	جعبه ورق ظریف
	L-PbSn 8 (Sb)	8	92	280	305	کولر سازی، ترموستات
	L-PbSn 25 Sb	25	75	186	260	کولر سازی، ماده لحیم مالشی
	L-PbSn 30 Sb	30	70	186	250	ماده لحیم مالشی، لحیم‌کاری سرب
	L-PbSn 33 (Sb)	33	67	183	242	لحیم‌کاری پوشش کابل‌ها
	L-PbSn 35 (Sb)	35	65	183	245	لحیم‌کاری پوشش کابل‌ها
	L-PbSn 40 (Sb)	40	60	183	335	قلع اندود کردن
	L-Sn50 pbSb	50	50	186	205	حلبی سازی ظریف
	L-Sn60 pb	60	40	183	190	صنایع برقی، مدارهای چاپی، قلع اندود کردن، فولاد مخصوص
	L- Sn90 pb	90	10	183	215	اسباب فلزی
مواد لحیمی نرم قلع ـ سرب با اضافات مس	L-Sn90 pb	60	مس 0.2 باقی سرب	183	190	ساخت دستگاه‌های برقی، الکترونیک، صنایع مینیاتور، مدارهای چاپی
مواد لحیمی نرم قلع ـ سرب با اضافات نقره	L-Sn60 pbAg	60	نقره 3 الی 4 باقی سرب	178	180	ساخت دستگاه‌های برقی، الکترونیک، صنایع مینیاتور، مدارهای چاپی
مواد لحیمی نرم ویژه	L-CdAg5	—	نقره 5 باقی سرب	340	395	در دماهای زیاد

* ـ حفظ مطالب مندرج در داخل جدول ضروری نیست و در آزمون‌ها مورد ارزیابی قرار نخواهد گرفت.

۳-۱-۱- مواد روانساز در لحیم کاری نرم

در جدول (۲-۱) مواد روانساز بر اساس DIN 8511 ارائه شده است.

جدول (۲-۱) مواد روانساز در لحیم‌کاری نرم
بر اساس استاندارد DIN 8511

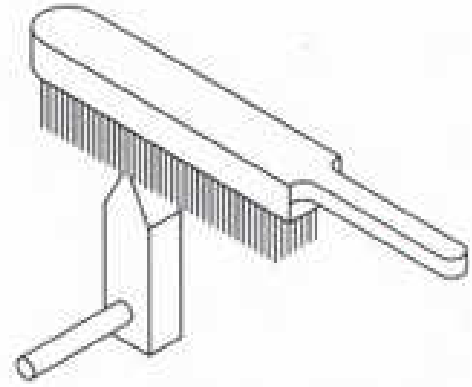
نام	طرز تهیه	مورد استفاده
اَب لحیم $ZnCl_2$	براده‌های روی را تا حد اشباع در جوهر نمک حل می‌کنند.	آهن، فولاد، مس و آلیاژهای آن
جوهر نمک	محلول جوهر نمک به نسبت ۱:۱/۵	روی و قطعات روی اندود
روغن لحیم	محصولات مخصوص تجارتی (کلوفون + پیه گاز- بودر نشادر)	برای تمام مواد
کلوفون	صمغ طبیعی محلول در بنزین یا الکل	سرب و سیم‌های مسی

۴-۱-۱- مواد تمیز کننده شیمیایی: برای جلوگیری از بروز زنگ زدگی پس از لحیم کاری و زدودن زنگ ها و شستن چربی ها قبل از لحیم کاری، نوک هویه و سطوح را با مواد شیمیایی تمیز می‌کنند. در صنعت از مواد اسیدی مانند اسید کلریدریک، اسید سولفوریک، اسید نیتریک و نیز از مخلوط های اسیدی استفاده می شود. مواد حلال مانند بنزوئیل، محلول سود و نشادر، در تمیز کردن محل لحیم به کار می‌روند. (شکل ۸-۱)

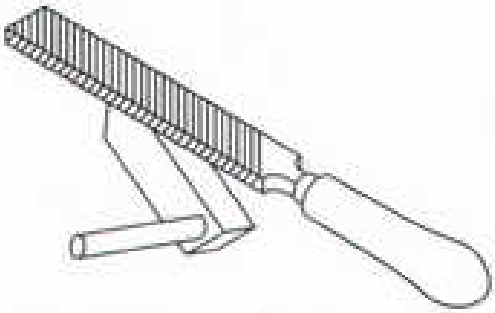
شکل ۸-۱- اسید سولفوریک و سود

تمیز کردن سرهویه: فلز مس به علت انتقال خوب انرژی گرمایی، تقریباً در سر تمام هویه ها و وسایل لحیم کاری به کار می‌رود. واکنش سریع فلز مس با اکسیژن، یک لایه اکسید مس در نوک هویه ها به جا می گذارد. این واکنش سبب می شود گرما از هویه به منطقه لحیم کاری خوب انتقال نیابد و ماده لحیم ذوب نشود. بنابراین لازم است قبل از لحیم کاری نوک هویه ها را با وسایل پاک کننده تمیز نمود.

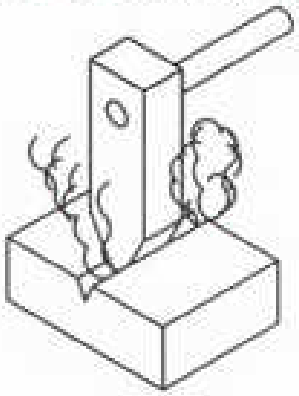
از برس سیمی، سوهان و ماده نشادر برای پاک کردن نوک هویه‌ها استفاده می شود. (شکل ۹-۱)



الف- تمیز کردن سر هویه توسط برس سیمی



ب- تمیز کردن سر هویه توسط سوهان



ج- تمیز کردن سر هویه توسط نشادر

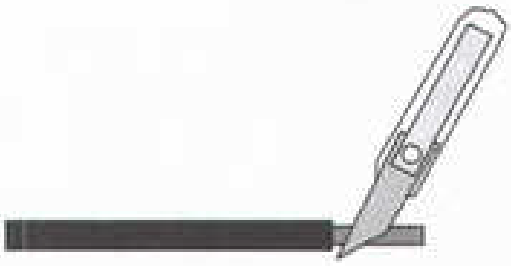
شکل ۹-۱

۲-۱- لحیم کاری نرم روی سیم های الکتریکی

دستگاه های الکتریکی معمولاً از سیم پیچ های (بوبین یا القاگر) مجزا تشکیل می شوند. این اجزا پس از تکمیل بایستی با هم ارتباط الکتریکی برقرار کنند. ارتباط الکتریکی بین اجزاء باید یک پارچه و ثابت باشد و مقاومت الکتریکی محل ارتباط سیم ها نباید از سایر قسمت‌ها بیشتر باشد. به این منظور برای ارتباط سیم‌ها در دستگاه های الکتریکی که دمای کار آن‌ها پایین است از لحیم کاری نرم استفاده می شود.

۱-۲-۱- رو پوش برداری سیم: سیم های مصرف شده در دستگاه های الکتریکی، از نوع سیم های لاکی یا روپوش دار هستند. برای ارتباط سیم های الکتریکی لازم است روپوش یا لاک آن‌ها برداشته شود تا در اتصال آن‌ها، ارتباط الکتریکی کامل برقرار شود. در روپوش برداری یا پاک کردن لاک‌ها، قطر مفید یا سطح مقطع سیم نباید کاهش پیدا کند. این مرحله کار به تجربه مهارت شخص بستگی دارد. لازم است ابتدا روش های صحیح را مطالعه کرد. با در نظر گرفتن این اصول و با کسب تجربه و مهارت لازم، نتیجه کار مطلوب خواهد شد.

- روبوش برداری با چاقو و سمباده: لاک سیم‌های لاکی با قطر بیش از ۰/۶۰ میلی متر را می توان توسط چاقو یا سمباده پاک کرد. (شکل ۱۰-۱) این کار باید با احتیاط زیادانجام شود تا در عمل لاک برداری، سیم زخمی نشود و در اثر تا کردن و خوابانیدن نشکند. لاک بعضی از سیم ها را به روش شیمیایی پاک می کنند. لاک های روغنی را باید با حلال هایی نظیر استن، بنزول، الکل و یا مخلوطی از آن‌ها، پاک کرد.



الف- پاک کردن لاک سیم با چاقو یا تیغه تیز

ب- پاک کردن لاک سیم با سنباده

شکل ۱۰-۱

- روبوش برداری با مواد شیمیایی: لاک های پلی آمیدی را می توان با محلول اسید فرمیک (جوهر مورچه) در دمای ۶۰ درجه سیلسیوس پاک کرد. برای این منظور سر سیم ها را به مدت ۳۰ ثانیه در محلول اسید فرمیک قرار می دهند. از آنجایی که اسید فرمیک یک حلال قوی است لازم است در انجام کار دقت لازم به عمل آید تا اسید با پوست بدن تماس نداشته باشد. پس از پاک کردن لاک باید سر سیم ها را با آب شستشو داد. به جای اسید فرمیک می توان از اسید سولفوریک یا اسید فسفریک نیز استفاده کرد. در این حالت انجام کار نسبت به حالت قبل نتیجه ضعیف تری دارد. از محلول قلیا با آب ۶۰ درجه سلسیوس نیز می توان برای پاک کردن لاک های پلی آمیدی استفاده کرد. از سود (NaOH) مذاب نیز می توان در پاک کردن لاک ها استفاده نمود. (شکل ۱۱-۱)

شکل ۱۱-۱- پاک کردن لاک سیم با حلال لاک

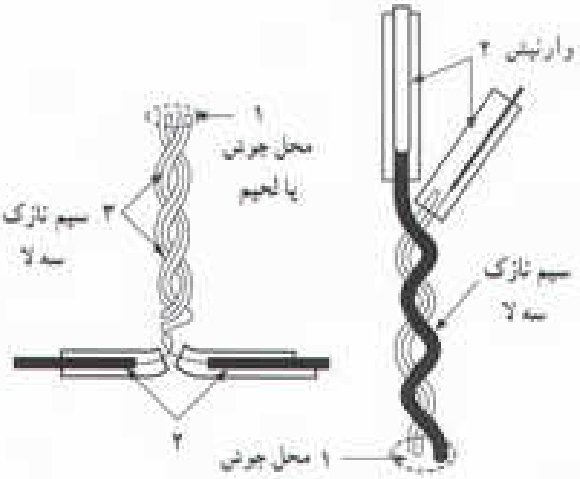
روش دیگر برای پاک کردن لاک سیم ها روش حرارتی است. در این روش به مدت کوتاه سر سیم را در مجاورت شعله آتش قرار می‌دهند تا لاک آن بسوزد. پس از سوزاندن لاک قسمت مربوطه را در محلول الکل و آب با نسبت های مساوی فرو می کنند تا سیم سخت شود.

۲-۲-۱- اتصال سیم ها به یکدیگر: پس از پاک کردن لاک سیم، لازم است برای جلوگیری از اکسیده شدن محل های اتصال، سر هر یک از سیم ها را در حمام قلع، قلع اندود کرد. (شکل ۱۲-۱)

شکل ۱۲-۱-حمام قلع

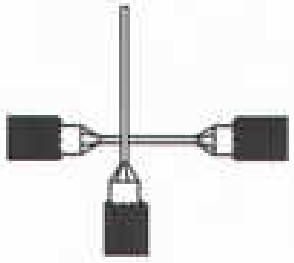
برای اتصال سیم ها به یکدیگر پس از روپوش برداری و تمیز کاری سطح سیم‌ها، آن ها را به هم لحیم می کنند. شکل های (۱۳-۱) تا (۱۵-۱) مراحل کار انواع اتصال سیم‌ها را به یکدیگر قبل از لحیم‌کاری نشان می‌دهد.

در اتصال سر به سر سیم ها ابتدا سر تمیز شده سیم‌ها در کنار هم قرار داده و سپس آن ها را به هم می تابیم. (شکل ۱۳-۱)

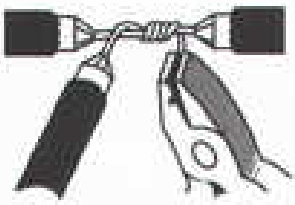


شکل ۱۳-۱-اتصال سربه‌سر سیم‌ها

در اتصال سیم ها به صورت سه راهی ابتدا یکی از سیم ها از وسط روپوش برداری می شود و سپس سر لخت شده سیم دیگر در کنار سیم اول قرار می گیرد و در مرحله بعد به دور قسمت روپوش برداری تابانده می‌شود. (شکل ۱۴-۱)



مرحله ۱



مرحله ۲

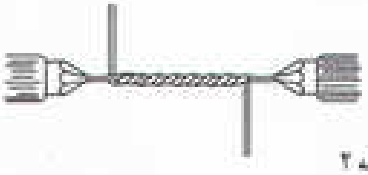
شکل ۱۴-۱-اتصال سه راهی انتهایی

در اتصال طولی سیم ها مراحل اتصال به صورت زیر است :

- دو سر سیم ها روپوش برداری می شود.
- سیم ها از وسط قسمت لخت شده کنار هم قرار می گیرند.
- دو سر سیم ها از دو طرف به صورت مارپیچ به دور هم تابانده می شوند.

مرحله ۱

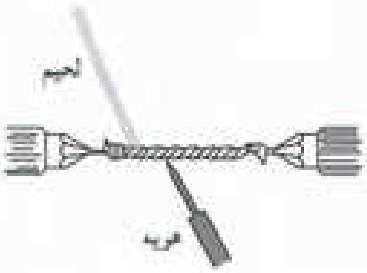
- در مرحله آخر انتهای سر سیم‌ها چند دور روی سیم دیگر می‌پیچد. (شکل ۱۵-۱)



مرحله ۲

مرحله ۳

شکل ۱۵-۱-اتصال طولی سیم‌ها



۳ـ۲ـ۱ـ لحیم گذاری: پس از تابانیدن سیم‌ها، محل اتصال را توسط منبع گرمایی از سمت پایین گرم می‌کنند و مواد لحیم را از بالای محل اتصال، با سیم تماس می‌دهند. (شکل ۱۶-۱) تا گرمای سیم مواد لحیم را ذوب کند.

شکل ۱۶-۱- لحیم‌کاری سیم‌ها با اتصال سربه‌سر

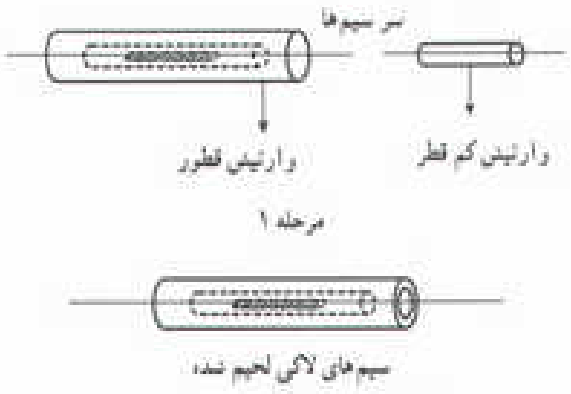
مواد ذوب با جاری شدن در مسیر اتصال محل مربوطه را پر می کند. (شکل ۱۷-۱)

شکل ۱۷-۱- سیم‌های لحیم‌شده به صورت سربه‌سر

برای نفوذ بهتر لحیم در مناطق محل اتصال سیم‌ها، از روغن لحیم استفاده می شود. به این روغن ها ماده روانساز یا کمکی گفته می‌شود. در لحیم های سیمی معمولاً کارخانه تولید کننده، روان ساز را درون منفذی در داخل لحیم قرار می دهد و به همین دلیل در استفاده از این نوع لحیم دیگر احتیاج به روان ساز نیست. (شکل ۱۸-۱)

شکل ۱۸-۱- ماده روان ساز (روغن لحیم)

۴ـ۲ـ۱ـ عایق گذاری: در اتصال سیم های الکتریکی برای آنکه محل اتصال با بدنه و سایر قسمت های ماشین، اتصال الکتریکی برقرار نکند بایستی محل لحیم شده را عایق بندی کرد بدین منظور قبل از لحیم کاری در هر طرف سیم، وارنیش عبور می دهند و پس از لحیم کاری، این وارنیش ها را به محل لحیم شده هدایت می کنند تا قسمت های بدون رویوش توسط وارنیش ها پوشانده شوند. هر دو وارنیش را با یک وارنیش دیگر با سطح مقطع بالاتر می پوشانند تا محل لحیم کاری کاملاً از نظر الکتریکی عایق بندی شود. بهتر است قطر وارنیش به کار رفته یک شماره بالاتر از قطر سیم انتخاب شود. (شکل ۱۹-۱)

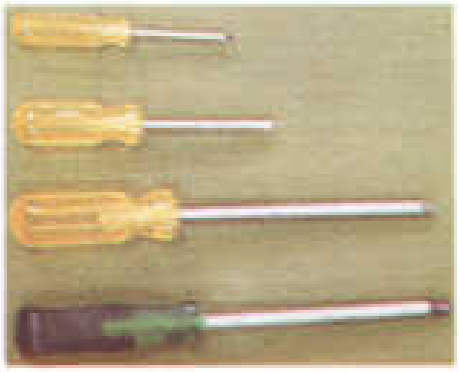


شکل ۱۹-۱- نحوه وارنیش گذاری روی محل لحیم کاری شده

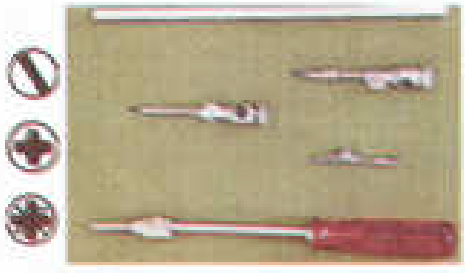
۳ـ۱ـ ابزارهای مورد نیاز برای اتصال سیم‌ها

۱ـ۳ـ۱ـ پیچ گوشتی: برای باز و بستن انواع پیچ‌ها از پیچ گوشتی استفاده می‌شود. از پیچ‌ها، برای اتصال‌های بازشونده استفاده می شود، اندازه و نوع پیچ ها به قدرت نگهداری و موقعیت محل اتصال بستگی دارد. بدین منظور پیچ گوشتی‌ها دراندازه‌ها و شکل‌های متنوع ساخته می شوند. لبه پیچ گوشتی‌ها بر اساس نوع پیچ ساخته می شود و بازوهای آن براساس نیروی مکانیکی مورد نیاز طراحی و ساخته می شود، زیرا بازوها با استفاده از خاصیت اهرمی هرچه پهن تر یا کلفت تر باشند انتقال نیروی بیشتری خواهند داشت. با توجه به مطالب بالا می‌توان پیچ گوشتی‌ها را به اندازه‌های، کوچک، متوسط و بزرگ در انواع یک شیاره، دو شیاره (تخت و چهارسو) طبقه‌بندی کرد. در استفاده از پیچ گوشتی‌ها، پیچ گوشتی باید متناسب با نوع پیچ و نیروی مورد نیاز انتخاب شود. مثلاً اگر برای باز کردن پیچ های بزرگ از پیچ گوشتی ضعیف استفاده شود، لبه پیچ گوشتی کج شده و خواهد شکست. در شکل (۲۰-۱) انواع پیچ گوشتی های تخت و در شکل (۲۱-۱) انواع پیچ گوشتی‌های چهار سو مشاهده می شود. بعضی از پیچ گوشتی‌ها چند کاره ساخته می‌شوند بدین صورت که قسمت سر پیچ گوشتی قابل تعویض است. (شکل ۲۲-۱)

شکل ۲۰-۱- پیچ گوشتی‌های تخت



شکل ۲۱-۱- پیچ گوشتی‌های چهارسو



شکل ۲۲-۱- پیچ گوشتی‌های چند کاره

۲ـ۳ـ۱ـ قیچی: قیچی ها در انواع آهن بری، جرم بری، پارچه بری، کاغذ بری و پلاستیک بری ساخته می‌شوند. قیچی ها کاربرد عمومی دارند و برای بریدن پارچه، کاغذ، پلاستیک و ... استفاده می شوند. در صنعت برق برای بریدن ورق‌های نازک از قیچی‌های اهرمی استفاده می‌شود. در شکل (۲۳-۱) نمونه ای از قیچی‌های اهرمی نشان داده شده است.

شکل ۲۳-۱- قیچی

۳ـ۳ـ۱ـ انبردست: در صنعت معمولاً ازانبردست‌های مرکب استفاده می‌شود. دسته این نوع انبردست‌ها براساس ولتاژ کار عایق‌بندی می شوند. از این ابزارها برای نگاه داشتن قطعه کار و بریدن سیم ها استفاده می‌شود. توصیه می‌شود از انبردست برای نگاه‌داری قطعه کار استفاده کنید و به هیچ وجه برای باز کردن پیچ و مهره از انبردست استفاده نکنید. در موقع کار عایق دسته ها را به دقت بررسی کنید تا در کارهای الکتریکی با خطر برق گرفتگی مواجه نشوید. (شکل ۲۴-۱)

شکل ۲۴-۱-انبردست

۴ـ۳ـ۱ـ دم باریک: دم باریک وسیله‌ای است شبیه انبردست، که نوک آن از انبردست باریک تر و بلندتر است. دم باریک در مکان‌هایی تنگ که انبردست قادر به انجام کار نیست استفاده می‌شود. برای فرم دادن، از دم باریک استفاده می‌شود. این وسیله متناسب با کاری که انجام می‌دهد، در انواع مختلف ساخته می‌شود. در صنعت برق از دم باریک هایی که دسته های آن‌ها عایق شده است، استفاده می‌شود. (شکل ۲۵-۱)

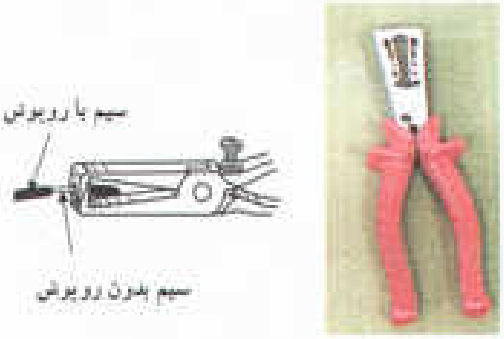
شکل ۲۵-۱- انواع دم‌باریک

۵ـ۳ـ۱ـ سیم چین: سیم‌چین‌ها ابزارهایی هستند که دو لبه برنده دارند و برای بریدن سیم‌ها به کار می‌روند. برای لخت کردن سیم، هیچ وقت از سیم چین استفاده نکنید زیرا لبه سیم چین در محل لخت شدن سیم، بریدگی ایجاد می‌کند و اتصال الکتریکی و مکانیکی در محل اتصال ضعیف می‌شود. (شکل ۲۶-۱)

شکل ۲۶-۱- سیم‌چین

۶ـ۳ـ۱ـ سیم لخت کن: سیم لخت کن ها برای برداشتن قسمت عایق سیم‌های الکتریکی که عایق پلاستیکی دارند به کار می‌روند. این ابزارها به دو نوع ساده و اتوماتیک ساخته می‌شود.

ـ سیم لخت کن ساده: این وسیله از دو لبه برنده تشکیل شده است که دارای شیارهایی در جهت قائم است. به وسیله پیچ و مهره تعبیه شده روی آن می توان فاصله بین لبه ها را برای لخت کردن سیم های مورد نظر تنظیم کرد. برای لخت کردن سیم، آن را بین دو لبه سیم لخت کن قرار می دهند. با فشار دادن لبه ها قسمت عایق سیم در یک مقطع دایره ای از آن جدا می شود. اگر در این حالت سیم لخت کن را به بیرون بکشیم روکش سیم برداشته می شود. (شکل ۲۷-۱)



شکل ۲۷-۱- سیم لخت کن ساده

ـ سیم لخت کن اتوماتیک: این نوع سیم لخت کن به تنظیم نیاز ندارد و از دو لبه متحرک تشکیل می‌شود. روی این لبه‌ها شیارهایی تعبیه شده است که با روی هم قرارگرفتن این لبه‌ها، سوراخ‌های متنوعی به وجود می آید. این سوراخ در اندازه های مقاطع سیم‌های استاندارد می باشند. برای لخت کردن، سیم مورد نظر را در سوراخ مناسب بین دو لبه قرار می‌دهیم و دسته سیم‌لخت‌کن را فشار می‌دهیم. ابتدا لبه‌های صاف پایین می‌آیند و سیم را نگه می‌دارند با کمی فشار بیشتر، روکش سیم به اندازه مناسب برداشته می‌شود. (شکل ۲۸-۱)

شکل ۲۸-۱- سیم‌لخت کن اتوماتیک

۷ـ۳ـ۱ـ چاقوی مخصوص رویوش برداری کابل: چاقوی رویوش برداری کابل باید تیز و برنده باشد چند نمونه از این چاقوها را در شکل (۲۹-۱) مشاهده می کنید. از این چاقوها برای رویوش برداری کابل های کم قطر و بریدن لوله های پلاستیکی مخصوص سیم کشی نیز استفاده می‌شود. برای برداشتن رویوش کابل، در محل مورد نظر با احتیاط بطور عرضی به شکل یک دایره روکش کابل را می بریم. سپس از محل برش تا سر کابل توسط چاقو شیاری سطحی ایجاد می کنیم. چاقو را در این شیار با فشار تدریجی حرکت می دهیم تا روکش کابل کاملاً بریده شود. سپس با انبردست روکش بریده شده کابل را از کابل جدا می کنیم.

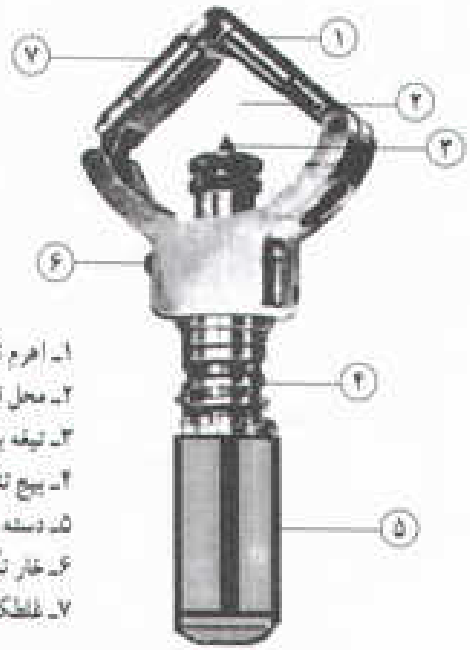
شکل ۲۹-۱- چاقوهای مخصوص رویوش برداری کابل

۸ـ۳ـ۱ـ دستگاه رویوش برداری کابل : رویوش

برداری کابل‌ها با چاقو سرعت عمل کمتری دارد، از ایمنی برخوردار نیست و در مورد کابل‌های کم قطر استفاده می‌شود.
برای افزایش سرعت عمل و توسعه کار برای مقاطع بیشتر، از دستگاه مخصوص رویوش برداری کابل استفاده می‌شود. (شکل ۳۰-۱)

این دستگاه دارای دو تیغه برش ثابت و غلطکی است.

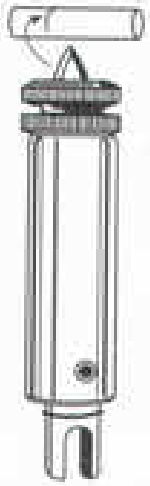
معمولاً از تیغه ثابت برای خط انداختن روی بدنه کابل در جهت افقی یعنی در عرض کابل استفاده می‌شود. تیغه غلطکی برای خط انداختن روی قسمت طولی کابل به کار می‌رود. در عمل از تیغه ها برای هر دو منظور استفاده می شود.



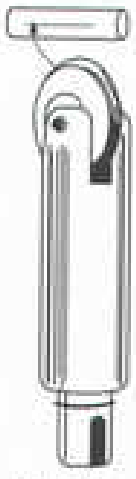
۱ـ اهرم نگه‌دارنده
۲ـ محل قرار گرفتن کابل
۳ـ تیغه برش
۴ـ پیچ تنظیم
۵ـ دسته
۶ـ خار نگه‌دارنده تیغه
۷ـ غلطک

شکل ۳۰-۱-دستگاه برش کابل

برای برداشتن روکش کابل ابتدا به وسیله پیچ تنظیم که در شکل (۳۰-۱) با شماره ۴ نشان داده شده، دهانه دستگاه را به اندازه قطر کابل باز می‌کنیم. سپس کابل را در بین اهرم نگاه دارنده شماره ۱ و تیغه ثابت شماره ۳ قرار می‌دهیم. با چرخاندن دسته دستگاه کمی پیچ تنظیم را محکم می‌کنیم و دستگاه را به دور کابل می چرخانیم به طوری که یک خط برش عرضی روی محیط کابل ظاهر شود. (شکل ۳۱-۱) سپس پیچ تنظیم برش را بیشتر محکم کرده، مجدداً دستگاه را دور کابل می چرخانیم. این عمل را تا برش کامل ضخامت کابل ادامه می دهیم. پس از برش عرضی کابل، دستگاه را باز کرده و با فشار دادن دکمه شماره ۶ تیغه ثابت را خارج و تیغه غلطکی را جایگزین آن می‌کنیم و بار دیگر دستگاه را روی کابل سوار می‌کنیم و آن را پس از محکم کردن پیچ شماره ۴، از محل برش عرضی قبلی تا جای مورد نظر در طول کابل حرکت می دهیم. (شکل ۳۲-۱) تا یک شیار طولی در مسیر حرکت ایجاد شود. پس از این مرحله پوسته بریده شده کابل را توسط انبردست از بدنه کابل بیرون می‌کشیم.



شکل ۳۱-۱



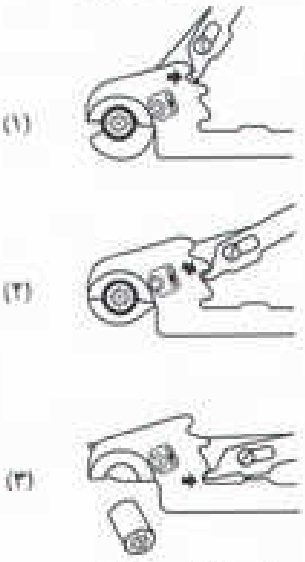
شکل ۳۲-۱

۹ـ۳ـ۱ـ قیچی کابل بری: برای برش کابل‌ها، از قیچی های مخصوص استفاده می‌شود. تیغه این قیچی‌ها متناسب با قطر کابل ساخته می‌شوند. در بعضی از این قیچی‌ها، تیغه‌ها، قابل تعویض و تیز شدن، هستند و می توان در برش کابل‌های مختلف از آن استفاده کرد. جنس تیغه‌ها از فولاد است. در شکل (۳۳-۱) دو قیچی دسته بلند که برای برش کابل‌های قطور به‌کار می‌روند نشان داده شده است.

شکل ۳۳-۱

شکل (۳۴-۱) شیوه عملکرد برش کابل‌ها را نشان می‌دهد.

a- قیچی‌های کابل بری



b- مراحل برش کابل

شماره (۱) قرار گرفتن کابل، شماره (۲) برش و شماره (۳) نتیجه برش را نشان می‌دهد.

شکل ۳۴-۱- انواع قیچی کابل بری و مراحل برش کابل

۴ـ۱ـ ایمنی در لحیم کاری

در انجام مراحل مختلف لحیم کاری نکات ایمنی زیر را رعایت کنید.

ـ هویه گرم را در محل‌های که از خطر آتش سوزی یا سوانح دیگر محفوظ هستند نگه‌داری کنید. (شکل ۳۵-۱)

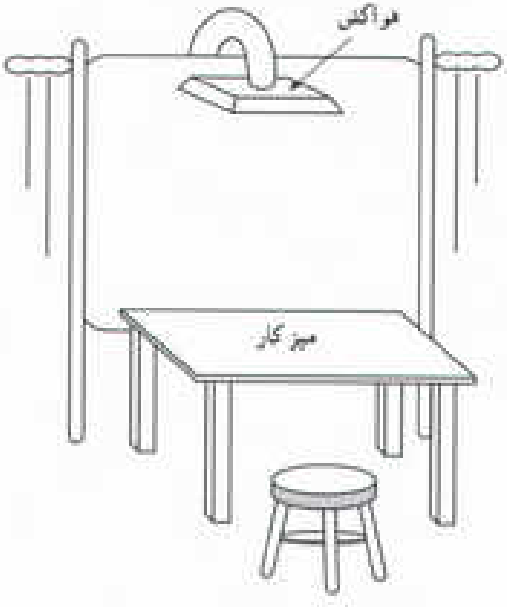
ـ در بکارگیری هویه های برقی از وسائلی که روی آن نوشته شده است استفاده کنید.

شکل ۳۵-۱- محل قرار گرفتن هویه روی میز کار

ـ از تماس مواد تمیز کننده و روانسازها با پوست بدن و زخم های روی پوست جلوگیری کنید و برای پیش گیری از کرم هائی که پوست را در مقابل مواد سیال محافظت می‌کنند استفاده کنید. (شکل ۳۶-۱)

شکل ۳۶-۱- جابجایی مواد سیال با دستکش

ـ از سیستم تهویه مناسب برای محل کار استفاده کنید تا دستگاه تنفسی شخص لحیم کار، در اثر بخار مواد تحریک نشود. (شکل ۳۷-۱)



شکل ۳۷-۱- میز کار با تهویه مربوطه

شکل ۳۸-۱- وسایل اطفاء حریق

- وسایل اطفاء حریق را در دسترس قرار دهید و نکات لازم در ارتباط با پیشگیری و مبارزه با آتش سوزی را رعایت کنید و دقت نمائید تا موها و لباس کار با آتش در تماس نباشد و از بکار بردن لباس کاری که با الیاف مصنوعی ساخته شده‌اند خودداری کنید. (شکل ۳۸-۱)

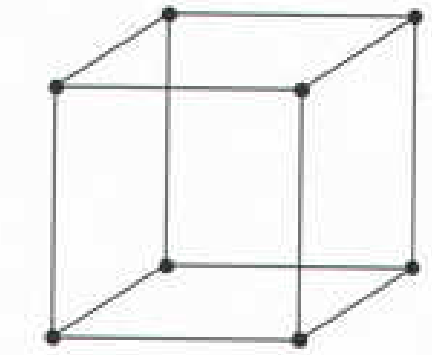
۵ـ۱ـ کار شماره ۱ (زمان اجرا: ۶ ساعت)

۱ـ۵ـ۱ـ وسایل و مواد لازم

- سیم رویوش دار مفتولی ۱×۱ یا ۱/۵×۱ به اندازه یک متر
- لحیم با مشخصه L-Sn60Pb یا L-SN63Pb
- هویه هفت تیری یا قلمی
- روغن لحیم کاری
- انبردست
- دم باریک
- سمباده نرم

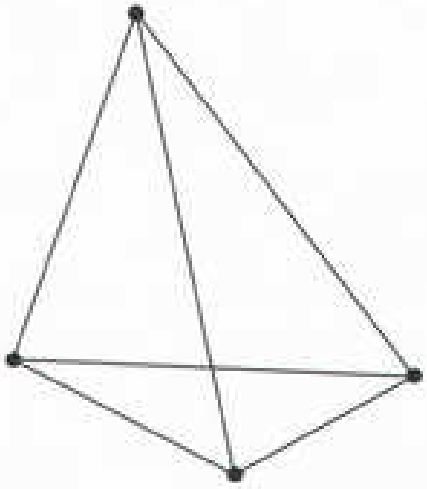
۲ـ۵ـ۱ـ مراحل کار:

- دوازده قطعه سیم ۸ سانتی متری ببرید و دو سر آن ها را به اندازه یک سانتی متر لخت کنید.
- سر سیم‌ها را ابتدا کمی سمباده نرم زده و سپس قلع اندود کنید و نتیجه کار را به مربی نشان دهید. در صورت تأیید، مراحل زیر را دنبال کنید.
- هر یک از شکل های نقشه کار (۱) را بسازید و محل اتصال داده را لحیم کاری کنید. پس از اتمام هر شکل، نتیجه کار را به مربی کارگاه نشان دهید و پس از تأیید مربی شکل‌های بعدی را با استفاده از سیم، شکل قبل بسازید و لحیم کاری کنید.



(الف)

(ب)



(ج)

نقشه کار (۱)

۶ـ۱ـ کار شماره ۲ (زمان اجرا: ۴ ساعت)

۱ـ۶ـ۱ـ وسایل و مواد لازم:

- سیم لاکی ۰/۸۰ میلی متر به اندازه یک متر
- ماده لحیم Ln-Sn60Pb یا L-Sn63Pb
- هویه هفت تیری با قلمی
- روغن لحیم کاری
- انبردست
- دم باریک
- سمباده نرم
- وارنیش نمره ۱ به اندازه ۲ سانتی متر ۲ عدد
- وارنیش نمره ۱/۵ به اندازه ۵ سانتی متر ۱ عدد

۲ـ۶ـ۱ـ مراحل کار:

- با سمباده به اندازه ۱/۵ سانتی متر مطابق نقشه کار (۲ـالف) لاک سیم ها را پاک کنید.

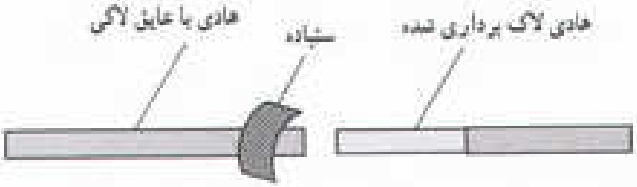
- یکی از وارنیش های شماره ۱ را همراه با وارنیش شماره ۱/۵ در روی یکی از سیم های لاکی قرار دهید وارنیش شماره ۱ دومی را روی سیم دیگر قرار دهید. (۲ـب)

- سر سیم ها را به اندازه یک سانتی متر به هم دیگر بتابانید. (۲ـج)

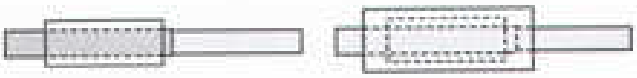
- ابتدا محل اتصال سیم ها را با هویه گرم کنید و ماده لحیم را از قسمت بالا با محل اتصال تماس دهید تا ماده لحیم از سر سیم ذوب شود و در محل اتصال جاری شود. (۲ـد)

- وارنیش های شماره ۱ را به محل های لحیم شده هدایت کنید.

- با وارنیش شماره ۱/۵، روی وارنیش های شماره یک را بپوشانید. (۲ـهـ)

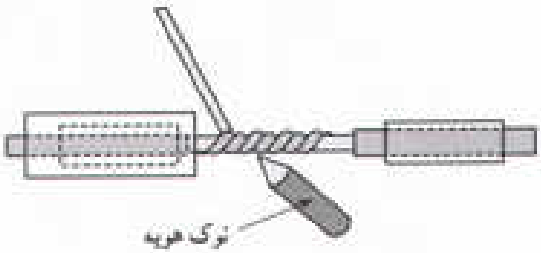


الف - روکش برداری



ب- قراردادن وارنیش‌ها

ج- سر سیم‌های تابیده شده



د- لحیم کاری قسمت تابیده شده

هـ - پوشش محل لحیم کاری شده با وارنیش

نقشه کار (۲)

۷ـ۱ـ کار شماره ۳ (زمان اجرا: ۳ ساعت)

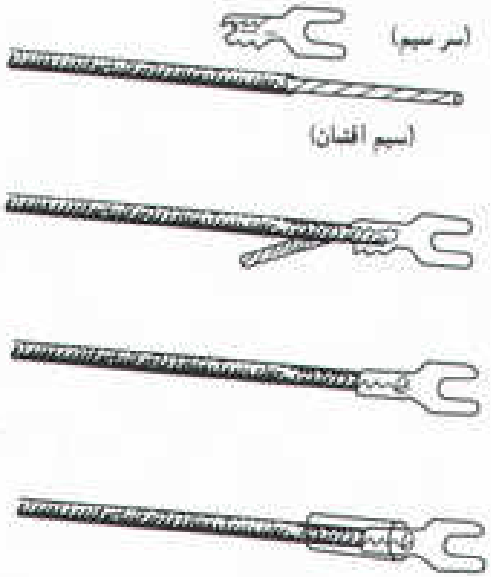
دو قطعه سیم مسی مفتولی نمره ۱/۵ به طول ۱۵ سانتی متر را به اندازه ۵ سانتی‌متر، از یک سر لخت کنید. با انبر یا دم باریک به اندازه ۲ الی ۳ میلی متر، یک خم ۹۰ درجه به سر آن ها بدهید. حدود یک متر سیم لاکی نمره ۰/۱۰ یا نمره ۰/۱۵ را دور سیم ها، بین دو خمیدگی محکم بپیچید. روغن لحیم را روی سطح کار بمالید، هویه را زیر سطح کار تماس داده و ماده لحیم را روی سطح کار قرار دهید تا ذوب شود و تمام منافذ کار را بپوشاند. نقشه کار (۳)

نقشه کار (۳)

۸ـ۱ـ کار شماره ۴(زمان اجرا: ۴ ساعت)

۱۰ سانتی متر سیم افشان نمره ۱ و یک سر سیم مناسب آن مطابق نقشه کار (۴) در اختیار بگیرید.

سیم را به اندازه یک سانتی متر لخت کنید و رشته های آن را محکم بتابانید. سیم را قلع اندود کنید و آن را در سر سیم قرار دهید و با انبردست یا دم باریک مطابق شکل سر سیم را ببندید، اضافی سیم را که از سر سیم بیرون زده است با سیم چین قطع کنید و بین سر سیم و سیم را با لحیم پر کنید.



نقشه کار (۴)

آزمون پایانی (۱)

۱ـ کاربردهای لحیم کاری سخت و نرم را نام ببرید و بیان کنید لحیم کاری مناسب برای دستگاه الکتریکی که با دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس کار می‌کند چیست؟

۲ـ اقدام مناسب برای جلوگیری از خطرات مواد پیرامون چیست؟

۳ـ چند وسیله پاک کننده نام ببرید.

۴ـ مناسبت ترین ماده لحیم و روغن لحیم در لحیم کاری الکتریکی کدامند؟

۵ـ منابع گرمایی لحیم کاری نرم را نام ببرید.

۶ـ نکات کار لحیم کاری کدامند؟

۷ـ چه نکات ایمنی را در موقع لحیم کاری باید به کار بست؟

۸ـ چرا در هنگام لحیم کاری سطح کار را باید کاملاً تمیز کرد؟

۹ـ طرز لحیم کاری صحیح را شرح دهید.

۱۰ـ به چه دلیل در لحیم کاری توک هویه و سر سیم‌ها را قلع اندود می‌کنند؟

۱۱ـ مشخصات یک لحیم کاری خوب کدام است؟

۱۲ـ به چه دلیل از سیم‌چین نباید برای لخت کردن سیم‌ها استفاده کرد؟

۱۳ـ آیا با انبردست می‌توان پیچ یا مهره‌ای را باز کرد؟ در صورت امکان چه عواقبی دارد؟

۱۴ـ روش کار دستگاه روکش برداری کابل‌ها را شرح دهید.

واحد کار دوم

توانایی اندازه‌گیری قطر سیم

هدف کلی:

آشنایی با سیم‌های استاندارد و تعیین قطر سیم‌ها به وسیله میکرومتر

هدف‌های رفتاری:

فراگیر پس از آموزش این واحد کار قادر خواهد بود:

۱ـ طبقه بندی سیم ها را بیان کند.
۲ـ چگالی جریان الکتریکی را توضیح دهد.
۳ـ طرز کار دستگاه میکرومتر را شرح دهد.
۴ـ قطر سیم را با میکرومتر اندازه گیری کند.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۳	۱	۴

پیش آزمون (۲)

۱ـ سیم های لاکی براساس ..... و سیم های روشنایی براساس ..... طبقه بندی می شوند.

۱ ـ قطر ـ قطر
۲ ـ سطح مقطع ـ سطح مقطع
۳ ـ سطح مقطع ـ قطر
۴ ـ قطر ـ سطح مقطع

۲ـ چگالی جریان یک سیم ۳ A/mm می باشد برای عبور جریان ۳۷/۶۸ آمپر، قطر سیم مورد نیاز چند میلی‌متر است؟

۱ ـ ۴
۲ ـ ۱۲/۵۶
۳ ـ ۶/۲۸
۴ ـ ۸

۳ـ کدام یک از اندازه‌گیری های داده شده دقیق تر است؟

۱ ـ ۱۲/۲۰
۲ ـ ۱۲/۲۰۰
۳ ـ ۱۲/۲
۴ ـ دقت همه یکسان است.

۴ـ دقت اندازه‌گیری خط‌کش هایی که درجه‌بندی میلی‌متر دارند کدام است؟

۱ ـ سانتی‌متر
۲ ـ یک دهم میلی‌متر
۳ ـ میلی‌متر
۴ ـ متر

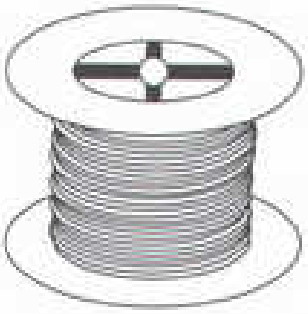
۵ـ دقت اندازه‌گیری ریز سنج (میکرومتر) چند میلی‌متر است؟

۱ ـ پنج صدم
۲ ـ یک دهم میلی‌متر
۳ ـ دو صدم
۴ ـ یک صدم میلی‌متر

۱ـ۲ـ طبقه‌بندی سیم‌ها

سیم‌های الکتریکی معمولاً از مس یا آلومینیوم ساخته می‌شوند. سیم‌هایی لاکی که در داخل دستگاه‌های الکتریکی به منظور القاگر به کار می روند، با قطر سیم طبقه‌بندی و شناسایی می‌شوند. (شکل الف-۱-۲) سایر سیم‌های ارتباطی از قبیل کابل‌ها و سیم های روشنایی براساس سطح مقطع طبقه‌بندی می‌شوند. (شکل ب-۱-۲)

سیم‌های الکتریکی براساس مقدار جریانی که می‌توانند تحمل کنند، انتخاب می‌شوند. در انتخاب سیم‌های الکتریکی دو محدودیت وجود دارد. اولین محدودیت، محدودیت مکانی است که به طریقی به محدودیت اقتصادی مربوط می‌شود، به عبارت دیگر سیم مصرفی باید حداقل جا را بگیرد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. دومین محدودیت آن تحمل جریان الکتریکی است و اگر به خاطر مسایل اقتصادی مقطع کمتری انتخاب شود، سیم، جریان مدار را تحمل نخواهد کرد و خواهد سوخت. بنابراین لازم است مقطع انتخاب شده، حالت بهینه‌از نظر اقتصادی و تحمل جریان باشد. بدین منظور جداولی از نظر مقطع و مقدار جریانی که سیم‌ها در کار طبیعی می‌توانند تحمل کنند، تهیه و دراختیار مصرف کنندگان قرار می‌دهند. (جدول ۱-۲)



الف - سیم‌های لاکی

ب - سیم روکش دار

شکل ۱-۲

۲ـ۲ـ چگالی جریان

بزرگی جریانی که یک میلی متر مربع سطح مقطع هر سیم در کار طبیعی تحمل می کند را چگالی جریان گویند و با J نشان می‌دهند. واحد آن آمپر بر میلی‌متر مربع $\frac{A}{mm^2}$ می‌باشد و از رابطه $J=\frac{I}{A}$ به دست می‌آید. در این رابطه چگالی جریان برحسب آمپر بر میلی متر مربع، I جریان مجاز عبوری از سیم برحسب آمپر و A سطح مقطع سیم برحسب میلی مترمربع می‌باشد. در تعیین قطر و سطح مقطع سیم‌ها داشتن جداول یا منحنی‌هایی که چگالی جریان را نشان می‌دهند ضروری است. پس از اندازه گیری قطر سیم، سیم مورد نیاز را انتخاب می کنیم. قطر سیم ها را با میکرومتر اندازه گیری می کنند.

مثال: چگالی جریان برای یک سیم $۳/۵\frac{A}{mm^2}$ است قطر سیم مورد نیاز برای انتقال ۴ آمپر چند میلی‌متر است؟

$$۳/۵\frac{A}{mm^2}$$

$$J=۳/۵\frac{A}{mm^2}$$

$$J=\frac{I}{A}\Rightarrow A=\frac{I}{J}$$

$$A=\frac{۴}{۳/۵}=۱/۱۴۲\ mm^2$$

$$A=\frac{\pi d^2}{۴}$$

$$d=\sqrt{\frac{۴A}{\pi}}=\sqrt{\frac{۴\times۱/۱۴۲}{۳/۱۴}}=۱/۲\ mm$$

جدول ۱-۲- نمونه مشخصات سیم‌های لاکی

تعداد دور در هر cm^2	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm^2	قطر سیم با لاک mm	قطر سیم mm
۲۰۰۰۰	۸/۹۲	۰/۰۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۶۲	۰/۰۵
۱۵۰۰۰	۶/۲۱	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲۸	۰/۰۷۵	۰/۰۶
۱۱۰۰۰	۴/۵۶	۰/۰۳۷	۰/۰۰۳۹	۰/۰۸۵	۰/۰۷
۹۰۰۰	۳/۴۹	۰/۰۴۸	۰/۰۰۵۰	۰/۰۹۵	۰/۰۸
۷۰۰۰	۲/۷۶	۰/۰۶۰	۰/۰۰۶۴	۰/۱۰۸	۰/۰۹
۶۰۰۰	۲/۲۳	۰/۰۷۴	۰/۰۰۷۹	۰/۱۱۵	۰/۱۰
۵۰۰۰	۱/۸۴	۰/۰۸۵	۰/۰۰۹۵	۰/۱۳	۰/۱۱
۴۰۰۰	۱/۵۵	۰/۱۰۵	۰/۰۱۱۵	۰/۱۴	۰/۱۲
۳۶۰۰	۱/۳۲	۰/۱۲۰	۰/۰۱۳۳	۰/۱۵	۰/۱۳
۳۲۰۰	۱/۱۴	۰/۱۴۳	۰/۰۱۵۴	۰/۱۶	۰/۱۴
۲۸۰۰	۰/۹۹	۰/۱۶۴	۰/۰۱۷۷	۰/۱۷	۰/۱۵
۲۵۰۰	۰/۸۷	۰/۱۸۴	۰/۰۲۱۱	۰/۱۸	۰/۱۶
۲۲۵۰	۰/۷۷۳	۰/۲۱۰	۰/۰۲۲۷	۰/۱۹	۰/۱۷
۲۰۰۰	۰/۶۸۹	۰/۲۳۵	۰/۰۲۵۴	۰/۲۰	۰/۱۸
۱۸۰۰	۰/۶۱۹	۰/۲۶۰	۰/۰۲۸۴	۰/۲۱	۰/۱۹
۱۶۵۰	۰/۵۵۷	۰/۲۸۹	۰/۰۳۱۴	۰/۲۲	۰/۲۰
۱۵۰۰	۰/۵۰۷	۰/۳۳۰	۰/۰۳۴۶	۰/۲۳	۰/۲۱
۱۴۰۰	۰/۴۶۰	۰/۳۴	۰/۰۳۸	۰/۲۴	۰/۲۲
۱۳۰۰	۰/۴۲۲	۰/۳۵۰	۰/۰۴۲	۰/۲۵	۰/۲۳
۱۲۰۰	۰/۳۸۸	۰/۳۹۰	۰/۰۴۵	۰/۲۶	۰/۲۴
۱۱۰۰	۰/۳۵۷	۰/۴۲۵	۰/۰۴۹	۰/۲۷	۰/۲۵
۱۰۲۰	۰/۳۳۰	۰/۴۶۰	۰/۰۵۳	۰/۲۸۵	۰/۲۶
۹۵۰	۰/۳۰۶	۰/۴۹۵	۰/۰۵۷	۰/۲۹۵	۰/۲۷
۸۷۰	۰/۲۸۵	۰/۵۳۳	۰/۰۶۲	۰/۳۰۵	۰/۲۸
۸۰۰	۰/۲۶۶	۰/۶۱۲	۰/۰۶۶	۰/۳۱۵	۰/۲۹
۷۲۰	۰/۲۴۸	۰/۶۴۵	۰/۰۷۱	۰/۳۳	۰/۳۰
۶۹۰	۰/۲۱۸	۰/۷۲۰	۰/۰۸۰	۰/۳۵	۰/۳۲

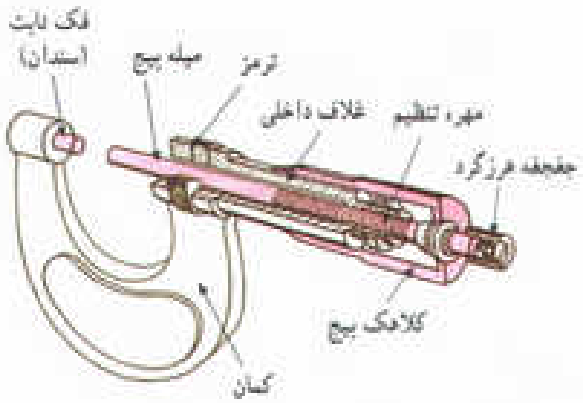
ادامه جدول ۱-۲- نمونه مشخصات سیم‌های لاکی

تعداد دور در هر cm^2	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm^2	قطر سیم با لاک mm	قطر سیم mm
۵۸۰	۰/۱۸۲۴	۰/۸۹۰	۰/۰۹۶	۰/۳۸	۰/۳۵
۵۲۰	۰/۱۶۳۲	۰/۹۹۴	۰/۱۰۸	۰/۴۰	۰/۳۷
۴۵۰	۰/۱۳۹۶	۱/۱۶۰	۰/۱۲۶	۰/۴۳	۰/۴۰
۳۷۰	۰/۱۱۰۳	۱/۴۸۰	۰/۱۵۹	۰/۴۸	۰/۴۵
۳۰۰	۰/۰۸۹۴	۱/۸۳۰	۰/۱۹۶	۰/۵۴	۰/۵۰
۲۵۰	۰/۰۷۳۸	۲/۲۰۰	۰/۲۳۸	۰/۵۹	۰/۵۵
۲۱۰	۰/۰۶۳۱	۲/۶۲	۰/۲۸۳	۰/۶۴	۰/۶۰
۱۸۰	۰/۰۵۲۶	۲/۹۷	۰/۳۳۴	۰/۶۹	۰/۶۵
۱۶۰	۰/۰۴۵۵	۳/۴۳	۰/۳۸۵	۰/۷۴	۰/۷۰
۱۴۰	۰/۰۳۹۵	۳/۹۵	۰/۴۴۴	۰/۸۴	۰/۷۵
۱۲۰	۰/۰۳۴۸	۴/۴۸	۰/۵۰۴	۰/۸۹	۰/۸۰
۱۱۰	۰/۰۳۰۹	۵/۰۵	۰/۵۶۸	۰/۹۴	۰/۸۵
۱۰۰	۰/۰۲۷۵	۵/۶۶	۰/۶۳۶	۰/۹۹	۰/۹۰
۹۰	۰/۰۲۴۷	۶/۳۱	۰/۷۰۹	۱/۰۶	۰/۹۵
۸۱	۰/۰۲۲۳	۷/۰۰	۰/۷۸۶	۱/۱۶	۱/۰۰
۷۵	۰/۰۱۸۵	۸/۴۶	۰/۹۵۰	۱/۲۶	۱/۱۰
۵۶	۰/۰۱۵۵	۱۰/۰۹	۱/۱۳۱	۱/۳۶	۱/۲۰
۴۸	۰/۰۱۳۲	۱۱/۸	۱/۳۲۷	۱/۴۶	۱/۳۰
۴۰	۰/۰۱۱۴	۱۳/۷	۱/۵۳۹	۱/۵۶	۱/۴۰
۳۳	۰/۰۰۹۹	۱۵/۷۵	۱/۷۷۰	۱/۶۶	۱/۵۰
۲۵	۰/۰۰۸۸	۱۷/۹	۲/۰۱۱	۱/۷۶	۱/۶۰
۲۰	۰/۰۰۷۷	۲۰/۲	۲/۲۷۰	۱/۷۶	۱/۷۰
۱۷	۰/۰۰۶۹	۲۲/۶	۲/۵۲۵	۱/۸۶	۱/۸۰
۱۵	۰/۰۰۶۲	۲۵/۲	۲/۸۲۵	۱/۹۶	۱/۹۰
۱۲	۰/۰۰۵۶	۲۸/۰۰	۳/۱۴۲	۲/۰۷	۲
۷	۰/۰۰۳۶	۴۳/۷	۴/۹۰۸	۲/۵۷	۲/۵
—	۰/۰۰۲۵	۶۲/۹	۷/۰۷۹	۳/۰۸	۳

۳ـ۲ـ میکرومتر

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

میکرومتر اساساً از یک میله و یک بیچ درست شده است. در این وسیله، میله استوانه‌ای توخالی است که سطح خارجی آن برحسب میلی متر مدرج شده است. روی بیچ، کلاهکی قرار دارد که می‌تواند در امتداد غلاف جا به جا شود. کلاهک بیچ روی سطح خارجی میله حرکت می‌کند. با پیچاندن جغجغه هرزگرد کلاهک بر روی میله جا به جا می‌شود. در شکل (۲-۲) قسمت های مختلف یک میکرومتر معرفی شده است.

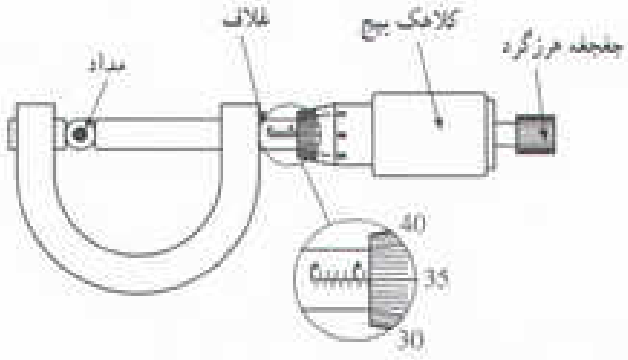


شکل ۲-۲

اگر کلاهک یک دور بچرخد زبانه متحرک نیم میلی متر جا به جا می‌شود (گام بیچ نیم میلی‌متر است). لبه کلاهک به ۵۰ قسمت تقسیم شده است بنابراین هر درجه موجود بر روی کلاهک یک‌صدم میلی‌متر را نشان می‌دهد.

برای اندازه‌گیری قطر سیم، سیم را بین دو فک میکرومتر قرار می‌دهیم و جغجغه هرز گرد را آنقدر می‌چرخانیم تا دو فک، سیم را در میان بگیرند. در این حالت جغجغه هرز گرد با چرخش خود صدایی تولید می کند و فک‌ها دیگر پیش نمی روند. از خط کش مهره غلاف، میلی‌متر و از لبه کلاهک صدم میلی‌متر را می‌خوانیم.

مثلاً در شکل (۲-۳) قطر مداد ۷/۸۵mm =۷/۵۰+/۳۵ قرائت می‌شود.



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

شکل ۲-۳

۴ـ۲ـ کار شماره ۱ (زمان اجرا: ۱۵ دقیقه)

۱ـ۴ـ۲ـ هدف:

ـ آشنایی با کار میکرومتر

ـ کسب مهارت لازم در اندازه‌گیری ضخامت و قطر

۲ـ۴ـ۲ـ وسایل لازم:

ـ میکرومتر

ـ چهار عدد میله در قطرهای متفاوت

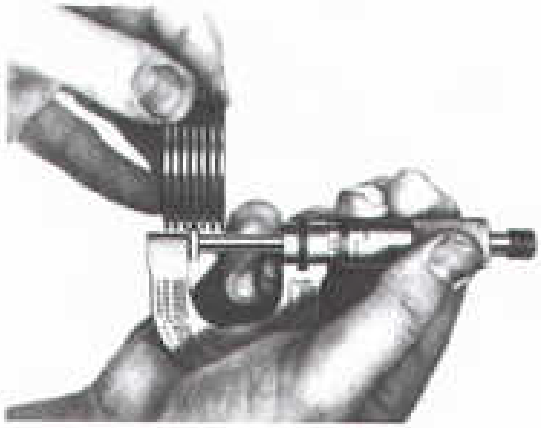
۳ـ۴ـ۲ـ ایمنی:

ـ میکرومتر دستگاه دقیق و حساس است در بکارگیری آن دقت لازم را بکار برید. و آن‌را طوری در دست بگیرید که از امکان افتادن آن بر روی زمین جلوگیری شود. (شکل ۲-۴)

ـ از ضربه‌زدن به کلیه اجزاء میکرومتر خودداری کنید.

ـ در هنگام اندازه گیری وقتی صدای جغجغه شنیده شد، دیگر از چرخاندن قسمت های متحرک خودداری کنید.

ـ از وارد کردن فشار در جهات مختلف به اهرم ها و سایر اجزاء میکرومتر بپرهیزید.



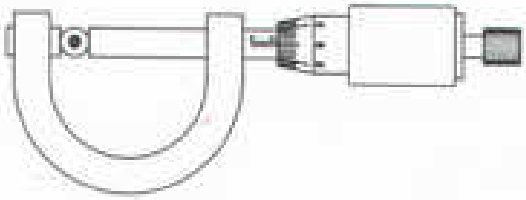
شکل ۲-۴- نحوه در دست گرفتن میکرومتر

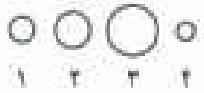
۴ـ۴ـ۲ـ مراحل کار:

ـ یک میکرومتر در اختیار بگیرید. قسمت های مختلف آن را شرح دهید.

ـ چهار نمونه میله در اختیار گرفته و قطر آن ها را اندازه بگیرید.

ـ مقدار قرائت شده در شکل (۲-۵) چند میلی‌متر و چند صدم میلی‌متر است؟ مقادیر را در جدول (۲-۲) وارد کنید.





شکل ۲-۵

جدول ۲-۲

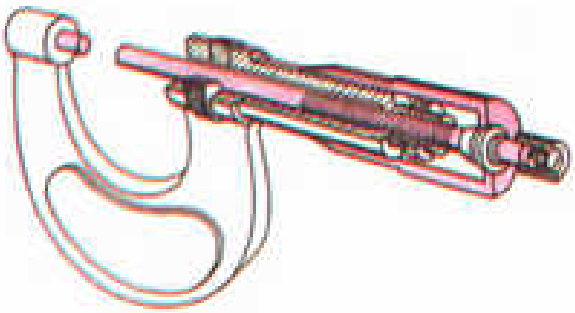
شماره	d قطر (mm)	سطح مقطع $A=\frac{\pi d^2}{4}$ (mm^2)
۱		
۲		
۳		
۴		

۵ـ۲ـ کار شماره ۲ (زمان اجرا: ۱۵ دقیقه)

۱ـ۵ـ۲ـ هدف:

ـ آشنایی با کار میکرومتر

ـ کسب مهارت لازم در اندازه گیری ضخامت و قطر اجسام با میکرومتر



۲ـ۵ـ۲ـ وسایل لازم :

ـ میکرومتر

ـ کتاب ساخت ترانسفورماتورها

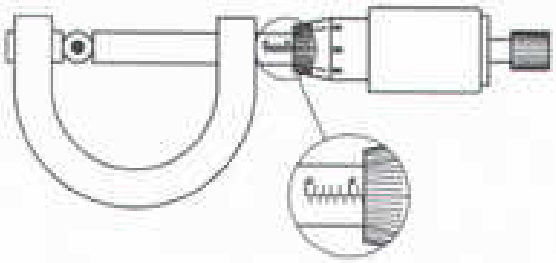
۳ـ۵ـ۲ـ دستور کار:

یک میکرومتر در اختیار بگیرید و با اندازه گیری برگ های کتاب جدول (۳-۲) را کامل کنید.

جدول ۳-۲

ضخامت یک برگ $d = \frac{D}{n}$	ضخامت اندازه‌گیری شده mm	تعداد برگه‌ها
$d_1 =$		۵۰
$d_2 =$		۴۰
$d_3 =$		۳۰
$d_4 =$		۲۰
$d_5 =$		۱۰
میانگین $d_{ave} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} =$ (mm)		

۶ـ۲ـ کار شماره ۳ (زمان اجرا: ۳۰ دقیقه)



در این قسمت قطر چند سیم را از طریق اندازه گیری با میکرومتر به دست آورید.

جدول (۴-۲) را از طریق اندازه گیری و به کمک مقادیر جدول (۱-۲) کامل کنید.

جدول ۴-۲

نوع سیم	قطر سیم d (mm)	سطح مقطع (mm^2) $A=\frac{\pi d^2}{4}$	سطح مقطع (mm^2) از جدول(۲-۱)	تفاوت مقدار اندازه‌گیری با مقدار جدول
0.50	0.			
0.60				
0.75				
0.80				
0.85				
0.90				
1				
1.2				
1.5				

آزمون پایانی (۲)

۱ـ ساختمان و اساس کار یک میکرومتر را شرح دهید.

۲ـ جگالی جریان را تعریف کنید.

۳ـ اگر فاصله بین دو دندانه متوالی پیچ در میکرومتر یک میلی‌متر و کلاهک پیچ به ۵۰ قسمت مساوی تقسیم شود دقت اندازه گیری چه اندازه می‌شود؟

۴ـ از کاربردهای میکرومتر در صنعت چند نمونه نام ببرید.

۵ـ قطر سیم مورد نیاز برای انتقال جریان الکتریکی ۲۵ آمپر با جگالی جریان $۶\frac{A}{mm^2}$ چند میلی‌متر است؟

۶ـ مقدار واقعی سطح مقطع یک سیم ۲/۵۷ میلی متر مربع است. قطر این سیم با میکرومتر ۲/۵۵ اندازه گیری شده است تفاوت اندازه گیری با مقدار واقعی چقدر است؟

۷ـ کدام یک از اندازه‌گیری‌های انجام شده دقیق‌تر است؟

۱ـ ۱۲/۲۰ ۲ـ ۱۲/۲۰۰

۳ـ ۱۲/۲ ۴ـ دقت همه یکسان است.

۸ـ دقت اندازه گیری با میکرومتر چند میلی‌متر است؟

۱ـ ۰/۰۵ ۲ـ ۰/۰۲

۳ـ ۰/۰۱ ۴ـ ۰/۱

۹ـ سیم‌های لاکی براساس ..... و سیم‌های روشنایی بر اساس ..... طبقه‌بندی می‌شوند.

واحد کار سوم

توانایی ساخت قرقره ترانسفورماتور

هدف کلی:

انتخاب قرقره مناسب پلاستیکی از جداول استاندارد و ساخت قرقره ترانسفورماتور از فیبرهای استخوانی

هدف‌های رفتاری:

فراگیر پس از آموزش این واحد کار قادر خواهد بود:

۱ـ اجزای ساختمان یک ترانسفورماتور را نام ببرد.
۲ـ نوع ترانسفورماتور هسته‌ای و جداری را تشخیص دهد.
۳ـ تفاوت هسته‌های یکپارچه و مورق را شرح دهد.
۴ـ انواع هسته را بیان کند.
۵ـ ابعاد هسته و ارتباط ابعاد با هم دیگر را بیان کند.
۶ـ طبقه‌بندی سیم‌های لاکی را از نظر دمای تحمل آن ها نام ببرد.
۷ـ کلاس عایق‌ها را نام ببرد و کاربرد آن ها را بیان کند.
۸ـ از جداول سیم‌های لاکی بطور مطلوب استفاده کند.
۹ـ اشکال مختلف سیم پیچ های ترانسفورماتور را شرح دهد.
۱۰ـ ابعاد قرقره ترانسفورماتور را از کاغذهای پرشمان برش داده و آن‌ها را به صورت قرقره کامل مونتاژ کند.
۱۱ـ ابعاد قرقره ترانسفورماتور را از فیبر استخوانی برش داده و آن‌ها را به صورت قرقره کامل مونتاژ کند.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۴	۲۴	۲۸

پیش آزمون (۳)

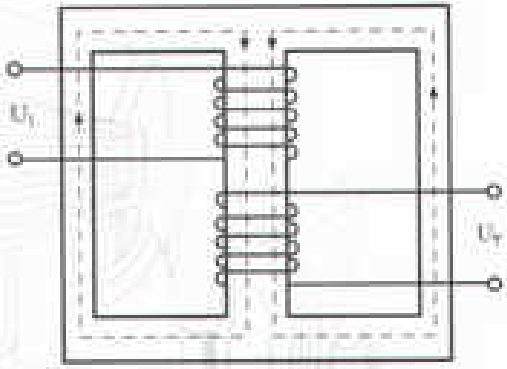
۱ـ در ترانسفورماتورهای جداری تلفات پراکندگی ..... می‌یابند و این ترانسفورماتورها بیشتر در فشاری..... کاربرد دارند.

۱ ـ حداقل - ضعیف

۲ ـ حداقل - قوی

۳ ـ حداکثر - قوی

۴ ـ حداکثر - ضعیف



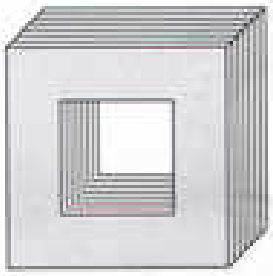
۲ـ با ورقه ورقه کردن هسته ترانسفورماتور تلفات فوکو.....و مقدار مؤثر هسته ..... می‌یابد.

۱ ـ کاهش - افزایش

۲ ـ کاهش - کاهش

۳ ـ افزایش - کاهش

۴ ـ افزایش - افزایش



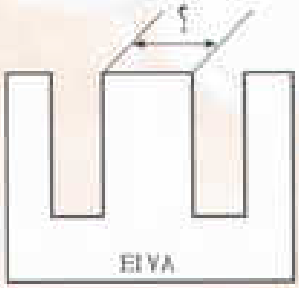
۳ـ در هسته EI78 عرض بازوی وسطی چند میلی متر است؟

۱ ـ ۲۶

۲ ـ ۱۳

۳ ـ ۳۹

۴ ـ ۷۸



۴ـ یک موتور الکتریکی باید دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس را تحمل کند طبقه سیم لاکی مناسب برای این موتور کدام است؟

A ـ ۱

B ـ ۲

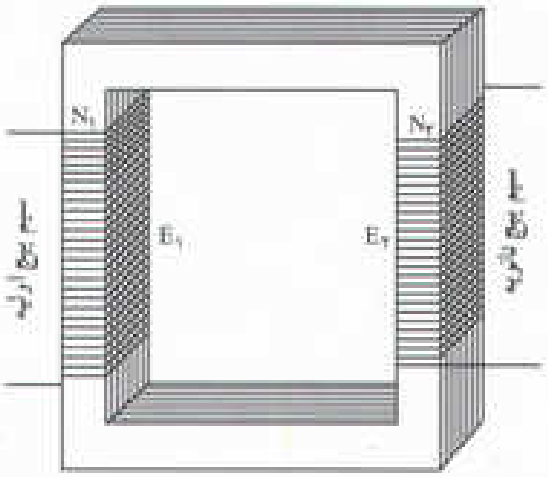
F ـ ۳

H ـ ۴

۱ـ۳ـ ساختمان ترانسفورماتورها

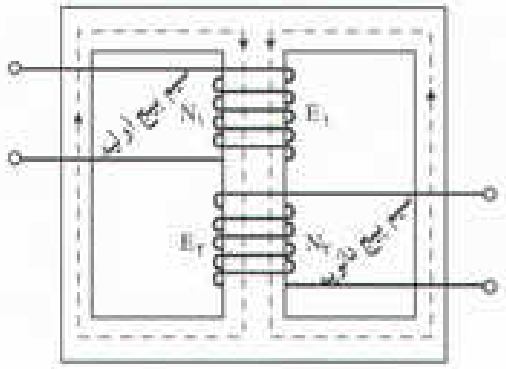
هر ترانسفورماتور از یک هسته آهنی و دو سیم پیچ تشکیل می شود. معمولاً سیم پیچ ها از سیم‌های مسی لاکی تهیه می‌شوند و روی بازوهای هسته ترانسفورماتور قرار می‌گیرند. سیم پیچ طرف بار را سیم پیچ ثانویه، سیم پیچ طرف منبع تغذیه را سیم پیچ اولیه می‌گویند. هسته ترانسفورماتور از ورقه های آهن نرم (ورقه‌های دینامو‌یلش) تشکیل می‌شود. (شکل ۱-۳)

ترانسفورماتورها به صورت هسته‌ای و جداری ساخته می‌شوند.



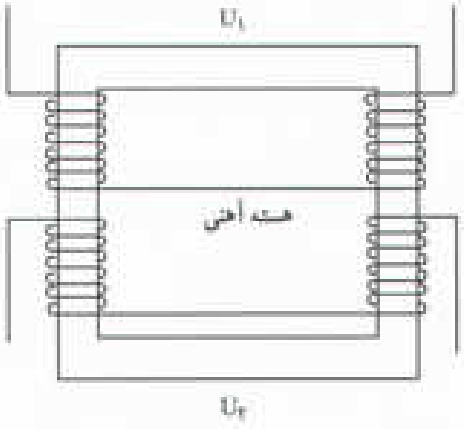
شکل ۱-۳

۱ـ۱ـ۳ـ ترانسفورماتورهای جداری: در این ترانسفورماتور سیم پیچ اولیه و ثانویه هر دو روی بازوی وسط هسته، پیچیده می‌شوند. بدین طریق فوران ایجاد شده در بازوی وسط، به دو قسمت مساوی تقسیم می شود و از طریق دو بازوی دیگر مسیر مغناطیسی مربوطه را کامل می‌کند. از این نوع ترانسفورماتورها بیشتر در فشار ضعیف استفاده می‌شود. (شکل ۲-۳)



شکل ۲-۳

۲ـ۱ـ۳ـ ترانسفورماتورهای هسته ای: در این نوع ترانسفورماتورها نیمی از سیم پیچ اولیه و نیمی از سیم پیچ ثانویه روی یک بازوی هسته و دو نیمه دیگر روی بازوی دومی هسته پیچیده می شود. از این ترانسفورماتورها بیشتر در ولتاژهای فشار قوی استفاده می شود. (شکل ۳-۳)



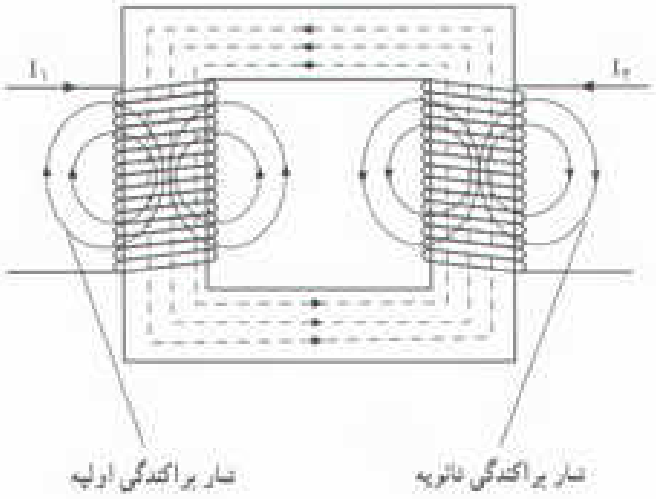
شکل ۳-۳

۲ـ۳ـ هسته آهنی ترانسفورماتورها

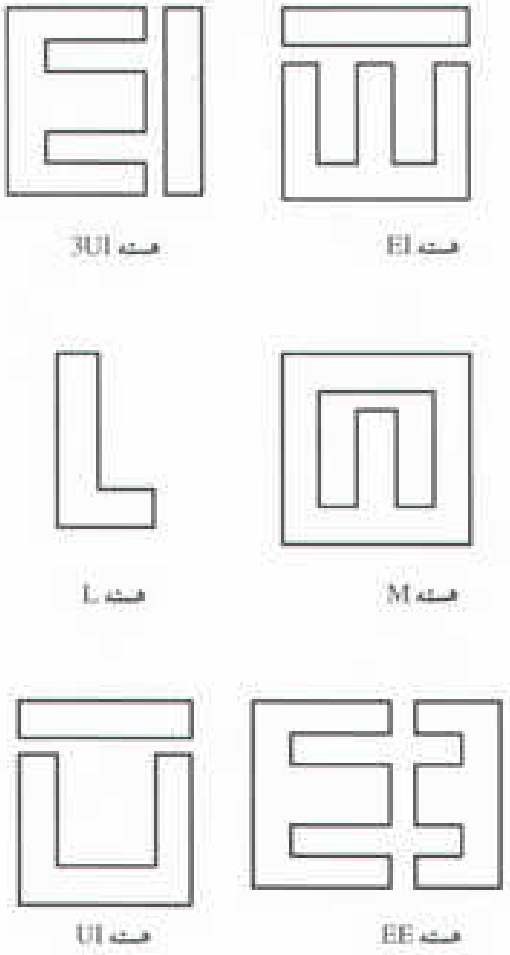
مدار مغناطیسی ترانسفورماتورها از طریق هسته آهنی بسته می شود. انتخاب آهن به عنوان هسته، در ترانسفورماتورها به خاطر کم بودن مقاومت مغناطیسی (رلاکتانس) و بالا بودن ضریب تقوذ مغناطیسی (μ_r) آن است. حجم زیاد شار مغناطیسی که توسط جریان سیم پیچ ها ایجاد می شود از طریق هسته ترانسفورماتور مدار خود را کامل می کند. حجم کمتری از طریق هوا مسیر خود را کامل می کند که در القای نیروی محرکه شرکت نمی کند. به این قسمت از شار مغناطیسی که از طریق هسته آهنی بسته نمی شود و در القای نیروی محرکه شرکت نمی کند شار پراکندگی می گویند. (شکل ۲-۳) شار مغناطیسی در درون هسته از نوع متغیر یا متناوب است. بدین علت آرایش مولکول های مغناطیسی در مسیر هسته، در جهت های مختلف صورت می گیرد. متناوب بودن شار مغناطیسی و جهت گیری های مختلف مولکولهای مغناطیسی دو اثر، در کاهش بازده ترانسفورماتور به جامی گذارند. این دو اثر تلفات هیسترزیس و تلفات فوکو می باشند. این تلفات را در بررسی تلفات ترانسفورماتورها مطالعه خواهیم کرد.

بنابراین در انتخاب هسته‌های ترانسفورماتورها عنصری باید انتخاب شود که حداقل تلفات هیسترزیس را داشته باشد. این خاصیت را آهن نرم دارد. برای کاهش تلفات فوکو از ورقه های آهن که نسبت به هم عایق هستند استفاده می شود. استفاده از ورقه های آهن به جای آهن یک پارچه، اندازه سطح مقطع مؤثر هسته را کاهش می دهد.

ورقه های هسته را از طریق کاغذهای به ضخامت ۰/۰۳ یا ۰/۰۴ میلی متر یا از طریق روکش ورنی نسبت به هم عایق می کنند. روش دیگر عایق کردن ورقه‌های هسته نسبت به هم روش فسفاتاسیون می‌باشد در این روش با عایقی به ضخامت خیلی کم (حدود میکرون) از جنس کارلیت ورق ها را روکش می کنند. ورق های هسته را در عمل به شکل‌های EI، M، L، UI، EE و 3UI می‌سازند. (شکل ۵-۳)

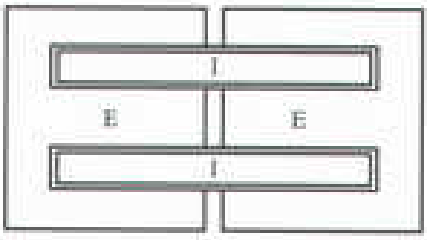


شکل ۴-۳



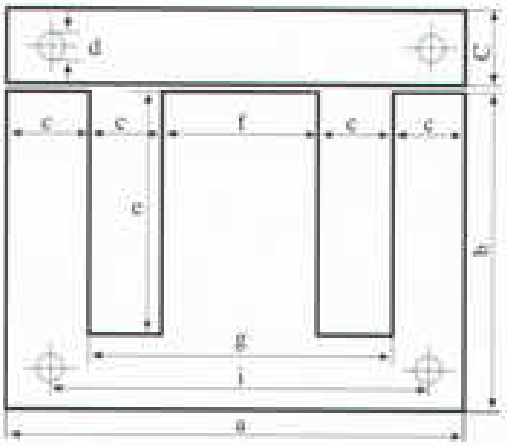
شکل ۵-۳

رایج ترین برش ورق هسته‌های ترانسفورماتور برش EI می‌باشد. در این روش از یک هسته مستطیلی دو ورق I در می‌آورند. و هسته EI بدست می‌آید. این برش برای ساخت ترانسفورماتورها حداقل دور ریزی را دارد. (شکل ۶-۳)



شکل ۶-۳

در برش های EI، اندازه های استانداردی بین ابعاد آن تعریف شده است. سازندگان، این اندازه‌ها را در ساخت ورق‌های EI رعایت می کنند. اندازه های بین ابعاد مطابق شکل (۷-۳) می‌باشند.



$$b=\frac{۲}{۳}a, c=\frac{۱}{۶}a, e=\frac{۱}{۲}a, f=\frac{۱}{۳}a, g=\frac{۲}{۳}a$$

شکل ۷-۳- ابعاد ورق‌های هسته

ترانسفورماتورها براساس کاربردشان در توان های متفاوت ساخته می‌شوند. ابعاد ورق هسته مورد نیاز براساس توان ظاهری ترانسفورماتور انتخاب می‌شود. ورق های EI با مرغوبیت بالا بدون افت و یا افت کم ساخته می‌شوند.

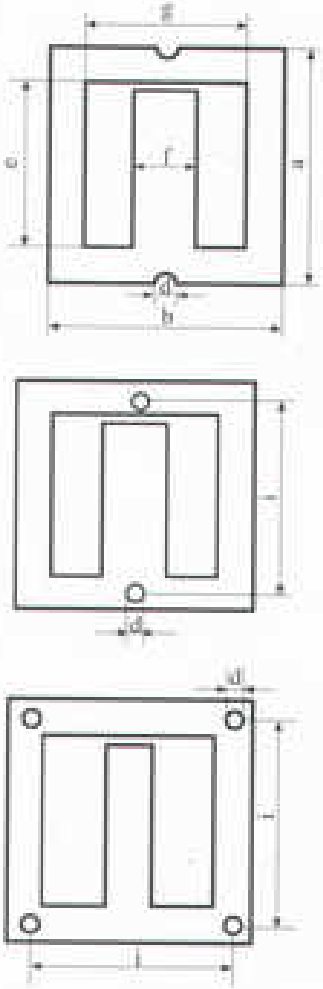
جدول‌های (۱-۳ و ۲-۳) ابعاد و مشخصات ورق‌های EI را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۳- ورق‌های برش EI بدون افت (ابعاد بر حسب mm)

اندازه	a	b	c	d	e	f	g	i	ضخامت ورق
EI30	30	20	5	—	15	10	20	—	0-0.5
EI38	38.4	25.6	—	—	19.21	12.8	25.5	—	"
EI42	42	28	7	3.5	21	14	28	35	0.27-.65
EI48	48	32	8	3.5	24	16	32	40	"
EI54	54	36	9	3.5	27	18	36	45	"
EI60	60	40	10	3.5	30	20	40	50	"
EI66	66	44	11	4.5	33	22	44	55	"
EI75	75	50	12.5	4.5	37.5	25	50	62.5	"
EI78	78	52	13	4.5	39	26	52	65	"
EI84	84	56	14	4.5	42	28	56	70	"
EI96	96	64	16	5.5	48	32	64	80	"
EI105	105	70	17.5	5.5	52.5	35	70	87.5	"
EI108	108	72	18	5.5	54	36	72	90	"
EI120	120	80	20	7	60	40	80	100	"
EI150N	150	100	25	8	75	50	100	125	"

جدول ۲-۳- ورق‌های برش EI با افت کم (ابعاد بر حسب mm)

اندازه	a	b	c	d	e	f	g	i	ضخامت ورق
EI92	92	62.5	11.5	4.5	51	23	66	82	0.27-0.65
EI106	106	70.5	14.5	5.5	56	29	77	94	"
EI130	130	87.5	17.5	6.8	70	35	95	115	"
EI150	150	100	20	7.8	80	40	110	135	"
EI170	170	117.5	22.5	8	95	45	125	150	"
EI195	195	152.5	27.5	11	125	55	140	170	"
EI231	231	176.5	32.5	13	144	65	166	201	"



ابعاد ورق هسته M و ورق های استاندارد موجود در شکل (۸-۳) و جدول (۳-۳) مشاهده می‌شود.

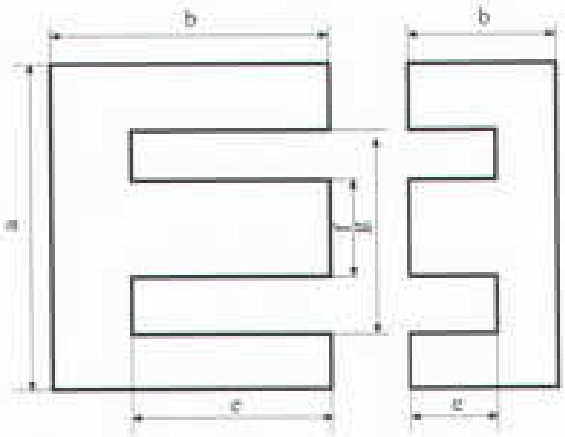
شکل ۸-۳- انواع پرچ M

جدول ۳-۳- جدول استاندارد ابعاد پرچ M

اندازه	a	b	c	d	e	f	g	i	فاصله هوایی t				ضخامت ورق
M20	20	20	3.5	2.8	13	5	13	—	0.3	—	—	—	0.05-0.15
M30	30	30	5	3	20	7	20	—	0.3	—	—	—	0.05-0.15
M42	42	42	6	3.5	30	12	30	36	0.3	0.5	1	—	0.05-0.65
M55	55	55	8.5	3.5	38	17	38	47	0.3	0.5	1	—	0.1-0.65
M65	65	65	10	4.5	45	20	45	56	—	0.5	1	—	0.1-0.65
M74	74	74	11.5	4.5	51	23	51	64	—	0.5	1	—	0.15-0.65
M85	85	85	14.5	4.5	56	29	56	75	—	0.5	1	2	0.27-0.65
M102	102	102	17	5.5	68	34	68	91	—	0.5	1	2	0.27-0.65

نوع ورق هسته EE بیشتر در ساخت بوبین های کنتاکتورها و ترانسفورماتورهای دو تکه به کار می‌رود.

ارتباط ابعاد ورق هسته EE و ورق‌های استاندارد آن در شکل (۹-۳) و جدول (۴-۳) مشاهده می‌شود.

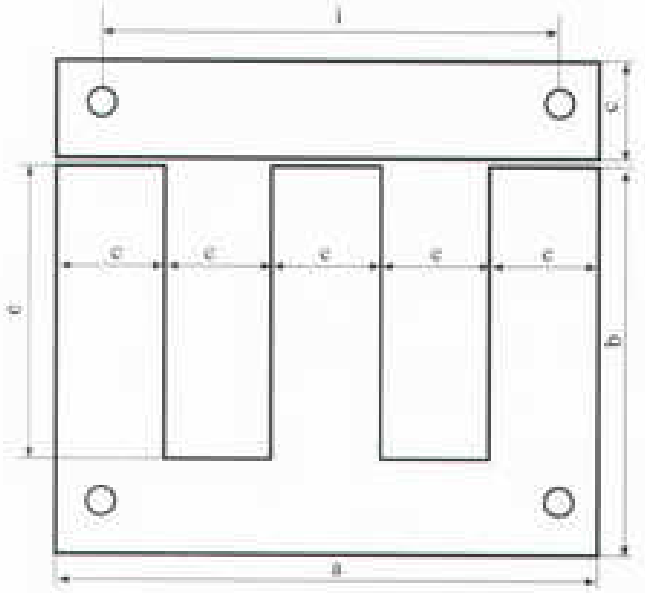


شکل ۹-۳- برش EE و نمایش ابعاد آن

جدول ۴-۳- جدول استاندارد و اندازه ابعاد برش EE (ابعادبر حسب mm)

اندازه	اندازه	a	b	c	f	g	ضخامت ورق
EE8	E 8×2.5 E 8×5.5	8	2.5 5.5	1.3 4.3	2.4	5.6	0.1-0.35
EE10	E 10×3 E 10×7	10	3 7	1.5 5.5	3	7	0.1-0.35
EE12.5	E 12.6×4 E 12.6×8.6	12.6	4 8.6	2.1 6.7	3.8	8.8	0.1-0.35
EE16	E 16×5 E 16×11	16	5 11	2.6 8.6	4.8	11.2	0.1-0.35
EE20	E 20×6 E 20×14	20	6 14	3 11	6	14	0.1-0.35
EE25	E 25×8 E 25×17	25	8 17	4.2 13.2	7.8	17.4	0.1-0.35
EE32	E 32×10 E 32×22	32	10 22	5.2 17.2	9.8	22.4	0.1-0.35
EE40	E 40×12 E 40×28	40	12 28	6 22	12	28	0.1-0.35

از ورق هسته‌های 3UI بیشتر در ساخت ترانسفورماتورهای سه فاز استفاده می شود. ابعاد قرقره 3UI و ورق‌های هسته‌های استاندارد آن در شکل (۱۰-۳) و جدول (۵-۳) مشاهده می‌شود.

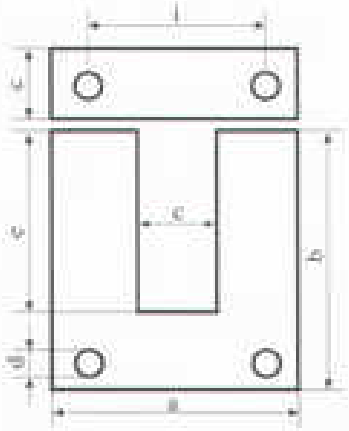


شکل ۱۰-۳- برش EE ونمایش ابعاد آن

جدول ۵-۳- جدول استاندارد و اندازه ابعاد برش 3UI (ابعادبر حسب mm)

اندازه	a	b	c	e	i	ضخامت ورق
3UI30	50	40	10	30	40	0.2-0.65
3UI39	65	52	13	39	52	"
3UI48	80	64	16	48	64	"
3UI60	100	80	20	60	80	"
3UI75	125	110	25	75	110	"
3UI90	150	120	30	90	120	"
3UI14	190	152	38	114	152	"
3UI32	220	176	44	132	176	"
3UI50	250	200	50	150	200	"
3UI68	280	224	56	168	224	"
3UI80	300	240	60	180	240	"
3UI210	350	180	70	210	180	"
3UI240	400	320	80	240	320	"

ورق هسته های UI بیشتر در ساخت ترانسفورماتورهای هسته ای و ترانسفورماتورهای جوش کاری استفاده می شود. ابعاد ورق های استاندارد ورق هسته UI مطابق شکل (۱۱-۳) و جدول (۶-۳) داده شده می باشند.



شکل ۱۱-۳- برش UI

جدول ۶-۳- جدول استاندارد ابعاد برش UI

اندازه	a	b	c	d	e	i	ضخامت ورق
UI30	30	40	10	3.5	30	20	0.1-0.5
UI39	39	52	13	3.5	39	26	0.1-0.5
UI48	48	64	16	3.5	48	32	0.2-0.65
UI60	60	80	20	4.5	60	40	"
UI75	75	100	25	4.5	75	50	"
UI90	90	120	30	1.8	90	60	"
UI102	102	136	34	1.8	102	68	"
UI114	114	152	38	11	114	76	"
UI132	132	176	44	11	132	88	"
UI150	150	200	50	11	150	100	"
UI168	168	224	56	11	168	112	"
UI180	180	240	60	11	180	120	"
UI210	210	280	70	15	210	140	"
UI240	240	320	80	15	240	160	"

۳ـ۳ـ سیم پیچ‌ها

الف - سطح مقطع گرد

ب - سطح مقطع مستطیلی

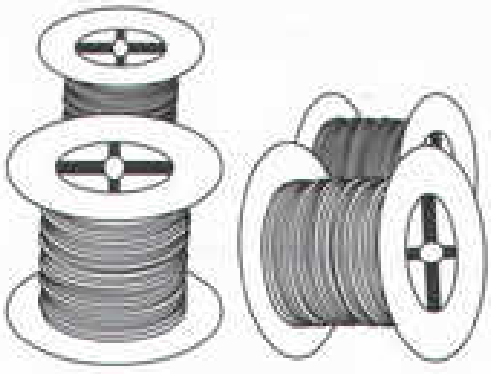
شکل ۳-۱۲

ترانسفورماتورها را اغلب با سیم‌های لاکی می‌پیچند. در ترانسفورماتورهای پر قدرت از سیم با روکش کاغذی نیز استفاده می‌شود. در مقاطع بالا سطح مقطع به صورت مستطیل (نوارهای تسمه‌ای) انتخاب می‌شود. (شکل ۱۲-۳)

سیم‌های مسی هدایت الکتریکی بالا دارند، خوب نورد می‌شوند، از قابلیت خوب لحیم کاری برخوردارند، اگر سخت شوند، با گرما مجدداً حالت نرم به خود می‌گیرند. سیم‌های آلومینیوم سبک‌تر از سیم‌های مسی می‌باشند و بهتر از مس قابلیت ورق کاری دارند ولی استحکام مکانیکی مس را ندارند و مثل مس به صورت رشته‌های نازک در نمی‌آیند. هدایت الکتریکی آلومینیوم کم‌تر از مس است. سیم‌های آلومینیوم پس از مس بیشترین مصرف را در صنعت برق دارند. بعضی از مشخصات مس با آلومینیوم در جدول (۳-۷) با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۳-۷- جدول استاندارد ابعاد برش M

نوع	چگالی gr/cm^3	نقطه ذوب °C	هدایت حرارتی $W/m^3\,°C$	مقاومت مخصوص $\Omega m/mm^2$	ضریب حرارتی $\Omega/°C$
مس	۸/۹۴	۱۰۸۳	۳۵۰	۰/۰۱۷۸۶	۰/۰۰۳۹۳
آلومینیوم	۲/۷	۶۵۷	۲۰۰	۰/۰۲۸۶	۰/۰۰۳۵



شکل ج-۳-۱۲

سیم‌های مصرفی در ترانسفورماتورها در قطرهای پایین با لاک و درقطرهای بالا با کاغذ یا الیاف رشته‌ای روکش می‌شوند. نوع و ضخامت مواد عایقی روکش‌ها به ولتاژ و دمای کار بستگی دارد. بدین علت سیم‌های لاکی را از نظر دمایی که تحمل می‌کنند به طبقات F،H، B و A دسته‌بندی می‌کنند سیم‌ها بر روی قرقره در چند طبقه پیچیده می‌شوند. (شکل ج-۱۲-۳) بین سیم‌های طبقات متوالی اختلاف پتانسیل وجود دارد. برای جلوگیری از اتصال سیم‌ها در طبقات متوالی، بین طبقات از عایق‌های کاغذی یا نام پرسپان (پرشحان یا پرشمان) یا عایق پلی استر قرار می‌دهند. عایق‌های کاغذی یا پلی استر را یک طبقه بالاتر از کلاس سیم‌ها

انتخاب می کنند. کاغذ عایق‌ها یا پلی استرها براساس درجه حرارت قابل تحمل طبقه بندی می‌شوند. (جدول ۸-۳)

از الیاف عایق کلاس A در ترانسفورماتورهایی که با هوا یا روغن خنک می‌شوند استفاده می‌شود. سیم پیچ‌های ترانسفورماتورهایی که با هوا خنک می‌شوند توسط پارچه‌های پنبه‌ای یا کتانی آغشته به روغن نوارپندی می‌شوند تا به صورت یک پارچه درآیند. بدین طریق از لرزش سیم‌ها جلوگیری می‌شود.

پس از نوار بندی سیم پیچ ها به روغن آغشته می‌شوند سیم پیچ های اولیه و ثانویه توسط کاغذ یا صمغ معمولی از همدیگر عایق بندی می شوند. سیم های لاکی مورد استفاده در سیم پیچی ترانسفورماتورهای با قدرت کم دارای مشخصات و اندازه های استانداردی هستند که پیش از این در بخش اندازه گیری قطر سیم با آن ها آشنا شده اید. جدول (۹-۳) شرح کلاس های عایقی را ارائه می کند.

ادامه جدول ۸-۳- کلاس (طبقه بندی) حرارتی سیم‌های لاکی

	A	B	F	H
حداکثر دمای قابل تحمل °C	۱۰۵	۱۳۰	۱۵۵	۱۸۰

جدول ۹-۳-شرح کلاس‌های عایقی

کلاس عایق	حداکثر دمای قابل تحمل °C	مشخصات
Y	۹۰	این نوع عایق از مواد پنبه، ابریشم، کاغذ، سلولز چوب که به روغن آغشته یا غوطه‌ور نشده‌اند ساخته می‌شوند (کاربرد زیادی ندارد)
A	۱۰۵	مواد عایقی نوع Y هستند که به روغن یا صمغ‌های طبیعی اترسل آغشته می‌شوند ورق‌های چوبی و کاغذ در این رده قرار دارند.
E	۱۲۰	شامل لعاب‌های مصنوعی، پنبه و ورق‌های کاغذی با چسب ماندئید و غیره می‌باشند.
B F	۱۳۰ ۱۵۵	از عایق‌های میکا، الیاف شیشه‌ای، پنبه با چسب مناسب، به صورت ورق‌های میکا و شیشه و پنبه نسوز ساخته می‌شود. مواد عایقی B را همراه با چسبی که پایداری حرارتی بالا دارد شامل می‌شود.
H	۱۸۰	الیاف شیشه‌ای، پنبه نسوز، میکا و صمغ‌های سیلیسیم را شامل می‌شود.
C	بالاتر از ۱۸۰	میکا، سرامیک، شیشه، کوارتز بدون چسب یا صمغ‌های سیلیسیم یا پایداری حرارتی بالا را شامل می‌شود.

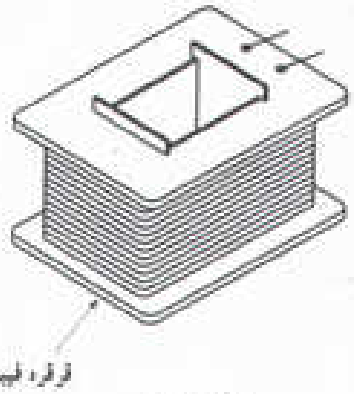
۴ـ۳ـ قرقره سیم پیچی

سیم پیچ‌های هر ترانسفورماتور، ابتدا روی یک قرقره پیچیده می‌شود. (شکل ۱۳-۳) پس از آماده شدن سیم پیچی‌ها، ورق‌های هسته در درون قرقره‌ها قرار داده می‌شوند. قرقره‌ها متناسب با ابعاد هسته انتخاب می‌شوند. این قرقره‌ها در توان های پایین، از مواد ترموپلاست به صورت یک پارچه در قالب‌های استاندارد ساخته می شوند، یا از پرش و مونتاژ کاغذهای پرسمان درست می‌شوند. در توان‌های بالا و دمای کار زیاد قرقره‌ها را از فیبرهای استخوانی می‌سازند. فیبرهای استخوانی از استحکام مکانیکی بالا برخوردارند و دماهای زیادی را تحمل می کنند. در انتخاب ورق های هسته و قرقره ترانسفورماتورها دو عامل تعیین کننده را باید در نظر گرفت.

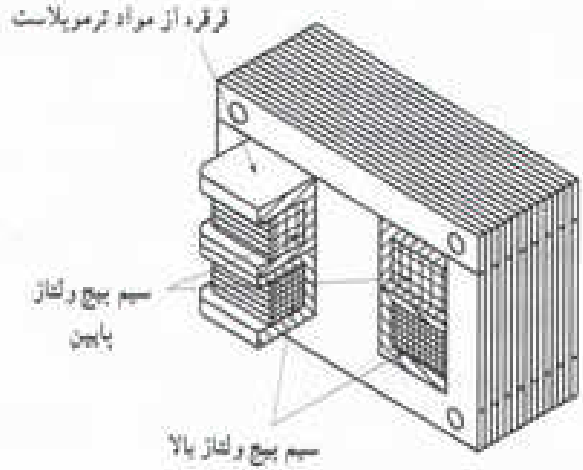
۱ـ سطح کافی برای سیم پیچ اولیه و ثانویه.

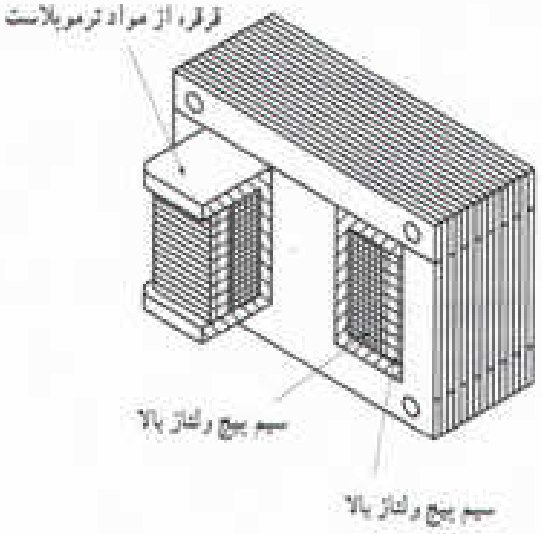
۲ـ حداکثر بهره برداری از فضای قرقره.

در شکل (۱۴-۳) طرز قرار گرفتن هسته ها در درون قرقره مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳-۳





شکل ۱۴-۳

با مراجعه به جداول استاندارد ورق هسته‌های ترانسفورماتورها، مشاهده می‌شود که این ورق‌ها ابعاد متفاوتی دارند و سطح پنجره آن‌ها متفاوت است. بنابراین در انتخاب ورق هسته، ورقی را باید انتخاب نمود که سطح پنجره آن، سطح مورد نیاز سیم پیچ اولیه و ثانویه را تأمین کند. از ستون آخر جدول استاندارد سیم‌های لاکی می‌توان سطح اشغال شده توسط سیم پیچ اولیه و ثانویه را محاسبه نمود. (روابط ۱-۳ الی ۳-۳)

N_1 تعداد دور سیم پیچ اولیه، N_2 تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه، a_1 تعداد دور سیم پیچ اولیه (با قطر d_1) در هر سانتی‌متر مربع، a_2 تعداد دور سیم پیچ ثانویه (با قطر d_2) در هر سانتی‌متر مربع و A کل سطح اشغال شده توسط سیم پیچ اولیه وثانویه است. سطح پنجره ورق‌های هسته باید کمی بیش از این سطح را داشته باشند، تا عایق های بین سیم پیچ ها را پوشش دهد. بدین خاطر در سیم پیچی دستی ۳۵٪ و در سیم پیچی های ماشینی ۲۰٪ اضافه سطح منظور می‌کنند. سطح پنجره ورق هسته از رابطه $A=c\times e$ محاسبه می شود. این سطح باید ۲۰٪ تا ۳۵٪ بیش از سطح سیم پیچ های اولیه و ثانویه باشد.

رابطه ۱-۳ :

سطح اشغال شده توسط سیم پیچ اولیه

$$A_1=\frac{N_1}{a_1}\,cm^2$$

رابطه ۲-۳ :

سطح اشغال شده توسط سیم پیچ ثانویه

$$A_2=\frac{N_2}{a_2}\,cm^2$$

رابطه ۳-۳ :

سطح اشغال شده توسط سیم پیچ اولیه وثانویه

$$A=A_1+A_2\,cm^2$$

مثال: ورق EI مناسب برای ۴۰۰ دور سیم پیچ اولیه به قطر ۰/۶۰ mm و ۸۰ دور سیم پیچ ثانویه به قطر ۱/۲ mm را به دست آورید. این سیم پیچ ها به طور دستی روی فرقره پیچیده می‌شوند.

$$A_1=\frac{N_1}{a_1}=\frac{۴۰۰}{۲۱۰}=۱/۹۰\,cm^2$$

$$A_2=\frac{N_2}{a_2}=\frac{۸۰}{۵۶}=۱/۴۳\,cm^2$$

$$A=A_1+A_2=۱/۹۰+۱/۴۳$$

$$A=۳/۳۳\,cm^2$$

$$A_P=۱/۳۵\times A=۴/۵\,cm^2$$

در ورق EI۷۵ داریم :

$$C=۱۲/۴\,mm=۱/۲۴\,cm$$

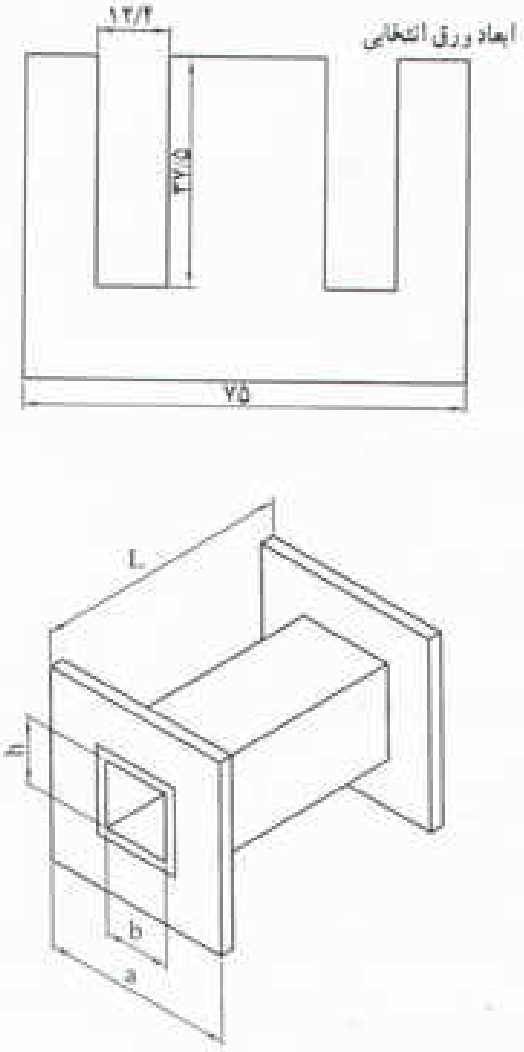
$$e=۳۷/۵\,mm=۳/۷۵\,cm$$

$$A=۱/۲۴\times ۳/۷۵=۴/۶۵)۴/۵$$

بنابراین ورق EI۷۵ برای مشخصات بالا مناسب می‌باشد.

برای ساخت یا انتخاب قرقره سیم پیچ‌ها، ابتدا ابعاد قرقره را مطابق شکل (۱۵-۳) نام گذاری می‌کنیم. شکل و ابعاد قرقره ها متنوع می‌باشد. انواع قرقره‌ها، با توجه به ابعاد آنها در جدول (۱۰-۳) در صفحه بعد آمده است.

قرقره‌های استاندارد در ابعاد مختلف با توجه به نوع ورق های هسته ساخته می‌شوند. پس از تعیین نوع ورق EI با توجه به توان ظاهری ترانسفورماتور، از جدول قرقره‌های مربوط به ورق های EI، قرقره مورد نیاز را انتخاب می‌کنیم. در این جدول در شماره‌های یکسان قرقره‌هایی با اندیس‌های مختلف دیده می‌شود قرقره‌های انتخابی بایستی بتواند حجم سیم ترانسفورماتور را در فضای خود جای دهد به این موضوع در فصول بعدی خواهیم پرداخت.



شکل ۱۵-۳- ابعاد قرقره ترانسفورماتور

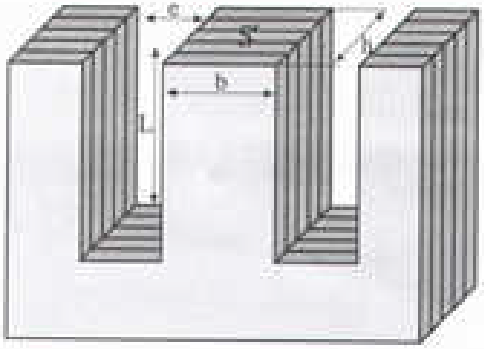
جدول ۱۰-۳- استاندارد ابعاد قرقره‌های هسته EI

نوع	a(mm)	b(mm)	h(mm)	L(mm)
EI 30	19.5	10.5	10.5	14.5
EI 38	25.1	13.3	13.6	18.7
EI 42	27.2	14.5	14.8	20.5
EI 48	31.2	16.5	16.8	23.5
EI 54	35.2	18.5	18.8	26.5
EI 60	39.1	20.6	21	29
EI 66	43.1	22.6	24.7	32
EI 78	51.1	26.6	27.5	38
EI 84 a	55.1	28.6	29.5	41
EI 84 b	51.1	32.6	34.6	41
EI 92 a	67.4	32.6	24.5	47
EI 92 b	67.4	32.6	33.5	47
EI 96 a	62.4	32.6	37.5	50
EI 96 b	62.4	32.6	45.7	50
EI 96 c	62.4	32.6	59.7	50
EI 106 a	75.5	29.6	33.5	55
EI 106 b	75.4	29.6	46.5	55
EI 120 a	77.5	40.8	41.7	59
EI 120 b	77.5	40.8	53.7	59
EI 120 c	77.5	40.8	73.7	59
EI 130 a	92	35.7	37.7	69
EI 130 b	92	35.7	47.7	69
EI 140 a	97	51	49.6	73.5
EI 140 b	97	51	66.6	73.5
EI 140 c	97	51	92.6	73.5
EI 150 a	107	40.7	41.6	79
EI 150 b	107	40.7	51.7	79
EI 150 c	107	40.7	61.7	79
EI 170 a	121	45.7	56.7	94
EI 170 b	121	45.7	66.7	94
EI 170 c	121	45.7	45.7	94
EI 195 a	136	56.5	76.7	124
EI 195 b	136	56.5	57.7	124
EI 195 c	136	56.5	70.7	124
EI 231 a	159	66.5	85.7	143
EI 231 b	159	66.5	80.7	143
EI 231 c	159	66.5	99.7	143

۱ـ۴ـ۳ـ ساخت قرقره های ترانسفورماتور از کاغذ پرشمان:

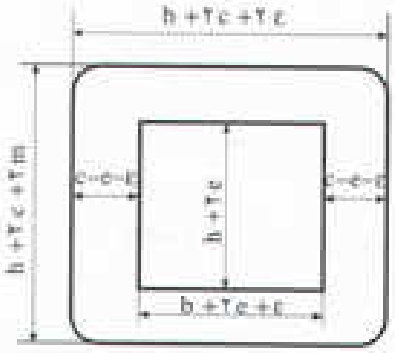
قرقره ترانسفورماتورها با توجه به ورق هسته ساخته می‌شوند. (شکل ۱۶-۳) در ساخت قرقره به اطلاعات کامل هسته نیاز است. اطلاعات مورد نیاز عبارت است از:

- طول و عرض بازوی میانی ورق هسته
- ضخامت ورق
- ضخامت کاغذ پرشمان (e)
- ضریب فضا (e) اندازه ضریب فضا ۰/۳ الی ۰/۵ میلی‌مترمنظور می‌شود.
- سطح مقطع ظاهری هسته S
- طول تیغه L
- عرض تیغه h
- ارتفاع ورق های روی هم $h = \frac{S}{b}$



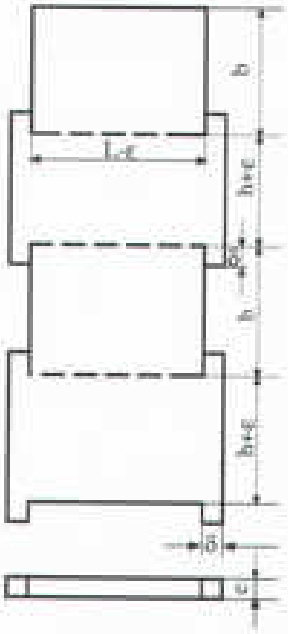
شکل ۱۶-۳

با توجه به ابعاد ورق هسته برای ساختن قرقره دو برش مطابق شکل (الف-۱۷-۳) از کاغذ پرشمان تهیه می‌کنیم اندازه ها را ابتدا روی کاغذ پرشمان پیاده می‌کنیم سپس آن‌ها را برش می‌دهیم. در شکل های داده شده اندازه m را در حدود ۵ میلی‌متر در نظر می‌گیرند.



(الف)

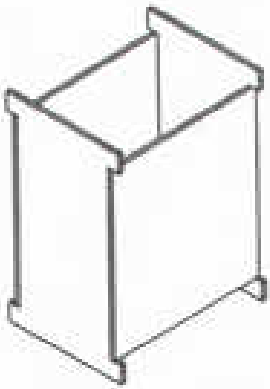
با اندازه‌های استاندارد روی کاغذ پرشمان مطابق شکل (ب-۱۷-۳) بدنه جانبی قرقره را تهیه می‌کنیم. برای این منظور ابتدا، اندازه‌های مورد نیاز را روی کاغذ پرشمان خط کشی می‌کنیم و با قیچی کاغذ را می‌بریم. برای خوب تا شدن وجه‌ها، ابعادی را که با خط چین نشان داده شده‌اند با سوزن خط کش خط می‌اندازیم.



(ب)

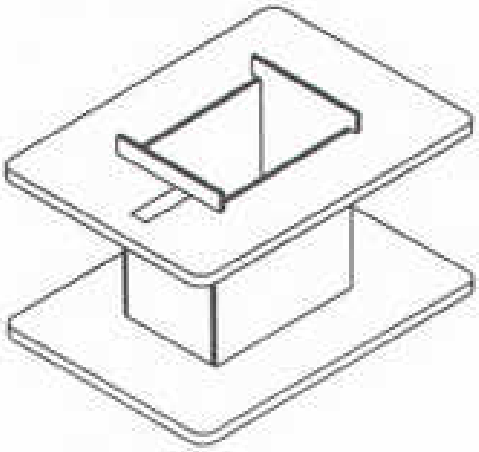
شکل ۱۷-۳

پس از تهیه بدنه قرقره آن را مطابق شکل (۱۸-۳) تا می‌کنیم.



شکل ۱۸-۳

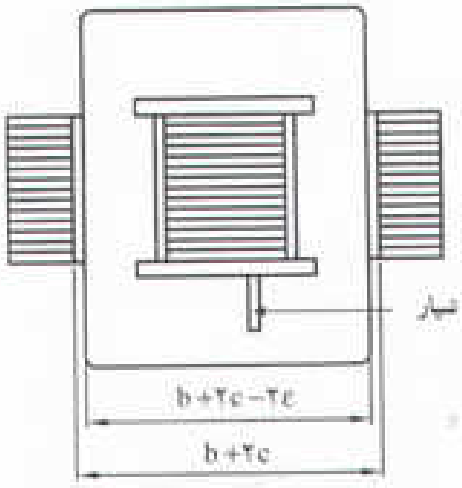
دریوش‌ها را مطابق شکل نصب می‌کنیم. نصب کامل قرقره پس از قراردادن دریوش‌های آن به صورت شکل (۱۹-۳) می‌باشد.



شکل ۱۹-۳

نمای فوقانی قرقره پس از گذاشتن ورق‌های هسته ترانسفورماتور به شکل (۲۰-۳) می‌باشد.

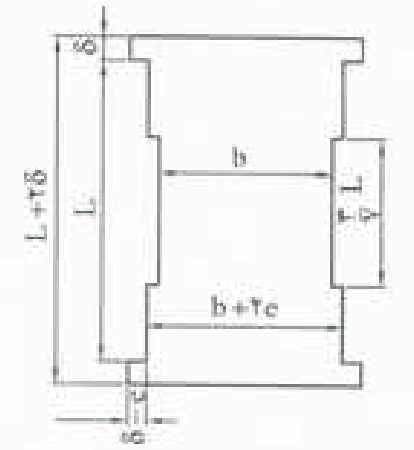
شیار منظور شده در کاغذ پرتسمان به منظور هدایت سیم‌های ورودی و خروجی سیم پیچ ترانسفورماتور می‌باشد.

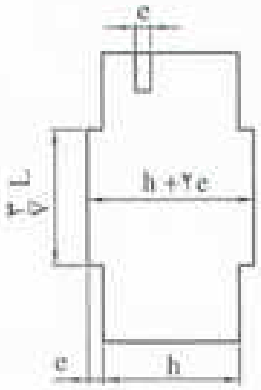


شکل ۲۰-۳

۲ـ۴ـ۳ـ ساخت قرقره ترانسفورماتور از فیبر

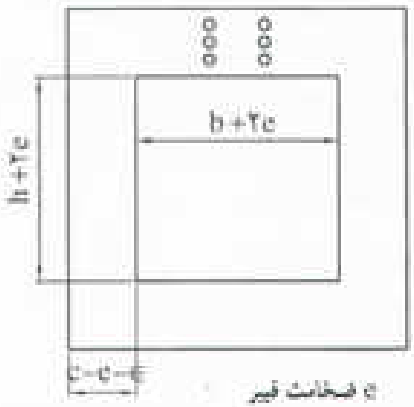
استخوانی: قرقره ترانسفورماتورهایی که سیم‌های سیم پیچ اولیه و ثانویه آن ضخیم‌تر هستند و قدرت بالا دارند از فیبر استخوانی ساخته می‌شوند. فیبرهای استخوانی دوام بیشتری دارند و درجه حرارت بالا را تحمل می‌کنند.



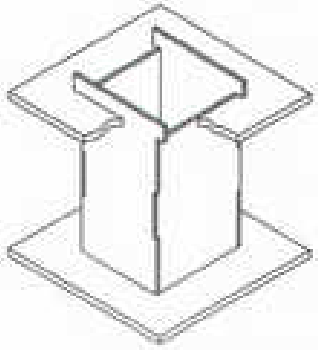


فیبرهای استخوانی در ضخامت‌های ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ میلی‌متر ساخته می‌شوند. برای این منظور از هر نمونه داده شده در شکل‌های (۲۱-۳) دو عدد تهیه می‌کنیم و مطابق شکل (۲۲-۳) آن‌ها را مونتاژ می‌کنیم.

توجه شود هر چقدر توان ترانسفورماتور بیشتر باشد سیم های مورد نیاز آن قطورتر خواهند بود. لذا ضخامت فیبر استخوانی مودر نیاز نیز افزایش می یابد.



شکل ۲۱-۳

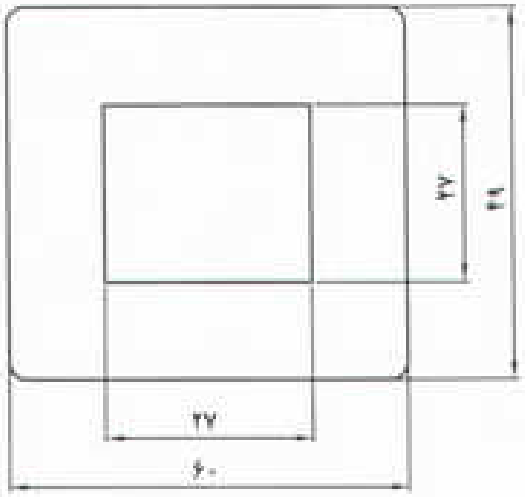


شکل ۲۲-۳

مثال : ابعاد قرقره یک ترانسفورماتور را که از فیبر استخوانی به ضخامت ۱ mm ساخته می شود و دارای مشخصات زیر می‌باشد تعیین کرده و در شکل مربوطه اندازه ابعاد به دست آمده را منظور کنید.

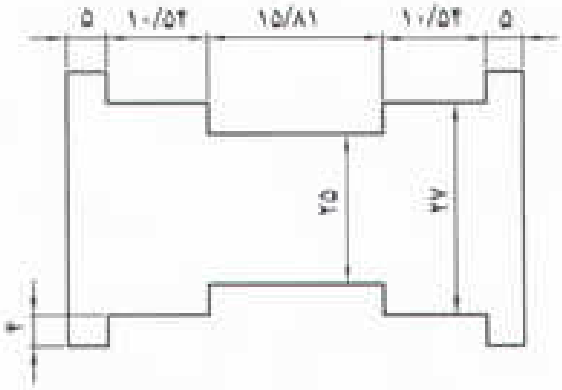
$\delta = ۵\,mm, b = ۲۵\,mm, c = ۱۲/۵\,mm$

$h = ۲۵\,mm, L = ۳۶/۹\,mm$



حل :

ابعاد قرقره با توجه به اندازه‌های $L, \delta, b, e, c, e = ۰/۵\,mm$ براساس شکل (۲۳-۳) خواهند شد.



$b + ۲e = ۲۵ + ۲ = ۲۷$

$b + ۲c - ۲e = ۲۵ + ۲۵ - ۱ = ۴۹$

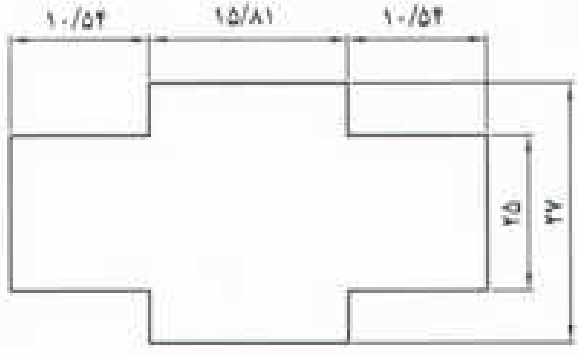
$\frac{۳}{۷}L = \frac{۳}{۷}(۳۶/۹) = ۱۵/۸۱$

$\frac{۲}{۷}L = \frac{۲}{۷}(۳۶/۹) = ۱۰/۹۵$

$h + ۲c + ۲m = ۲۵ + ۲۵ + ۱۰ = ۶۰$

$\delta - e = ۵ - ۱ = ۴$

$h + ۲_e = ۲۵ + ۲ \times ۱ = ۲۷$



شکل ۲۳-۳

۵ـ۳ـ کار شماره ۱ (زمان اجرا: ۶ ساعت)

برای سیم پیچی ترانسفورماتورهای کوچک معمولاً از قرقره‌های آماده که به فراوانی در بازار موجود است استفاده می‌شود. کسب مهارت در ساختن قرقره به منظور تأمین نیاز در موارد خاص مطرح شده است.

۱ـ۵ـ۳ـ هدف:

کسب مهارت در ساختن قرقره ترانسفورماتور.

۲ـ۵ـ۳ـ وسایل و مواد لازم:

ـ کاغذ پرشمان به ضخامت ۰/۵۰ یا ۰/۸۰ میلی‌متر به اندازه $۳۰\ cm \times ۳۰\ cm$

ـ کولیس (شکل ۱- الف) و خط کش میلی‌متری

ـ قیچی (شکل ۱ - ب) و سوزن خط کش و چاقوی موکت بر (کاتر)

ـ چسب مایع

ـ دریل و مته ۲ یا ۳ میلی متری

ـ مداد

۳ـ۵ـ۳ـ نکات ایمنی:

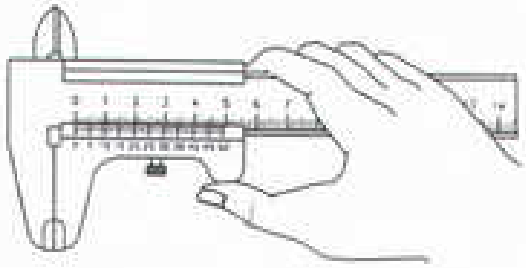
ـ از لباس کار مناسب و کفش ایمنی استفاده کنید. از پوشیدن لباس کار شل و پاره و بنددار اجتناب کنید. (شکل ۱-پ)

ـ هنگام سوراخ کردن قطعات با دستگاه دریل، قطعات را روی گیره دستگاه محکم ببندید.

ـ سرعت کار دستگاه را تنظیم کنید.

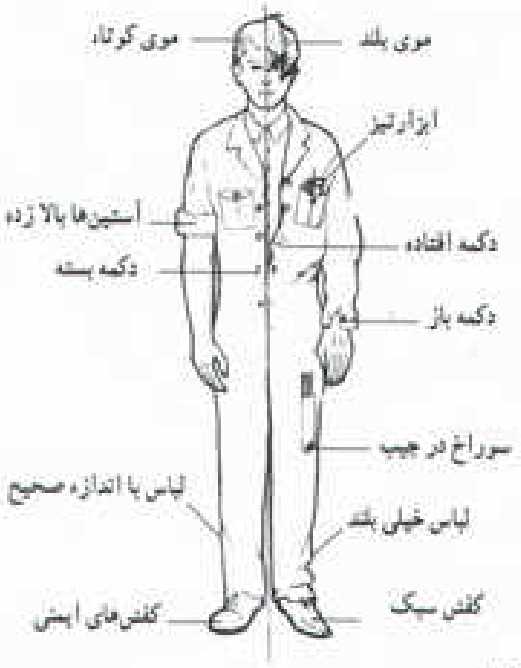
ـ از مته متناسب برای سوراخ کاری استفاده کنید. (شکل ۱-ت)

ـ هنگام کار با مواد شیمیایی از دستکش استفاده کنید.

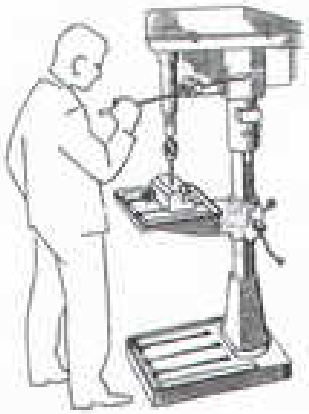


شکل ۱-الف

شکل ۱-ب



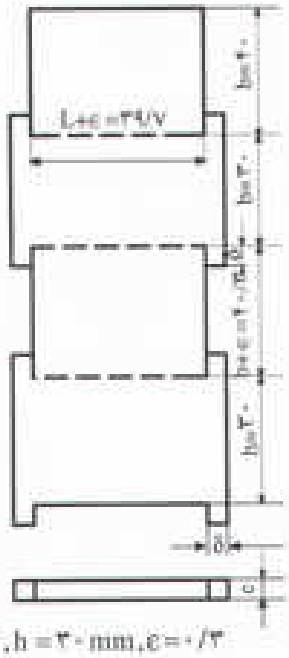
شکل ۱-پ



شکل ۱-ت

۴-۵-۳- مراحل کار:

- ابتدا اندازه‌های داده شده را روی کاغذ پرسمان با مداد و خط‌کش پیاده کنید. (شکل کار ۱-س)
- نقشه کار (۱-س) را با دقت با قیچی ببرید.
- در فصل مشترک سطوح با سوزن خط‌کش یک خط (کم عمق) بیندازید تا به راحتی تا شود.

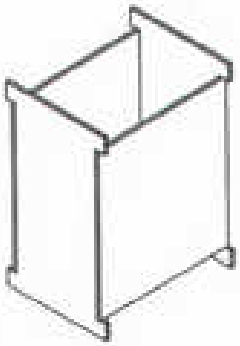


شکل ۱-س

$b=۴۰\,mm, h=۳۰\,mm, c=۰/۳$

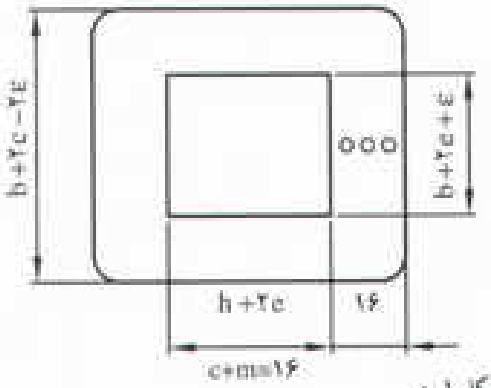
$\delta=۵\,mm, L=۴۰\,mm, c=۲۰\,mm$

- مطابق نقشه کار (۱-ش) کاغذ بریده شده را فرم دهید و تا کنید.



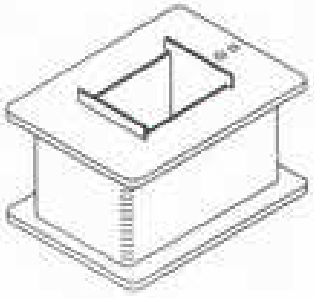
شکل ۱-ش

- نقشه کار (۱-د) را با ابعاد داده شده با مداد و خط کش به تعداد دو عدد در بقیه کاغذ پیاده کنید.



شکل ۱-د

- سوراخ های نشان داده شده را با مته ۲ یا ۳ میلی‌متری ایجاد کنید.
- پنجره های درون را با احتیاط از شکل کشیده شده توسط چاقو موکت بر در آورید.
- با قیچی سطوح را ببرید.
- مطابق نقشه کار (۱-ذ) قرقره را مونتاژ کنید.



شکل ۱-ذ

۶ـ۳ـ کار شماره ۲ (زمان اجرا: ۱۸ ساعت)

۱ـ۶ـ۳ـ هدف:

کسب مهارت در ساختن قرقره ترانسفورماتور

۲ـ۶ـ۳ـ وسایل و مواد لازم :

- فیبر استخوانی به ضخامت ۱ میلی‌متر(۳۰ cm × ۳۰ cm)
- کولیس و خط کش میلی‌متری
- سوزن خط کش
- اره
- دریل و مته ۲ یا ۳ میلی‌متری

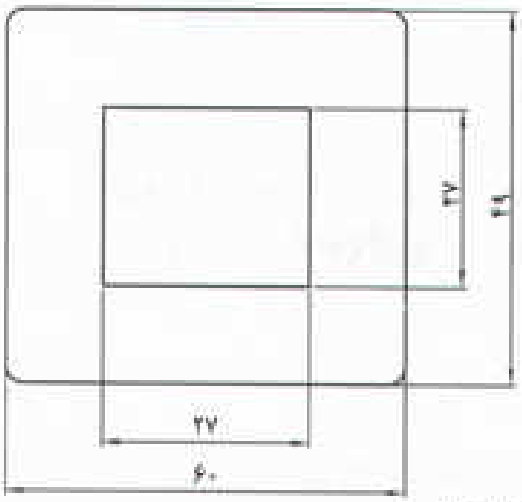
۳ـ۶ـ۳ـ مراحل کار:

- ابعاد داده شده در نقشه کار (۲-الف)، (۲-ب) و (۲-ج) را ابتدا با سوزن خط کش در فیبر استخوانی ۱ میلی‌متری پیاده کنید.

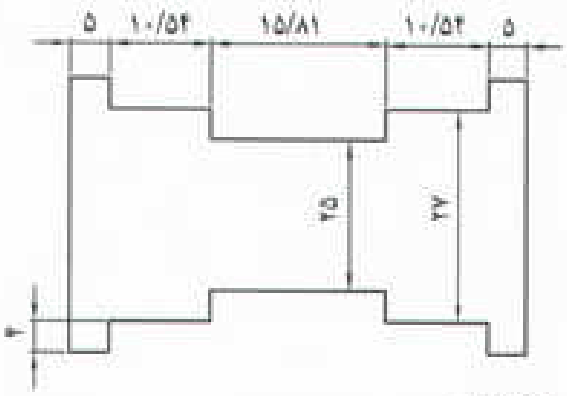
- با اره اجزای شکل را به دقت ببرید. کار را با حوصله و با اصول صحیح انجام دهید تا لب پریدگی در حاشیه سطوح به وجود نیاید.

- محل‌های بریده شده را با سوهان کاملاً صاف کنید.

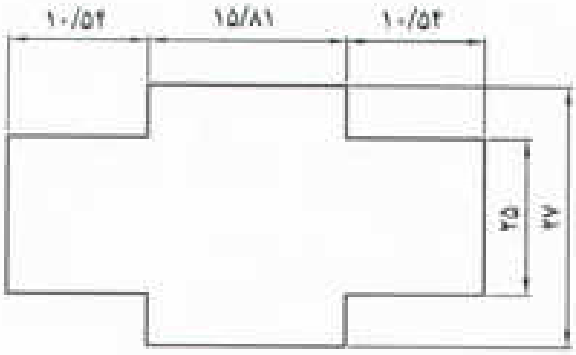
- مطابق نقشه کار (۲-د) قطعات را مونتاژ کنید.



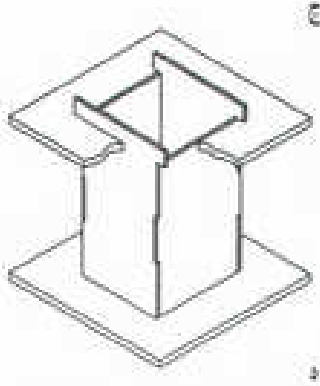
شکل ۲-الف



شکل ۲-ب



شکل ۲-ج



شکل ۲-د

آزمون پایانی (۳)

۱ـ انواع ترانسفورماتور را نام ببرید و کاربرد آن‌ها را در صنعت بیان کنید.

۲ـ دلایل انتخاب آهن، برای هسته ترانسفورماتور را شرح دهید؟

۳ـ چرا در ساخت ترانسفورماتور بیشتر از پرش EI استفاده می‌شود؟

۴ـ مزایای سیم مسی نسبت به سیم آلومینیومی را شرح دهید؟

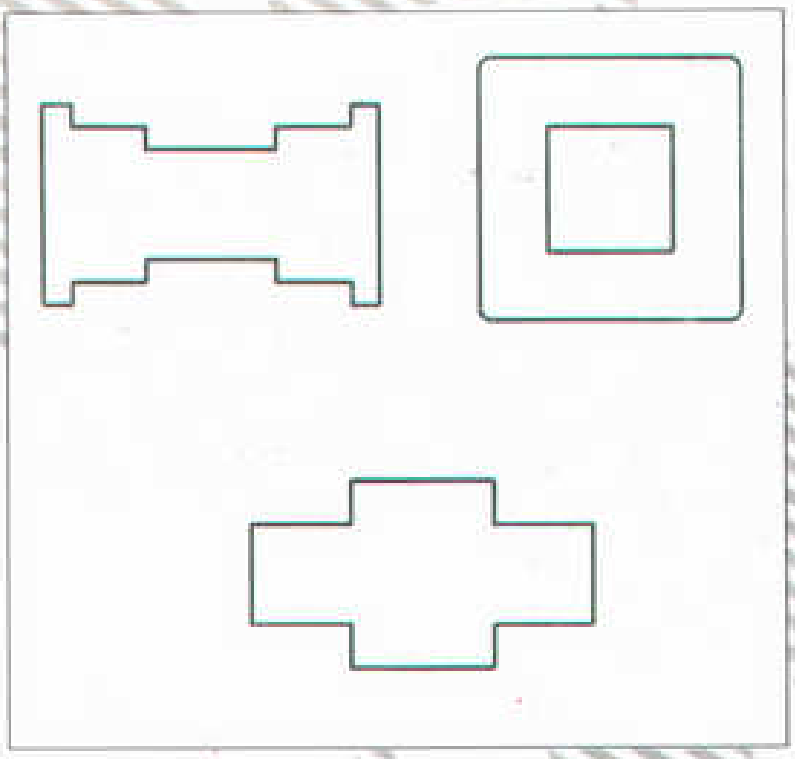
۵ـ دو عامل تعیین کننده در انتخاب ورق‌های هسته و قرقره ترانسفورماتور را بیان کنید.

۶ـ تعداد دور سیم پیچ اولیه یک ترانسفورماتور ۶۰۰ دور با قطر سیم مسی ۰/۵۰ میلی متر می باشد اگر تعداد دور سیم پیچ ثانویه ۱۲۰ دور به قطر ۰/۸۰ میلی متر باشد، سطح اشغالی توسط این دو سیم پیچ چقدر و نوع ورق EI مناسب برای این سیم پیچ ها کدام است؟

۷ـ ابعاد قرقره ترانسفورماتوری که از فیبر استخوانی ۲ mm ساخته می‌شود، دارای مشخصات زیر می‌باشد. اندازه‌های قرقره را بر روی شکل‌های داده شده پیاده کنید.

$b=۲۴\ mm, L_c=۵۳\ mm, h=۲۴\ mm$

$\delta=۵\ mm, c=۱۲\ mm, \epsilon=۰/۵\ mm$



واحد کار چهارم

توانایی محاسبه و سیم‌پیچی ترانسفورماتور و اتو ترانسفورماتور تک فاز تا قدرت ۳ kVA

هدف کلی:

تعیین مشخصات قرقره، نوع ورق هسته و محاسبه قطر و تعداد دور سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور از مشخصات خروجی ترانسفورماتورها و ساخت کامل آن

هدف‌های رفتاری:

فراگیر پس از آموزش این واحد کار قادر خواهد بود:

۱ـ اساس کار ترانسفورماتور را شرح دهد.
۲ـ ترانسفورماتور ایده‌آل را تعریف و فرق آن را با ترانسفورماتور حقیقی بیان کند.
۳ـ افت فشار در ترانسفورماتور را شرح دهد.
۴ـ انواع تلفات در ترانسفورماتور را نام ببرد.
۵ـ مراحل محاسبات سیم‌پیچی را نام ببرد.
۶ـ سطح مقطع هسته را محاسبه کند.
۷ـ تعداد دور و قطر سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را حساب کند.
۸ـ ابعاد قرقره را برآورد کند و قرقره را بسازد.
۹ـ ورق مناسب هسته را تعیین و تعداد آن‌ها را مشخص کند.
۱۰ـ محاسبات مربوط به ترانسفورماتورهای چند ورودی و چند خروجی را انجام دهد.
۱۱ـ اوترانسفورماتور را شرح دهد و مزایا و معایب آن را نسبت به ترانسفورماتور واقعی بیان کند.
۱۲ـ محاسبات اوترانسفورماتور را انجام دهد و آن را بسازد.
۱۳ـ محاسبات عملی ترانسفورماتورها را از منحنی های داده شده انجام دهد.
۱۴ـ انواع ترانسفورماتورهای یک فاز را تا قدرت ۳ kVA بسازد.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۴	۱۶	۲۰

پیش آزمون (۴)

۱ـ با تغییرات بار ترانسفورماتور کدام پارامتر ترانسفورماتور تقریباً ثابت می ماند؟

۱ ـ تلفات مسی
۲ ـ متوسط شار در هسته
۳ ـ افت ولتاژ کلی
۴ ـ جریان اولیه

۲ـ سطح مقطع ظاهری هسته یک ترانسفورماتور ۱۰/۸ سانتی‌متر مربع است حداکثر جریان دریافتی از این هسته تحت ولتاژ ۸ ولت در ثانویه تقریباً چند آمپر است؟

۱ ـ ۱۰
۲ ـ ۱
۳ ـ ۱/۸
۴ ـ ۴

۳ـ نوع ورق مناسب EI برای هسته با سطح مقطع مؤثر ۶/۲۵ سانتی متر مربع کدام است؟

۱ ـ EI ۷۵
۲ ـ EI ۶۶
۳ ـ EI ۷۸
۴ ـ EI ۸۴

۴ـ دور بر ولت یک ترانسفورماتور با هسته مرغوب به سطح مقطع مؤثر ۲/۵ سانتی متر مربع کدام است؟

۱ ـ ۲۰
۲ ـ ۱۵
۳ ـ ۳۰
۴ ـ ۱۸

۵ـ برای جبران افت ولتاژها در سیم‌پیچ های یک ترانسفورماتور، درصدی از تعداد دور اولیه ..... و درصدی از تعداد دور ثانویه را ..... می دهند.

۱ ـ کاهش- کاهش
۲ ـ افزایش - کاهش
۳ ـ افزایش - افزایش
۴ ـ کاهش - افزایش

۶ـ ترانسفورماتوری به توان ۲۵۰ ولت آمپر، در ثانویه ۵۰ ولت را تأمین می‌کند قطر سیم این ترانسفورماتور تقریباً چند میلی‌متر است؟ ۲/۵ = j (آمپر بر میلی‌متر مربع)

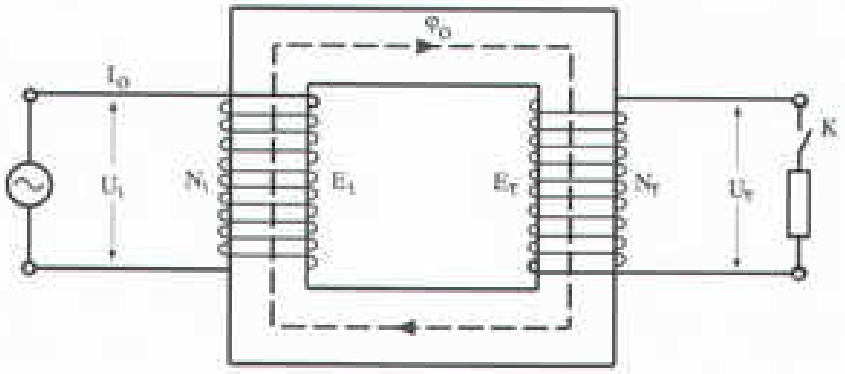
۱ ـ ۱/۶۰
۲ ـ ۲
۳ ـ ۱
۴ ـ ۲/۵

۱ـ۴ـ اساس کار ترانسفورماتور

یاد گرفتیم که یک ترانسفورماتور از یک سیم پیچ اولیه و یک سیم‌پیچ‌ثانویه تشکیل می‌شود. این سیم‌پیچ‌ها بر روی ورق های هسته آهنی از طریق فرقره قرار داده می‌شوند. (شکل ۱-۴) اگر جریان متناوبی (یا هر جریان متغیری) از سیم اولیه عبور کند، در درون سیم پیچ میدان مغناطیسی متغیری به وجود می‌آورد، این میدان در درون سیم پیچ شار مغناطیسی متغیری پدید می‌آورد. قسمت اعظم شار مغناطیسی متغیر به علت مقاومت مغناطیسی (رلاکتانس) خیلی کم هسته، مدار خود را از طریق هسته کامل می‌کند. وقتی که شار مغناطیسی متغیر هسته آهنی را طی می‌کند، سیم‌پیچ‌ها با تغییر شار مغناطیسی مواجه می‌شوند. بنابه قانون فاراده در سیم پیچ ها نیروی محرکه الکتریکی القا می‌شود. نیروی محرکه القایی در سیم پیچ اولیه بنا به قانون لنز با عامل به وجود آورند، خود یعنی تغییر شار مغناطیسی و در نهایت با ولتاژ اولیه مخالفت می‌کند. به همین جهت به نیروی محرکه القایی در سیم پیچ اولیه، نیروی ضد محرکه می گویند.

بزرگی نیروی محرکه القایی در سیم پیچ های اولیه و ثانویه با تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه متناسب است. وقتی مدار سیم پیچ ثانویه باز است امپدانس سیم پیچ اولیه و ولتاژ اولیه و نیروی ضد محرکه القایی در سیم پیچ اولیه در مجموع بزرگی جریان اولیه را تعیین می کنند. به این جریان، جریان بی‌باری می‌گویند. این جریان در هسته آهنی، شار مغناطیسی به وجود می‌آورد که آن را با Φ_0 نشان می دهند. اگر جریان اولیه را با I_0 و امپدانس سیم پیچ اولیه را با Z_1 و نیروی محرکه القایی اولیه را با E_1 نشان دهیم می‌توان نوشت:

$$I_0 = \frac{\vec{V_1} - \vec{E_1}}{Z_1} \quad \text{(جریان بی‌باری)}$$



شکل ۱-۴- ساختمان ترانسفورماتور

اگر در ثانویه کلید K بسته شود نیروی محرکه القایی E_2، جریان I_2 را در مصرف کننده (بار) برقرار می‌کند. این جریان مدار خود را از طریق سیم‌پیچ ثانویه کامل می‌کند. این جریان الکتریکی را در ترانسفورماتورها جریان ثانویه می‌گویند. جریان I_2 به هنگام عبور از سیم‌پیچ ثانویه شار مغناطیسی Φ_2 را ایجاد می‌کند. شکل(۲-۴- ب) Φ_2 با عامل به وجود آورنده‌اش یعنی Φ_0 مخالفت می‌کند. شکل (۲-۴- الف) Φ_2 متناسب با I_2 و در نهایت متناسب با بار است. مخالفت Φ_2 با Φ_0 موجب کاهش E_1 می‌شود و با توجه به رابطه :

$$I = \frac{\vec{V_1} - \vec{E_1}}{Z_1}$$

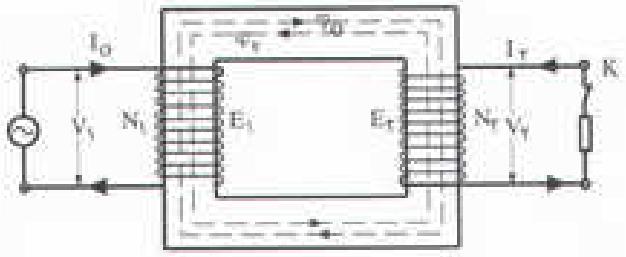
با ثابت بودن V_1 و Z_1 جریان I رشد می‌کند. رشد جریان I به اندازه‌ای است که اثر مغناطیسی Φ_0 ناشی از بار را خنثی می‌کند و مجدداً Φ_0 را در هسته برقرار می‌کند. (شکل ۴-۳)

جریان در سیم پیچ اولیه را در حالت بارداری ترانسفورماتور با I_1 نشان می‌دهند و آن را جریان اولیه می‌گویند.

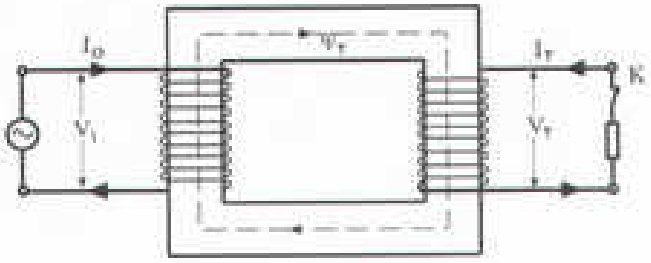
رشد جریان I به اندازه I'_2 است $\left(\vec{I_1} = \vec{I'_2} + \vec{I_0}\right)$ شار ناشی از I'_2 را با Φ'_2 نشان می‌دهند. بزرگی Φ_2 به اندازه Φ'_2 است ولی جهت آن ها در خلاف هم دیگر است. به طوری که اثر هم دیگر را خنثی می‌کنند.

بنابراین شار مغناطیسی در هسته برابر Φ_0 می‌شود. چنانچه مشاهده می‌شود Φ_2 متناسب با بار تولید می‌شود و افزایش جریان اولیه متناسب با بار می‌باشد. تنظیم افزایش جریان اولیه از I به I_1 براساس بزرگی بار ثانویه را خود تنظیمی ترانسفورماتور می‌گویند. (شکل ۴-۴) با توجه به مطالب فوق می توان روابط زیر را بیان کرد.

K را ضریب تبدیل ترانسفورماتور می‌گویند.

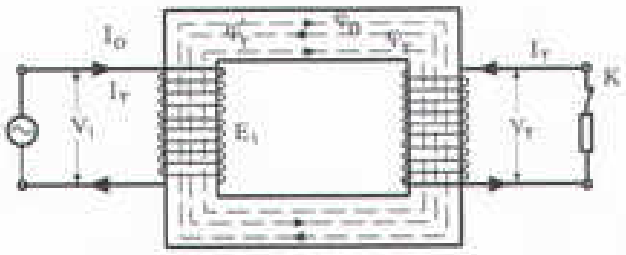


(الف)



(ب)

شکل ۴-۲



شکل ۴-۳

شکل ۴-۴-تمایش برداری جریان‌ها در اولیه

$$\Phi_2 = \Phi'_2$$

$$N_2 I_2 = N_1 I'_2$$

$$I'_2 = \frac{N_2}{N_1} I_2$$

$$K = \frac{N_2}{N_1} \rightarrow I'_2 = K I_2$$

از بررسی اساس کار ترانسفورماتور می توان نتیجه گرفت که یک ترانسفورماتور براساس القای متقابل کار می کند. به عبارت دیگر شار مغناطیسی حاصل از جریان بار، با افزایش جریان اولیه و تولید شار مغناطیسی متقابل خنثی می‌شود. شار مغناطیسی که در درون هسته به گردش در می آید، به علت ماهیت سینوسی بودن جریان اولیه، نسبت به زمان سینوسی تغییر می‌کند. اگر ماکزیمم شار مغناطیسی در هسته را به φ_m نشان دهیم می‌توان نوشت :

$\varphi = \varphi_m \sin(\omega t)$ (شار مغناطیسی در هر لحظه)

$e_1 = -N_1 \frac{d\varphi}{dt}$ (نیروی محرک القایی در سیم‌پیچ اولیه)

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\varphi_m \sin(\omega t))}{dt} = N_1 \omega \varphi_m \cos(\omega t)$$

$e_2 = -N_2 \frac{d\varphi}{dt}$ (نیروی محرک القایی در سیم‌پیچ ثانویه)

$$e_2 = -N_2 \frac{d(\varphi_m \sin(\omega t))}{dt} = -N_2 \omega \varphi_m \cos(\omega t)$$

در معادلات به‌دست آمده اگر دامنه ماکزیمم مقادیر e_1 و e_2 را بنویسیم. (مقادیر ماکزیمم را با E_{1m} و E_{2m} نشان می‌دهیم) خواهیم داشت :

$E_{1_m} = N_1 \omega \varphi_m$

$E_{2_m} = N_2 \omega \varphi_m$

اگر مقادیر مؤثر نیروی محرکه القایی در سیم پیچ اولیه و ثانویه را به E_1 و E_2 نشان دهیم خواهیم داشت :

$E_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{1_m}$

$E_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{2_m}$

با در نظر گرفتن $\omega = 2 \times 3/14 \times f$ و مقادیر ماکزیمم نیروهای محرکه در سیم پیچ های اولیه و ثانویه، به نتایج روبرو خواهیم رسید.

$E_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} N_1 \times 2 \times 3/14 \times f \times \varphi_m$

$E_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} N_2 \times 2 \times 3/14 \times f \times \varphi_m$

در این روابط f فرکانس برق می‌باشد.

$E_1 = 4/44 N_1 . \varphi_m . f$

$E_2 = 4/44 N_2 . \varphi_m . f$

از تقسیم دو رابطه آخری به همدیگر می توان نتیجه گرفت :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

بنابراین نیروی محرکه القایی با نسبت دور سیم‌پیچ‌ها متناسب می‌باشد.

۲ـ۴ـ ترانسفورماتورهای ایده‌آل

ترانسفورماتورهای ایده آل به ترانسفورماتورهایی گفته می‌شود که هیچ گونه تلفات نداشته باشند. به عبارت دیگر توان ورودی(P_1) به سیم پیچ اولیه از منبع تغذیه، بدون کم وکاست در خروجی سیم پیچ ثانویه (P_2) ظاهر شود. این حالت زمانی واقعیت خواهد داشت که شار مغناطیسی تولید شده، تماماً از هسته عبور کند، سیم پیچ های اولیه و ثانویه مقاومت اهمی و القایی نداشته باشند. ترانسفورماتور ایده‌آل در عمل وجود ندارد ولی از آنجا که ترانسفورماتورهای واقعی به ایده‌آل خیلی نزدیک هستند جهت سادگی بررسی و انجام محاسبات مربوطه، ترانسفورماتور را ایده آل فرض می‌کنند. در ترانسفورماتورهای ایده آل داریم:

$$V_1 = E_1 , V_2 = E_2$$
$$P_{S_1} = P_{S_2}$$
$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

و لذا:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

P_{S1} توان ظاهری ورودی بر حسب ولت آمپر، P_{S2} توان ظاهری خروجی برحسب ولت آمپر، I_1 جریان الکتریکی در سیم پیچ اولیه، I_2 جریان الکتریکی در سیم پیچ ثانویه برحسب آمپر، V_1 ولتاژ ورودی، V_2 ولتاژ خروجی در سیم پیچ ثانویه برحسب ولت می‌باشند.

۳ـ۴ـ ترانسفورماتورهای حقیقی (واقعی)

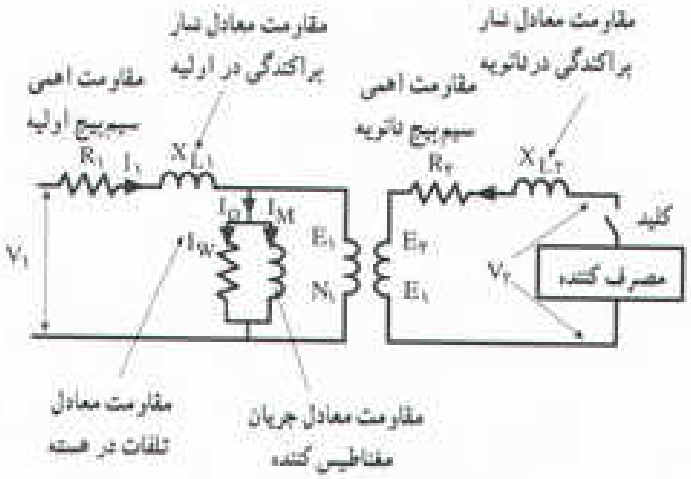
در ترانسفورماتورهای واقعی مقداری از شار مغناطیسی مسیر خود را از طریق هوا می‌بندد و در القای متقابل نیروی محرکه شرکت نمی‌کند. چون این مقدار شار مغناطیسی اثر خود را به صورت کاهش ولتاژ (افت ولتاژ) نشان می‌دهد به آن شار پراکندگی و به افت ولتاژ ناشی از آن افت ولتاژ پراکندگی می‌گویند.

از طرف دیگر سیم پیچ اولیه و ثانویه عملاً دارای مقاومت اهمی هستند. عبور جریان الکتریکی از این سیم پیچ‌ها، مقداری از انرژی ورودی را به انرژی حرارتی تبدیل می‌کند. این مقدار انرژی نیز در تولید نیروی محرکه القایی نقشی نداروبه هدرمی‌رود. این قسمت از انرژی تلف شده را تلفات مسی می‌گویند. مقداری

از انرژی ورودی نیز در هسته آهنی به صورت تلفات هیسترزیس و فوکو از بین می رود که به تلفات هسته (تلفات آهنی) معروف است. در بحث راندمان ترانسفورماتورها در این موارد باز هم صحبت خواهیم کرد.

در ترانسفورماتورهای حقیقی مقداری از ولتاژ ورودی، در مقاومت اهمی و مقداری در مقاومت القایی (مقاومت معادل شار پراکندگی) سیم‌پیچ اولیه افت می کند که به آن افت ولتاژ اولیه می گویند. افت ولتاژ در مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه با جریان اولیه هم فاز است ولی افت ولتاژ در مقاومت القایی، نسبت به جریان اولیه ۹۰ درجه الکتریکی پیش فاز است. به دلیل وجود افت ولتاژها می‌توان نوشت که E_1 (V_1) است.

نیروی محرکه القایی در سیم پیچ ثانویه در زیر بار، مقداری در مقاومت اهمی و القایی سیم پیچ ثانویه افت می کند. افت ولتاژ در مقاومت اهمی با جریان ثانویه هم فاز و در مقاومت القایی ۹۰ درجه از جریان ثانویه پیش فاز است بنابراین در ثانویه V_2 (E_2) می‌باشند. با توجه به مطالب گفته شده، یک ترانسفورماتور واقعی را می توان با مدار معادل الکتریکی به صورت شکل (۵-۴) نشان داد.



شکل ۵-۴- مدار معادل یک ترانسفورماتور واقعی

در این مدار I_W جریان وانه معادل تلفات در هسته و I_M جریان مغناطیس کننده هستند که از جمع برداری آن ها، I_0 (جریان بی باری) حاصل می‌شود. در مدار معادل، تمام کمیت‌ها برداری هستند که به کمک آن‌ها می توان روابط بین ولتاژها و جریان ها را نوشت.

در نوشتن روابط بین کمیت ها لازم است از عملیات برداری استفاده شود.

$$\vec{V_1} = \vec{E_1} + \vec{I_1} \times \vec{R_1} + \vec{I_1} \times \vec{XL_1}$$

$$\vec{E_2} = \vec{V_2} + \vec{I_2} \times \vec{R_2} + \vec{I_2} \times \vec{XL_2}$$

$$\vec{I_1} = \vec{I_0} + \vec{I'_2} = \vec{I_W} + \vec{I_M} + \vec{I'_2}$$

بزرگی بردارهای $\vec{V_1}$، $\vec{E_2}$، $\vec{I_1}$ به بردار $\vec{I_2}$ بستگی دارد. جریان I_2 با ولتاژ خروجی V_2 بسته به نوع بار، ممکن است سه وضع متفاوت داشته باشد. اگر بار اهمی باشد، I_2 با V_2 هم فاز خواهد بود. اگر بار از نوع سلفی اهمی باشد، جریان I_2 نسبت به V_2 پس فاز و در صورت خازنی بودن بار، I_2 نسبت به V_2 پیش فاز می‌باشد.

۴-۴- افت فشار کلی در ترانسفورماتورها

ملاحظه شد که مقداری از ولتاژ ورودی ترانسفورماتور در مقاومت‌های القایی و اهمی سیم‌پیچ اولیه افت می‌کند. این مقدار افت ولتاژ را، افت ولتاژ در سیم پیچ اولیه می‌گویند و آن را با ΔU_1 نشان می‌دهند.

در قسمت بار مقداری از نیروی محرکه ثانویه در مقاومت القایی و مقاومت اهمی سیم پیچ ثانویه افت می کند و ولتاژ دو سر بار کوچک‌تر از نیروی محرکه است. این مقدار افت ولتاژ را، افت فشار در سیم‌پیچ ثانویه می‌گویند و آن را با ΔU_2 نشان می‌دهند.

در اغلب موارد افت ولتاژهای ثانویه را با ضریب تبدیل برحسب مقادیر اولیه حساب می کنند، سپس مجموع برداری افت ولتاژهای اهمی و القایی در دو طرف را محاسبه می کنند که به آن افت ولتاژ کلی گفته می‌شود و آن را با ΔU نمایش می‌دهند. از آنجا که افت ولتاژها در مقدار ولتاژ خروجی ترانسفورماتور مؤثر است، لذا معمولاً افت ولتاژ کلی به صورت درصد برای ترانسفورماتورهای با قدرت متفاوت در جداول ارائه می‌گردد و از آن‌ها در محاسبات سیم‌پیچی ترانسفورماتورها استفاده می‌شود.

۵-۴- تلفات توان در ترانسفورماتورها

چون نوع بار ترانسفورماتور (به علت اهمی، القایی و خازنی بودن آن) نامشخص است، به این علت ترانسفورماتورها را به توان ظاهری خروجی با واحد ولت آمپر (VA) و در توان‌های بالا با واحدهای کیلوولت آمپر (kVA) یا مگاولت آمپر (MVA) معرفی می‌کنند. در محاسبات عملی ترانسفورماتورها، محاسبات براساس توان ظاهری خروجی انجام می‌شود تا ترانسفورماتور بتواند توان معرفی شده را در اختیار مصرف کننده قرار دهد. به این علت لازم است در طرح ترانسفورماتور، تلفات را در نظر گرفت. قسمتی از توان تلف شده در ترانسفورماتورها در مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه و مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ثانویه می‌باشد. به این تلفات، تلفات اهمی یا تلفات ژولی یا تلفات مسی می‌گویند و آن را با P_{cu} نشان می‌دهند. این تلفات چون به بار بستگی دارد به تلفات متغیر نیز معروف است.

از طرف دیگر چون هسته آهنی رسانای الکتریکی است، همواره در معرض تغییر شار مغناطیسی قرار دارد در آن جریان هایی القایی می شود و به طور عرضی از طریق خود هسته، مدار خود را کامل و ایجاد حرارت می کند. اگر این جریان ها کنترل نشوند آسیب شدیدی به هسته وارد می شود و احتمال دارد هسته را ذوب کنند. با حرارت زیاد هسته به عایق سیم پیچ ها صدمه وارد می شود. این جریان‌های القایی در مدار هسته را جریان‌های فوکو یا جریان‌های سرگردان می‌گویند. برای کاهش اثرات آن‌ها، هسته را ورقه ورقه می‌سازند و ورقه ها را نسبت به هم عایق می کنند تا مقاومت الکتریکی زیاد ایجاد شود و بزرگی جریان‌های فوکو کاهش یابد. تلفاتی که توسط جریان‌های القایی ایجاد می‌شود به تلفات فوکو معروف است.

علاوه بر تلفات فوکو در هسته تلفات هیسترزیس نیز وجود دارد این تلفات مربوط به آرایش ملکول های مغناطیسی در هسته ترانسفورماتورهاست. برای کاهش تلفات هیسترزیس ورقه‌های هسته را از آهن سیلیس دار می‌سازند و به آن‌ها ورقه‌های دینامویلش می‌گویند. این ورقه‌ها با مرغوبیت‌های متفاوت ساخته می‌شوند. جنس هسته را از آهن ریخته گری، فولاد ریخته گری، فولاد ورق آبدیده (سیلیکونی) و آلیاژ آهن- نیکل می‌سازند.

تلفات هیسترزیس و تلفات فوکو در مجموع تلفات آهنی نامیده می‌شوند. برای یک ترانسفورماتور که برای فرکانس معینی طراحی می‌شود تلفات آهنی تقریباً ثابت است و به بار ترانسفورماتور بستگی ندارد. به همین جهت آن را تلفات ثابت می‌گویند و با P_{Fe} نشان می‌دهند.

به مجموع تلفات آهنی و تلفات مسی، تلفات کل ترانسفورماتور می‌گویند.

از حاصل تقسیم توان خروجی به توان ورودی راندمان ترانسفورماتور بدست می‌آید یعنی:

$$\eta_{\text{راندمان}} = \frac{P_2}{P_1}$$

راندمان ترانسفورماتورها اغلب بسیار بالاست بطوری که در ترانسفورماتورهای کوچک حدود ۹۰ درصد و در ترانسفورماتورهای بزرگ تا حدود ۹۸ درصد نیز می رسد.

۶ـ۴ـ محاسبات عملی سیم پیچی ترانسفورماتورها

سیم پیچی ترانسفورماتورها را معمولاً در سه مرحله انجام می‌دهند.

مرحله اول (اطلاعات اولیه):

در این مرحله :

۱ـ ولتاژ اولیه تعیین می شود.

۲ـ ولتاژ ثانویه مشخص می گردد.

۳ـ جریان ثانویه و توان خروجی تعیین می‌شود.

۴ـ نوع استفاده از ترانسفورماتور مشخص می‌شود.

مرحله دوم (اجرای محاسبات):

در این مرحله :

۱ـ سطح مقطع هسته برآورد می شود.

۲ـ ابعاد هسته تعیین می شود.

۳ـ تعداد دور اولیه محاسبه می شود.

۴ـ تعداد دور ثانویه محاسبه می شود.

۵ـ قطر سیم پیچ اولیه و ثانویه محاسبه می‌شود.

۶ـ ابعاد قرقره برآورد می شود.

مرحله سوم (تعیین مشخصات پس از سیم پیچی):

در این مرحله :

۱ـ جریان بی باری مشخص می‌شود.

۲ـ ضریب توان بی باری ($\cos\varphi_0$) مشخص می شود.

۳ـ افت مسی مشخص می شود.

۴ـ افت آهنی تعیین می شود.

۵ـ راندمان ترانسفورماتور مشخص می شود.

در این واحد کاری مرحله سوم را از طریق منحنی‌ها دنبال می‌کنیم و روش آزمایشگاهی آن را در واحد کار بعدی دنبال خواهیم کرد.

۱ـ۶ـ۴ـ ولتاژ اولیه: ولتاژ اولیه ترانسفورماتورها، ولتاژ شبکه است که سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور را تغذیه می کند و ممکن است مقدار سیم پیچ اولیه برای یک یا چند مقدار ولتاژ متفاوت محاسبه شده باشد، در اصطلاح ترانسفورماتور را یک ورودی یا چند ورودی می‌گویند. اگر ورودی یک مقدار داشته باشد این مقدار را در مقابل مشخصه $U_1 = \ldots$ می‌نویسند و اگر ورودی سه مقدار داشته باشد مقادیر آنها را در مقابل حروف مشخصه $U_{11} = \ldots, U_{12} = \ldots, U_{13} = \ldots$ منظور می‌کنند.

مثلاً اگر $U_1 = ۲۲۰\,V$ باشد نشان دهنده آن است که این ترانسفورماتور یک ورودی دارد و مقدار آن ۲۲۰ ولت است و اگر $U_{12} = ۳۸۰\,V$ و $U_{11} = ۲۲۰\,V$ باشد بیانگر آن است که ترانسفورماتور با دو ولتاژ ورودی متفاوت کار می‌کند. که مقادیر آن ۲۲۰ ولت و ۳۸۰ ولت است. به عبارت دیگر این ترانسفورماتور در شبکه برق ایران ۲۲۰ ولت خانگی (با یک فاز و سیم نول) و یا با برق دو فاز ۳۸۰ ولت کار می‌کند.

۲ـ۶ـ۴ـ ولتاژ ثانویه: ولتاژ ثانویه براساس ولتاژ تغذیه مصرف‌کننده مشخص می شود این ولتاژ ممکن است از ولتاژ اولیه کم‌تر، بیش‌تر یا برابر با آن باشد.

اگر ولتاژ ثانویه کم‌تر از ولتاژ اولیه باشد ترانسفورماتور را کاهنده می گویند. در این حالت تعداد دور سیم پیچ اولیه بیشتر از تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه می‌باشد. $(N_1 > N_2)$

اگر ولتاژ ثانویه بیشتر از ولتاژ اولیه باشد ترانسفورماتوررا افزاینده می‌گویند. در این حالت تعداد دور سیم‌پیچ اولیه کم‌تر از تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه می‌باشد. $(N_1 < N_2)$

اگر ولتاژ ثانویه برابر ولتاژ اولیه باشد ترانسفورماتور را یک به یک می گویند. در این حالت تعداد دور سیم پیچ اولیه برابر تعدار دور سیم پیچ ثانویه می باشد. $(N_1 = N_2)$

از ترانسفورماتورهای یک به یک برای جداسازی ارتباط الکتریکی بین بار و شبکه استفاده می شود که یک روش حفاظت اشخاص و دستگاه می‌باشد. این نوع ترانسفورماتورها بین بار و شبکه یک ارتباط مغناطیسی برقرار می کنند. به ترانسفورماتورهای یک به یک، ترانسفورماتورهای ایزوله نیز می‌گویند.

خروجی ترانسفورماتورها اگر یک مقدار داشته باشد مقدار آن را در مقابل حروف مشخصه $U_2 = \ldots$ می‌نویسند و اگر خروجی چند مقدار داشته باشد، مقادیر آن‌ها را در مقابل حروف مشخصه $U_{21} = \ldots, U_{22} = \ldots, U_{23} = \ldots$ می‌نویسند. این نوع ترانسفورماتورها را ترانسفورماتورهای چند خروجی می‌گویند.

۳ـ۶ـ۴ـ جریان ثانویه : سطح مقطع هسته ترانسفورماتورها براساس توان خروجی ترانسفورماتورها انتخاب می‌شود و جریان ثانویه از توان خروجی یا برعکس توان خروجی از جریان ثانویه برآورد می‌شود. معمولاً در طرح ترانسفورماتورها، توان خروجی از جریان و ولتاژ ثانویه مشخص می گردد.

اگر ولتاژ خروجی را با U_2 و جریان خروجی را با I_2 نشان دهیم خواهیم داشت :

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

اگر ترانسفورماتوری چند نوع ولتاژ و چند نوع جریان خروجی داشته باشد که هم زمان مورد استفاده قرار می گیرند در این حالت توان خروجی از رابطه زیر تعیین می شود.

$$P_{S_2} = P_{S_{21}} + P_{S_{22}} + P_{S_{23}} + P_{S_{24}} + \dots$$
$$P_{S_2} = U_{21} \times I_{21} + U_{22} \times I_{22} + U_{23} \times I_{23} + U_{24} \times I_{24} + \dots$$

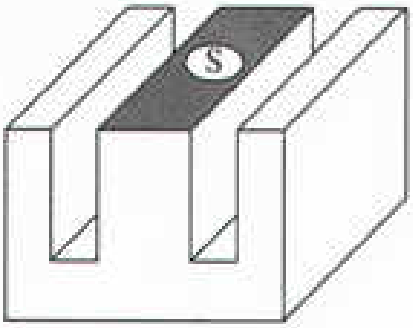
۴ـ۶ـ۴ـ جریان اولیه : جریان اولیه را از توان ورودی و ولتاژ تغذیه در سیم پیچ اولیه بدست می‌آوریم. در محاسبات عملی ترانسفورماتور معمولاً راندمان ۹۰٪ (نود درصد) فرض می‌شود. پس می‌توان نوشت :

$$\text{(توان ورودی)}\quad P_{S_1} = \frac{P_{S_2}}{\eta} = \frac{P_{S_2}}{0.9}\ \text{V.A}$$

$$\text{(جریان اولیه جریان اولیه)}\quad I_1 = \frac{P_{S_1}}{U_1}\ \text{A}$$

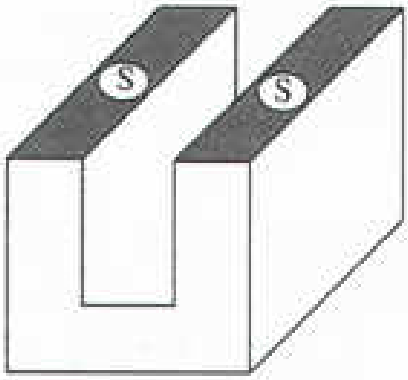
۵ـ۶ـ۴ـ نوع استفاده از ترانسفورماتورها: در ترانسفورماتورهای دایم کار و موقت کار نوع محاسبات متفاوت است. از نظر اقتصادی بنا به نوع کار ترانسفورماتور، ضریبی به نام ضریب کاربرد برای آن منظور می کنند. در صورتی که کار ترانسفورماتور دایمی باشد این ضریب کامل منظور می‌شود ولی چنانچه کار ترانسفورماتور موقت و کوتاه زمان باشد از ضرایبی استفاده می شود که ابعاد ترانسفورماتور کوچک‌تر شده و ارزان‌تر تمام شود. در محاسبات آتی در همه حالات ترانسفورماتور دائم کار، فرض می شود لذا ضریب نوع کار یک، در نظر گرفته شده و دخالتی در محاسبات نخواهد داشت.

۶ـ۶ـ۴ـ سطح مقطع هسته: سطح مقطع هسته، سطح مؤثر هسته آهنی است که شار مغناطیسی از آن عبور می‌کند. در بعضی از ترانسفورماتورها سطح مقطع به گونه‌ای انتخاب می‌شود که هسته سریع به اشباع برسد. این ترانسفورماتورها در ایجاد امواج ضربه‌ای (پالس یا تب) کاربرد دارند، ولی در ترانسفورماتورهای قدرت سطح مقطع هسته را به گونه‌ای در نظر می‌گیرند که ترانسفورماتور در منطقه خطی [1] کار کند و به توان ضریب تبدیل $K=\frac{N_2}{N_1}$ را در کمیت‌های الکتریکی اعمال کرد.



الف - هسته نوع EI

در شکل‌های (۶-۴-الف و ب) دو نوع مختلف هسته UI و EI نشان داده شده است.



ب - هسته نوع UI

شکل ۶-۴- سطح مقطع انواع هسته

اندازه سطح مقطع مؤثر هسته از رابطه $S=K\times\sqrt{P_2}$ تعیین می‌شود. K ضریبی است که در فاصله بین ۰/۸ تا ۱/۲ بسته به توان ترانسفورماتور تغییر می‌کند.

در ترانسفورماتورهای کوچک $K=1/2$ و در ترانسفورماتورهای پر قدرت $K=0/8$ در نظر گرفته می‌شود. در رابطه بالا P_2 توان ظاهری در خروجی ترانسفورماتور می‌باشد که برحسب ولت آمپر (V.A) بیان می‌شود. S سطح مقطع مؤثر هسته بر حسب سانتی متر مربع(cm^2) می‌باشد.

برای کاهش تلفات فوکو هسته ترانسفورماتورها، ورق ورق ساخته می‌شود. ورق ورق کردن هسته سبب می‌شود که مقدار مؤثر سطح مقطع آن‌ها کاهش یابد. برای جبران میزان کاهش آن از سطح مقطع ظاهری استفاده می‌شود برای تعیین سطح مقطع ظاهری از ضریب تورق ۰/۹۰ الی ۰/۹۵ استفاده می‌شود. اگر سطح مقطع ظاهری را با S' نشان دهیم از رابطه مقابل می‌توان آن را محاسبه کرد.

$$\text{سطح مقطع ظاهری هسته} = \frac{\text{سطح مقطع مؤثر}}{\text{ضریب تورق}}$$

$$S'=\frac{S}{0/90}=1/1\times S\ cm^2$$

۱- در منطقه خطی مغناطیسی با افزایش جریان سیم‌پیچ شار در هسته متناسب با آن زیاد می‌شود و هسته به اشباع نمی‌رود.

مثال: سطح مقطع هسته ترانسفورماتور به مشخصه $P_t = 1\,kVA$ را تعیین کنید.

حل:

سطح مقطع مؤثر هسته آهنی

$$S = 1/2\sqrt{P_t} = 1/2\sqrt{1\times1000} = 38\,cm^2$$

سطح مقطع ظاهری هسته آهنی

$$S' = 1/1\times S = 1/1\times38 = 41/8\,cm^2$$

مثال: سطح مقطع هسته ترانسفورماتور با ولتاژ $U_2 = 12$ و $I_2 = 4\,A$ جریان را بدست آورید.

حل:

$$P_t = U_t \times I_t = 12\times4 = 48\,V.A$$

$$S = 1/2\sqrt{P_t} = 1/2\sqrt{48} = 8/31\,cm^2$$

$$S' = 1/1\times S = 1/1\times8/31 = 9/14\,cm^2$$

۷ـ۶ـ۴ـ ابعاد هسته: با تعیین سطح مقطع هسته از روابط زیر، نوع هسته را تعیین می‌کنیم. معمولاً ضخامت (ارتفاع) هسته کمی بیشتر از عرض (پهنای بازو) هسته در نظر گرفته می‌شود.

۱ـ نوع هسته EI $\Leftarrow S \times 30 \geq \sqrt{}$ نوع هسته EI

۲ـ نوع هسته UI $\Leftarrow S \times 30 \geq \sqrt{}$ نوع هسته U

۳ـ نوع هسته L $\Leftarrow S \times 30 \geq \sqrt{}$ نوع هسته L

(کاربرد خیلی کم)

۴ـ نوع هسته EE $\Leftarrow S \times 33\frac{1}{3} \geq \sqrt{}$ نوع هسته EE

۵ـ نوع هسته 3 UI $\Leftarrow S \times 50 \geq \sqrt{}$ نوع هسته 3 UI

۶ـ نوع هسته M $\Leftarrow S \times 40 \geq \sqrt{}$ نوع هسته M

تعداد ورق‌های مورد نیاز با توجه به نوع انتخاب از رابطه مقابل تعیین می‌شود.

$$\text{تعداد ورق‌ها } n = \frac{\text{ضخامت (ارتفاع)}}{\text{ضخامت یک ورق}}$$

در انتخاب نوع ورق‌ها، نزدیک‌ترین ورق موجود در جدول استاندارد را انتخاب می‌کنیم.

مثال: نوع ورق مناسب برای هسته ترانسفورماتور با ولتاژ $U_2 = 9V$ و جریان $I_2 = 4A$ را بدست آورید.

حل:

$$P_{S_t} = U_t \times I_t = 9\times4 = 36\,V.A$$

$$S = 1/2\sqrt{P_{S_t}} = 1/2\times\sqrt{36} = 7/2\,cm^2$$

$$S \times 30 \geq \sqrt{} = 30\times\sqrt{7/2} = 80/49 \text{ نوع هسته EI}$$

از جدول شکل (۱-۳) برش ورق EI، نوع ورق مناسب EI ۷۸ می‌باشد. به طوری که از جدول مشاهده می‌شود عرض بازوی وسط ورق f=۲۶ mm می‌باشد. بنابراین ضخامت هسته از رابطه $\frac{S'}{f}$ بدست می‌آید. اگر ضخامت هر ورق را ۰/۵ میلی‌متر فرض کنیم خواهیم داشت:

$$\text{ضخامت هسته } \frac{S'}{f}=\frac{۷/۲\times۱۰۰\,mm^{۲}\times۱۰۱}{۲۶\,mm}=۳۰/۴۶\,mm$$

$$\text{تعداد ورق‌ها } n=\frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت یک ورق}}=\frac{۳۰/۴۶}{۰/۵}=۶۱$$

۸ـ۶ـ۴ـ محاسبه تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه:

مبنای محاسبات تعداد دورهای اولیه و ثانویه رابطه $E=۴/۴۴\times f\times B_m S\times N$ می‌باشد. عملاً در محاسبات برای سادگی عمل E را یک ولت در نظر می‌گیرند و تعداد دور را برای یک ولت بدست می‌آورند و آن را دور بر ولت می‌گویند و با N_V نشان می‌دهند. پس از تعیین N_V، براساس ولتاژهای سیم پیچ های اولیه و ثانویه و در نظر گرفتن افت ولتاژها، تعداد دورهای اولیه و ثانویه را تعیین می‌کنند.

$$E=۴/۴۴\times f\times B_m S\times N$$

$$\text{دور بر ولت } E=۱V\Rightarrow N_V=\frac{۱۰^{۸}}{۴/۴۴\times f\times B_m\times S}$$

S برحسب سانتی‌مترمربع و B_m برحسب گوس است.

اگر B_m=۱/۲ تسلا یا B_m=۱۲۰۰۰ گوس و f= ۵۰ Hz باشد دور بر ولت از رابطه ساده شده $N_V=\frac{۳۷/۵}{S(cm^{۲})}$ تعیین می‌شود.

اگر B_m=۱ تسلا یا B_m=۱۰۰۰ گوس و f= ۵۰ Hz و باشد دور بر ولت از رابطه ساده شده $N_V=\frac{۴۵}{S(cm^{۲})}$ تعیین می‌شود.

توجه: اگر در ساخت ترانسفورماتورها به ورق‌های با جگالی B_m=۱۲۰۰۰ یا B_m=۱۰۰۰ گوس دسترسی نداشته باشیم یا فرکانس شبکه ۵۰ Hz نباشد، لازم است دور بر ولت را از رابطه اصلی $N_V=\frac{۱۰^{۸}}{۴/۴۴\times f\times B_m\times S}$ محاسبه کرد. افت ولتاژ را در محاسبات ترانسفورماتورها به دو طریق به کار می‌برند.

۱ـ تعداد دور سیم پیچ اولیه را متناسب با نصف درصد افت ولتاژ کل کاهش و تعداد دور ثانویه متناسب با نصف درصد افت ولتاژ افزایش می‌دهند.

۲ـ تعداد دور سیم پیچ اولیه را تغییر نمی‌دهند و تعداد دور ثانویه را متناسب با درصد افت ولتاژ کل افزایش می‌دهند. میزان افت ولتاژ با توجه به توان ترانسفورماتور تغییر می‌کند. در جدول (۱-۴) افت ولتاژ برحسب توان خروجی نشان داده شده است.

جدول ۱-۴- افت ولتاژ ترانسفورماتورها

قدرت VA	5	10	25	50	75	100	150	200	300	400	750	1000	1500	2000	3000	3500
درصد افت ولتاژ	20	17	14	12	10	9	8	7.5	7	6.5	5	4	3	2	5	1

مثال: ترانسفورماتوری با مشخصات ۲۰۰ V.A با ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه ۱۲ ولت مورد نیاز است. هسته این ترانسفورماتور از نوع مرغوب با چگالی B_m=۱۲۰۰۰ G و ضخامت هر ورق ۰/۵۰ mm و فرکانس شبکه ۵۰ هرتز می‌باشد. تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه، نوع هسته و تعداد ورق‌های هسته را با شرایط زیر معین کنید.

۱ـ بدون در نظر گرفتن افت ولتاژ، در اولیه.
۲ـ با در نظر گرفتن افت ولتاژ در اولیه.

حل: ۱ـ بدون افت ولتاژ در اولیه

از جدول (۱-۴) افت ولتاژ برابر ۳۷/۵٪ بدست می‌آید:

$$S=۱/۲\sqrt{P_2}=۱/۲\sqrt{۲۰۰}=۱۶/۹۷\ cm^2$$

$$N_1=\frac{۱۰^۸}{۴/۴۴\times۵۰\times۱۲۰۰۰\times۱۶/۹۷}=۲/۲۱$$

یا $$N_1=\frac{۳۷/۵}{S(cm^2)}=\frac{۳۷/۵}{۱۶/۶۷}=۲/۲۱$$

دور $$N_1=N_1\times U_1=۲/۲۱\times۲۲۰=۴۸۶$$

$$N_2=(۱+\Delta U)\times N_1\times U_2$$

دور $$N_2=(۱+۰/۰۷۵)\times۲/۲۱\times۱۲\cong۲۹$$

حل: ۲ـ با منظور کردن افت ولتاژ در اولیه

$$N_1=\left(۱-\frac{\Delta U}{۲}\right)\times N_1\times U_1$$

دور $$N_1=\left(۱-\frac{۰/۰۷۵}{۲}\right)\times۲/۲۱\times۲۲۰=۴۶۸$$

$$N_2=\left(۱+\frac{\Delta U}{۲}\right)\times N_1\times U_2$$

دور $$N_2=\left(۱+\frac{۰/۰۷۵}{۲}\right)\times۲/۲۱\times۱۲=۲۷/۵\cong۲۸$$

نوع EI $\quad ۳۰\times\sqrt{S}=۳۰\times\sqrt{۱۶/۹۷}=۱۲۳/۵۸\leq$

از جدول EI نوع مناسب E، EI۱۲۰ می‌باشد که عرض زبانه وسط این نوع ورق f=۴۰ mm می‌باشد. بنابراین:

ضخامت هسته

$$\frac{S'}{f}=\frac{۱۶۹۷}{۴۰}=\frac{۱۸۴۶/۶۷}{۴۰}\cong۴۶/۶۶\ mm$$

تعداد ورق‌های مورد نیاز

$$n=\frac{۴۶/۶۶}{۰/۵}=۹۳/۳۳\ \text{عدد}\rightarrow۹۴$$

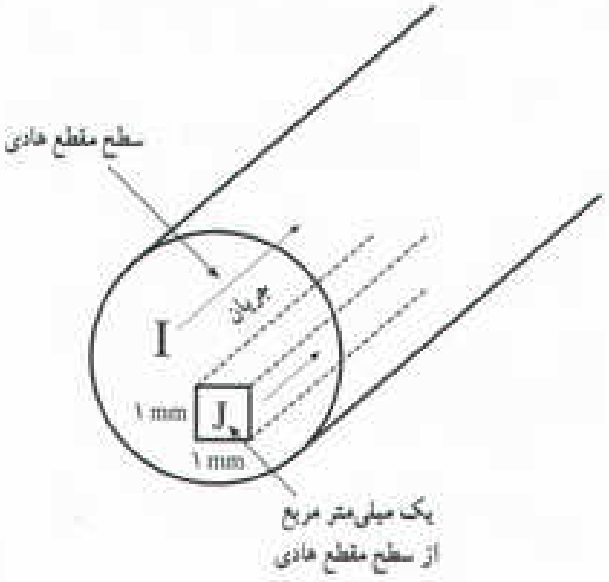
۹ـ۶ـ۴ـ تعیین قطر سیم اولیه و ثانویه: در تعیین قطر سیم‌های اولیه و ثانویه باید اصول زیر رعایت شود.

۱ـ تلفات مسی حداقل باشد.

۲ـ وزن سیم به کار رفته حداقل باشد.

۳ـ سیم‌های انتخابی، جریان‌های اولیه و ثانویه را به راحتی تحمیل کنند.

با توجه به اصول فوق در انتخاب، قطر سیم به توان و چگالی جریان بستگی دارد.



جریان کل هادی = I

چگالی جریان = J

۱۰ـ۶ـ۴ـ چگالی جریان (J): بزرگی شدت جریانی است که هر میلی‌مترمربع از یک سیم، آن را تحمل می‌کند. واحد آن آمپر بر میلی‌مترمربع است.

$$J = \frac{I}{A}\ A/mm^2 \quad \text{(چگالی جریان)}$$

در جدول (۲-۴) ارتباط توان و چگالی در ترانسفورماتورها نشان داده شده است.

با توجه به جدول و تعقیب محاسبات، قطر سیم را در اولیه و ثانویه بدست می‌آوریم.

$$J = \frac{I}{A}\ A/mm^2 \quad \text{(چگالی جریان)}$$

$$A = \frac{I}{j}\ mm^2 \quad \text{سطح مقطع سیم}$$

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

$$d_1 = 1/13\sqrt{A_1}\ mm \quad \text{قطر سیم اولیه}$$

$$A_2 = \frac{\pi d_1^2}{4} \Rightarrow d_2 = \sqrt{\frac{4 \times A_2}{\pi}} \quad \text{قطر سیم ثانویه}$$

جدول ۲-۴- چگالی جریان سیم‌های مسی با توجه به توان در ترانسفورماتورها

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

مثال: یک ترانسفورماتور تک فاز با ولتاژ ۲۲۰V/۶V و جریان ۶A مورد نیاز است مطلوب است:

۱ـ تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه.

۲ـ قطر سیم اولیه و ثانویه.

۳ـ نوع ورق EI و تعداد ورق‌ها (ضخامت هر ورق ۰/۵ میلی‌متر است و چگالی میدان آن ۱۲۰۰۰ گوس می‌باشد.)

۴ـ ابعاد قرقره (ضخامت فیبر ۱ mm می‌باشد.)

حل:

۱ـ تعیین تعداد دور اولیه و ثانویه

$U_1 = ۲۲۰V, U_2 = ۶V, I_2 = ۶A$

$P_{S_2} = U_2 \times I_2 = ۶ \times ۶ = ۳۶ V.A$

$S = ۱/۲ \times \sqrt{P_2} = ۱/۲ \times \sqrt{۳۶} = ۷/۲ cm^2$

$N_v = \frac{۳۷/۵}{S} = \frac{۳۷/۵}{۷/۲} = ۵/۲۰$ دور بر ولت

$N_1 = U_1 \times N_v = ۲۲۰ \times ۵/۲۰ = ۱۱۴۴$ دور

با مراجعه به جدول (۱-۴) مشاهده می‌شود که افت ولتاژ بین ۱۲٪ و ۱۴٪ می‌باشد لذا مقدار آن را ۱۳٪ در نظر می‌گیریم.

$N_2 = U_2 \times N_v \times (1 + \Delta U)$

$N_2 = ۶ \times ۵/۲ \times (۱ + ۰/۱۳) = ۳۱/۶ \cong ۳۲$

۲ـ محاسبه قطر سیم اولیه و ثانویه

از جدول (۲-۴) چگالی جریان برای $P_{S_1}=۳۶$ V.A برابر $۴ A/mm^۲$ بدست می‌آید.

$$P_{S_1}=\frac{P_{S_1}}{۰/۹}=\frac{۳۶}{۰/۹}=۴۰ V.A$$

$$I_1=\frac{P_{S_1}}{U_1}=\frac{۴۰}{۲۲۰}=۰/۱۸۱ A$$

$$A_1\frac{I_1}{J}=\frac{۰/۱۸}{۴}=۰/۰۴۵ mm^۲$$

$$d_1=۱/۱۳\times\sqrt{A_1}=۱/۱۳\times\sqrt{۰/۰۴۵}=۰/۲۴ mm$$

$$A_۲=\frac{۶}{۴}=۱/۵ mm^۲$$

$$d_۲=۱/۱۳\times\sqrt{۱/۵}=۱/۳۸ mm$$

۳ـ تعیین ابعاد هسته

نوع هسته $EI۳۰\times\sqrt{S}=۳۰\times\sqrt{۷۲}=۸۰/۴۹$

ورق استاندارد $=EI۷۸$

از جدول $f=۲۶ mm$

$$h=\frac{S'}{f}=\frac{۷۲۰\times۱/۱}{۲۶}=۳۰/۴۶ mm$$

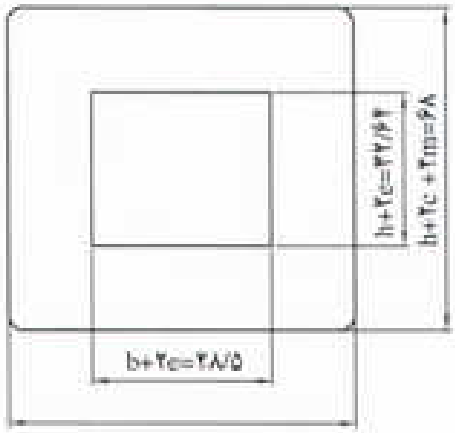
تعداد ورق‌ها $=\frac{۳۰/۴۶}{۰/۵}=۶۱$ عدد

۴ـ تعیین ابعاد قرقره

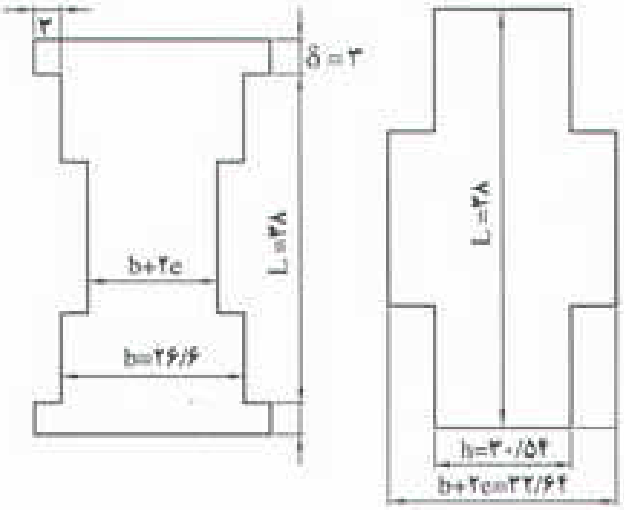
از جدول (۳-۱۰) قرقره EI ۷۸ را انتخاب می‌کنیم ابعاد این قرقره به قرار زیر است.

$a=۵۱/۱ mm \quad b=۲۶/۶ mm$

$h=۳۰/۶۴ mm \quad L=۳۸ mm$



ابعاد قرقره از فیبر استخوانی به صورت شکل (۷-۴) می‌باشد.



شکل ۷-۴

با توجه به ابعاد قرقره‌ها ملاحظه می‌شود که در قرقره آماده مقدار h کمی کم‌تر از مقدار محاسبه شده است. لذا سطح مقطع آهن هسته کوچک‌تر خواهد شد. در این صورت لازم است تا محاسبات تعداد دور سیم پیچ‌ها مجدداً براساس سطح مقطع انتخاب شده، محاسبه و اصلاحات لازم انجام شود. در مثال فوق خواهیم داشت:

در محاسبه فضای مورد نیاز برای سیم‌پیچ‌ها، مقادیر جدید باید لحاظ شوند. در مثال‌های حل شده در این کتاب فرض بر آن بوده که از قرقره فیبری که براساس محاسبات ساخته شده‌اند استفاده می‌شود. لذا چنانچه خواسته باشیم از قرقره آماده استفاده کنیم بایستی محاسبات را به صورت فوق انجام دهیم.

پس از محاسبات تعداد دور و قطر سیم‌های اولیه و ثانویه و تعیین قرقره، فضای قرقره را برای سیم‌پیچ‌ها، مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور با توجه به جدول داده شده فضای لازم را برای سیم‌پیچ‌ها حساب می‌کنیم.

انتخابی $S' = h \times f = ۷۱۵\,mm^۲ = ۷۸۵\,cm^۲$

انتخابی $S = ۰/۹S' = ۰/۹ \times ۷۸۵ = ۶/۴۳\,cm^۲$

دور بر ولت $N_۱ = \frac{۳۷/۵}{۶/۴۳} = ۵/۸$

دور $N_۱ = ۲۲۰ \times ۵/۸ = ۱۲۷۶$

دور $N_۲ = ۶ \times ۵/۸(۱+۰/۱۳) = ۳۵$

جدول ۳-۴- تعداد حلقه‌های سیم که در هر cm^2 جای می‌گیرد.

قطر سیم mm	تعداد حلقه در هر cm^2	قطر سیم mm	تعداد حلقه در هر cm^2	قطر سیم mm	تعداد حلقه در هر cm^2	قطر سیم mm	تعداد حلقه در هر cm^2	قطر سیم mm	تعداد حلقه در هر cm^2
0.05	20000	0.17	2250	0.29	800	0.45	370	1.10	67
0.06	15000	0.18	2000	0.30	770	0.50	300	1.20	55
0.07	11000	0.19	1800	0.31	720	0.55	250	1.30	45
0.08	9000	0.20	1650	0.32	690	0.60	210	1.40	40
0.09	7000	0.21	1500	0.33	650	0.65	180	1.50	33
0.10	6000	0.22	1400	0.34	600	0.70	160	1.60	28
0.11	5000	0.23	1300	0.35	580	0.75	140	1.70	24
0.12	4400	0.24	1200	0.36	540	0.80	120	1.75	20
0.13	3600	0.25	1100	0.37	520	0.85	110	1.80	17
0.14	3200	0.26	1000	0.38	500	0.90	100	1.90	14
0.15	2800	0.27	950	0.39	475	0.95	90	2.00	12
0.16	2500	0.28	870	0.40	450	1.00	83		

۱۱ـ۶ـ۴ـ تعیین فضای مورد نیاز سیم‌پیچ‌ها:

فضای مورد نیاز برای سیم‌پیچ‌ها از رابطه $(A_1+A_2)\times 1/35$ محاسبه می‌شود. در این رابطه A_1 و A_2 سطوحی هستند که سیم‌پیچ‌های اول و دوم اشغال می‌کنند.

حاصل $(A_1+A_2)\times 1/35$ باید کوچکتر از $F\times L$ باشد.

$$(A_1+A_2)\times 1/35 \le C\times L$$

مقادیر A_1 و A_2 را با مراجعه به جدول (۳-۴) به دست می‌آوریم و ۱/۳۵ ضریب فضای اضافی می‌باشد که توسط قرقره و عایق‌ها اشغال می‌شود. L طول موثر قرقره و C عرض شکاف هسته می‌باشد، که از جداول بدست می‌آید.

از جدول (۳-۴) در هر سانتی‌متر مربع، ۱۲۰۰ حلقه سیم ۰/۲۲ mm و تقریباً ۲۰ دور سیم ۱/۳۸ mm جا می‌شود.

پس:

$$A_1=\frac{N_1}{\text{تعداد حلقه‌ها در هر } cm^2}=\frac{1144}{1200}=0.953\ cm$$

$$A_2=\frac{N_2}{\text{تعداد حلقه‌ها در هر } cm^2}=\frac{37}{40}=0.925\ cm^2$$

$$C=12/45\ mm$$

$$L=38\ mm=3/8\ cm$$

$$(A_1+A_2)\times 1/35=(0.953+0.925)\times 1/35=2/54\ cm^2$$

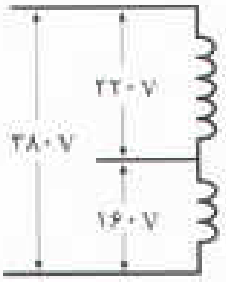
$$C\times L=1/225\times 3/8=2/655$$

$$(A_1+A_2)\times 1/35=2/54\ cm^2 \quad (C\times L=2/655$$

بنابراین فضای کافی برای سیم‌پیچ‌ها موجود می‌باشد.

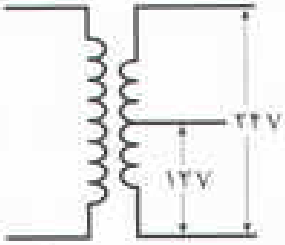
۷ـ۴ـ ترانسفورماتورهای با چند ورودی و چند خروجی

سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتورها ممکن است در شبکه‌های مختلف به ولتاژهای متفاوت اتصال داده شود، مثلاً در ولتاژهای ۱۱۰ V، ۲۲۰ V و ۳۸۰ V به کار گرفته شود. همچنین ولتاژهای مختلف ۱/۵ V، ۳ V، ۴/۵ V، ۶ V، ۹ V، ۱۲ V، ۲۴ V، ۴۸ V و ۱۱۰ V از خروجی ترانسفورماتورها دریافت شود. (شکل ۸-۴) سیم‌پیچ‌های ثانویه ممکن است مستقل از هم یا یک‌پارچه باشند. سیم‌پیچ‌های یک پارچه در ولتاژهای پایین به کار نمی‌روند. همچنین ممکن است از سیم‌پیچ‌های ثانویه به صورت هم زمان و یا غیر هم زمان استفاده کرد.



الف- سیم پیچ اولیه با ولتاژهای مختلف

ب- ترانسفورماتور با دو خروجی مستقل



ج- ترانسفورماتور با خروجی‌های یک پارچه

شکل ۸-۴- نمونه‌هایی از ترانسفورماتورهای چند ورودی و چند خروجی

مثال: ترانسفورماتور تک فاز با ولتاژهای اولیه ۳۸۰ V - ۲۲۰ V و ولتاژهای ثانویه ۱۲ ولت ۵ A و ۶ ولت ۱A، که سیم‌پیچ‌های ثانویه آن مستقل از هم بوده و همزمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، مورد نیاز است. هسته این ترانسفورماتور از ورق آلیاژ با چگالی ۱۰۰۰۰ گوس به ضخامت ۰/۵ mm ساخته می‌شود و فرکانس شبکه ۵۰ هرتز می‌باشد. کلیه مراحل طراحی این ترانسفورماتور را انجام دهید.

حل:

$U_{11}=220\,V, U_{12}=380\,V$

$U_{21}=6\,V, I_{21}=1\,A, U_{22}=12\,V, I_{22}=5\,A$

۱ـ محاسبات تعداد دور اولیه و ثانویه:

$P_{۲۱}=۶\times۱=۶V.A$

$P_{۲۲}=۱۲\times۵=۶۰V.A$

چون از هر دو خروجی همزمان استفاده می‌شود، پس:

$P_۲=P_{۲۱}+P_{۲۲}=۶۰+۶=۶۶ \quad V.A$

$S=۱/۲\sqrt{P_۲}=۱/۲\times\sqrt{۶۶}=۹/۷۵\,cm^۲$

$N_v=\frac{۴۵}{S}=\frac{۴۵}{۹/۷۵}=۴/۶۲$ دور بر ولت

$N_{۱۱}=U_{۱۱}\times N_v=۲۲۰\times۴/۶۲=۱۰۱۶$ دور

$N_{۱۲}=N_{۱۱}+(U_{۱۲}-U_{۱۱})\times N_v$

$N_{۱۲}=۱۰۱۶+(۳۸۰-۲۲۰)\times۴/۶۲=۱۷۵۵$ دور

$P=۵ \quad V.A \quad \rightarrow \Delta U=۰/۸$

$P=۱۰ \quad V.A \quad \rightarrow \Delta U=۰/۸۷$

از جدول (۱-۴) چون توان ۶ ولت آمپر بین دو مقدار ۵ و ۱۰ ولت آمپر جدول قرار دارد از تناسب دو مقدار مربوط به ۵ ولت آمپر و ۱۰ ولت آمپر استفاده می‌کنیم.

$\Delta P=۱۰-۵=۵ \quad \rightarrow \Delta\Delta U=۰/۸-۰/۸۷=۰/۰۳$

$\Delta P=۱۰-۶=۴ \quad \rightarrow \Delta\Delta U=?$

$$\Delta\Delta U=\frac{۰/۰۳\times۴}{۵}=۰/۰۲۴$$

$\Delta UI=۰/۸۷+۰/۰۲۴=۰/۸۹۵$

$N_{۲۲}=۶\times۴/۶۲\times(۱+۰/۸۹۵)=۳۳$ دور

$P=۵۰ \quad V.A \quad \rightarrow \Delta U=۰/۸۴$

$P=۷۵ \quad V.A \quad \rightarrow \Delta U=۰/۸۰$

جهت پرهیز از عملیات ریاضی می‌توان با کمی تقریب درصد افت ولتاژ را تعیین نمود. مثلاً با توجه به نزدیکی ۶ به ۵ ولت آمپر می‌توان افت ولتاژ برای ترانس ۶ ولت آمپر را همان ۲۰٪ منظور نمود و یا در مورد ترانس ۶۰ ولت آمپر می‌توان میانگین افت ولتاژ در ترانسفورماتورهای ۵۰ و ۷۵ ولت آمپر یعنی ۰/۱۲ را در نظر گرفت.

$\Delta P=۷۵-۵۰=۲۵ \quad \rightarrow \Delta\Delta U=۰/۸۴-۰/۸۰=$

$\Delta P=۷۵-۶۰=۱۵ \quad \rightarrow \Delta\Delta U=?$

$$\Delta\Delta U=\frac{۰/۰۴\times۱۵}{۲۵}=۰/۰۲۴$$

$\Delta U=۰/۸۰+۰/۰۲۴=۰/۸۲۴$

$N_{۲۲}=۱۲\times۴/۶۲\times(۱+۰/۸۲۴)=۶۲$ دور

۲ـ تعیین قطر سیم اولیه و ثانویه

از جدول چگالی جریان (جدول ۲-۴) می‌توان نوشت :

$P_2 = ۶۶\ V.A \qquad \eta = ۰/۹$

$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{۶۶}{۰/۹} = ۷۳/۳۳\ V.A$

$J = ۳/۵ A/mm^2$

$I_{11} = \frac{۷۳/۳۳}{۲۲۰} = ۰/۳۳\ A$

$A_{11} = \frac{۰/۳۳}{۳/۵} = ۰/۰۹\ mm^2$

$d_{11} = ۱/۱۳ \times \sqrt{۰/۰۹} = ۰/۳۴$

$I_{12} = \frac{۷۳/۳۳}{۳۸۰} = ۰/۱۹۳\ A$

$A_{12} = \frac{۰/۱۹۳}{۳/۵} = ۰/۰۵۵\ mm^2$

$d_{12} = ۱/۱۳ \times \sqrt{۰/۰۵۵} = ۰/۲۶\ mm$

$A_{21} = \frac{۰/۱۹۳}{۳/۵} = ۰/۲۸\ mm^2$

$d_{21} = ۱/۱۳ \times \sqrt{۰/۲۸} = ۰/۶۰\ mm$

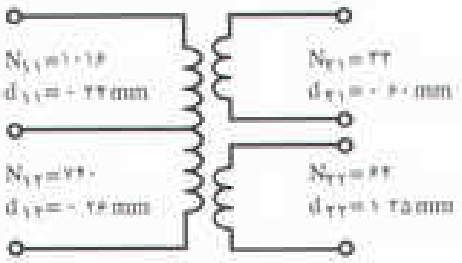
$A_{22} = \frac{۵}{۳/۵} = ۱/۴۳\ mm^2$

$d_{22} = ۱/۱۳ \times \sqrt{۱/۴۳} = ۱/۳۵\ mm$

ضخامت هسته $= \frac{S'}{f} = \frac{۹۴۰ \times ۱/۱}{۲۸} = ۳۷$

تعداد ورق‌ها $n = \frac{۳۷}{۰/۵۰} = ۷۴$ عدد

(شکل ۹-۴) مشخصات سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور محاسبه شده را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴- مشخصات ترانسفورماتور های (مثال ۷-۴)

۳ـ تعیین ابعاد هسته

نوع هسته از $EI \le ۳۰\sqrt{S} = ۳۰ \times \sqrt{۹/۷۵} = ۹۴\ mm$

جدول (۱-۳) نوع ورق EI مناسب با EI ۸۴ با $f = ۲۸$ می‌باشد.

از جدول (۱۰-۳)، قرقره مناسب EI ۹۶ a با مشخصات زیر مناسب است.

a= ۶۴/۴

b= ۳۲/۶

h= ۳۷/۵

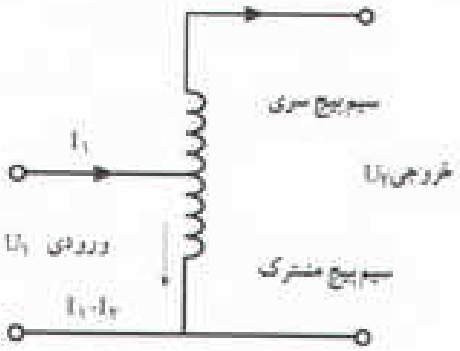
L= ۵۰

۸ـ۴ـ اتوترانسفورماتورها و محاسبات عملی آن‌ها

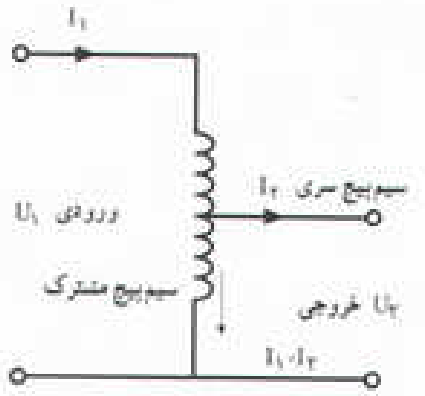
سیم‌پیچ اولیه و ثانویه اتوترانسفورماتورها را یک سیم‌پیچ تشکیل می‌دهد بدین طریق در اتو ترانسفورماتورها، انتقال قدرت از دو طریق الکتریکی و مغناطیسی از ورودی به خروجی انجام می‌شود. سهم توان انتقالی از طریق الکترومغناطیسی متناسب با تفاضل ولتاژهای ورودی و خروجی می‌باشد. بنابراین هسته مورد نیاز در این نوع ترانسفورماتورها به مراتب کمتر از هسته ترانسفورماتورهای معمولی می‌باشد.

تلفات پراکندگی، تلفات مسی، تلفات آهنی، مقدار آهن و مسی به کار رفته در اتوترانسفورماتورها خیلی کم‌تر از ترانسفورماتورهای مشابه معمولی می‌باشند. به طوری که به اتوترانسفورماتورها، ترانسفورماتورهای صرفه‌ای می‌گویند.

به علت ارتباط الکتریکی بین سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه اتوترانسفورماتور، در صورتی که اختلاف پتانسیل سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه زیاد باشد، از اتوترانسفورماتور استفاده نمی‌شود. زیرا اولاً چنین ترانسفورماتوری با صرفه نیست، ثانیاً از نظر ایمنی برای اپراتورها و مصرف کننده‌ها نامناسب است. ثالثاً در صورت قطع سیم پیچ فشار ضعیف، ولتاژ زیاد به ثانویه منتقل می‌شود. به علت تلفات خیلی کم در اتوترانسفورماتورها، تقریباً آن‌ها را ایده‌آل در نظر می‌گیرند. این ترانسفورماتورها ممکن است افزاینده یا کاهنده باشند در هر حال معمولاً ولتاژهای اولیه و ثانویه آن‌ها به هم نزدیک است. مدار الکتریکی اتوترانسفورماتورها در شکل (۱۰-۴) نشان داده شده است.



الف- اتو ترانسفورماتور افزاینده



الف- اتو ترانسفورماتور کاهنده

شکل ۱۰-۴-انواع ترانسفورماتور

۱ـ۸ـ۴ـ سیم‌پیچ مشترک:

قسمتی از سیم‌پیچ اوتوترانسفورماتور است که تفاضل جریان اولیه و ثانویه از آن قسمت عبور می‌کند. (شکل ۱۰-۴)

۲ـ۸ـ۴ـ سیم‌پیچ سری:

قسمتی از سیم‌پیچ اوتوترانسفورماتور است که از آن قسمت فقط جریان اولیه یا جریان ثانویه عبور می‌کند. (شکل ۱۰-۴)

۳ـ۸ـ۴ـ توان تیپ (P_T) : قسمتی از توان که توسط هسته مغناطیسی به بار منتقل می‌شود را توان تیپ اوتوترانسفورماتور می‌گویند. توجه شود بقیه توان از طریق ارتباط الکتریکی از طریق سیم‌پیچ مستقیماً به بار انتقال می‌یابد.

در اوتوترانسفورماتورها سطح مقطع هسته از طریق توان تیپ محاسبه می‌شود.

$$S = 1/2\sqrt{P_T}$$

S سطح مقطع حقیقی هسته برحسب سانتی‌متر مربع و P_T توان تیپ برحسب ولت آمپر است.

تعداد دور سیم‌پیچ اولیه از رابطه $N_1 = U_1 \times N_v$ و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه از رابطه :

$$N_2 = U_2 \times N_v \times (1 + \Delta U)$$

مشخص می‌شود. تعداد دور سیم‌پیچ سری از رابطه $N_s = |N_1 - N_2|$ به دست می‌آید. افت ولتاژ براساس توان تیپ از (جدول ۴-۴) تعیین می‌شود.

توان تیپ از این روابط بدست می‌آید :

$$P_T = P_2 \times \frac{U_1 - U_2}{U_1} \quad U_1) U_2$$

$$P_T = P_2 \times \frac{U_2 - U_1}{U_2} \quad U_2) U_1$$

P_T توان تیپ ترانسفورماتور برحسب ولت آمپر.

U_1 ولتاژ اولیه برحسب ولت است.

U_2 ولتاژ ثانویه برحسب ولت است.

P_2 توان خروجی برحسب ولت آمپر است و از رابطه $P_2 = U_2 \times I_2$ بدست می‌آید.

جدول ۴-۴- افت ولتاژ در اتو ترانسفورماتورها بر اساس توان تیپ

توان تیپ VA	۵	۱۰	25	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
ΔU به درصد	۱۰	۸/۵	۷/۵	۶	۵	۴/۵	۴	۳/۷۵	۳/۵	۳/۲۵	۳	۲	۱

مثال: اوتوترانسفورماتوری به مشخصات ۲۲۰V - ۱۱۰V به جریان خروجی ۱۰ آمپر مورد نیاز است این دستگاه در شبکه با فرکانس ۵۰ هرتز کار می‌کند و هسته آن از جنس مرغوب با چگالی میدان ۱۲۰۰۰ گوس ساخته می‌شود مراحل طراحی آن را انجام دهید.

حل :

۱) تعیین دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

$U_1 = 220\,V, U_2 = 110\,V, f = 50\,Hz, B_m = 12000\,GS$

$P_2 = U_2 \times I_2 = 110 \times 10 = 1100\,V.A$

$P_T = P_2 \times \frac{U_1 - U_2}{U_1} = 1100 \times \frac{220 - 110}{220} = 550\,V.A$

$S = 1/2 \times \sqrt{P_T} = 1/2 \times \sqrt{550} = 28/14\,cm^2$

$N_V = \frac{37/5}{S} = \frac{37/5}{28/14} = 1/332$ دور بر ولت

$N_1 = U_1 \times N_V = 220 \times 1/332 = 293$ دور

از جدول (۴-۴) افت ولتاژ برای توان تیپ ۵۰۰ V.A تقریباً ۳٪ می‌باشد.

$$N_2 = U_2 \times N_1 \times (1+\Delta U)$$

$$N_2 = ۱۱۰ \times ۱/۳۳۲ (۱+۰/۰۳) = ۱۵۱$$

دور سیم‌پیچ سری $N_S = N_1 - N_2$

$$N_S = ۲۹۳ - ۱۵۱ = ۱۴۲$$

۲ـ محاسبه قطر سیم‌ها

از جدول (۴-۲)، چگالی جریان برابر:

$$J = ۲ \frac{A}{mm^2}$$

تعیین می‌شود. به علت ناچیز بودن افت ولتاژها در اتوترانسفورماتورها آن‌ها را تقریباً ایده‌آل در نظر می‌گیریم.

$$I_2 = ۱۰ A$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \Rightarrow I_1 = K \times I_2$$

$$I_1 = \frac{۱۱۰}{۲۲۰} \times ۱۰ = ۵ A$$

جریان سیم‌پیچ مشترک $I_C = I_2 - I_1$

$$I_C = ۱۰ - ۵ = ۵ A$$

$$P_1 = P_2 = ۱۱۰۰ V.A$$

جریان سیم‌پیچ سری $I_S = \frac{P_1}{U_1} = \frac{۱۱۰۰}{۲۲۰} = ۵ A$

$$A_S = \frac{I_S}{J} = \frac{۵}{۲} = ۲/۵ mm^2$$

$$d_S = ۱/۱۳ \times \sqrt{A_S} = ۱/۱۳ \times \sqrt{۲/۵} = ۱/۷۸ mm$$

$$A_C = \frac{I_C}{J} = \frac{۵}{۲} = ۲/۵ mm^2$$

$$d_C = ۱/۱۳ \times \sqrt{A_S} = ۱/۱۳ \times \sqrt{۲/۵} = ۱/۷۸ mm$$

۳ـ تعیین ابعاد قرقره

$۳۰ \times \sqrt{S} = ۳۰ \times \sqrt{۲۸/۱۴} = ۱۵۹ \leq$ نوع EI از جدول (۱-۳)، نوع ورق ۱۵۰ EI با ۵۰ =f مناسب با می‌باشد.

ضخامت خالص هسته $= \frac{S}{f} = \frac{۲۸/۱۴ \times ۱۰۰}{۵۰}$

$$= ۵۶/۲۸ mm$$

ضخامت ظاهری هسته $= h = ۱/۱ \times ۵۶/۲۸ = ۶۲/۹ mm$

۴- بررسی فضای لازم

از جدول (۳-۴) تقریباً ۱۸ دور سیم ۱/۷۸ mm در هر cm^2 جا می‌شود بنابراین:

$$A_1=\frac{151}{18}=8/39\,cm^2$$

$$A_2=\frac{141}{18}=7/83$$

فضای مورد نیاز $=(A_1+A_2)\times 1/35=21/9\,cm^2$

$C=25\,mm=2/5\,cm$

$L=75\,mm=7/5\,cm$

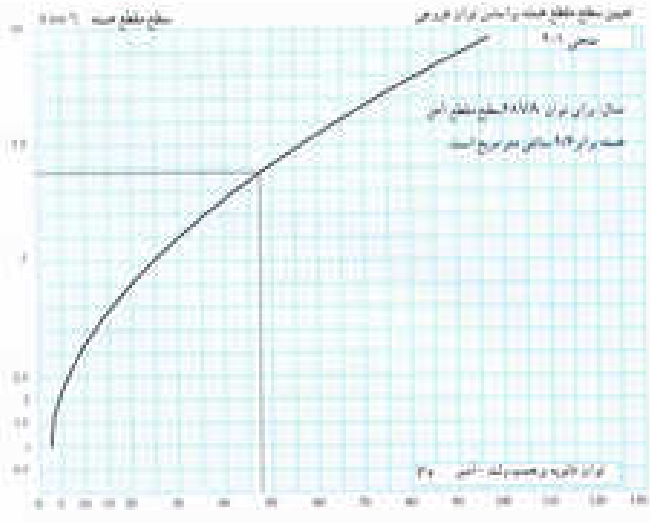
$C\times L=2/5\times 7/5=18/75$

$21/9)18/75 \Rightarrow$ فضاکافی نمی‌باشد

بنابراین ورق EI۱۵۰ مناسب نبوده و بایستی ورق بزرگتری انتخاب شود.

۹-۴- محاسبات عملی ترانسفورماتورهای تک فاز با استفاده 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 ($P_2=U_2\times I_2$) تعریف شده‌اند و کافی است توان مورد نظر را روی محور X ها انتخاب و خطی به موازات محور Y ها رسم کنیم تا منحنی را قطع کند از محل تقاطع خطی به محور Y ها عمود می‌کنیم بزرگی کمیت مورد نظر تعیین می‌شود.



نمونه‌ای از منحنی‌های مورد استفاده در محاسبه ترانسفورماتور

منحنی‌های ارائه شده در صفحات بعد به قرار زیر است:

۱ـ منحنی‌های شماره ۱-۴، ۲-۴ و ۳-۴ سطح مقطع هسته را براساس توان خروجی برحسب ولت آمپر تا ۵۰۰ V.A نشان می‌دهد.

۲ـ منحنی‌های شماره ۴-۴، ۵-۴ و ۶-۴ ارتباط بین توان خروجی P_2 و P_1 را برحسب ولت آمپر نشان می‌دهد در واقع منحنی‌ها، منحنی‌های بازده (راندمان μ) می‌باشند. توان خروجی روی محور Yها و توان ورودی روی محورXها می‌باشند.

۳ـ منحنی‌های شماره ۷-۴، ۸-۴ و ۹-۴ تغییرات دور بر ولت را نسبت به سطح مقطع هسته، برای هسته‌های مرغوب با ۱۲۰۰۰ گوس و برای هسته‌های با چگالی میدان ۱۰۰۰۰ گوس بیان می‌کنند.

۴ـ منحنی‌های شماره ۱۰-۴، ۱۱-۴ و ۱۲-۴ افت ولتاژ مجاز را نسبت به تغییرات توان خروجی تا توان ۵۰۰۰۰ V.A نشان می‌دهد.

۵ـ منحنی شماره ۱۳-۴، چگالی جریان الکتریکی (J) را به ازای تغییرات توان ثانویه برحسب $\frac{A}{mm^2}$ بیان می‌کند. در ترانسفورماتورهای بالاتر از ۱۰۰۰ V.A چگالی جریان به روش خنک کردن ترانسفورماتور بستگی دارد و چگالی جریان در محدوده ۱/۵ الی ۳، $\frac{A}{mm^2}$ انتخاب می‌شود.

۶ـ با داشتن توان اولیه و ولتاژ اولیه، می‌توان جریان را بدست آورد.

$$I_1 = \frac{P_1}{V_1}$$

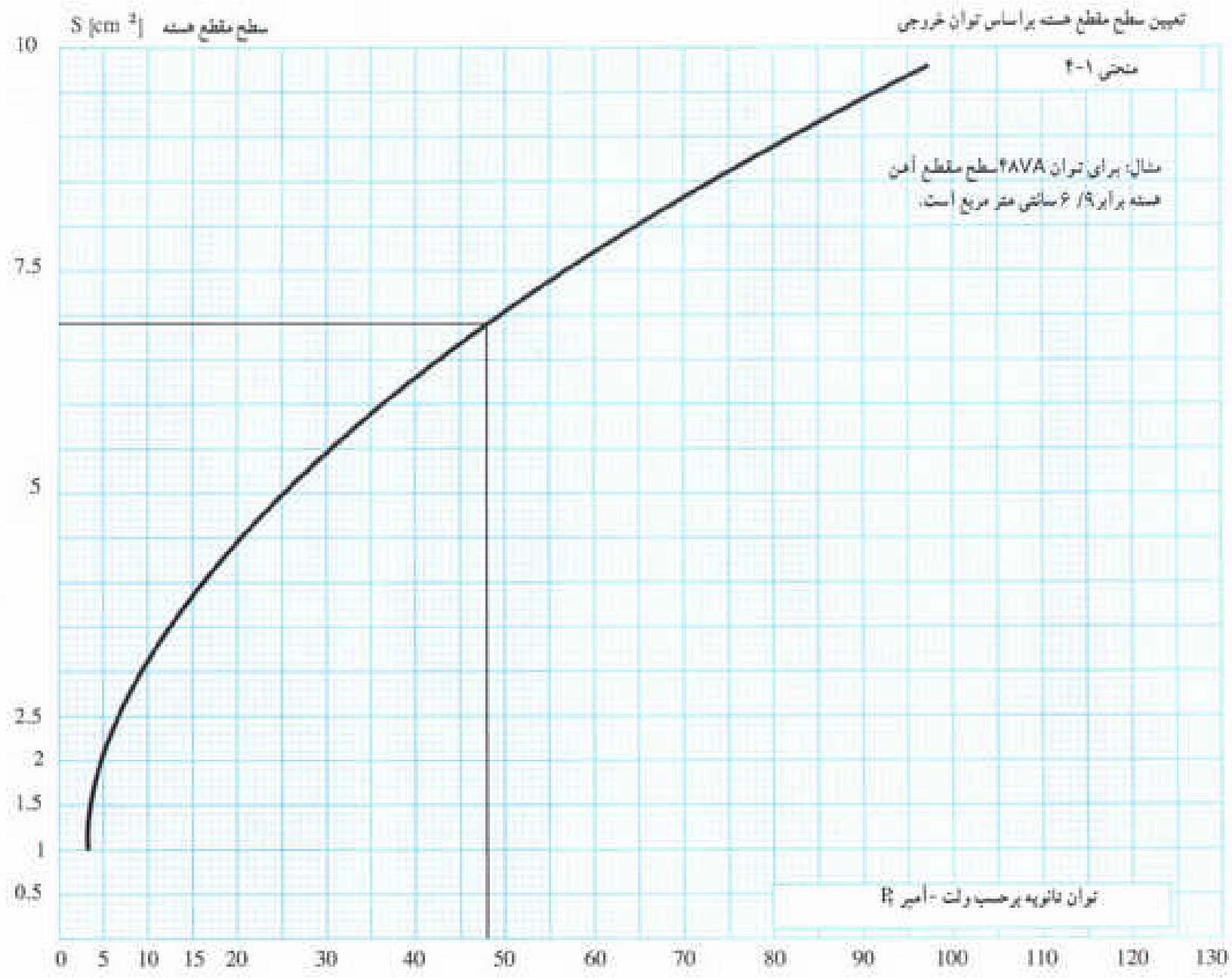
مثال: برای توان ورودی ۶۰ ولت آمپر و ولتاژ اولیه ۱۲۰ ولت جریان $I_1 = \frac{۶۰}{۱۲۰}$ برابر ۰/۵ آمپر می‌شود.

۷ـ منحنی‌های شماره ۱۴-۴ و ۱۵-۴ قطر سیم اولیه و ثانویه را تا جریان ۱۰ آمپر نشان می‌دهد.

۸ـ منحنی شماره ۱۶-۴ با معلوم بودن سطح مقطع هسته، نوع هسته را در برش EI بدون افت تعیین می‌کند. توجه شود انتخاب باید به گونه‌ای انجام شود که ارتفاع ضخامت هسته حدود عرض زبانه وسط هسته و یا بیشتر (بیش از یک سوم طول (a) هسته) باشد.

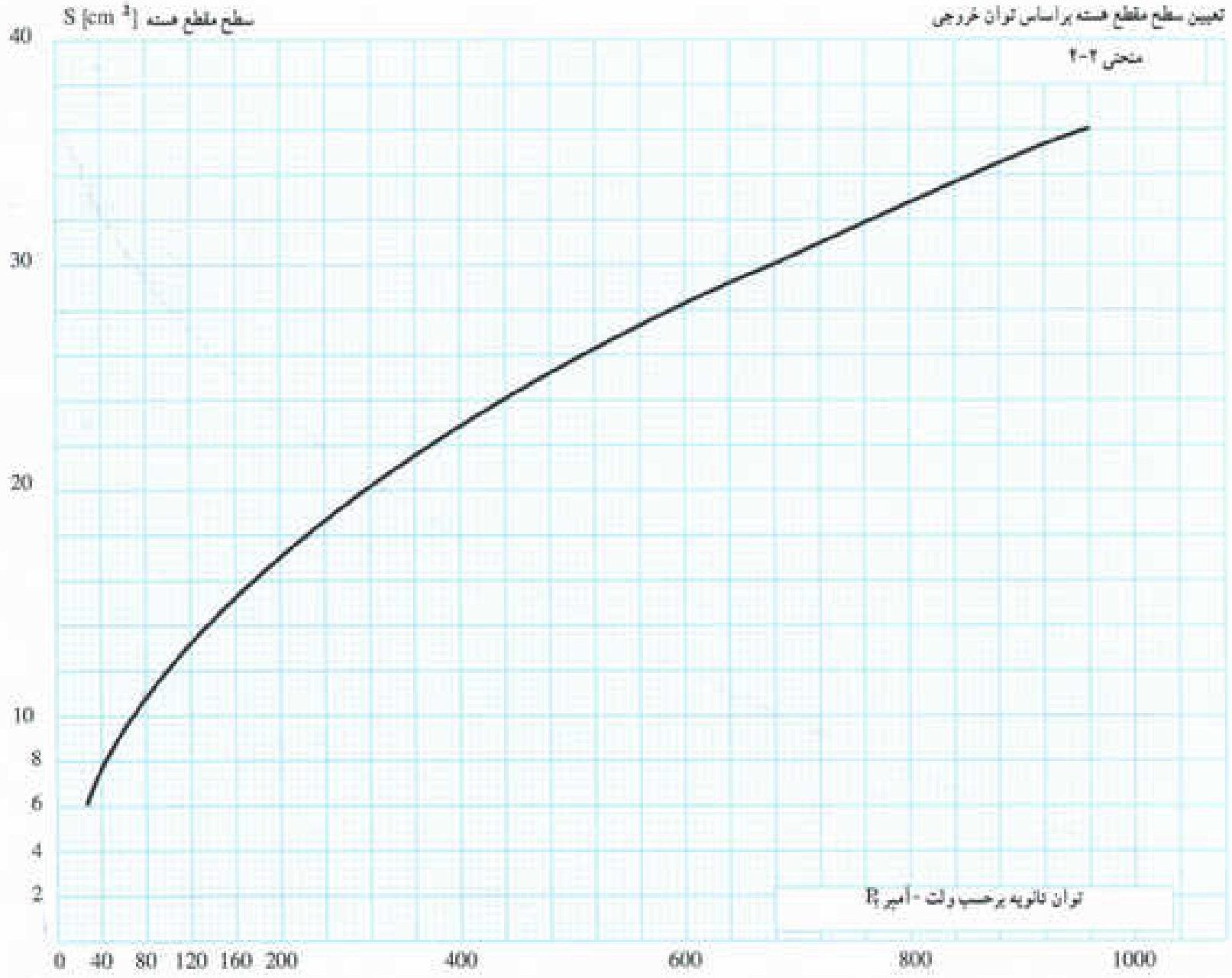
۹ـ منحنی‌های شماره ۱۷-۴ و ۱۸-۴، جرم سیم مسی مصرفی تا ۴۰۰۰ خروجی ثانویه را برحسب کیلوگرم تعیین می‌کند.

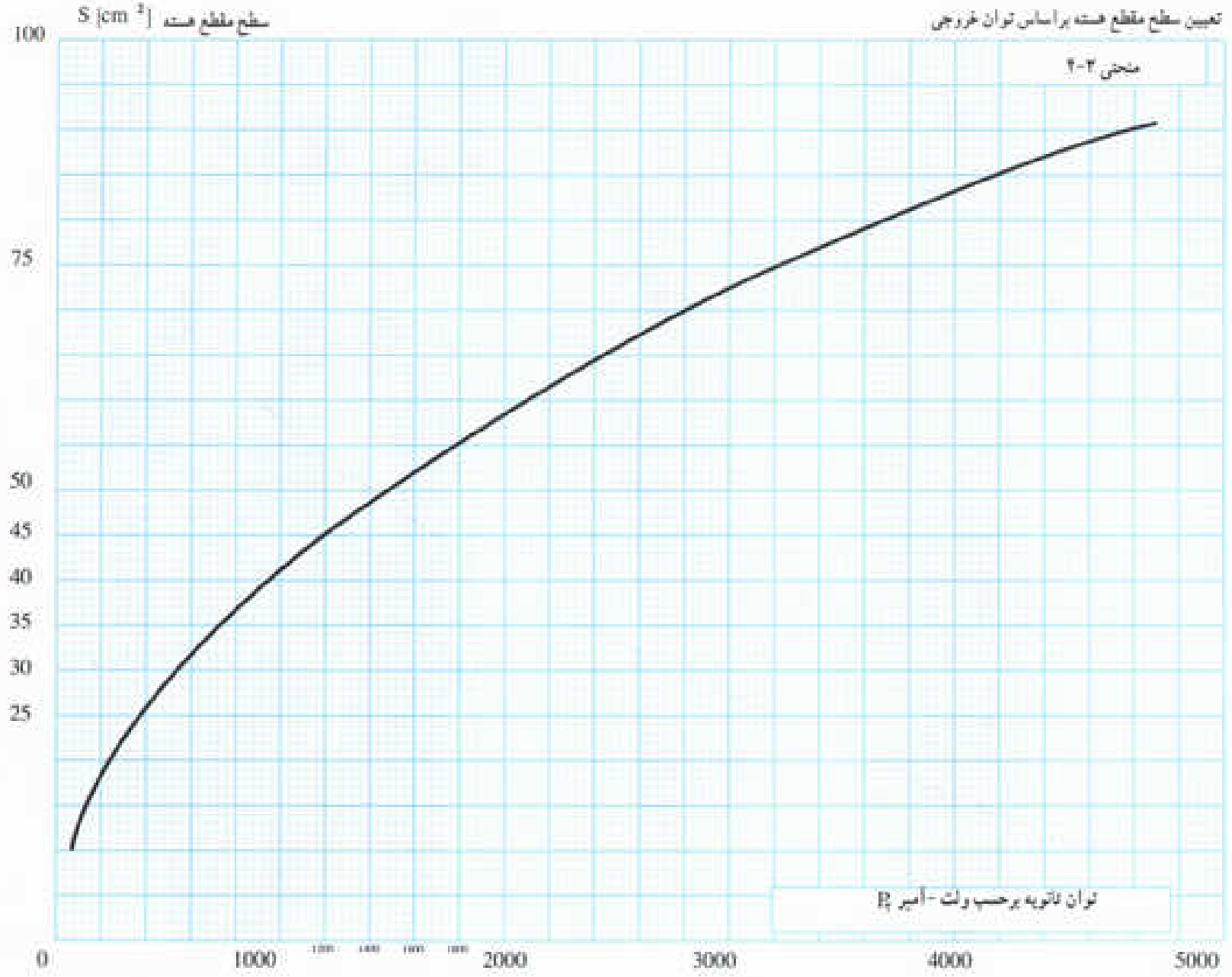
۱۰ـ منحنی‌های ۱۹-۴ و ۲۰-۴ جرم هسته آهنی به کار رفته را تا ۴۰۰۰ V.A خروجی ثانویه برحسب کیلوگرم تعیین می‌کند.


تعیین سطح مقطع هسته براساس توان خروجی
منحنی ۱-۴
مثال: برای توان ۴۸VA سطح مقطع آهن
هسته برابر ۹/ ۶ سانتی متر مربع است.
سطح مقطع هسته S [cm ²]
توان ثانویه برحسب ولت - آمپر
10
7.5
5
2.5
2
1.5
1
0.5
0 5 10 15 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130

تعیین سطح مقطع هسته براساس توان خروجی

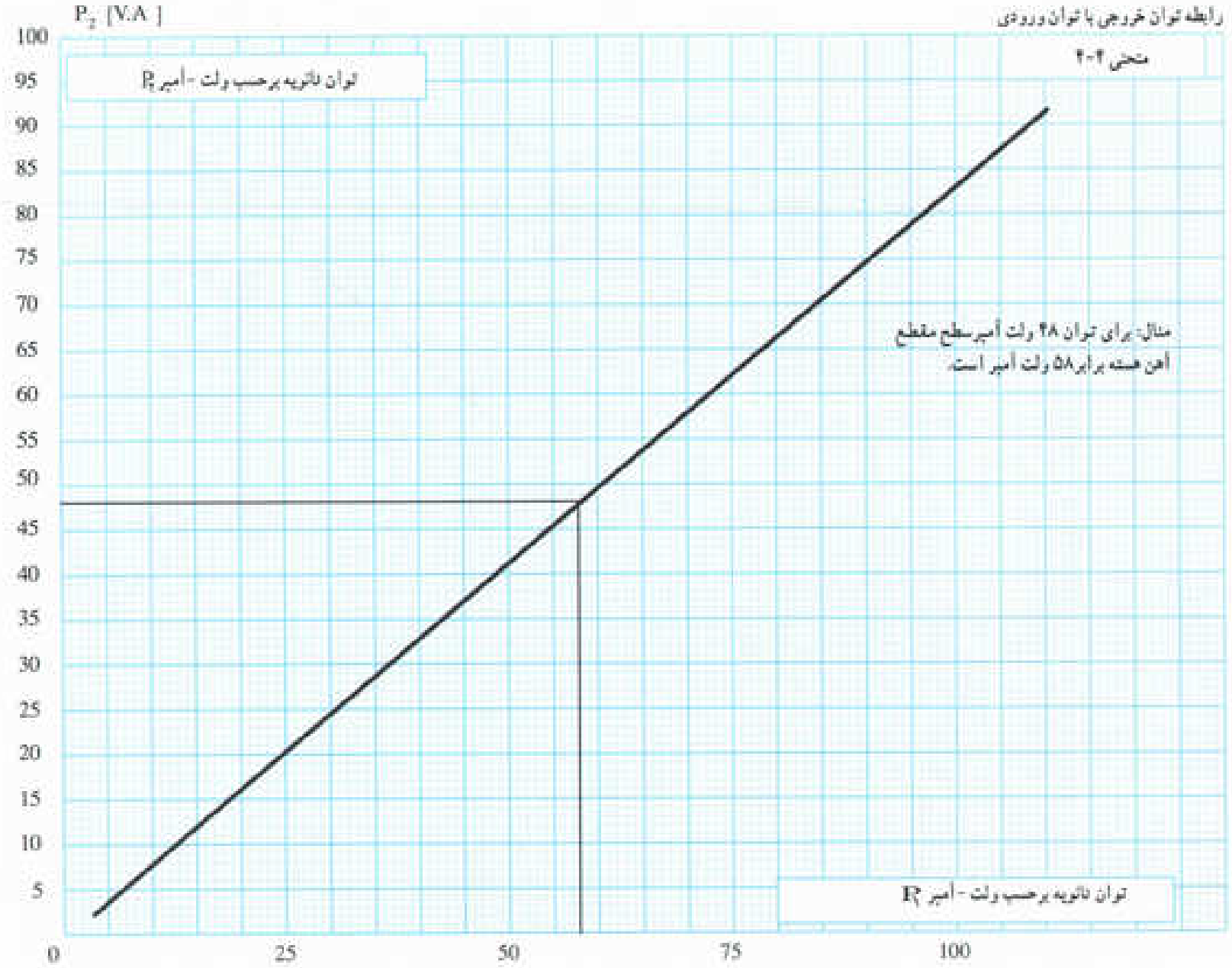
منحنی ۲-۴




تعیین سطح مقطع هسته براساس توان خروجی
منحنی ۴-۴
سطح مقطع هسته S [cm ²]
100
75
50
45
40
35
30
25
0
1000
2000
3000
4000
5000
توان ثانویه برحسب ولت - آمپر Pt

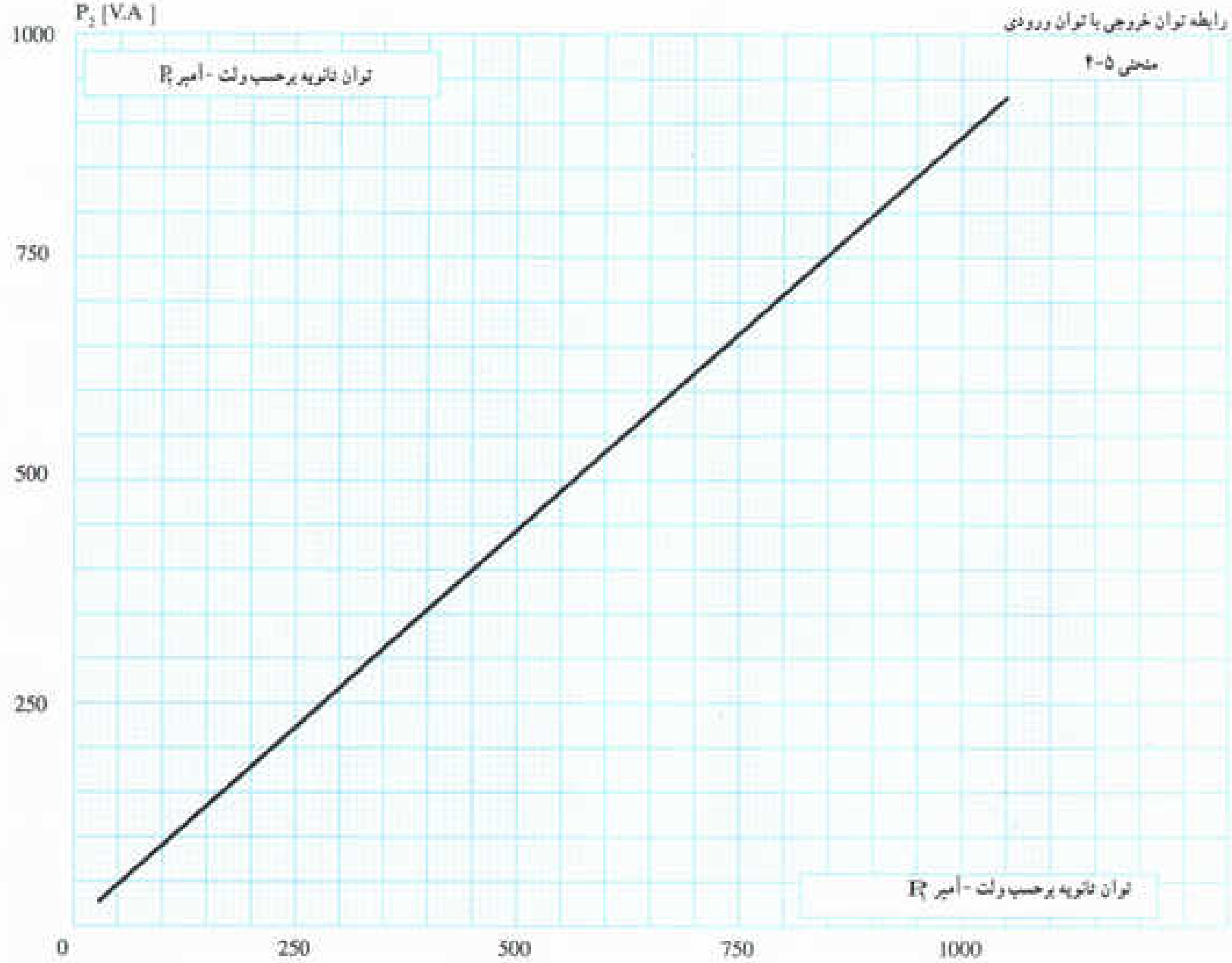
رابطه توان خروجی با توان ورودی

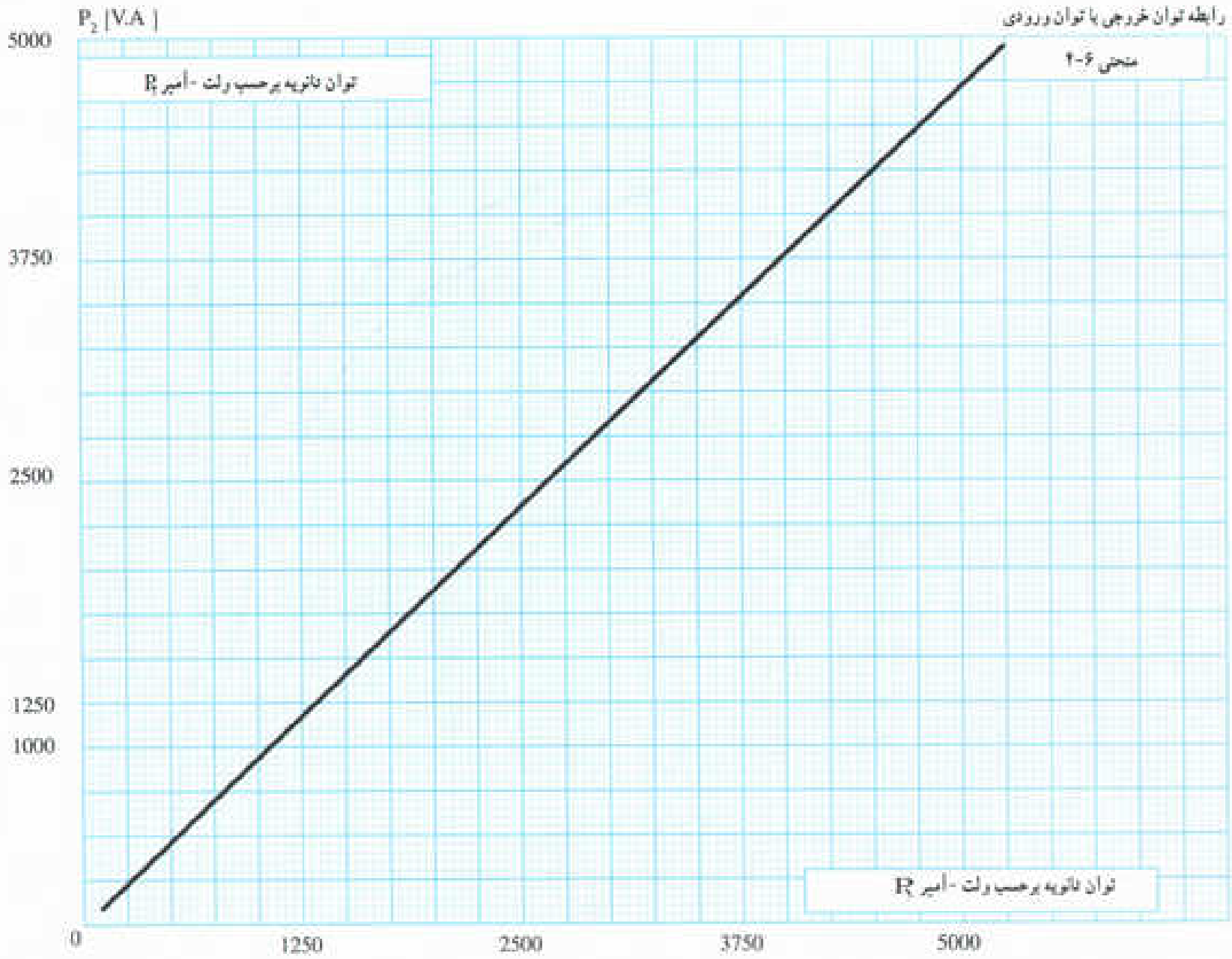
منحنی ۴-۴



رابطه توان خروجی با توان ورودی

منحنی ۵-۴



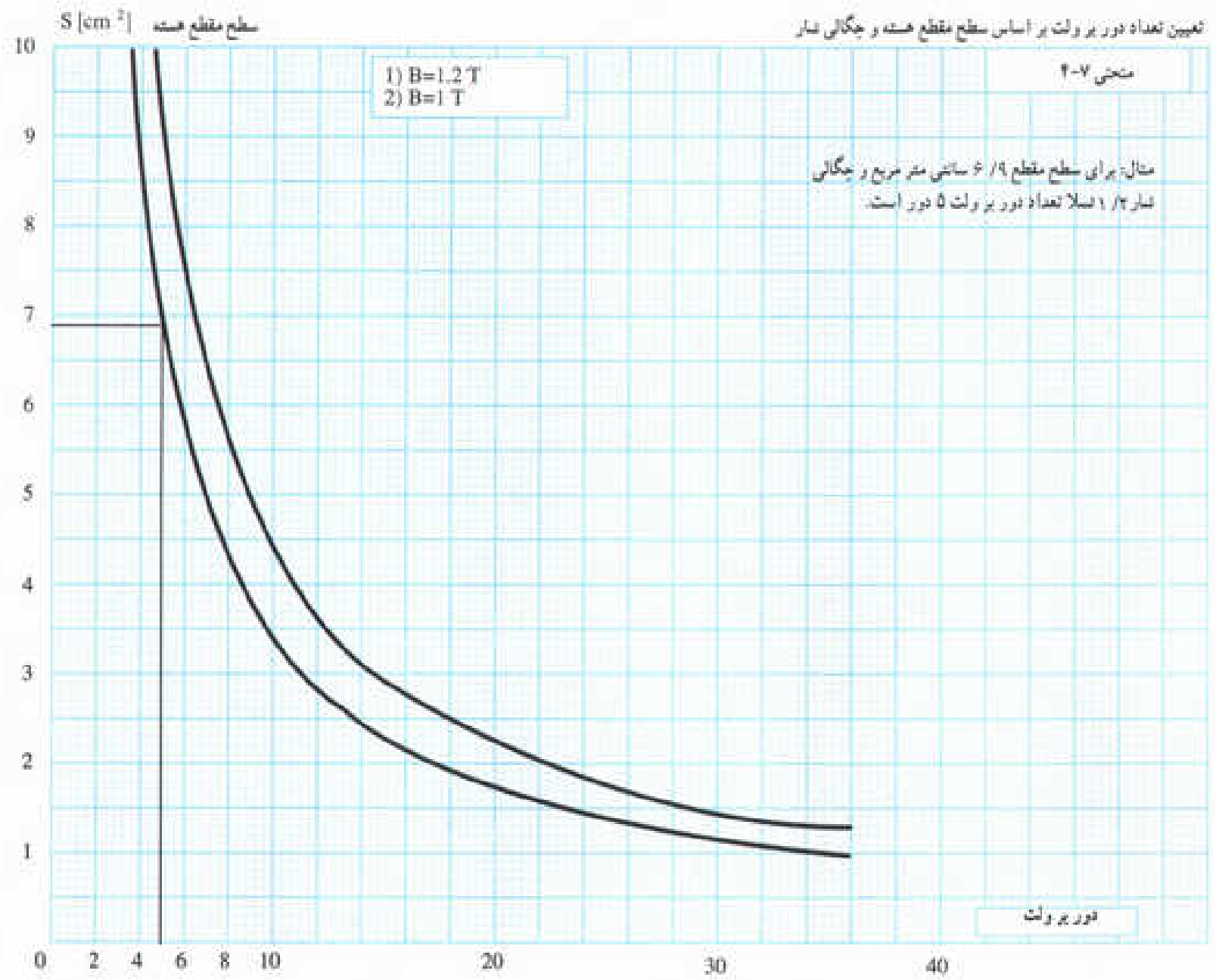

رابطه توان خروجی با توان ورودی
منحنی ۶-۴
P_2 [V.A]
توان ثانویه برحسب ولت - آمپر P_2
5000
3750
2500
1250
1000
0
1250
2500
3750
5000
توان ثانویه برحسب ولت - آمپر P_2

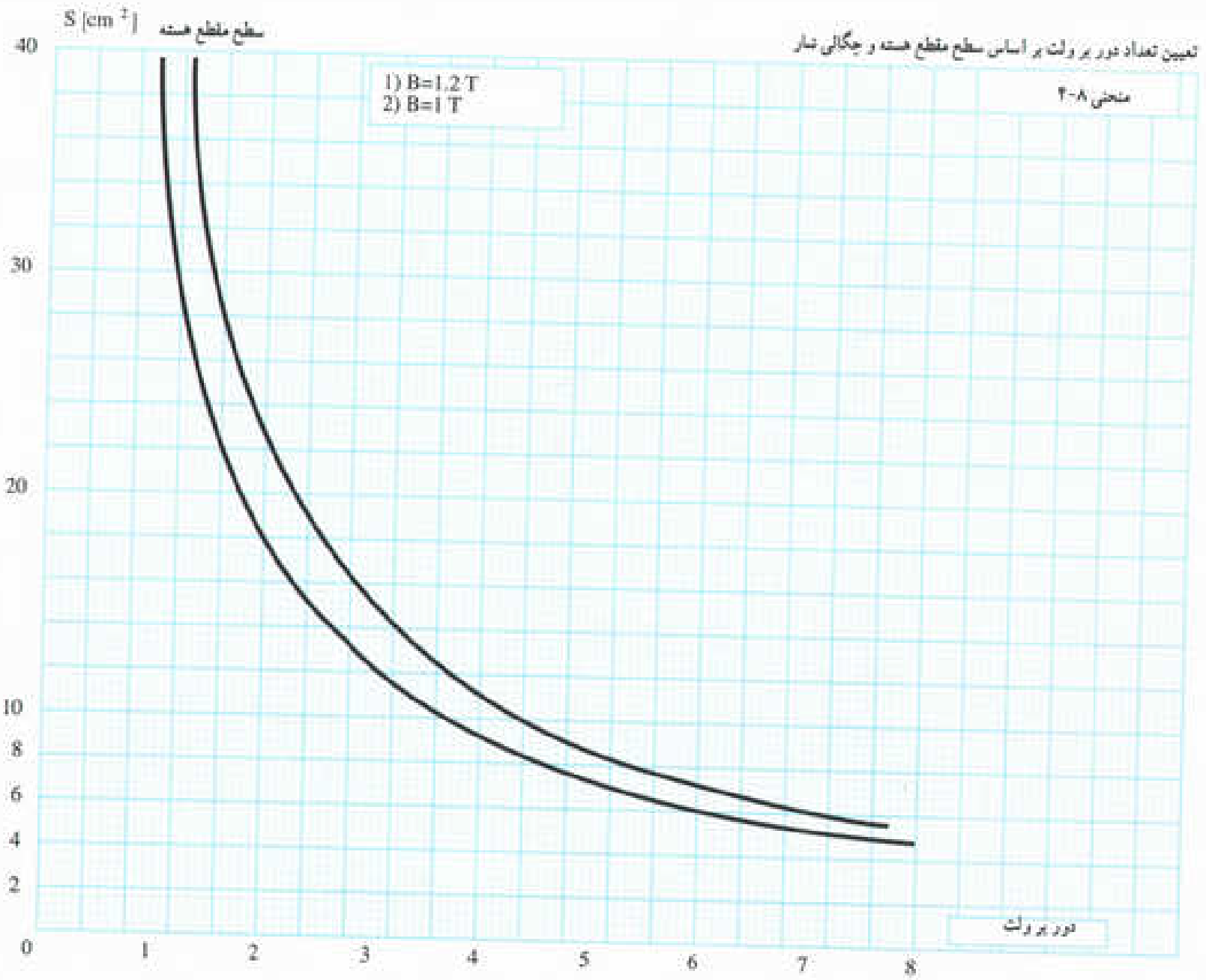
تعیین تعداد دور بر ولت بر اساس سطح مقطع هسته و جگالی شار

منحنی ۷-۴

1) B=1.2 T
2) B=1 T

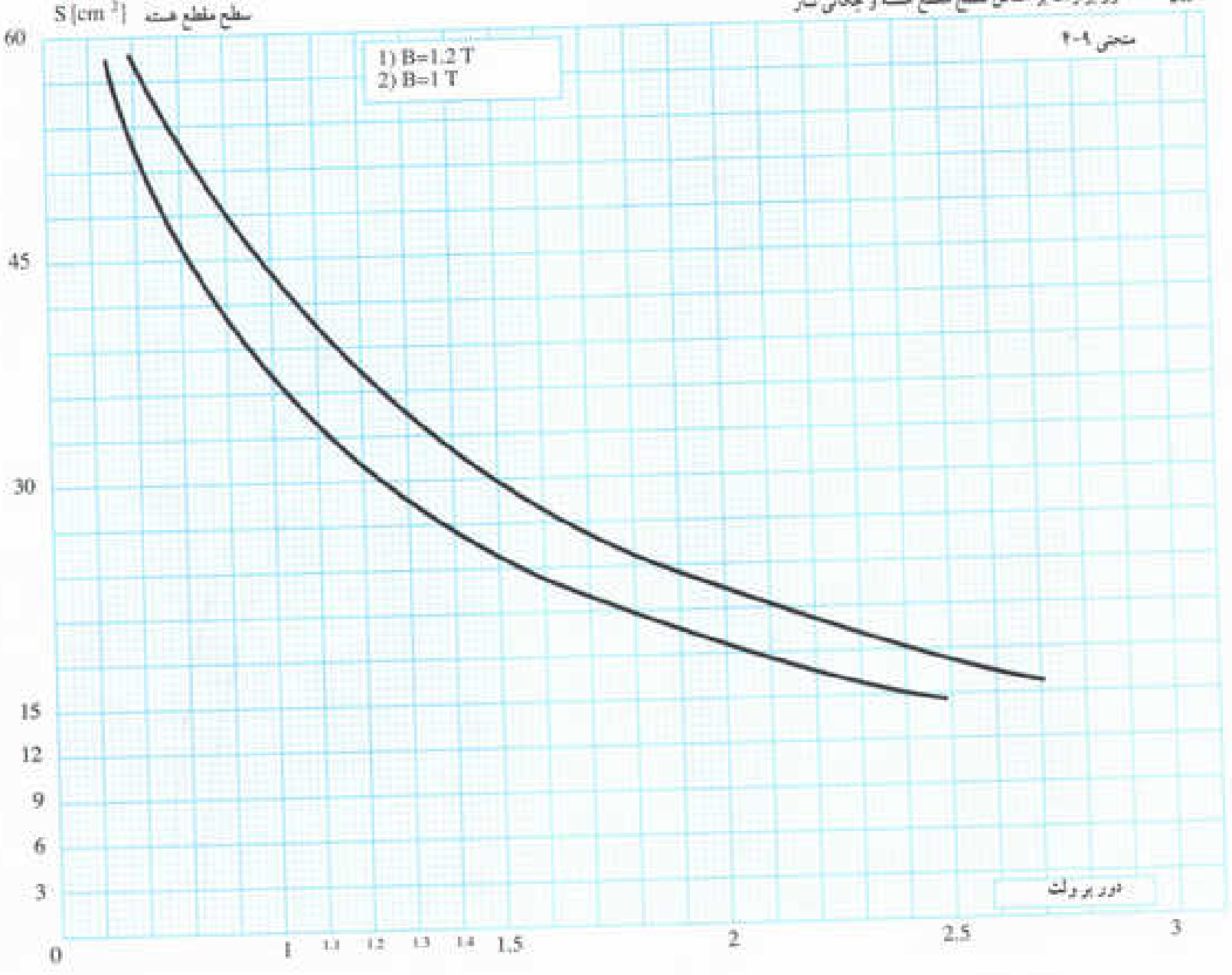
مثال: برای سطح مقطع ۶/۹ سانتی متر مربع و جگالی شار ۱/۲ تسلا تعداد دور بر ولت ۵ دور است.

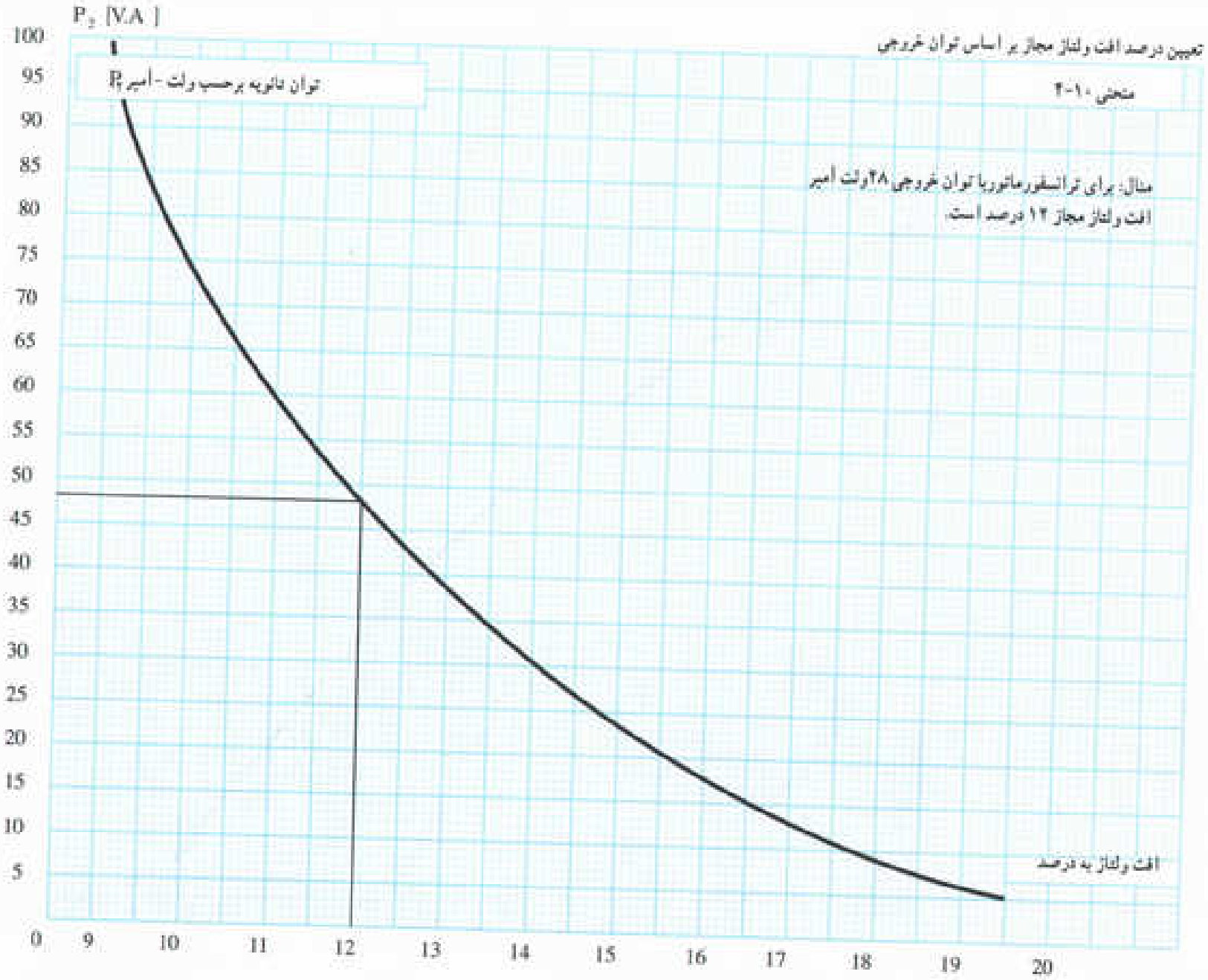



S [cm ⁻²]
سطح مقطع هسته
تعیین تعداد دور بر ولت بر اساس سطح مقطع هسته و جگالی شار
منحنی ۸-۴
1) B=1.2 T
2) B=1 T
40
30
20
10
8
6
4
2
0
1
2
3
4
5
6
7
8
دور بر ولت

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

منحنی ۹-۴





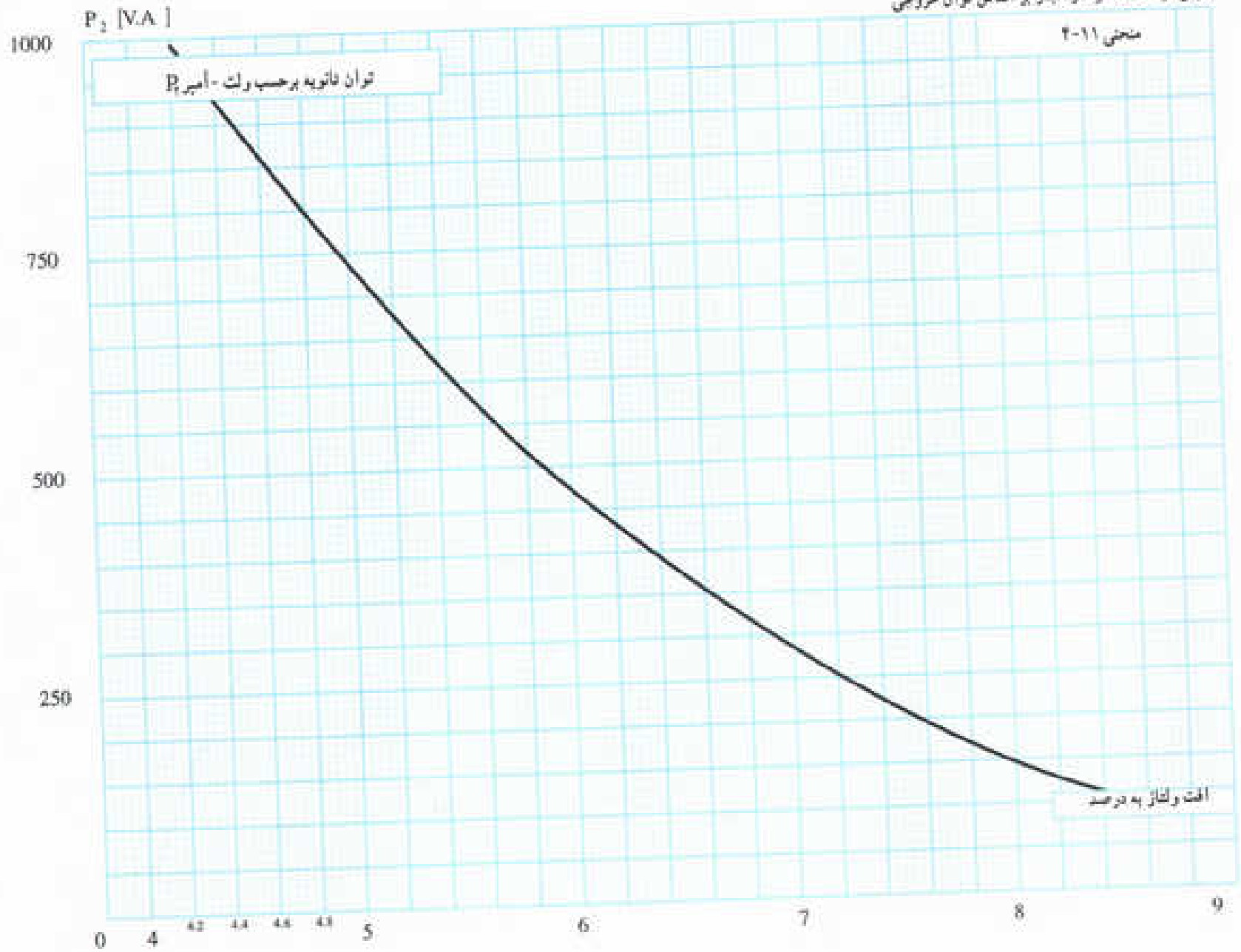
تعیین درصد افت ولتاژ مجاز بر اساس توان خروجی

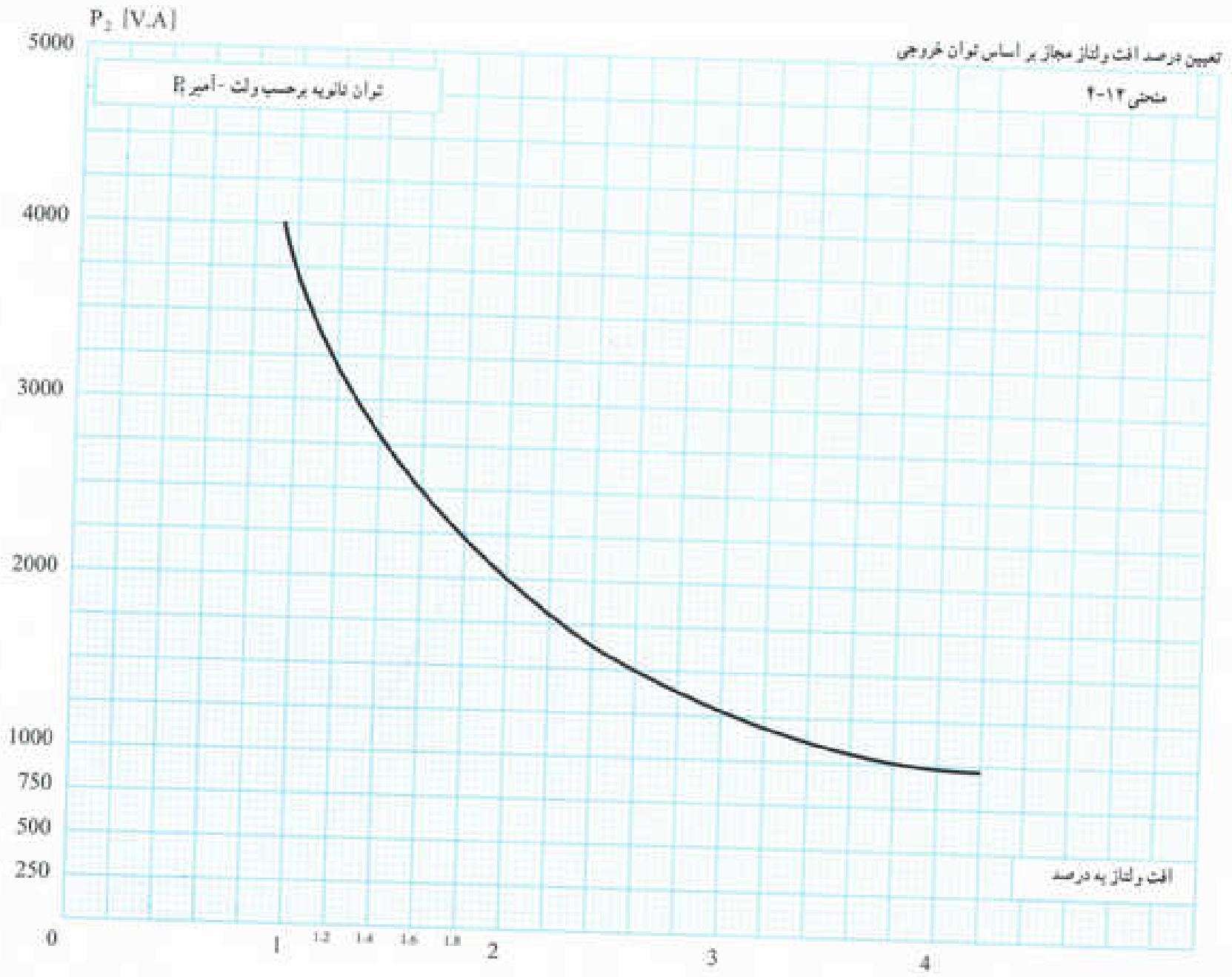
منحنی ۱۰-۴

مثال: برای ترانسفورماتور با توان خروجی ۴۸ ولت آمپر
افت ولتاژ مجاز ۱۲ درصد است.

تعیین درصد افت ولتاژ مجاز بر اساس توان خروجی

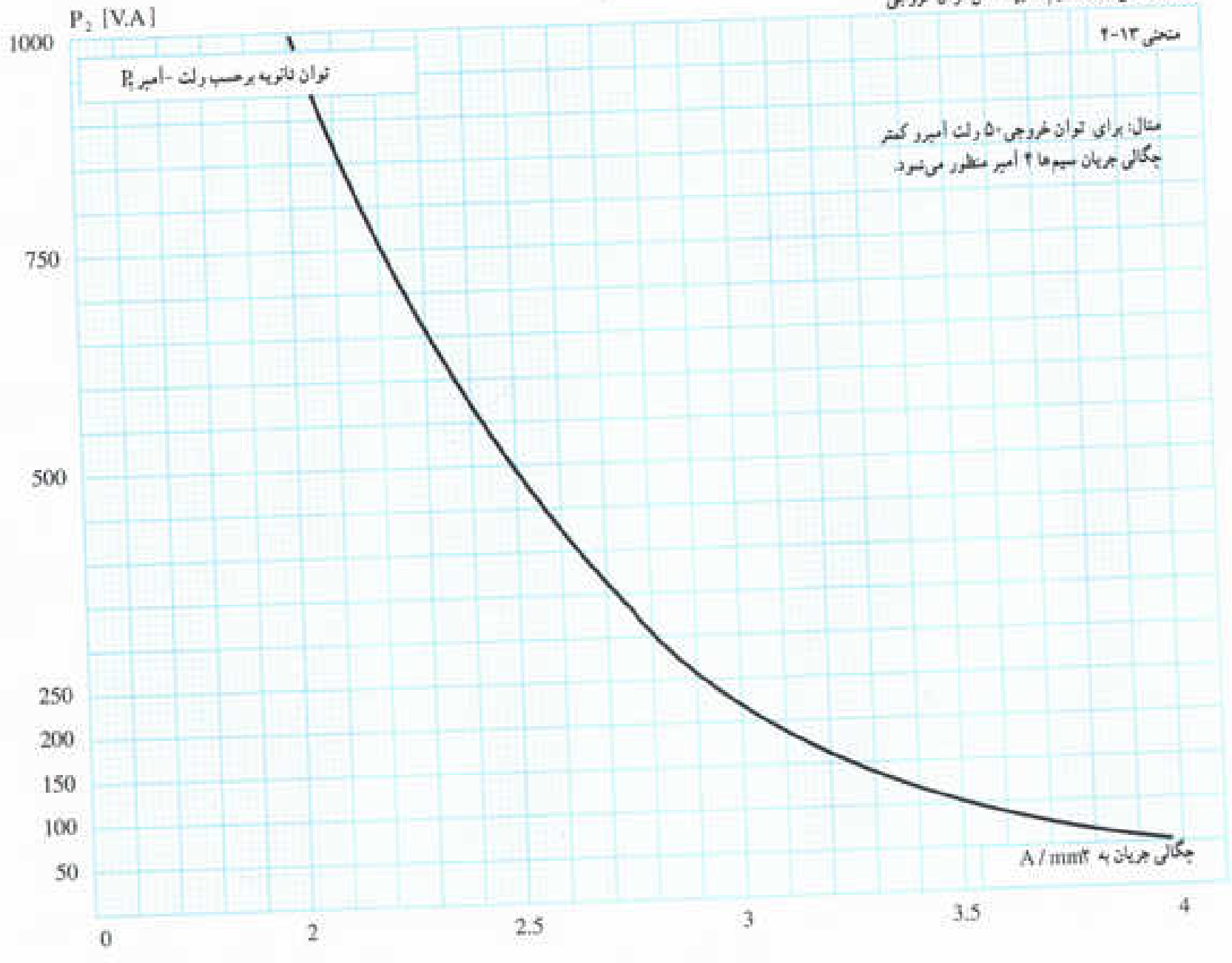
منحنی ۱۱-۴

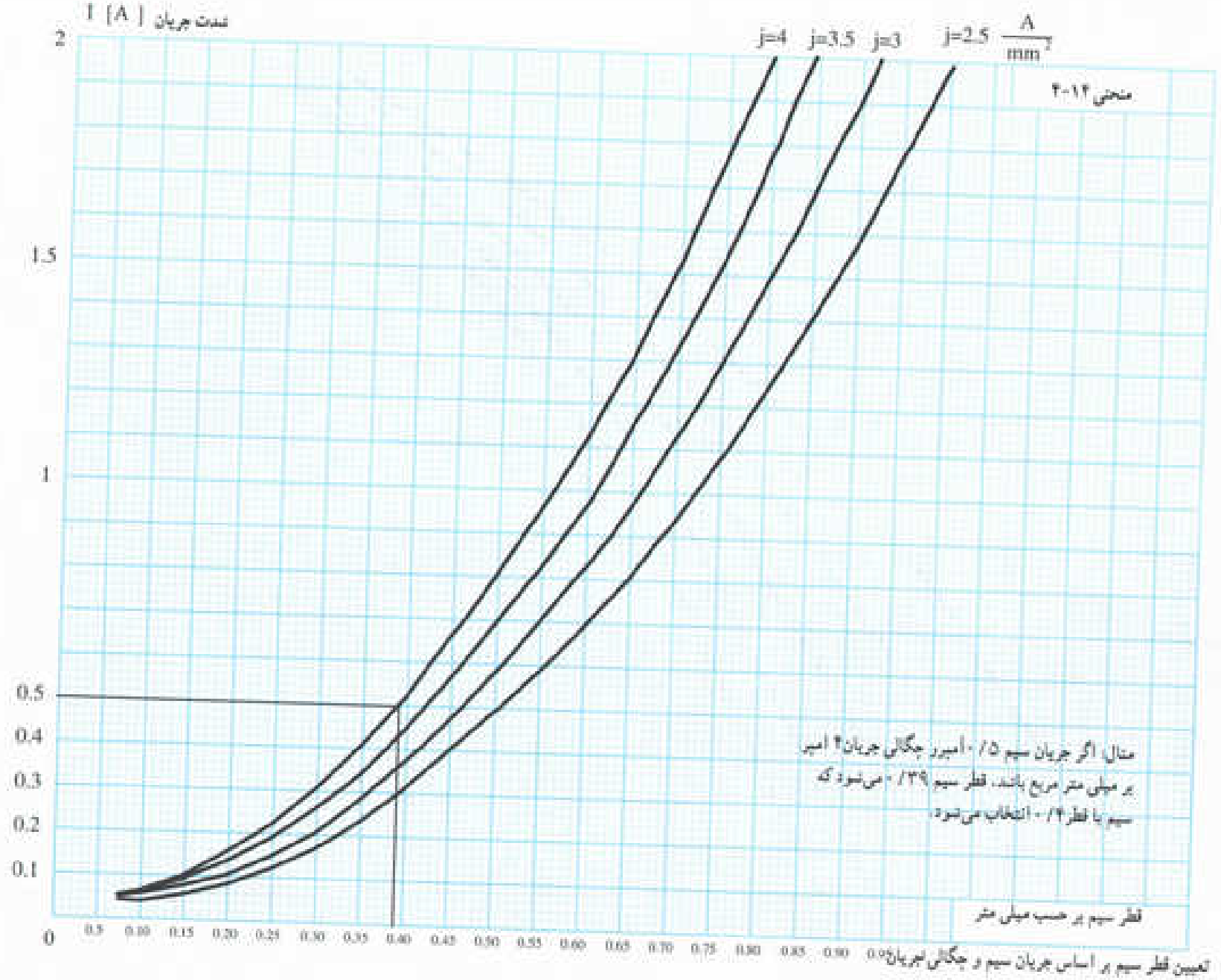


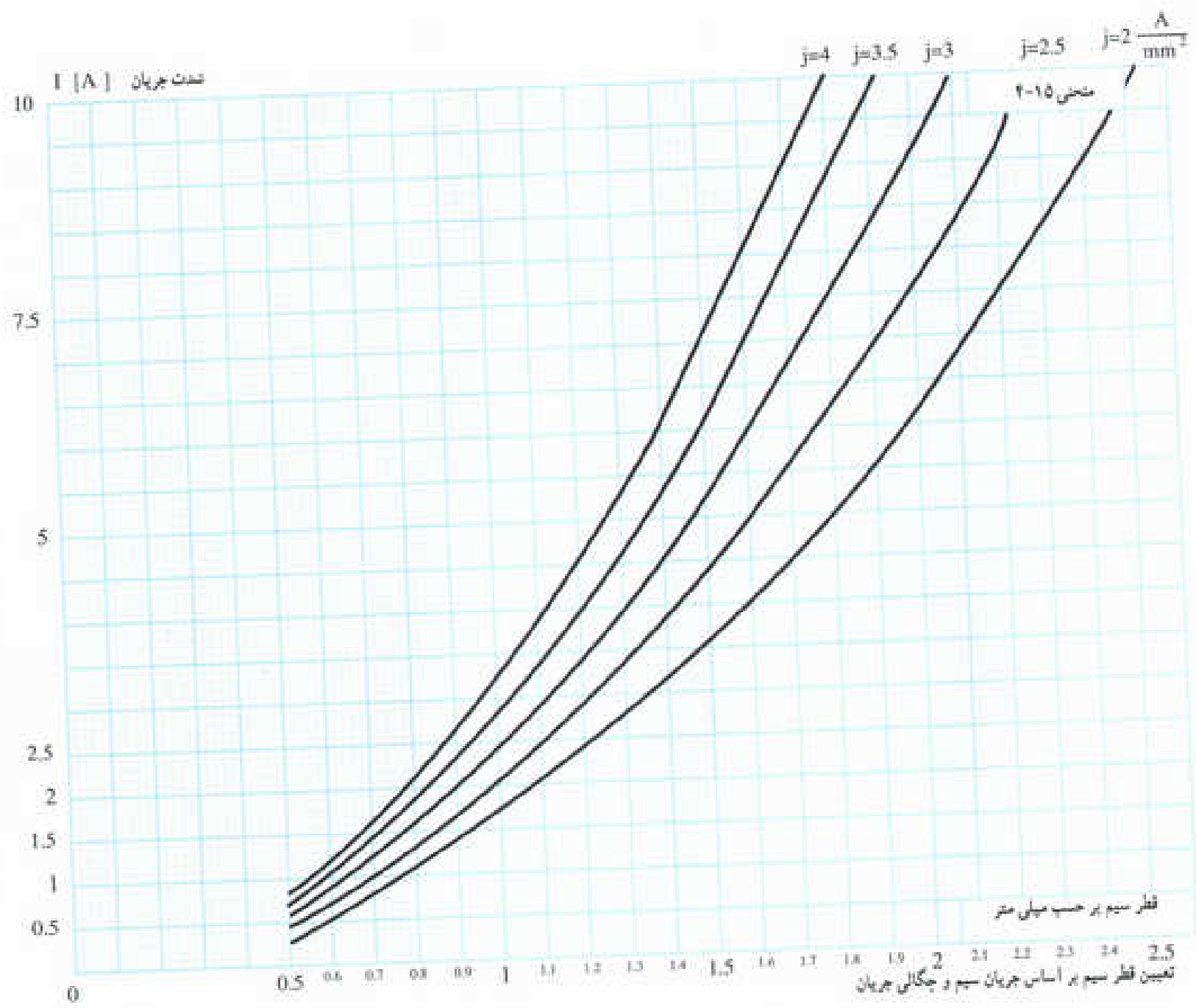

P_2 [V.A]
تعیین درصد افت ولتاژ مجاز بر اساس توان خروجی
منحنی ۱۲-۴
توان ثانویه برحسب ولت - آمپر P_2
5000
4000
3000
2000
1000
750
500
250
0
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
3
4
افت ولتاژ به درصد

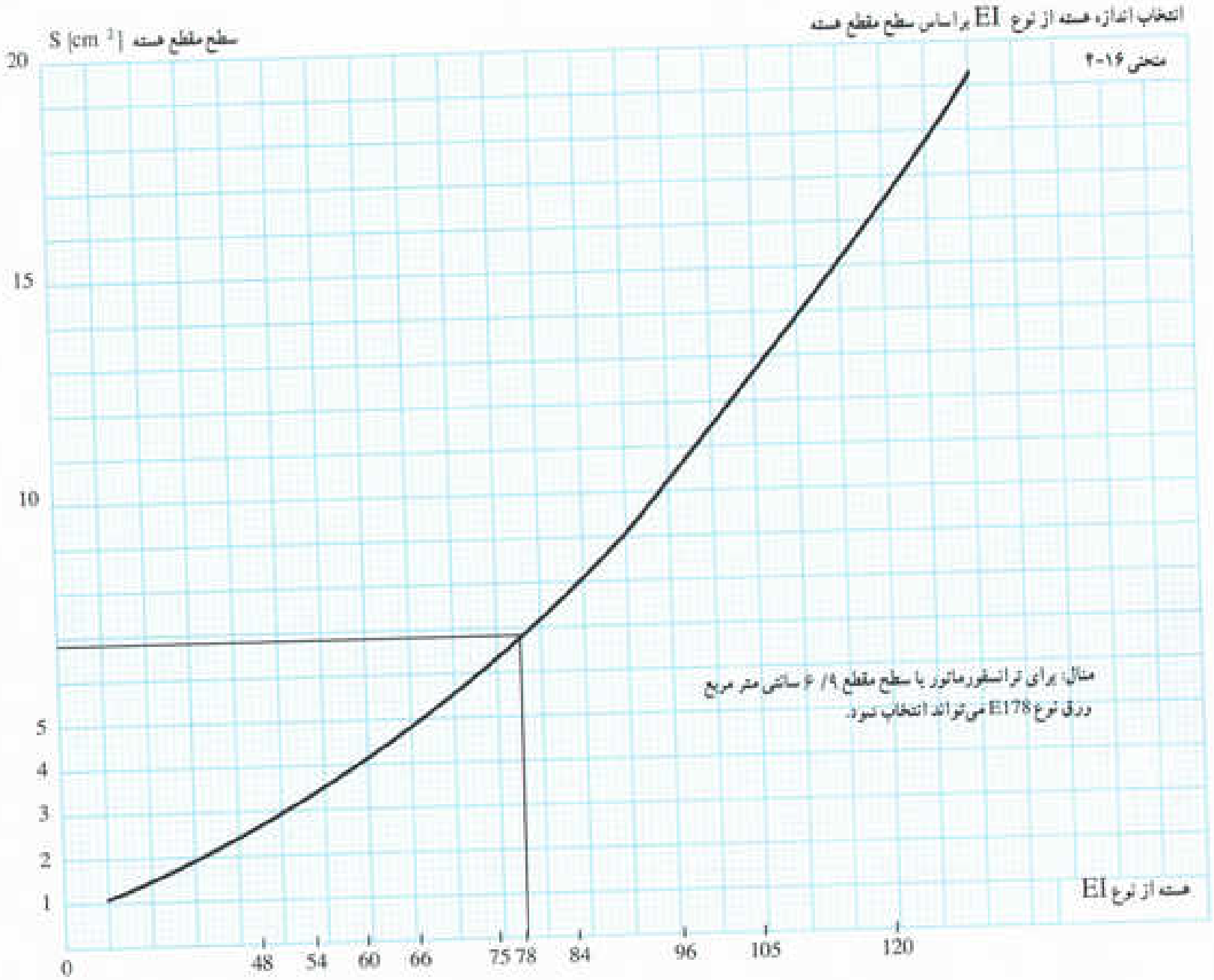
تعیین چگالی جریان سیم‌ها بر اساس توان خروجی

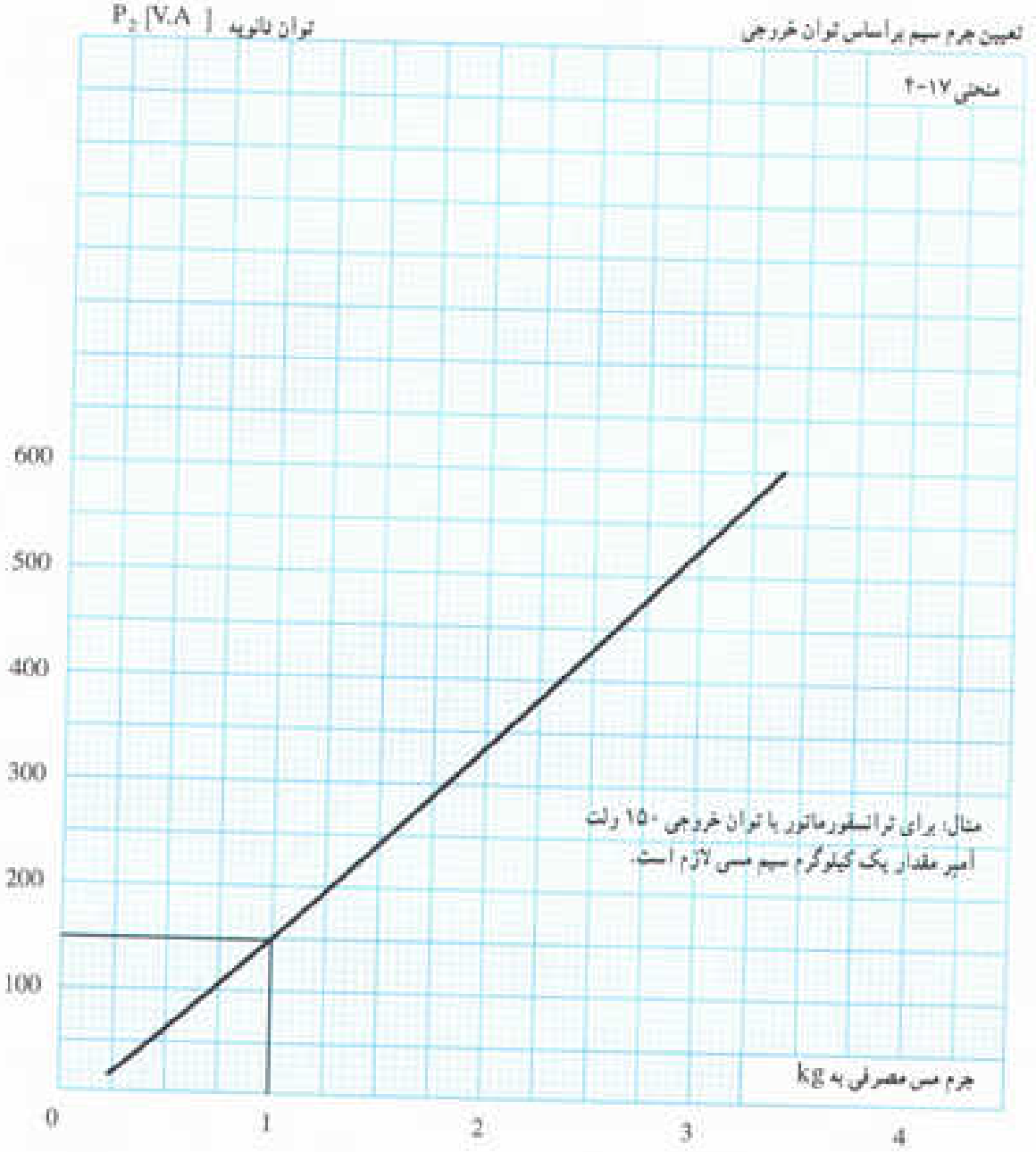
منحنی ۱۳-۴

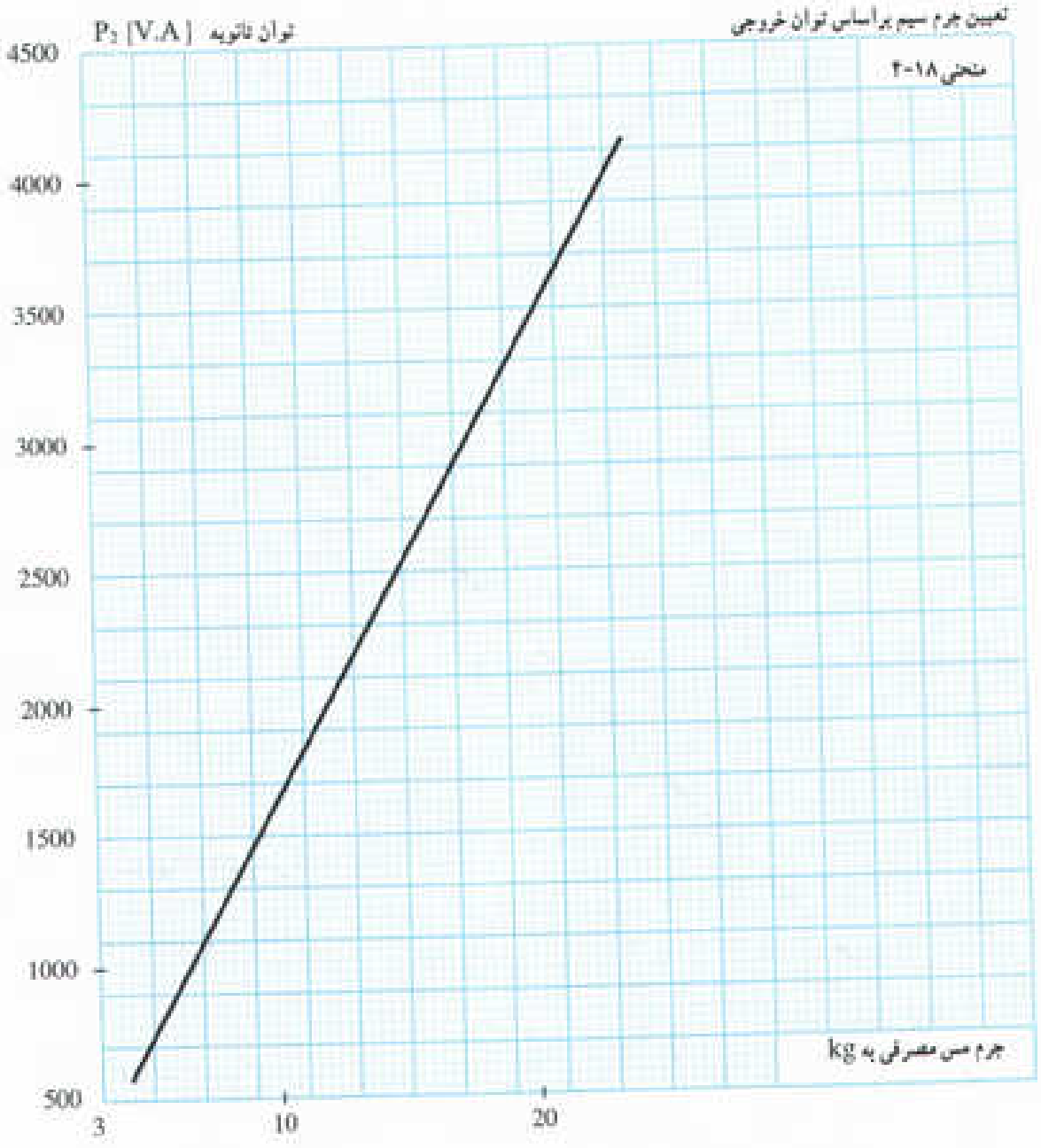



I [A] شدت جریان
2
1.5
1
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
j=4
j=3.5
j=3
j=2.5 A/mm²
منحنی ۱۴-۴
مثال: اگر جریان سیم ۰/۵ آمپر، چگالی جریان ۴ آمپر
بر میلی متر مربع باشد، قطر سیم ۰/۳۹ می‌شود که
سیم با قطر ۰/۴ انتخاب می‌شود.
قطر سیم بر حسب میلی متر
0.5 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50 0.55 0.60 0.65 0.70 0.75 0.80 0.85 0.90 0.95
تعیین قطر سیم بر اساس جریان سیم و چگالی جریان


تعیین قطر سیم بر اساس جریان سیم و چگالی جریان
I [A] شدت جریان
قطر سیم بر حسب میلی متر
j=4
j=3.5
j=3
j=2.5
j=2 A/mm²
منحنی ۱۵-۹
10
7.5
5
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5

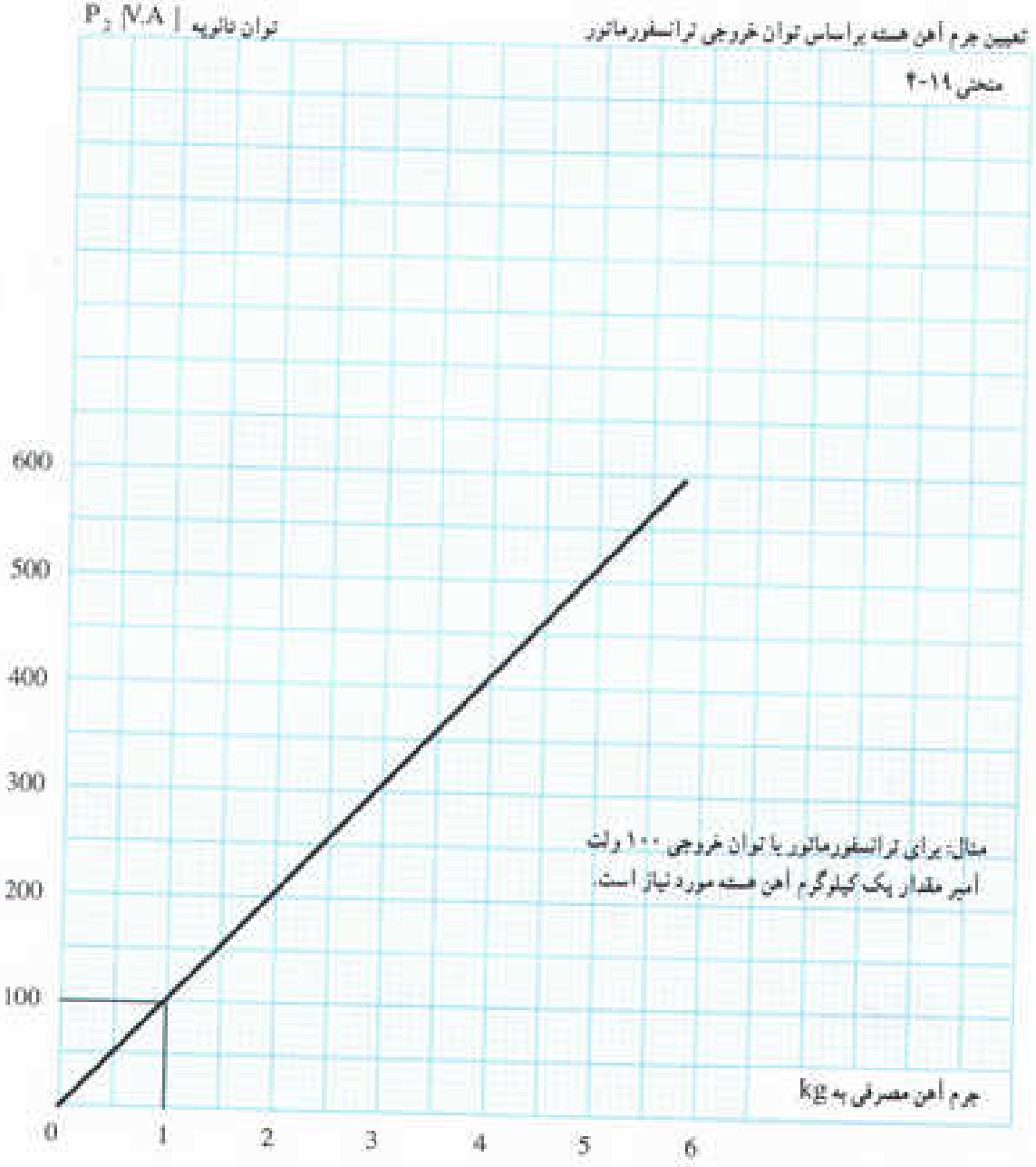

انتخاب اندازه هسته از نوع EI براساس سطح مقطع هسته
منحنی ۱۶-۴
سطح مقطع هسته S [cm²]
20
15
10
5
4
3
2
1
0
48
54
60
66
75
78
84
96
105
120
هسته از نوع EI
مثال: برای ترانسفورماتور با سطح مقطع ۹/ ۶ سانتی متر مربع
ورق نوع E178 می تواند انتخاب شود.

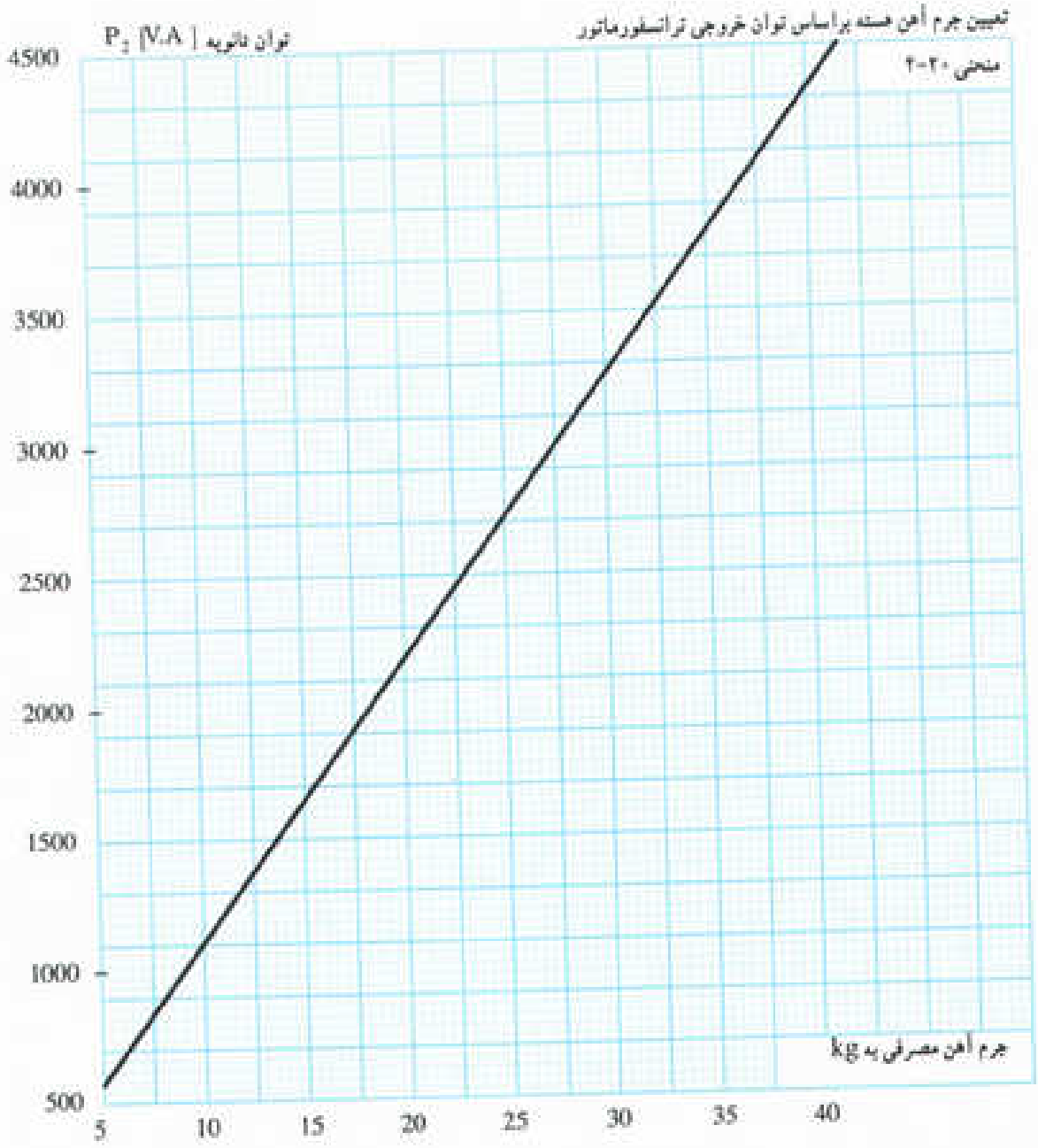

تعیین جرم سیم براساس توان خروجی
منحنی ۱۷-۴
توان ثانویه P_2 [V.A]
600
500
400
300
200
100
0
1
2
3
4
مثال: برای ترانسفورماتور با توان خروجی ۱۵۰ وات
آمپر مقدار یک کیلوگرم سیم مسی لازم است.
جرم مس مصرفی به kg


تعیین جرم سیم بر اساس توان خروجی
منحنی ۱۸-۴
توان ثانویه P_2 [V.A]
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
3
10
20
جرم مس مصرفی به kg

تعیین جرم آهن هسته براساس توان خروجی ترانسفورماتور

منحنی ۱۹-۴




تعیین جرم آهن هسته براساس توان خروجی ترانسفورماتور
منحنی ۲۰-۴
توان ثانویه P_2 [V.A]
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
5
10
15
20
25
30
35
40
جرم آهن مصرفی به kg

مناسب است در کار با منحنی‌ها برای طراحی ترانسفورماتورها جدولی مطابق (جدول ۵-۴) تشکیل دهیم و آن را کامل کنیم.

جدول ۵-۴- تکمیل اطلاعات طرح ترانسفورماتورها از منحنی‌ها

$U_1 = V$ ولتاژ اولیه $d' = mm$ ضخامت ورق‌ها $P_T = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + \ldots V.A$ $U_{T1} = V, U_{T2} = V, U_{T3} = V, I_{T1} = A, I_{T2} = A, I_{T3} = A$				
$P_{T1} = I_{T1} \times U_{T1} =$ V.A $P_{T2} = I_{T2} \times U_{T2} =$ V.A $P_{T3} = I_{T3} \times U_{T3} =$ V.A				
خواسته‌ها	منحنی	فرمول	محاسبات	نتیجه
S	۱			
P_1	۲			
N_V	۳	$N_1 = U_1 \times N_v$		
N_1				
ΔU_{T1}	۴			
ΔU_{T2}	۴			
ΔU_{T3}	۴			
N_{T1}		$N_{T1} = U_{T1} \times N_v(1 + \Delta U_{T1})$		
N_{T2}		$N_{T2} = U_{T2} \times N_v(1 + \Delta U_{T2})$		
N_{T3}		$N_{T3} = U_{T3} \times N_v(1 + \Delta U_{T3})$		
J	۵			
I_1	۶	$I_1 = P_1 / V_1$		
d_1	۷			
d_{T1}	۷			
d_{T2}	۷			
d_{T3}	۷			
نوع EI	۸			
تعداد ورق‌های EI		$n = (10^4 \times S)/(f \times d')$		
وزن مس مصرفی	۹			
وزن آهن مصرفی	۱۰			
ابعاد قرقره			a b L $h = \frac{10^4 \times S}{f}$	

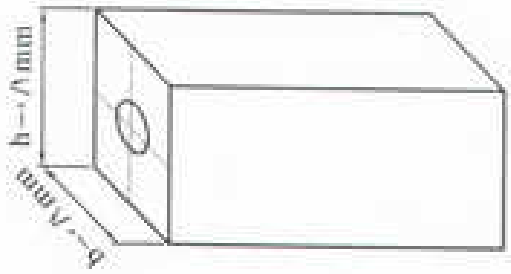
مثال: ترانسفورماتوری به مشخصات $U_1=۲۲۰V, U_۲=۲۴V, I_۲=۱/۵A, d'=۰/۵۰mm$ را از طریق منحنی‌ها و (جدول ۵-۴) طرح کنید.

جدول ۵-۴- تکمیل اطلاعات طرح ترانسفورماتورها از منحنی‌ها

$U_1=۲۲۰V$ ولتاژ اولیه	$d'=۰/۵۰mm$ ضخامت ورق‌ها	$P_۲=۲۴\times۱/۵+۳۶V.A$		
$U_{۲۱}=۲۴V, U_{۲۲}=...V$	$U_{۲۳}=...V, I_{۲۱}=۱/۵A,$	$I_{۲۲}=...A, I_{۲۳}=...A$		
$P_{۲۱}=I_{۲۱}\times U_{۲۱}=$ 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			$۵/۹cm^۲$
$P_۱$	۲			۴۲/۵V.A
N_V	۳	$N_1=U_1\times N_V$	۲۲۰×۶/۴	۶/۴
N_1				۱۴۸۰
$\Delta U_{۲۱}$	۴			٪ ۱۳/۵
$\Delta U_{۲۲}$	۴			—
$\Delta U_{۲۳}$	۴			—
$N_{۲۱}$		$N_{۲۱}=U_{۲۱}\times N_V(۱+\Delta U_{۲۱})$	۲۴×۶/۴×(۱۰۰+/۱۳۵)	۱۷۵
$N_{۲۲}$		$N_{۲۲}=U_{۲۲}\times N_V(۱+\Delta U_{۲۲})$		—
$N_{۲۳}$		$N_{۲۳}=U_{۲۳}\times N_V(۱+\Delta U_{۲۳})$		—
J	۵			۴
I_1	۶	$I_1=P_1/V_1$	۴۲/۶ ÷۲۲۰	۰/۱۹۵
d_1	۷			۰/۲۳
$d_{۲۱}$	۷			۰/۷۰
$d_{۲۲}$	۷			—
$d_{۲۳}$	۷			—
نوع El	۸			۶۶
تعداد ورق‌های El		$n=(۱/۱\times S)\div(f\times d')$	$(۱/۱\times۵/۹)\times۱۰۰ \div(۲۲\times۰/۵)$	۵۹
وزن مس مصرفی	۹			۲۵۰g
وزن آهن مصرفی	۱۰			۳۵۰g
ابعاد قرقره			$a=۴۳/۱$ $b=۲۲/۶$ $L=۳۸$ $h=\frac{۱/۱\times S}{f}=\frac{۱/۱\times۵/۹\times۱۰۰}{۲۲}$	$h=۲۹/۵mm$

۱۰ـ۴ـ کار شماره ۱ (زمان اجرا: ۲۴ ساعت)



۱ـ۱۰ـ۴ـ هدف:

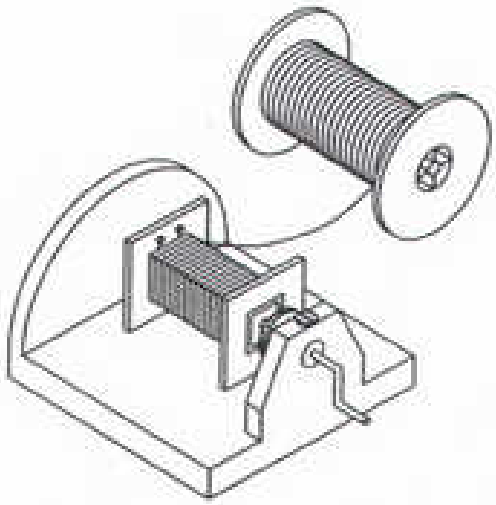
ساخت ترانسفورماتور تک فاز به مشخصات

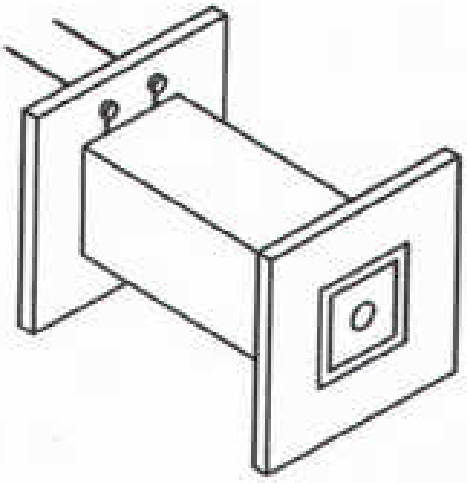
$U_1=۲۲۰V, U_2=۱۲V, I_2=۲A$

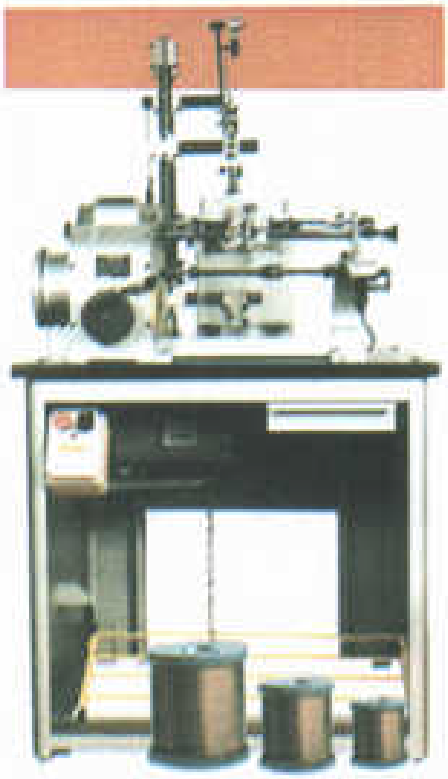
از ورق EI مرغوب با چگالی ۱۲۰۰۰ گوس

۲ـ۱۰ـ۴ـ وسایل و مواد لازم:

- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI ۲۸ یک عدد
- ورق EI ۶۶ به ضخامت ۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- فیبر استخوانی ۱ mm نیم مترمربع
- سیم لاکی مسی ۰/۲۰ mm و ۰/۸۰ mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- سیم لخت کن
- دم باریک
- سیم روکش نمره ۱/۵ و ۱
- ماکارونی (وارنیش) نمره ۱/۵ و ۲ و ۱
- هویه و دریل
- لحیم و زاک (جای فیش) چهار عدد
- کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و ۰/۱۵
- چسب نواری
- کاغذ سمباده







۳ـ۱۰ـ۴ـ نکات ایمنی:

۱ـ از لباس کار مناسب استفاده کنید.

۲ـ شار لاک سیم لاکی را بررسی کنید تا لاک سیم سالم باشد و روکش سیم لاکی از بین نرفته باشد.

۳ـ اگر از دستگاه‌های دستی استفاده می‌کنید در هدایت سیم به قرقره بوبین از دستکش استفاده کنید.

۴ـ در کار با دستگاه‌های اتوماتیک، ابتدا با توجه به قطر سیم، رج پاپ دستگاه را تنظیم کنید.

۵ـ در سیم‌های کم قطر از سرعت کم ماشین استفاده کنید.

۶ـ قبل از سیم پیچی اتصال بدنه ماشین را بررسی کنید.

۴ـ۱۰ـ۴ـ مراحل کار:

ـ توان خروجی را به دست آورید.

ـ سطح مقطع هسته را تعیین کنید.

ـ دور بر ولت را مشخص کنید.

ـ افت ولتاژ را تعیین کنید.

ـ تعداد دور اولیه را بدون افت در اولیه محاسبه کنید.

ـ تعداد دور ثانویه را با در نظر گرفتن همه افت ولتاژ در ثانویه بدست آورید.

ـ چگالی جریان را تعیین کنید.

ـ قطر سیم اولیه و ثانویه را بدست آورید.

ـ ابعاد قرقره را مشخص کنید.

ـ فضای مورد نیاز سیم‌های اولیه و ثانویه را با ضریب فضای ۳۵٪ اضافی مشخص کنید.

ـ فضای محاسبه شده را با فضای قرقره $F \times L$ مقایسه کنید. در صورت کافی بودن فضا، قرقره را از فیبر استخوانی بسازید.

$P_۲ = U_۲ I_۲ = ۱۲ \times ۲ = ۲۴ \text{ V.A}$

$S_{Fe} = ۱/۲ \sqrt{P} = ۱/۲ \sqrt{۲۴} = ۵/۸۸$

$N_۱ = \frac{۳۷/۵}{S_{Fe}} = \frac{۳۷/۵}{۵/۸۸} \cong ۶/۳۸$

$\Delta U = ٪۱۴$ از جدول (۱-۴)

$N_۱ = ۲۲۰ \times ۶/۳۸ = ۱۴۰۳$

$N_۲ = ۱۲ \times ۶/۳۸ \times ۱/۱۴ = ۸۷$ دور

$J = ۴ A/mm^۲$ از جدول (۲-۴)

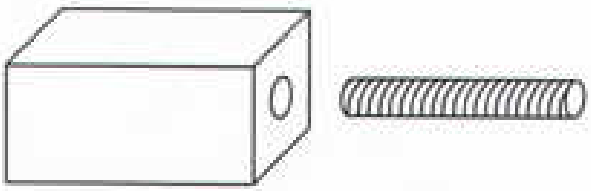
$A_۲ = \frac{۲}{۴} = ۰/۵ \Rightarrow d_۱ = ۱/۱۳ \sqrt{۰/۵} = ۶/۸۰$

$P_۱ = \frac{P_۲}{۰/۹} = ۲۶/۶۷$

$I_۱ = \frac{۲۶/۶۷}{۲۲۰} = ۰/۲۱ A$

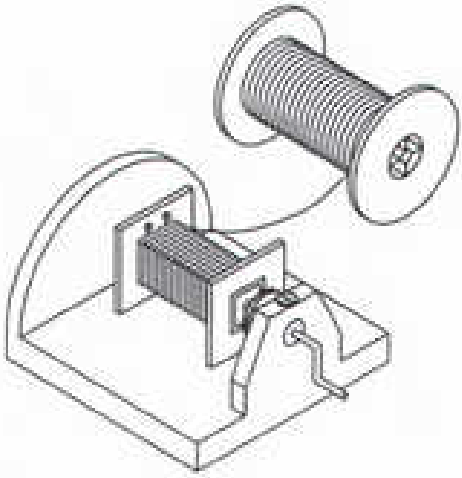
$A_۱ = \frac{۰/۱۲}{۴} = ۰/۰۳$

$D_۱ = ۱/۱۳ \sqrt{۰/۰۳} \cong ۲۰ \text{ mm}$



شکل ۴-۱۱

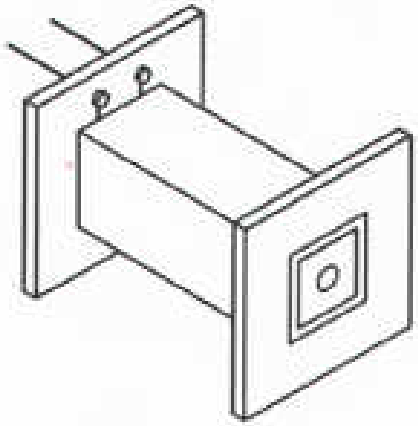
- یک قطعه چوب به شکل مکعب مستطیل به گونه‌ای تهیه کنید که با لقی ۰/۱ میلی‌متر فضای داخل قرقره را پوشش دهد و سوراخی متناسب با محور بوبین پیچ در آن تعبیه کنید. (شکل ۴-۱۱)



شکل ۴-۱۲

- چوب ساخته شده را در داخل قرقره قرار دهید و مجموعه را به بوبین پیچ ببندید.

- سیم‌پیچ اولیه را به طور مرتب و بدون فاصله بین حلقه‌ها بپیچید، سر سیم‌ها را از ماکارونی گذرانده به بیرون قرقره هدایت کنید. (شکل ۴-۱۲)

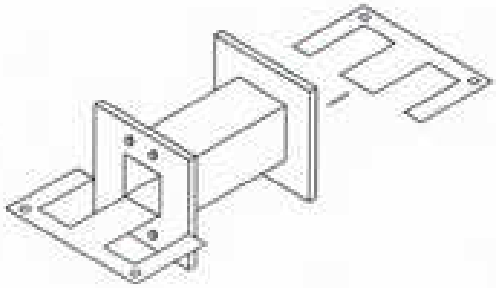


شکل ۴-۱۳

- روی سیم‌پیچ اولیه را با کاغذ پرشمان ۰/۱۵ یا ۰/۱۰ محکم بپوشانید و با چسب کاغذی لبه‌های آن را بچسبانید که باز نشود.

- سیم‌پیچ ثانویه را به طور مرتب و بدون فاصله بین سیم‌ها، روی قرقره بپیچید و سر آن‌ها را از ماکارونی گذرانده و به بیرون قرقره هدایت کنید.

- روی سیم‌پیچ ثانویه را با کاغذ پرشمان ۰/۲۰ بپوشانید و با چسب آن را محکم کنید که باز نشود. (شکل ۴-۱۳)



شکل ۴-۱۴

- در هر لبه قرقره دو سوراخ تعبیه کنید و چهار عدد زاک (جای فیش) به سوراخ‌ها ببندید. سر سیم‌های فشار قوی را به یک طرف و سر سیم‌های فشار ضعیف را به طرف دیگر در محل مربوطه به زاک‌ها محکم کنید.

- ورق‌های EI هسته آهن را در داخل قرقره از دو طرف به صورت یک در میان جابزنید تا قرقره پر شود. سپس ورق‌ها را با پیچ یا بست مناسب به هم محکم کنید. (شکل ۴-۱۴)

۱۱ـ۴ـ کار شماره ۲ (زمان اجرا: ۸ ساعت)

ترانسفورماتوری با مشخصات:

$U_{۱۱}=۲۲۰V, U_{۱۲}=۱۱۰V, U_{۲۱}=۶V, U_{۲۲}=۹V,$
$U_{۲۳}=۱۲V, I_{۲۱}=۵A, I_{۲۲}=۴A, I_{۲۳}=۳A$

که سیم‌پیچ‌های ثانویه هم زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند مورد نیاز است هسته این ترانسفورماتور از ورق‌های EI به ضخامت ۰/۳۵ میلی‌متر با چگالی ۱۰۰۰۰ گوس ساخته می‌شود. قرقره آن از قرقره‌های استاندارد انتخاب می‌شود. طراحی این ترانسفورماتور را از طریق منحنی‌های داده شده انجام دهید و مطابق مراحل مذکور در کار شماره ۱ آن را بسازید. سپس آن را در قاب آماده مطابق شکل (۱۵-۴) قرار دهید. و سر سیم‌ها را با اتصال به سیم‌های روکش‌دار بیرون بیاورید.

شکل ۱۵-۴

۱۲ـ۴ـ کار شماره ۳ (زمان اجرا: ۱۰ ساعت)

اتوترانسفورماتوری با مشخصات زیر مورد نیاز است کلیه مراحل طراحی آن را از طریق محاسبات و منحنی‌های داده شده انجام دهید و نتایج بدست آمده را با هم مقایسه کنید و ترانسفورماتور مناسب‌تر را بسازید.

مشخصات اتوترانسفورماتور:

$U_{۱۱}=۱۸۰V, U_{۱۲}=۲۲۰V, U_{۱۳}=۲۴۰V,$
$U_{۲}=۲۲۰V, I_{۲}=۸A$

هسته اتوترانسفورماتور از نوع مرغوب با چگالی ۱۴۰۰۰ گوس و نوع آن از برش EI می‌باشد فرکانس شبکه ۵۰ هرتز می‌باشد.

آزمون پایانی (۴)

۱ـ القای متقابل را کاملاً توضیح دهید.

۲ـ اصول کار ترانسفورماتور را شرح دهید.

۳ـ خود تنظیمی ترانسفورماتور را توضیح دهید.

۴ـ انواع تلفات در ترانسفورماتور را شرح دهید.

۵ـ ارتباط انواع تلفات ترانسفورماتورها را با فرکانس و چگالی میدان بیان کنید.

۶ـ فرق ترانسفورماتور ایده آل با حقیقی را بیان کنید. توضیح دهید چرا در عمل نمی‌توان به ترانسفورماتور ایده‌آل دسترسی پیدا کرد.

۷ـ توان تیپ اتوترانسفورماتور را شرح دهید، مزایا و معایب اتوترانسفورماتورها را بیان کنید.

۸ـ الف ـ ثابت کنید اگر $B_m=1000, f=50Hz$ باشد دور بر ولت از رابطه $N_v=\frac{45}{S(cm^2)}$ بدست می‌آید.

ب ـ ثابت کنید اگر $B_m=12000, f=50Hz$ باشد دور بر ولت از رابطه $N_v=\frac{37/5}{S(cm^2)}$ بدست می‌آید.

۹ـ ضریب فضا چیست و به چه منظور در محاسبات ترانسفورماتور آن را در نظر می‌گیرند؟

۱۰ـ نوع EI مناسب برای ترانسفورماتور به مشخصات $U_1=12V, I_1=6A$ را بدست آورید.

۱۱ـ ترانسفورماتوری به مشخصات $U_{21}=12V, U_{22}=9V, I_{21}=3A, I_{22}=5A$ را در نظر بگیرید و خواسته‌های زیر را به‌دست آورید؟

الف ـ دور بر ولت، هسته به چگالی ۱۲۰۰۰ هرتز و فرکانس ۶۰ هرتز

ب ـ دور بر ولت، هسته به چگالی ۱۰۰۰۰ هرتز و فرکانس ۵۰ هرتز و هسته به چگالی ۱۲۰۰۰ هرتز و فرکانس ۵۰ هرتز

ج ـ توان ورودی با استفاده از منحنی‌ها

د ـ مقدار مس و آهن مصرفی با استفاده از منحنی‌ها

و ـ راندمان ترانسفورماتورها با استفاده از منحنی‌ها

ز ـ تعیین فضای اشغالی توسط سیم‌پیچ‌ها

ح ـ تعیین قرقره مناسب برای ترانسفورماتور

واحد کار پنجم

توانایی آزمایش ترانسفورماتور تک فاز تا قدرت ۳ KAV

هدف کلی:

آشنایی با دستگاه‌های اندازه‌گیری و تعیین راندمان ترانسفورماتور

هدف‌های رفتاری:

فراگیر پس از آموزش این واحد کار قادر خواهد بود:

۱ـ انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری را نام ببرد.
۲ـ انواع روش‌های اندازه‌گیری را شرح دهد.
۳ـ انواع خطاهای اندازه‌گیری را شرح دهد.
۴ـ ساختمان و نحوهٔ عملکرد دستگاه‌های اندازه‌گیری شامل عقربه‌ای، آهن‌ربای دایم و قاب گردان، آهن‌ربای دایم و قاب صلیبی، آهن‌نرم گردان، بوبین گرد و آهن نرم گردان، الکترودینامیکی، الکترواستاتیکی، فرکانس‌متر ارتعاشی و حرارتی را شرح دهد.
۵ـ ولتاژ و جریان و توان و مقاومت اهمی و مقاومت سلفی و القایی را اندازه‌گیری کند.
۶ـ ساختمان و طرز کار پتانسیومتر را شرح دهد.
۷ـ از آزمایش بی باری تلفات هسته را تعیین کند.
۸ـ از آزمایش اتصال کوتاه، ولتاژ اتصال کوتاه و تلفات مسی را تعیین کند.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۱۶	۲۰	۳۶

پیش آزمون (۵)

۱ـ قنرها در دستگاه‌های اندازه‌گیری ..... و در .....هم دیگر پیچیده می‌شوند؟

۱ ـ ارتعاشات عقربه را کاهش داده ـ جهت موافق
۲ ـ ارتعاشات عقربه را کاهش داده- جهت مخالف
۳ ـ نیروی مقاوم ایجاد کرده- جهت موافق
۴ ـ نیروی مقاوم ایجاد کرده- جهت مخالف

۲ـ کدام دستگاه اندازه‌گیری توانایی سنجش مستقیم هم جریان AC و هم جریان DC را دارد؟

۱ ـ الکترودینامیکی
۲ ـ آهن‌ربای دایم و قاب گردان
۳ ـ آهن نرم گردان
۴ ـ الکترودینامیکی و آهن نرم گردان

۳ـ دستگاه اندازه‌گیری که مستقیماً قادر به سنجش ولتاژ الکتریکی می‌باشد کدام است؟

۱ ـ الکترودینامیکی
۲ ـ آهن ربای دایم و قاب گردان
۳ ـ الکترواستاتیکی
۴ ـ آهن نرم گردان

۴ـ از آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور به منظور تعیین کدام کمیت استفاده می‌شود؟

۱ ـ تلفات آهنی در بار نامی
۲ ـ تلفات مسی در بار نامی
۳ ـ ولتاژ خروجی در بار نامی
۴ ـ تلفات مسی و آهنی در بار نامی

۵- در آزمایش بی باری ترانسفورماتور از وات متر ۲۴۰ وات و در آزمایش اتصال کوتاه ۳۰۰ وات قرائت می‌شود اگر ترانسفورماتور در یک دوم بار نامی کار کند تلفات آن چند وات خواهد شد؟

۱ ـ ۱۳۵
۲ ـ ۳۱۵
۳ ـ ۵۴۰
۴ ـ ۳۸۰

۱ـ۵ـ اندازه‌گیری و دستگاه‌های اندازه‌گیری

۱ـ۱ـ۵ـ تعاریف:

ـ اندازه‌گیری:

تعیین بزرگی یک کمیت مجهول نسبت به یک کمیت معلوم استاندارد شده را اندازه‌گیری گویند.

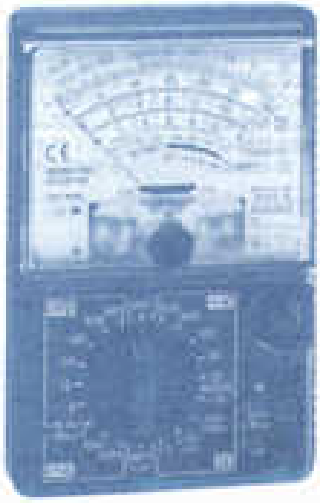
ـ دستگاه اندازه‌گیری:

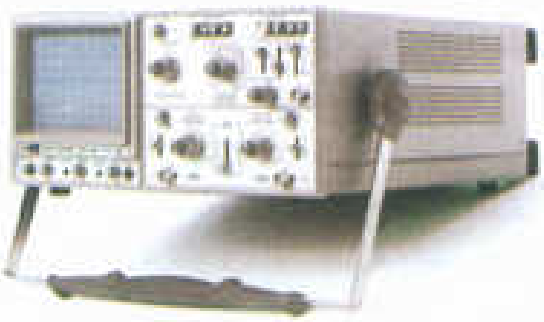
تمام متعلقات مربوط به سنجش یک کمیت را دستگاه اندازه‌گیری می‌گویند. ممکن است وسایل مربوط به یک دستگاه یک پارچه یا جدا از هم باشند.

دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار متنوع‌اند ولی در کل به دو گروه تقسیم می‌شوند.

الف ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری آنالوگ

ب ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال





الف ـ دستگاه آنالوگ

ب ـ دستگاه دیجیتالی

شکل ۱-۵- نمونه‌هایی از دستگاه‌های اندازه‌گیری

۲ـ۱ـ۵ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری آنالوگ:

در دستگاه‌های آنالوگ تغییرات نشان دهنده، پیوسته است یعنی این دستگاه‌ها می‌توانند کمیت مورد اندازه‌گیری را عیناً نشان دهند. نشان دهنده آن‌ها عقربه یا شعاع نورانی است. (شکل الف-۱-۵)

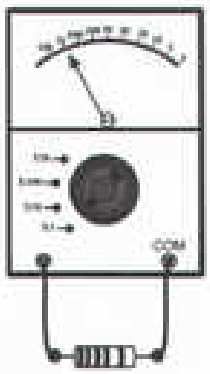
۳ـ۱ـ۵ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال:

تغییرات نشان دهنده دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی، به صورت پله‌ای یا رقمی (ناپیوسته) است و نشان دهنده آن‌ها از یک شمارنده تشکیل می‌شود. (شکل ب-۱-۵)

۲ـ۵ـ روش‌ها و مفاهیم اندازه‌گیری

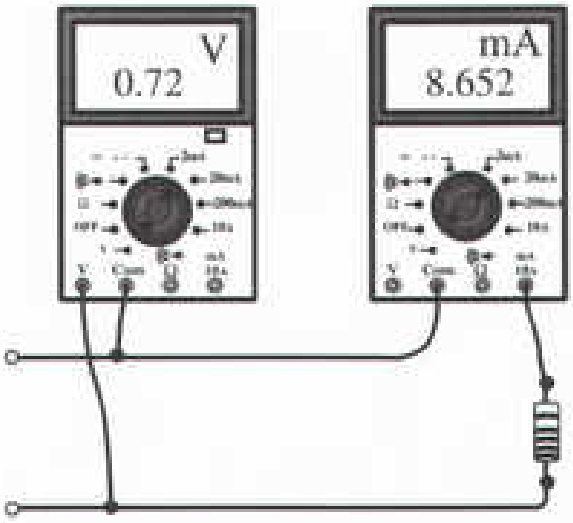
به طور عمده دو نوع روش اندازه‌گیری وجود دارد. روش اندازه‌گیری مستقیم، روش اندازه‌گیری غیر مستقیم.

۱ـ۲ـ۵ـ روش اندازه‌گیری مستقیم: اگر مقدار کمیت مورد سنجش توسط نشان دهنده دستگاه مشخص شود، اندازه‌گیری را مستقیم می‌گویند. مانند اندازه‌گیری جریان توسط آمپرمتر یا اندازه‌گیری ولتاژ توسط ولت متر.



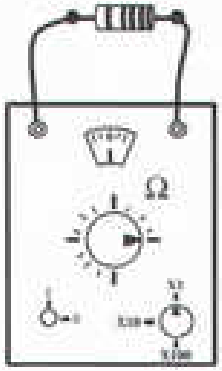
الف - اندازه‌گیری مقاومت به روش مستقیم به وسیله اهم‌متر

۲ـ۲ـ۵ـ روش اندازه‌گیری غیر مستقیم: اگر دستگاه اندازه‌گیری مخصوصی برای سنجش یک کمیت در دسترس نباشد و از طریق اندازه‌گیری کمیت‌های مربوط به آن و با کمک روابط موجود، مقدار یک کمیت را تعیین کنیم، اندازه‌گیری را غیر مستقیم می‌گویند. مثلاً برای تعیین مقاومت الکتریکی یک عنصر، ابتدا ولتاژ دو سر آن را اندازه‌گیری می‌کنیم سپس جریان مدار را اندازه‌می‌گیریم و از تقسیم مقدار ولتاژ، به جریان الکتریکی اندازه‌گیری شده، مقدار مقاومت الکتریکی عنصر مشخص می‌شود. این روش اندازه‌گیری را اندازه‌گیری غیرمستقیم می‌گویند.



ب - اندازه‌گیری مقاومت به روش غیرمستقیم به کمک ولت‌متر و آمپرمتر

ـ اندازه‌گیری مقایسه‌ای: در این حالت، معمولاً کمیت مورد نظر را با یک مقدار معلوم مقایسه می‌کنند و نسبت بین آنها را تعیین می‌کنند مانند انواع پل‌های اندازه‌گیری، که از دقت زیادی برخوردارند.



ج - اندازه‌گیری مقاومت از روش مقایسه به کمک پل اندازه‌گیری

شکل ۲-۵- روش‌های اندازه‌گیری

۳ـ۲ـ۵ـ خطاهای اندازه‌گیری: معمولاً اندازه‌گیری کمیت‌ها با خطا همراه است. خطاهای اندازه‌گیری ممکن است مربوط به دستگاه اندازه‌گیری باشد که به آن خطای سیستماتیک می‌گویند و عوامل مؤثر در این خطا، شامل خطای فرکانس، خطای جریان فوکو، خطای اصطکاک یاتاقان‌ها، خطای حوزه‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی و خطای حرارتی می‌شود. امروزه دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار دقیق که تقریباً فاقد خطا هستند ساخته می‌شوند و به همین دلیل بحث خطای دستگاه‌ها کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. خطای اندازه‌گیری ممکن است مربوط به شخص اندازه‌گیر باشد که به آن خطای اتفاقی می‌گویند.

عوامل مؤثر در این خطا به استفاده نادرست از دستگاه، مهارت و تجربه کم شخص اندازه‌گیر مربوط می‌شود. با انجام آزمایش‌های مکرر و در نظر گرفتن میانگین اندازه‌گیری‌ها تا حدود زیادی، می‌توان این خطاها را کاهش داد. معمولاً خطا را به شکل‌های مختلف نشان می‌دهند که به شرح مختصر آن‌ها می‌پردازیم.

هشدار در جهت کاهش خطاها

ـ قبل از استفاده از دستگاه به مشخصات روی آن بخصوص نحوه استفاده از آن توجه کنید.

ـ دستگاه را از عوامل موجب خطا از جمله میدان‌های مغناطیسی دور نگهدارید.

ـ برای خواندن کمیت مورد اندازه‌گیری عمود بر سطح صفحه به عقربه نگاه کنید و به تقسیمات صفحه مدرج به دقت توجه کنید.

ـ خطای مطلق: اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار واقعی را خطای مطلق می‌گویند.

مقدار خطای مطلق ممکن است مثبت یا منفی باشد.

خطای مطلق = مقدار اندازه‌گیری شده (Am) − مقدار واقعی (A)

$$\Delta A = Am - A$$

ـ خطای نسبی: نسبت خطای مطلق به مقدار واقعی (یا با کمی تقریب مقدار اندازه‌گیری شده) را خطای نسبی می‌گویند.

$$\text{خطای نسبی} = \frac{\text{مقدار واقعی} - \text{مقدار اندازه‌گیری شده}}{\text{مقدار واقعی}}$$

$$\delta_A = \frac{A_m - A}{A} \cong \frac{A_m - A}{A_m}$$ و یا

خطای نسبی را به درصد بیان می‌کنند و آن عبارت از مقدار خطایی است که در اندازه‌گیری صد واحد از کمیت مورد سنجش اتفاق می‌افتد.

$$\text{(درصد خطای نسبی)} = \frac{\text{خطای مطلق}}{\text{مقدار واقعی}} \times 100$$

و یا

$$\text{(درصد خطای نسبی)} = \frac{\text{خطای مطلق}}{\text{مقدار اندازه‌گیری شده}} \times 100$$

۴-۲-۵- حدود اندازه‌گیری در یک دستگاه:

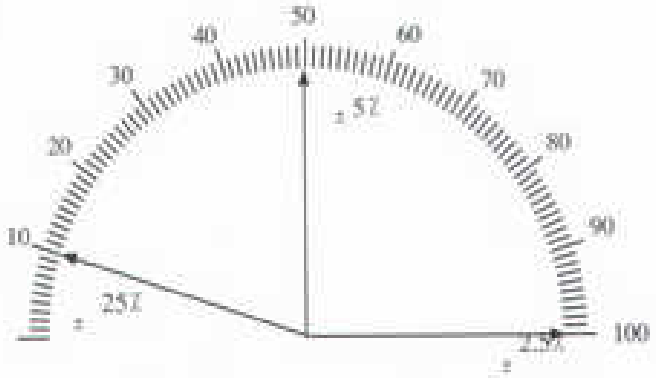
ماکزیمم مقداری که یک دستگاه اندازه‌گیری می‌تواند اندازه‌گیری کند را حدود اندازه‌گیری یا رنج دستگاه می‌گویند.

۵-۲-۵- کلاس (طبقه بندی): درصد خطای نسبی یک دستگاه را در حدود اندازه‌گیری دستگاه، کلاس دستگاه می‌گویند.

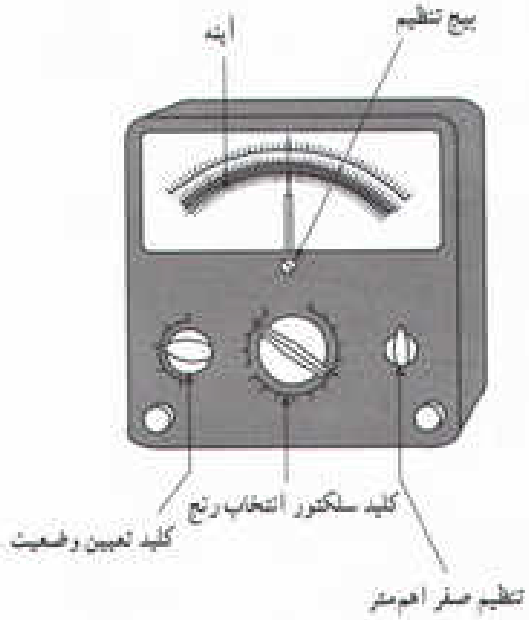
به کمک کلاس یک دستگاه، می‌توان خطای مجاز آن دستگاه را بدست آورد و در هر اندازه‌گیری مقدار خطای نسبی را محاسبه کرد.

شکل مقابل، درصد خطای یک دستگاه را در انحراف‌های مختلف عقربه نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌شود هر چقدر انحراف عقربه در سنجش یک کمیت کمتر باشد خطای نسبی اندازه‌گیری بیشتر است. بنابراین مناسب است در سنجیدن یک کمیت، رنج دستگاه را به گونه‌ای انتخاب کرد که انحراف عقربه از میانه صفحه مدرج بگذرد تا خطای نسبی در اندازه‌گیری کمتر شود. (شکل الف۳-۵)

$$\text{کلاس} = \frac{\Delta A}{\text{حدود اندازه‌گیری}} \times 100$$



الف - تغییرات درصد خطا در انحرافات مختلف عقربه



ب - نمای ظاهری دستگاه اندازه‌گیری

شکل ۳-۵

۳-۵- مشخصات کلی دستگاه‌های اندازه‌گیری عقربه‌ای

یک دستگاه اندازه‌گیری عقربه‌ای شامل قسمت‌هائی به شرح زیر است. قسمت اصلی یا مکانیزم دستگاه، که معمولاً از یک بوبین و جزئیات دیگر تشکیل می‌شود که به شرح آنها خواهیم پرداخت. قسمت‌های دیگر که تقریباً در تمام دستگاه‌های عقربه‌ای مشترکند شامل عقربه، صفحه مدرج، محور، یاتاقان، پین‌های نگهدارنده، پیچ تنظیم صفر و خفه کن (نوسان گیر یا دمپر) می‌باشند که به شرح مختصر آن‌ها می‌پردازیم. (شکل ۳-۵-ب)

۱ـ۳ـ۵ـ بوبین‌ها: بوبین‌ها از چند دور سیم که معمولاً به دور یک قالب سبک آلومینیومی پیچیده می‌شوند، تشکیل می‌شوند. این بوبین‌ها بر محور دستگاه اندازه‌گیری نصب می‌شوند و با قسمت ساکن دستگاه را تشکیل می‌دهند. در شکل (۴-۵) چند نمونه از بوبین‌ها مشاهده می‌شود.

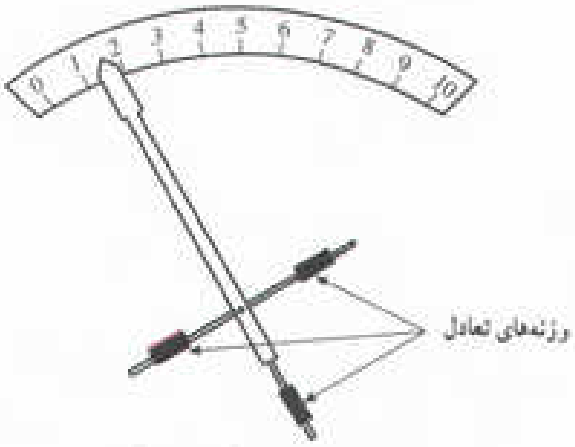
بوبین های ثابت

بوبین گردان

شکل ۴-۵- چند نمونه بوبین

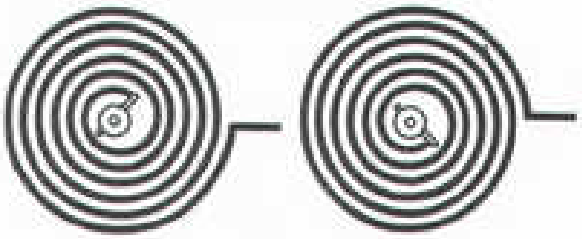
۲ـ۳ـ۵ـ عقربه دستگاه اندازه‌گیری: عقربه دستگاه اندازه‌گیری، میله سبک آلومینیومی است که در انتهای آن وزنه‌های تعادل قرار دارد. این وزنه‌ها سبب می‌شود که محور و اجزای متعلق به آن پس از نصب روی دستگاه، حالت تعادل داشته باشند.

عقربه دستگاه، متناسب با مقدار کمیت مورد سنجش، روی صفحه مدرج حرکت کرده، روی یک مقدار معین متناسب با کمیت مورد سنجش می‌ایستد و بزرگی کمیت مورد سنجش را نشان می‌دهد. (شکل ۵-۵)



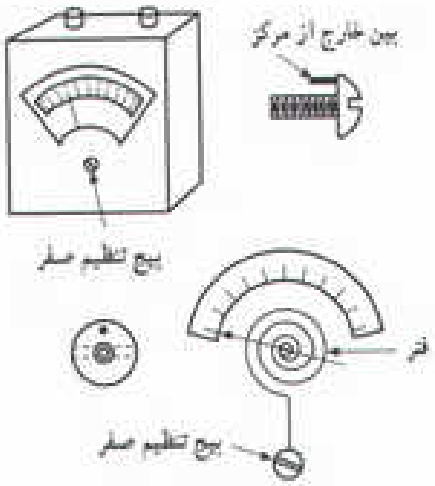
شکل ۵-۵- عقربه دستگاه اندازه‌گیری

۳ـ۳ـ۵ـ فنرها: معمولاً روی محور دستگاه اندازه‌گیری دو فنر مشابه که عکس هم پیچیده شده‌اند قرار می‌دهند. این دو فنر همواره عقربه را در حالت معمولی روی صفر نگه می‌دارند. علت پیچش مخالف این دو فنر، خنثی کردن اثر انبساط طول فنرها در اثر افزایش دمای محیط است که هر دو فنر به یک اندازه منبسط می‌شوند و چون در جهت مخالف هم پیچیده شده‌اند اثر همدیگر را خنثی می‌کنند. (شکل ۶-۵) وظیفه اصلی این دو فنر ایجاد گشتاور مقاوم در هنگام اندازه‌گیری کمیت مورد نظر می‌باشد.



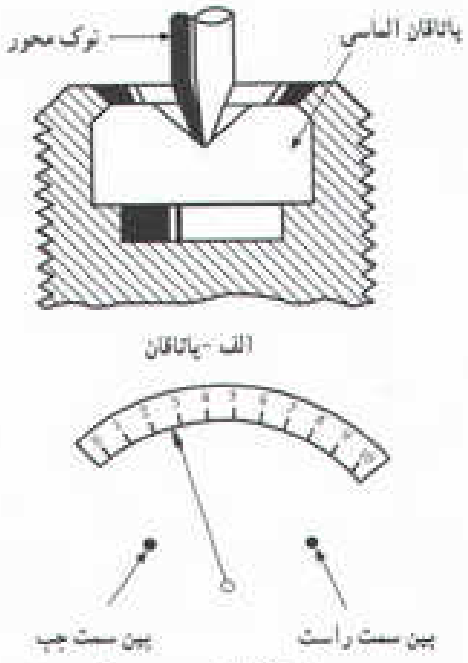
شکل ۶-۵- فنرهای دستگاه اندازه‌گیری که پیچش مخالف هم دارند

۴-۳-۵- تنظیم صفر دستگاه: فنرهای دستگاه اندازه‌گیری پس از مدت کارکرد دستگاه دقت خود را از دست می‌دهند، این امر باعث پیدایش خطا در اندازه‌گیری می‌شود. برای رفع این عیب، یک پیچ تنظیم روی دستگاه قرار می‌دهند این پیچ زائده‌ای دارد که با پیچش پیچ به چپ و راست، فنرها را جمع و نیروی کشش فنرها را زیاد می‌کنند و عقربه را بر روی صفر تنظیم می‌کند. (شکل ۷-۵)



شکل ۷-۵- تنظیم صفر

۵-۳-۵- محور و یاتاقان‌ها: به منظور افزایش دقت اندازه‌گیری و انحراف عقربه در مقادیر کم، قسمت‌های متحرک را روی یک محور سوار می‌کنند و برای کاهش اصطکاک، در دو سر محور، مخروطی از استیل سخت و صاف قرار می‌دهند و مجموعه را در محل یاتاقان با قسمت ثابت مرتبط می‌سازند. برای آن که قسمت متحرک از جایگاه خود خارج نشود، حرکت محور را با دو عدد پین محدود می‌کنند. (شکل ۸-۵)

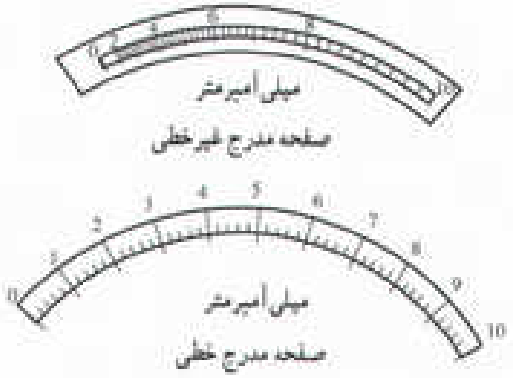


الف -یاتاقان

ب - پین‌های نگه‌دارنده و محدود کننده حرکت

شکل ۸-۵- محور و یاتاقان‌ها

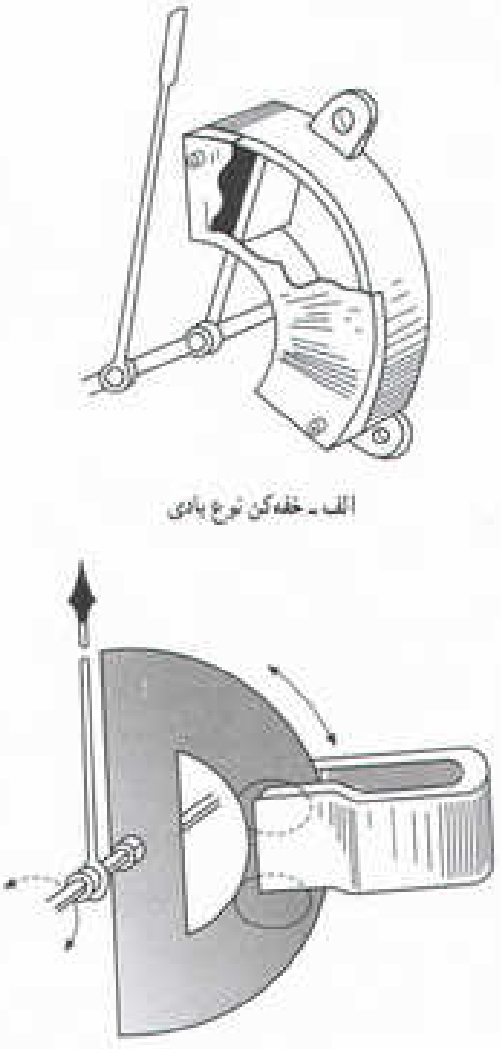
۶ـ۳ـ۵ـ صفحه مدرج: برای نمایش مقدار کمیت‌های مورد سنجش از صفحه مدرج استفاده می‌شود این صفحه براساس نوع کمیت مورد سنجش و مکانیسم کار دستگاه اندازه‌گیری ممکن است، به صورت خطی یا غیرخطی درجه‌بندی شود. (شکل ۹-۵) اگر فاصله خطوط در تمام صفحه با هم یکی باشند صفحه مدرج، به صورت خطی مدرج شده است، این درجه بندی نشان می‌دهد که انحراف عقربه با کمیت مورد سنجش ارتباط خطی دارد. اگر فاصله خطوط در صفحه مدرج با هم برابر نباشند صفحه مدرج غیرخطی درجه‌بندی شده است و انحراف عقربه با کمیت مورد سنجش ارتباط غیرخطی دارد.



شکل ۹-۵- انواع صفحات مدرج دستگاه اندازه‌گیری

۷ـ۳ـ۵ـ خفه‌کن‌ها (Dampers)، در ساختار دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی، به منظور افزایش دقت دستگاه سعی می‌شود که قسمت‌های متحرک و چرخان حتی الامکان سبک ساخته شوند. همچنین هرچه طول عقربه نشان دهنده بلندتر باشد فاصله بین درجات در صفحه مدرج بیشتر و مقدار کمیت با دقت بیشتر خوانده می‌شود. عوامل گفته شده، اینرسی قسمت‌های متحرک و اصطکاک کم در یاتاقان‌ها، باعث می‌شوند که عقربه دستگاه به هنگام نشان دادن یک کمیت، با نوسانات زیادی همراه باشد و زمان بیشتری لازم است که عقربه متوقف شود. از نظر استانداردهای معتبر زمان توقف نباید بیش از ۴ ثانیه طول بکشد. از طرف دیگر وقتی دستگاه اندازه‌گیری خاموش یا عامل محرک آن قطع می‌شود فنرها با سرعت زیاد عقربه را به حالت صفر برگشت می‌دهند. سرعت برخورد عقربه به پین نگه دارنده، به عقربه آسیب می‌رساند و سبب کجی آن می‌شود. برای جلوگیری از این مشکلات، از خفه‌کن یا نوسان‌گیر در دستگاه‌های اندازه‌گیری استفاده می‌شود. بنابراین: خفه کن‌ها وسایلی هستند که برای جلوگیری از ارتعاشات عقربه در محور دستگاه اندازه‌گیری نصب می‌شوند.

بیشتر در دستگاه‌های اندازه‌گیری از خفه‌کن‌های فوکو یا بادی استفاده می‌شود. (شکل ۱۰-۵)



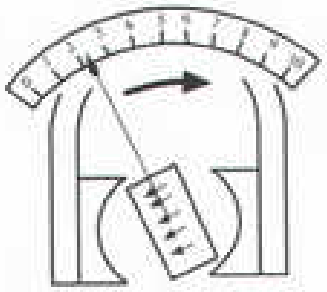
الف ـ خفه‌کن نوع بادی

ب ـ خفه‌کن نوع فوکو

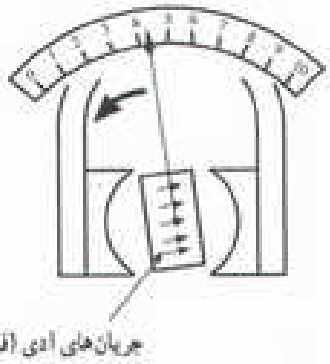
شکل ۱۰-۵- انواع خفه‌کن

- **خفه‌کن فوکو** : یک ورق آلومینیومی را روی محور دستگاه سوار می‌کنند به‌طوریکه از یک میدان آهنربائی عبور کند. با گردش محور ورق آلومینیومی خطوط میدان مغناطیسی آهنربا را قطع می‌کند و در آن جریان القائی بوجود می‌آورد که با عامل بوجود آورنده‌اش (حرکت) مخالفت می‌کند. در نتیجه از نوسان عقربه جلوگیری می‌کند. در دستگاه‌های اندازه‌گیری که دارای پوین چرخان هستند، پوین قسمت چرخان دستگاه اندازه‌گیری را، روی قاب آلومینیومی می‌پیچند. چون آلومینیوم رسانای جریان الکتریکی است، به هنگام حرکت قسمت متحرک در داخل میدان مغناطیسی، در قاب آلومینیومی جریان‌های فوکو تولید می‌شوند که از طریق قاب آلومینیومی مدار خود را کامل می‌کنند و میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند که با عامل تولید جریان‌های فوکو، یعنی حرکت سریع محور مخالفت و ارتعاشات عقربه را خفه می‌کنند. (شکل ۱۱-۵)

بنابراین عملکرد جریان فوکو به عبارت دیگر عملکرد ترمز فوکو در خلاف حرکت عقربه خواهد بود و همواره مخالفت خود را در حرکت عقربه از صفر به مقدار مورد سنجش یا برگشت عقربه به صفر نشان خواهد داد و باعث کاهش نوسانات عقربه خواهد شد.



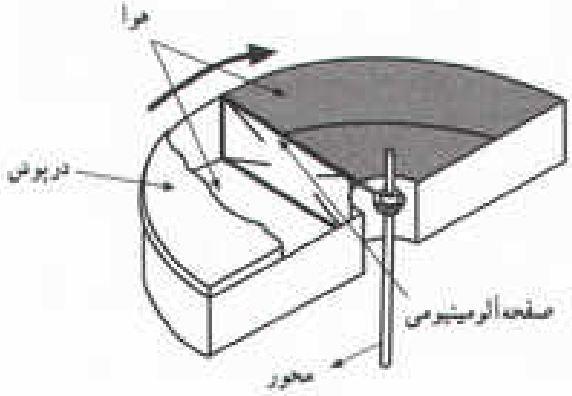
الف- جهت گردش عقربه به راست



ب- جهت گردش عقربه به چپ

شکل ۱۱-۵- خفه کن فوکو در دستگاه‌های با سیم چرخان

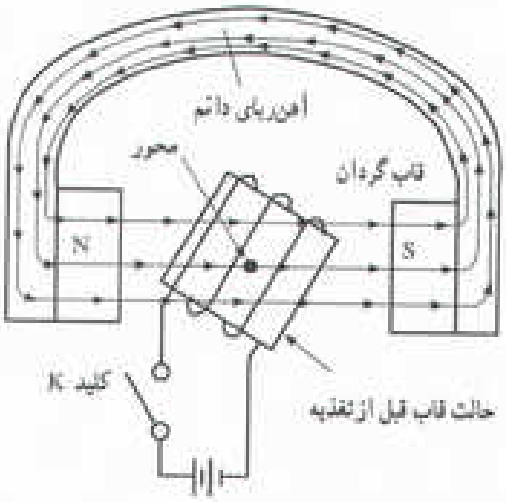
- **خفه کن بادی:** در بعضی از دستگاه‌های اندازه‌گیری که پوین آنها ثابت است (مانند دستگاه اندازه‌گیری با آهن متحرک) معمولاً از خفه‌کن‌های بادی استفاده می‌شود. خفه‌کن بادی تشکیل شده است از یک فضای سربسته و یک صفحه سبک متصل به محور، که در درون فضای سربسته حرکت می‌کند. در روی صفحه یا اطراف آن منافذی تعبیه می‌شود که در هنگام حرکت صفحه هوا از این منافذ از قسمت فشرده شده به آرامی به قسمت دیگر صفحه فرستاده می‌شود و از حرکات سریع و نوسانات عقربه جلوگیری به عمل می‌آید. (شکل ۱۲-۵)



شکل ۱۲-۵- خفه کن بادی

۴ـ۵ـ انواع وسایل اندازه‌گیری عقربه‌ای

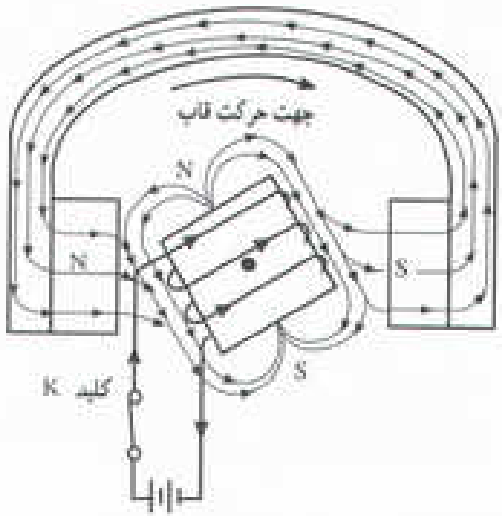
دستگاه‌های اندازه‌گیری براساس مکانیسم حرکت قسمت متحرک به چند نوع تقسیم‌بندی می‌شوند. مانند دستگاه اندازه‌گیری آهن ربای دایم و قاب گردان، آهن ربای دایم و قاب صلیبی، آهن نرم گردان، استاتیکی، الکترودینامیکی، فرودینامیکی، اندوکسیونی و حرارتی که به اصول کار و کاربرد برخی از آنها خواهیم پرداخت.



۱ـ۴ـ۵ـ دستگاه اندازه‌گیری آهن ربای دایم و قاب گردان

ـ اصول کار:

اصول کار دستگاه اندازه‌گیری آهن ربای دایم و قاب گردان براساس شکل‌های (۱۳-۵) می‌باشند. با اتصال کلید K و عبور جریان الکتریکی از سیم‌پیچ، در اطراف سیم‌پیچ میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. این میدان با میدان آهن‌ربای دایم درگیر شده و ایجاد گشتاور نموده و سیم‌پیچ را در حول محور خود به گردش وادار می‌کند. به این طریق نیروی محرک دستگاه توسط سیم‌پیچ گردان و آهن ربای دایم حاصل می‌شود. نیروی مقاوم این دستگاه را فنرها تأمین می‌کنند. زمانی که نیروی مقاوم فنرها با نیروی محرک یکی می‌شود عقربه دستگاه می‌ایستد.



شکل ۱۳-۵

ـ ساختمان: دستگاه اندازه‌گیری آهن ربای دائم و قاب گردان از یک آهن ربای نعلی شکل با دو کفشک قطبی، از آهن نرم ساخته می‌شود که خطوط میدان مغناطیسی متمرکز و یکنواخت، در اختیار دستگاه اندازه‌گیری قرار می‌دهد. بوبین گردان در فضای بین کفشک قطب‌ها و استوانه آهنی توسط محوری که از وسط آن می‌گذرد، قرار می‌گیرد. بوبین از چند دور سیم نازک که حول قاب آلومینیومی پیچیده شده، تشکیل می‌شود. دو فنر مارپیچ که قبلاً راجع به آن‌ها توضیح داده شد ایجاد گشتاور مقاوم را به عهده دارند.

در اثر عبور جریان از سیم‌پیچ قاب قسمت متحرک حول محور به گردش درمی‌آید. نیرو محرک متناسب با عبور جریان سیم‌پیچ می باشد. همراه با قسمت متحرک عقربه روی صفحه مدرج به حرکت در می‌آید. در اثر این حرکت یکی از فنرها جمع

و دیگری باز می‌شود، به هر حال هر دو فنر نیروی مقاوم در مقابل حرکت محور ایجاد می‌کنند. زمانی که گشتاور مقاوم فنرها با گشتاور محرک بوبین برابر می‌شود، محور متوقف می‌شود.

می‌توان اثبات کرد که انحراف عقربه این دستگاه، با جریان عبوری از داخل سیم‌پیچ رابطه خطی دارد. بنابراین دستگاه اندازه‌گیری آهن‌ربای دایم و قاب گردان بطور مستقیم، فقط توانایی سنجش جریان‌های (dc) را دارد و اگر جهت جریان در این دستگاه به طور نادرست به ورودی‌های آن وصل شود، به اصطلاح عقربه پس می‌زند. برای سنجش جریان‌های متناوب (ac) با دستگاه اندازه‌گیری آهنربای دایم و قاب گردان، لازم است جریان متناوب را قبلاً با یکسو کننده‌ها به جریان (dc) تبدیل کرد. سپس با این دستگاه اندازه‌گیری نمود. نوسانات عقربه توسط جریان‌های فوکو در صفحه آلومینیومی گرفته می‌شود. (شکل ۱۴-۵)

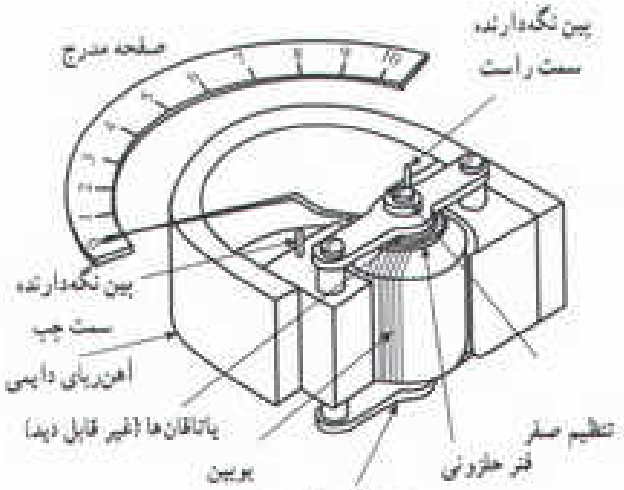
دقت و حساسیت بالای دستگاه اندازه‌گیری آهن‌ربای دایم و قاب گردان باعث شده است که این دستگاه به طور وسیع در سنجش جریان الکتریکی، ولتاژ و مقاومت و ... مورد استفاده قرار بگیرد. در اندازه‌گیری‌های جریان‌های زیاد یک مقاومت اهمی با آن موازی می‌کنند. (شکل الف-۱۵-۵) به عبارت دیگر ابتدا حدود اندازه‌گیری آن را توسعه می‌دهند سپس کمیت‌های زیاد را با آن می‌سنجند به مقاومت موازی در توسعه دامنه دستگاه، مقاومت شنت می‌گویند. در مورد اندازه‌گیری ولتاژهای بالا یک مقاومت سری به مدار دستگاه اضافه می‌کنند. به این طریق دستگاه توانایی سنجش ولتاژهای زیادی را پیدا می‌کند. (شکل ب-۱۵-۵)

- **حساسیت:** به میزان انحراف عقربه به ازای یک واحد از کمیت مورد سنجش حساسیت گفته می‌شود. یعنی:

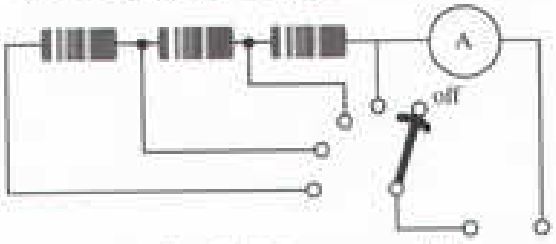
$$\text{حساسیت} = \frac{\text{زاویه انحراف کامل عقربه}}{\text{میزان کمیت مورد اندازه‌گیری}}$$

از آنجا که انحراف عقربه این دستگاه به ازای واحد کمیت مورد اندازه‌گیری (جریان) بسیار زیاد است لذا دستگاه‌های حساسی هستند.

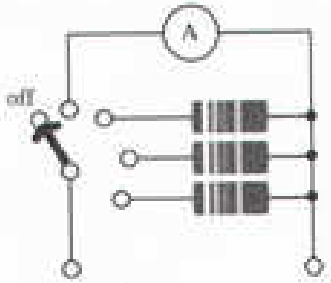
مثال: حساسیت دستگاه شکل (ج-۱۵-۵) چقدر است؟



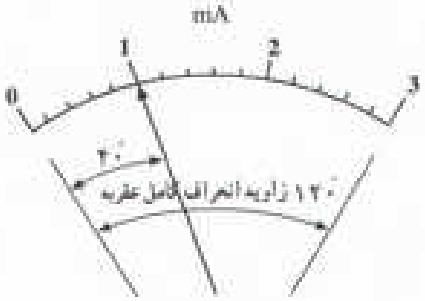
شکل ۱۴-۵- دستگاه اندازه‌گیری آهن‌ربای دایم و قاب گردان



الف- توسعه حدود اندازه‌گیری آمپرمتر



ب- توسعه حدود اندازه‌گیری ولت‌متر



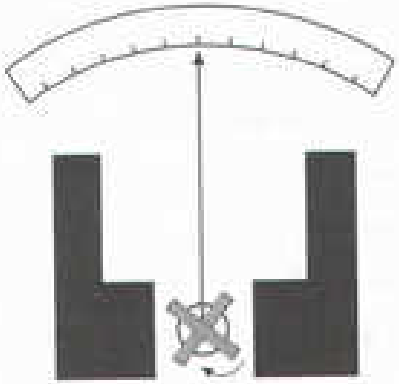
ج- زاویه انحراف

شکل ۱۵-۵

$$\text{حساسیت} = \frac{۱۲۰^\circ}{۳} = ۴۰ \left[\frac{^\circ}{\text{mA}} \right]$$

۲-۴-۵- دستگاه اندازه‌گیری آهن ربای دایم و قاب صلیبی (نسبت سنج):

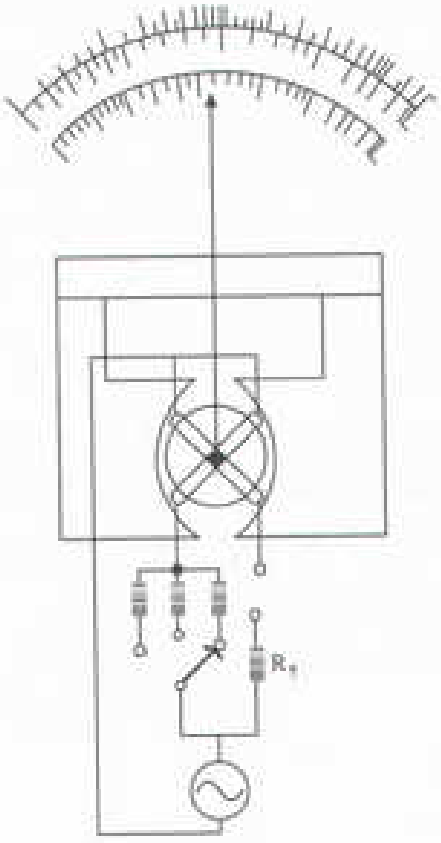
این دستگاه از یک آهن ربای دایم تشکیل شده است که در داخل قطب‌های آن دو سیم‌پیچ عمود بر هم که به صورت صلیبی به هم محکم شده‌اند قرار دارند. جریان الکتریکی از طریق نوارهای نرم فلزی به قسمت متحرک داده می‌شود. انتخاب نوارهای نرم فلزی به خاطر عکس‌العمل کم آنها می‌باشد که گشتاور مخالفی در مقابل حرکت قسمت متحرک ایجاد نکند. جهت پیچش سیم‌ها در قاب صلیبی به گونه‌ای است که گشتاور ایجاد شده در آن‌ها مخالف هم هستند. ساختمان قطب‌های مغناطیسی به گونه‌ای است که میدان مغناطیسی بین دو قطب یکنواخت نباشد. بدین طریق جریان‌هایی که از بوبین‌ها عبور می‌کنند در میدان آهن‌ربا، دو گشتاور مخالف ایجاد می‌کنند و قسمت متحرک را در جهت گشتاور قوی وادار به حرکت می‌کند بوبینی که گشتاور قوی دارد از میدان مغناطیسی قوی به تدریج خارج می‌شود ولی بوبین دومی وارد میدان قوی می‌شود. براساس این موقعیت جدید گشتاور بوبینی که از میدان خارج می‌شود ضعیف‌تر شده و در عوض گشتاور بوبین دومی تقویت می‌شود. زمانی که بزرگی دو گشتاور برابر می‌شود محور دستگاه می‌ایستد بنابراین گشتاور یکی از بوبین‌ها گشتاور محرک و گشتاور بوبین دومی گشتاور مقاوم می‌باشد. در این دستگاه نیازی به فنرهای ایجاد کننده گشتاور مقاوم نیست. (شکل الف-۱۶-۵)



(الف)

دستگاه اندازه‌گیری آهن ربای دایم با قاب صلیبی

این دستگاه نسبت دو جریان عبوری از دو بوبین را اندازه‌گیری می‌کند و به آن دستگاه نسبت سنج می‌گویند. (شکل ب-۱۶-۵) اگر مسیر یکی از دو بوبین را به دو سر یک مقاومت اهمی، متصل به ولتاژ وصل کنیم و از دیگری جریان مقاومت را عبور دهیم انحراف عقربه متناسب با نسبت ولتاژ دو سر مقاومت و جریان آن خواهد شد به عبارت دیگر دستگاه مقاومت اهمی را خواهد سنجید و از آن به عنوان اهم متر استفاده خواهد شد.



(ب)

شکل ۱۶-۵

۳ـ۴ـ۵ـ گالوانومتر: گالوانومتر دستگاه اندازه‌گیری

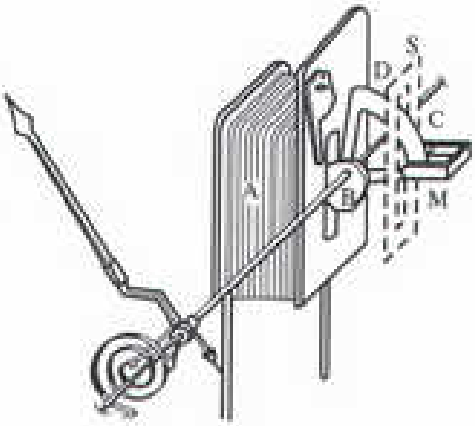
آهن‌ربای دایم با قاب گردان بسیار حساس است که می‌تواند جریان‌های الکتریکی بسیار کم، در حد میکروآمپر را اندازه‌گیری کند. این دستگاه بسیار حساس توسط آرسن دی آدسوال اختراع گردید و به نام دانشمند ایتالیایی، گالوانی به گالوانومتر نامگذاری شد. مزیت این دستگاه آن است که صفر صفحه مدرج در وسط صفحه قرار دارد و با توجه به پلاریته جریان عقربه به چپ یا راست منحرف می‌شود. (شکل ۱۷-۵)

شکل ۱۷-۵- گالوانومتر حساس (دی آرسوال)

۴ـ۴ـ۵ـ دستگاه اندازه‌گیری با آهن نرم گردان:

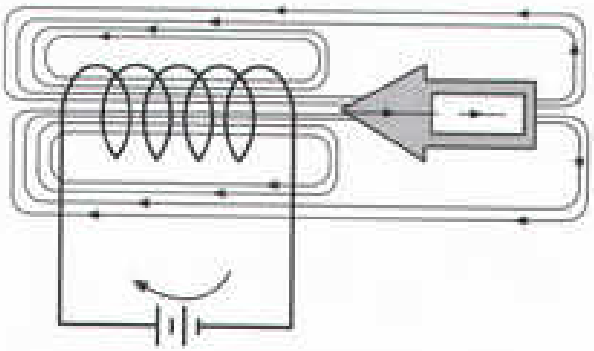
دستگاه اندازه‌گیری با آهن نرم گردان با دو مکانیزم از نوع جذبی و دفعی ساخته می‌شود.

ـ دستگاه اندازه‌گیری با آهن نرم گردان (از نوع جذبی): این دستگاه از یک ورقه آهن (B) که بر روی محور (C) سوار شده است، تشکیل می‌شود. ورق آهن B در جلو شکاف بوبین A نصب می‌شود. (شکل ۱۸-۵) با عبور جریان از سیم‌پیچ، در داخل بوبین میدان مغناطیسی متناسب با بزرگی جریان به وجود می‌آید و ورق آهن B به داخل بوبین، کشیده می‌شود. با کشیده شدن ورق آهنB به داخل بوبین، فنر جمع شده و نیروی مخالفی در مقابل کشیده شدن ورق آهن به درون سیم‌پیچ، ایجاد می‌شود. زمانی که نیروی کشش سیم‌پیچ با نیروی فنر برابر می‌شود عقربه می‌ایستد. با کشیده شدن ورق آهن، محور به حرکت درمی‌آید وعقربه را با خود روی صفحه مدرج به حرکت درمی‌آورد. (شکل الف-۱۸-۵) برای جلوگیری از نوسانات عقربه از ترمز فوکو استفاده شده است که یک ورق آلومینیومی در درون آهن ربای دایمی M این ترمز را تشکیل می‌دهند.



A= بوبین
B= آهن نرم گردان
C= محور
D= صفحه آلومینیومی
M= آهن ربای دایم

الف ـ ساختمان دستگاه



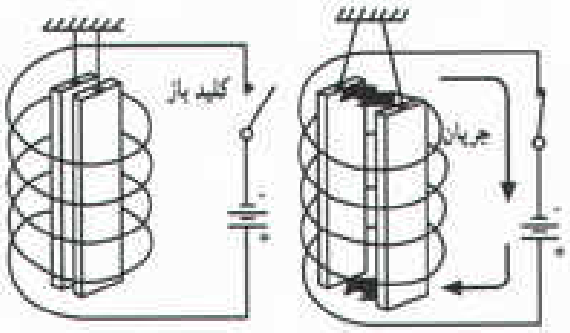
ب ـ عملکرد دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان از نوع جذبی
عبور جریان از بوبین سبب می‌شود که آهن جذب درون بوبین شود.

شکل ۱۸-۵- دستگاه با آهن نرم گردان نوع جذبی

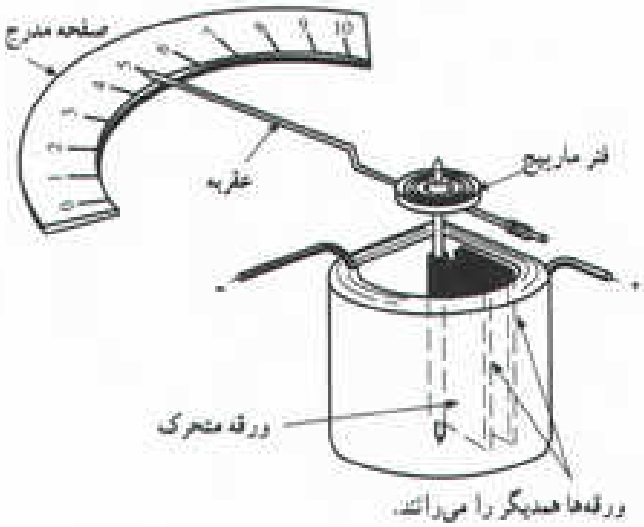
۵ـ۴ـ۵ـ دستگاه اندازه‌گیری با مکانیزم آهن نرم گردان (از نوع دفعی):

در این دستگاه از دو صفحه آهنی که در داخل یک بوبین قرار دارند، استفاده می‌شود (شکل الف-۱۹-۵) یکی از صفحه‌های آهنی به قسمت داخلی بوبین ثابت می‌شود و صفحه دیگر بر روی محوری که از وسط بوبین می‌گذرد قرار دارد. با عبور جریان از سیم‌پیچ، هر دو صفحه با پلاریته یکسان مغناطیس می‌شوند. دو قطب هم نام ایجاد شده در صفحات آهنی باعث دفع آنها از یکدیگر می‌شوند. توجه شود اگر جهت جریان در سیم‌پیچ عوض شود باز دو صفحه با پلاریته هم نام مغناطیس می‌شوند. بنابراین نیروی دافعه بین صفحات به جهت جریان بستگی ندارد.

صفحه آهنی متحرک به علت نیروی دافعه از صفحه ثابت رانده می‌شود و محور دستگاه را متناسب با بزرگی جریان عبوری از بوبین به حرکت درمی‌آورد و عقربه را روی صفحه مدرج وادار به حرکت می‌کند. نیروی مقاوم این دستگاه را فنرها تأمین می‌کنند و به هنگام یکسان شدن نیروی مقاوم فنرها و نیروی دافعه صفحات آهنی عقربه می‌ایستد. (شکل ب-۱۹-۵)



الف ـ تشکیل قطب‌ها در ورق‌های آهنی در درون سیم‌پیچ

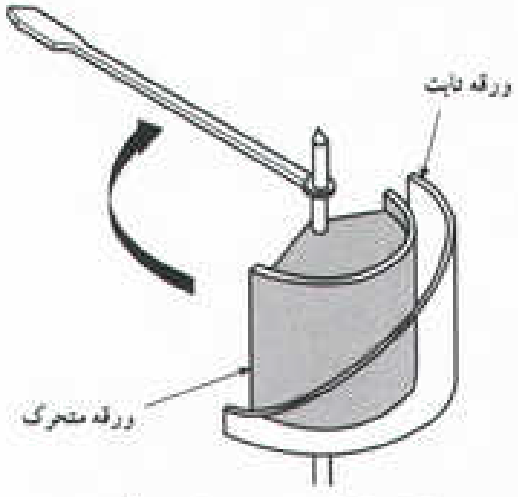


ب ـ ساختمان دستگاه اندازه‌گیری با مکانیزم آهن‌نرم گردان (از نوع دفعی)

شکل ۱۹-۵

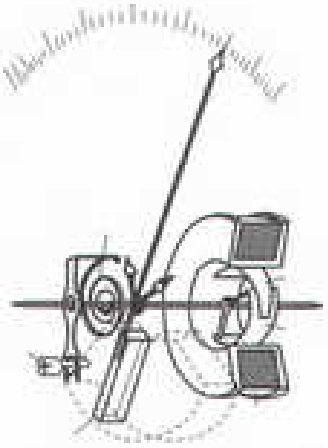
۶ـ۴ـ۵ـ دستگاه اندازه‌گیری با بوبین گرد و آهن نرم گردان:

این دستگاه تشکیل شده است از یک بوبین گرد که دو ورقه آهنی، یکی ثابت و دیگری متحرک در داخل آن نصب شده است. ورقه‌ها به صورت نیم استوانه می‌باشند. در بوبین ثابت، سطح استوانه‌ای به تدریج از یک سمت به سمت دیگر باریک‌تر می‌شود. (شکل الف-۲۰-۵) این برش در استوانه ثابت سبب می‌شود، استوانه متحرک به سمت قسمت باریک استوانه ثابت رانده شود زیرا در سمت پهن استوانه ثابت، میدان قوی‌تر از طرف باریک آن می‌باشد و این امر باعث می‌شود که صفحه متحرک به سمت میدان ضعیف‌تر رانده شود. در صورت عبور جریان از بوبین، باز هم ورقه‌های آهنی، هم نام مغناطیس شده و یکدیگر را دفع می‌کنند. در نتیجه عقربه حرکت کرده و با برابر شدن گشتاور محرک با گشتاور مقاوم فنرها می‌ایستد. از آنجا که با عوض شدن جهت جریان جهت حرکت عقربه تغییر نمی‌کند، می‌توان ثابت کرد که مقدار انحراف در این دستگاه با مجذور جریان متناسب است. این دستگاه در جریان‌های مستقیم و متناوب کار می‌کند و



الف - استوانه ثابت و متحرک دستگاه

جریان را مستقیماً اندازه می‌گیرد. چون قطر سیم‌پیچ می‌تواند زیاد انتخاب شود، لذا می‌توان این دستگاه را برای اندازه‌گیری جریان‌های زیاد نیز ساخت و حتی می‌توان روش‌هایی را به کار گرفت تا سیم‌های بوبین دارای قطرهای متفاوت شوند و به این ترتیب می‌توان رنج دستگاه را برای اندازه‌گیری جریان‌های مختلف تغییر داد. به دلیل ساختمان ساده، قیمت این دستگاه‌ها ارزان بوده و در صنعت بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. (شکل ب-۵-۲۰)



K_2 قطعه آهنی ثابت، K_1 قطعه آهنی متحرک، C بوبین گرد، d خلفه کن هوا، F فنر، n تنظیم کننده صفر

ب -دستگاه اندازه‌گیری با بوبین گرد و آهن نرم گردان

شکل ۵-۲۰

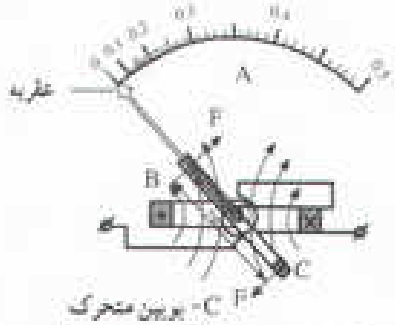
۷ـ۴ـ۵ـ دستگاه اندازه‌گیری الکترودینامیکی:

این دستگاه از دو بوبین تشکیل شده است. یکی از بوبین‌ها ثابت و دیگری متحرک می‌باشد، بوبین متحرک روی محور، در درون بوبین ثابت نصب می‌شود. (شکل الف- ۲۱-۵) عبور جریان الکتریکی از سیم‌پیچ ثابت و متحرک، میدان مغناطیسی در درون بوبین‌ها بوجود می‌آورد این دو میدان گشتاوری ایجاد می‌کنند و بوبین متحرک را حول محور خود به گردش درمی‌آورند. این گشتاور با حاصل ضرب جریان‌های عبوری از سیم‌پیچ‌ها متناسب است. بنابراین :

$$Te=KI_1I_2 \quad \text{(گشتاور ایجاد شده)=}$$

اگر از بوبین‌ها جریان متناوب عبور کند و مقادیر لحظه‌ای آنها i_1 و i_2 باشند در این حالت گشتاور حاصله یا حاصل ضرب جریان‌های لحظه‌ای متناسب خواهد شد. بنابراین دستگاه اندازه‌گیری الکترودینامیکی قادر است هم جریان مستقیم و هم جریان متناوب اندازه‌گیری کند. اگر یکی از بوبین‌ها را تحت تأثیر جریان و دیگری را تحت تأثیر ولتاژ یک مصرف کننده قرار دهیم انحراف عقربه با توان الکتریکی متناسب خواهد شد.

معمولاً سیم‌پیچ ثابت را از سیم‌های ضخیم می‌سازند و جریان مدار را از آن عبور می‌دهند. برای افزایش دقت، سیم‌پیچ متحرک را از سیم‌های نازک می‌پیچند و آن را همراه با یک مقاومت پیشوند تحت تأثیر ولتاژ قرار می‌دهند. شکل (ب-۲۱-۵) ساختمان دستگاه را نشان می‌دهد.

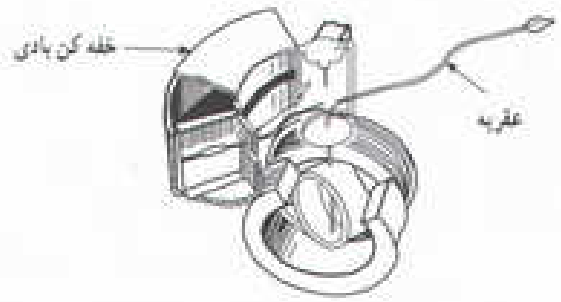


C- بوبین متحرک

A- صفحه مدرج　　D- تیرری به‌درجوآمده

B- بوبین ثابت

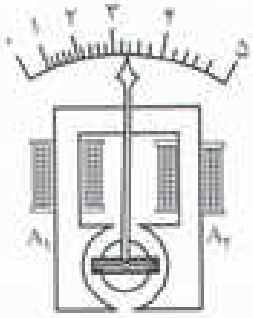
الف



ب -دستگاه اندازه‌گیری الکترودینامیکی

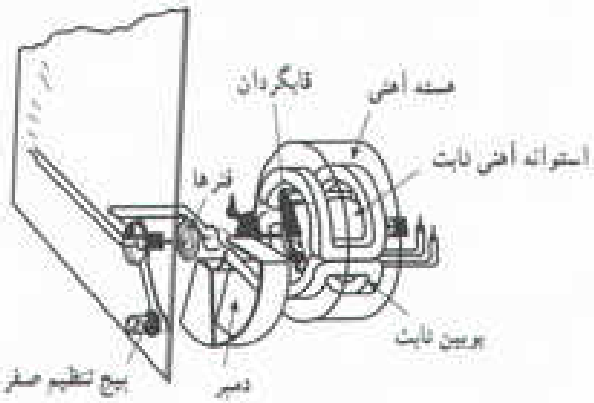
شکل ۵-۲۱

اگر سیم‌پیچ‌های ثابت و متحرک دستگاه الکترودینامیکی بر روی هسته آهنی قرار گیرند، دستگاه فرودینامیکی یا الکترودینامیکی با هسته آهن نامیده می‌شود. این دستگاه تمام خصوصیات و اساس کار دستگاه الکترودینامیکی را دارا است ولی نسبت به آن از حساسیت خیلی بیشتری برخوردار است. (شکل ۲۲-۵)



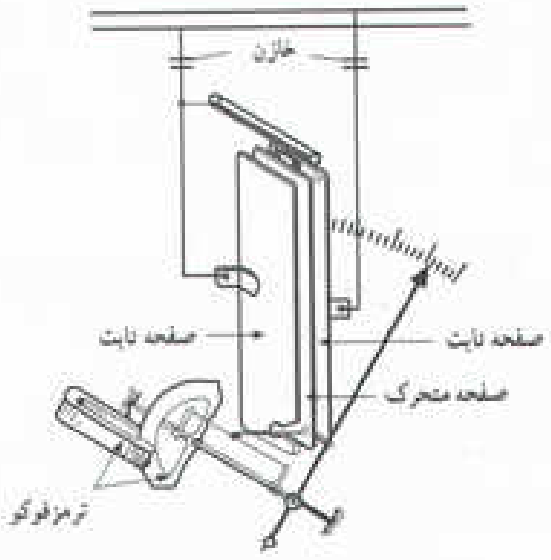
۸-۴-۵- دستگاه اندازه‌گیری الکترواستاتیکی:

این دستگاه اندازه‌گیری به طور مستقیم ولتاژهای زیاد جریان مستقیم و متناوب را می‌تواند اندازه‌گیری کند و از سه صفحه عمود فلزی تشکیل می‌شود، صفحات بیرونی ثابت ولی صفحه درونی به طور آزاد حرکت می‌کند. صفحه آزاد درونی به یکی از صفحات ثابت ارتباط الکتریکی دارد محور دستگاه به صفحه درونی اتصال مکانیکی دارد و به هنگام حرکت صفحه درونی محور و عقربه دستگاه به حرکت درمی‌آیند. خفه کن این دستگاه از نوع ترمز فوکو می‌باشد.



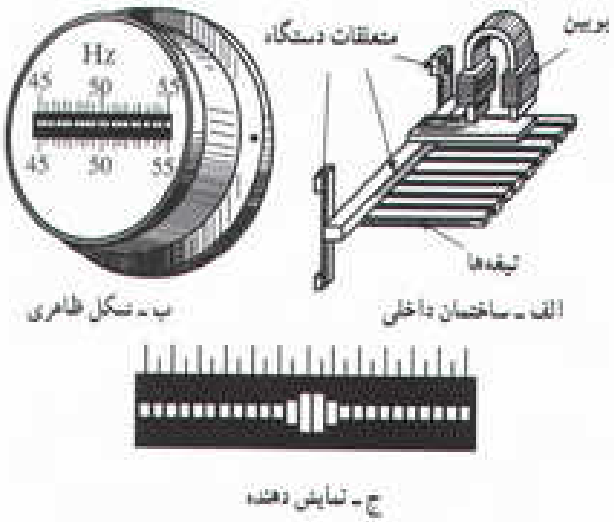
شکل ۲۲-۵- دو نمونه دستگاه اندازه‌گیری فرودینامیکی

این دستگاه که ولت متر الکترواستاتیکی نامیده می‌شود براساس دفع بارهای الکتریکی هم نام و جذب بارهای الکتریکی غیر هم نام کار می‌کند. وقتی که دو ترمینال این دستگاه به ولتاژ الکتریکی اتصال پیدا می‌کند صفحه درونی همراه با صفحه ثابتی که به آن اتصال دارد با یکدیگر یکسان، باردار می‌شوند و صفحه ثابت دیگر با بار مخالف آنها، باردار می‌شود. در نتیجه صفحه وسطی با صفحه ثابتی که به آن وصل است دفع (دو بار هم نام هم دیگر را دفع می‌کنند) و توسط صفحه ثابت دیگر جذب (دو بار غیر همنام هم دیگر را جذب می‌کنند) می‌شود. حرکت صفحه درونی با بار الکتریکی صفحات متناسب است. از آنجایی که بار صفحات به ولتاژ دو سر صفحات بستگی دارد لذا انحراف عقربه متناسب با ولتاژ الکتریکی دو سر صفحات خواهد بود. صفحات این دستگاه در حکم یک خازن عمل می‌کنند. امروزه کاربرد این دستگاه‌ها بسیار نادر بوده و فقط در بعضی از آزمایشگاه‌ها برای اندازه‌گیری ولتاژهای بسیار زیاد به کار گرفته می‌شود. (شکل ۲۳-۵)



شکل ۲۳-۵- دستگاه اندازه‌گیری الکترواستاتیکی

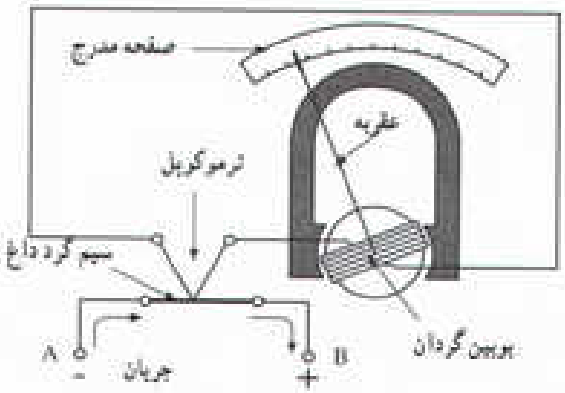
۴ـ۹ـ۵ـ فرکانس متر تیغه‌ای (ارتعاشی): فرکانس متر برای اندازه‌گیری نوسانات جریان متناوب به کار می‌رود. این دستگاه از یک یوبین و چند نوار فلزی تشکیل می‌شود. نوارهای فلزی با طول‌های متفاوت، یا ضخامت‌های متفاوت دارند و زمانی که فرکانس شبکه با فرکانس ارتعاش یکی از نوارها هماهنگ می‌شود آن تیغه به ارتعاش درمی‌آید و در دستگاه به صورت یک خط ظاهر می‌شود. تیغه‌های مجاور به تیغه قابل ارتعاش نیز به نوسان درمی‌آیند ولی طول خط آنها در نمایش دستگاه از تیغه اصلی کم‌تر است. از این نوع فرکانس متر در تابلوهای اصلی کارخانجات صنعتی برای اندازه‌گیری فرکانس برق استفاده می‌شود. حدود اندازه‌گیری این نوع فرکانس مترها بسیار محدود است. (شکل ۲۴-۵)



شکل ۲۴-۵- دستگاه اندازه‌گیری فرکانس

۱۰ـ۴ـ۵ـ دستگاه اندازه‌گیری حرارتی: این دستگاه بر اساس پدیده ترموکوپل ساخته می‌شود. اگر دو سیم فلزی یا جنس متفاوت را در یک طرف به هم جوش دهیم و دو سر دیگر آن‌ها آزاد باشند و محل جوش را حرارت دهیم در دو سر آزاد اختلاف پتانسیلی ظاهر می‌گردد که بزرگی این اختلاف پتانسیل متناسب با دمای محل اتصال می‌باشد. به‌این مجموعه پیل ترموکوپل می‌گویند.

اگر دو سر آزاد پیل ترموکوپل را به یک گالوانومتر وصل کنیم انحراف عقربه گالوانومتر با دمای محل اتصال متناسب خواهد شد و چون دمای حاصل با مجذور جریان متناسب می‌باشد می‌توان با این دستگاه دماهای خیلی زیاد کوره‌ها و نیز جریان‌های الکتریکی بالا را اندازه‌گیری نمود. (شکل ۲۵-۵)



شکل ۲۵-۵- دستگاه اندازه‌گیری حرارتی

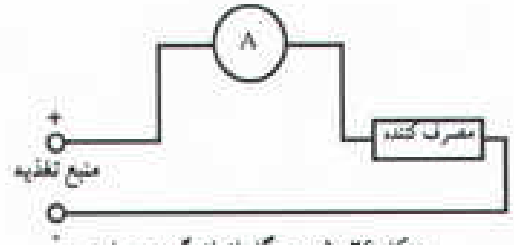
۵ـ۵ـ اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی

دیدیم که کمیت‌های الکتریکی را به روش‌های مستقیم و غیرمستقیم می‌توان اندازه‌گیری کرد. در این قسمت نحوه اندازه‌گیری چند کمیت الکتریکی به طور مستقیم به وسیله دستگاه‌های اندازه‌گیری بیان می‌شود.

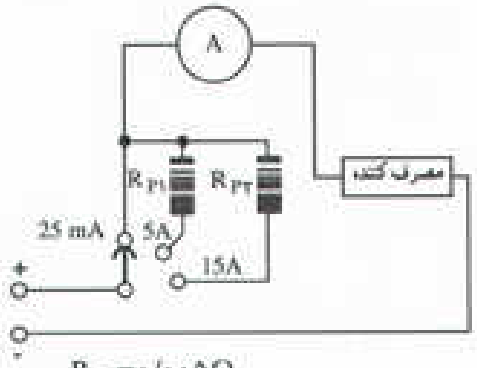
۱-۵-۵- اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی:

شدت جریان الکتریکی توسط آمپرمتر اندازه‌گیری می‌شود. آمپرمترها معمولاً از دستگاه‌های اندازه‌گیری با مکانیزم آهن‌ربای دایم و قاب گردان، یا آهن ربای نرم گردان می‌باشند. این دستگاه‌ها قادرند از میکروآمپر، تا چند صد آمپر را اندازه‌گیری کنند. چون آمپرمتر در مدار، با اجزای مدار به طور سری قرار می‌گیرد لازم است مقاومت داخلی آن خیلی کم باشد تا افت پتانسیل قابل توجهی ایجاد نکند. (شکل ۲۶-۵) مدار الکتریکی اندازه‌گیری شدت جریان را توسط آمپرمتر نشان می‌دهد.

انحراف کامل عقربه آمپرمترها در جریان‌های حدود میلی آمپر انجام می‌شود و برای سنجش جریان‌های زیاد، معمولاً دامنه اندازه‌گیری آمپرمتر را توسعه می‌دهند. توسعه دامنه آمپرمتر در جریان مستقیم با مقاومت‌های اهمی از طریق شنت کردن آن‌ها با مکانیزم داخلی آمپرمتر انجام می‌شود. در جریان‌های متناوب به کمک ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری (C.T) دامنه سنجش را افزایش می‌دهند. مقاومت‌های شنت در داخل محفظه دستگاه تعبیه می‌شوند و به کمک یک کلید سلکتوری می‌توان مقدار آنها را تغییر داده و رنج دستگاه را انتخاب نمود. شکل ۲۷-۵ یک آمپرمتر را با سه رنج مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۲۶-۵- دستگاه اندازه‌گیری حرارتی



$R_{P1} = ۰/۰۰۵\Omega$

$R_{P2} = ۰/۰۰۱۷\Omega$

شکل ۲۷-۵- آمپرمتر با دامنه توسعه یافته

ترانسفورماتور اندازه‌گیری جریان (CT) :

ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری جریان، از نوع ترانسفورماتورهای افزاینده معمولی می‌باشد. سیم‌پیچ اولیه آن از چند دور سیم کلفت با مقاومت اهمی خیلی پایین پیچیده می‌شود. در شبکه‌های توزیع انرژی جریان متناوب، اغلب سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتورهای جریان را شینه‌ها یا مفتول‌های انتقال انرژی تشکیل می‌دهند و قرقره حامل سیم‌پیچ ثانویه روی شینه قرار داده می‌شود. در این ترانسفورماتورها سیم‌پیچ ثانویه دارای تعداد دور بیشتر و قطر کم‌تر است. به این ترتیب جریان مصرف کننده از طریق القا در طرف آمپرمتر سنجیده می‌شود. در شکل (۲۸-۵) مدار ترانسفورماتور جریان در توسعه دامنه آمپرمتر در جریان متناوب نشان داده شده است. به طوری که در شکل مشاهده می‌شود هسته و یکی از سیم‌های ثانویه اتصال زمین شده است. این اتصال زمین جنبه ایمنی و حفاظتی دارد. ثانویه ترانسفورماتور

الف - تصویر واقعی

عملاً به علت ناچیز بودن مقاومت آمپرمتر با مدار اتصال کوتاه روبه‌رو است و القای متقابل جریان ثانویه باعث کنترل میدان در هسته می‌شود. در مواقعی که دستگاه آمپرمتر دچار عیب شود برای تعویض آن ابتدا دو ترمینال متصل به آمپرمتر را اتصال کوتاه کرده و پس از تعویض آمپرمتر معیوب با آمپرمتر سالم، اتصال دو ترمینال را باز می‌کنیم. در غیر این صورت شار مغناطیسی در هسته به شدت افزایش یافته و باعث بالا رفتن ولتاژ در سیم‌پیچ و داغ شدن هسته و سوختن ترانسفورماتور می‌شود.

اگر مقدار قرائت شده از آمپرمتر I_A و جریان مدار I و ضریب تبدیل ترانسفورماتور اندازه‌گیری را با k نشان دهیم جریان مدار از رابطه $I=k \times I_A$ به دست می‌آید. در مواردی که جریان مدار خیلی زیاد باشد ممکن است از چند مبدل کاهنده جریان استفاده شود. در این حالت جریان مدار از حاصل ضرب، ضریب تبدیل ترانسفورماتورها در مقدار قرائت شده از آمپرمتر به دست می‌آید.

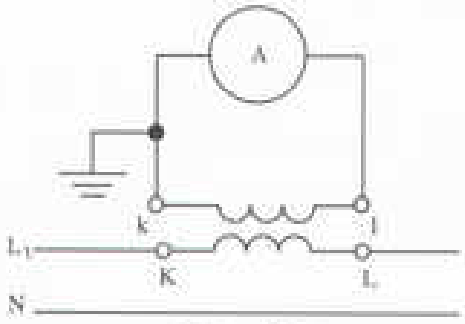
مثال: در مدار شکل (۲۹-۵) از آمپرمتر ۲ آمپر جریان عبور می‌کند جریان مدار چند آمپر است؟ اگر ضریب تبدیل ترانس اول ۶۰ باشد.

حل:

$I = K_1 \times K_2 \times I_A$

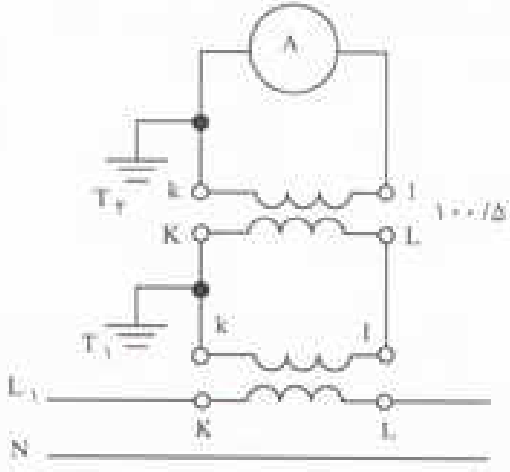
$I = ۶۰ \times ۱۰۰/۵ \times ۲ = ۲۴۰۰ A$

۲ـ۵ـ۵ـ اندازه‌گیری ولتاژ: ولتاژ شبکه‌ها یا اختلاف پتانسیل بین نقاط را با ولت متر اندازه‌گیری می‌کنند. دستگاه‌های با مکانیزم قاب گردان یا آهن نرم گردان می‌توانند به عنوان ولت متر مورد استفاده قرار گیرند. ولت متر برای سنجش ولتاژ به طور موازی با مصرف کننده (یا منبع تغذیه) در مدار قرار می‌گیرد. به این منظور مقاومت داخلی ولت مترها زیاد است. عقربه ولت مترها با چند میلی ولت به حداکثر انحراف خود می‌رسند. (شکل ۳۰-۵) یک ولت متر را در مدار نشان می‌دهد.

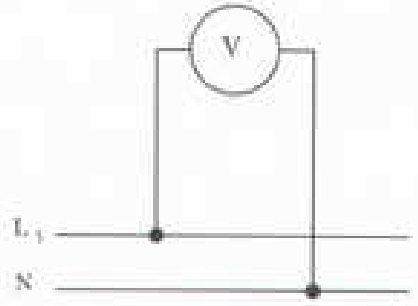


ب - تصویر مداری

شکل ۲۸ -۵- توسعه دامنه آمپر متر در جریان متناوب توسط ترانسفورماتور



شکل ۲۹-۵



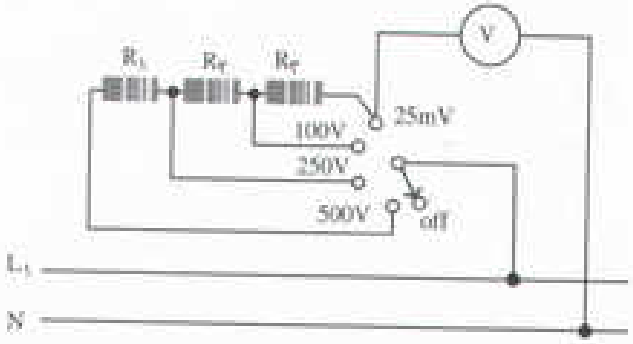
شکل ۳۰-۵- مدار الکتریکی یک ولت‌متر در سنجش ولتاژ شبکه

دامنه اندازه‌گیری ولت‌مترها را در جریان‌های DC از طریق سری کردن مقاومت اهمی با ولت متر و در جریان‌های AC از طریق ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری ولتاژ (PT) توسعه می‌دهند. ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری ولتاژ از نوع ترانسفورماتورهای کاهنده معمولی می‌باشند.

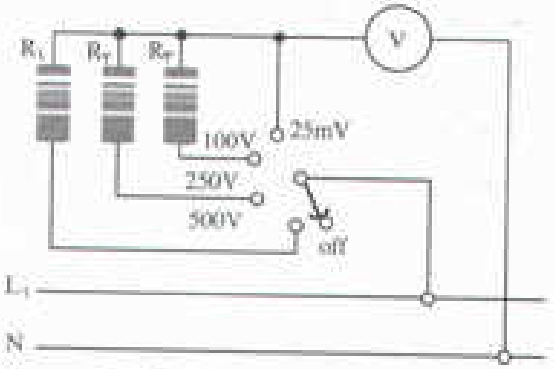
مقاومت‌هایی که برای توسعه دستگاه به کار می‌روند در داخل محفظه دستگاه جاسازی شده‌اند و به کمک یک کلید سلکتوری، رنج مورد نظر قابل انتخاب می‌باشد. (شکل ۳۱-۵) مقاومت‌های سری ممکن است مستقل باشند یا در رنج‌های متفاوت به هم دیگر وابسته باشند. در حالت استقلال مقاومت‌های سری این مزیت وجود دارد که اگر مقاومت یکی از رنج‌ها آسیب ببیند، از بقیه رنج‌ها می‌توان استفاده کرد، در عوض گران‌تر تمام می‌شوند. در حالتی که مقاومت‌های رنج‌های متفاوت به هم وابسته باشند هزینه کم‌تر است در عوض اگر در یک مورد از رنج‌های مختلف مشکلی پیش بیاید سنجش در رنج‌های بالاتر از آن رنج امکان‌پذیر نخواهد بود. در شکل (الف-ب-۳۱-۵) هر دو مورد از توسعه دامنه ولت متر در جریان DC مشاهده می‌شود.

با استفاده از ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری کاهنده ولتاژ، حدود اندازه‌گیری ولت‌مترها را توسعه می‌دهند. اگر ضریب تبدیل ترانسفورماتور را به K و مقدار قرائت شده از ولت متر V_V را به نشان دهیم ولتاژ دو پایانه مورد سنجش از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V = K \times V_V$$



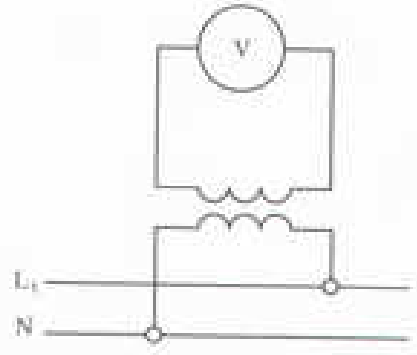
الف - ولت‌متر با رنج‌های مختلف در جریان DC با مقاومت وابسته



ب - ولت‌متر با رنج‌های مختلف در جریان DC با مقاومت مستقل

شکل ۳۱-۵- دو نمونه ولت‌متر با رنج‌های مختلف

از ترانسفورماتورهای ولتاژ برای اندازه‌گیری ولتاژهای زیاد در صنعت استفاده فراوانی می‌شود. (شکل ۳۲-۵)

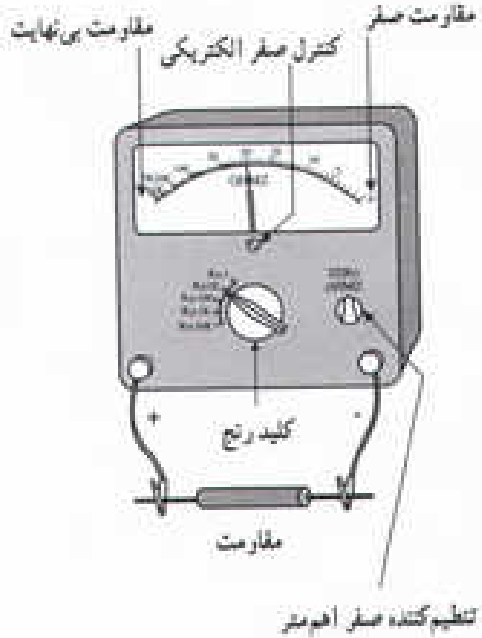


شکل ۳۲-۵- مدار توسعه دامنه اندازه‌گیری ولت‌متر در جریان AC

۳-۵-۵- اندازه‌گیری مقاومت اهمی: برای

اندازه‌گیری مقاومت اهمی روش‌های مختلفی وجود دارد هر کدام از روش‌ها از دقت اندازه‌گیری خاص خود برخوردار است. اندازه‌گیری مستقیم با اهم متر به علت مقاومت داخلی دستگاه، غیرخطی بودن درجه‌بندی صفحه دستگاه و کاهش فواصل درجات صفحه در اندازه‌گیری مقاومت‌های زیاد، با خطا انجام می‌شود. برای جلوگیری از بروز خطا از دستگاه‌های نسبت سنج مانند پل اندازه‌گیری وتستون استفاده می‌شود. در آوومترها که امکان سنجش مقاومت اهمی به طور مستقیم وجود دارد صفر صفحه در سمت راست آن قرار دارد. قبل از اندازه‌گیری کلید سلکتور (کلید انتخاب وضعیت) را در حالت R ×۱ قرار می‌دهیم و دو ترمینال دستگاه را به هم اتصال کوتاه می‌کنیم و با چرخاندن ولوم دستگاه، عقربه دستگاه را روی صفر تنظیم می‌کنیم. سپس مقاومت مورد سنجش را در میان دو ترمینال قرار می‌دهیم و مقدار آن را از صفحه دستگاه که عقربه روی آن ایستاده است قرائت می‌کنیم. اگر عقربه از صفحه خارج شود کلید انتخاب وضعیت را در R ×۱۰ یا R ×۱۰۰ قرار می‌دهیم و مقدار قرائت شده را در ۱۰ یا ۱۰۰ ضرب می‌کنیم.

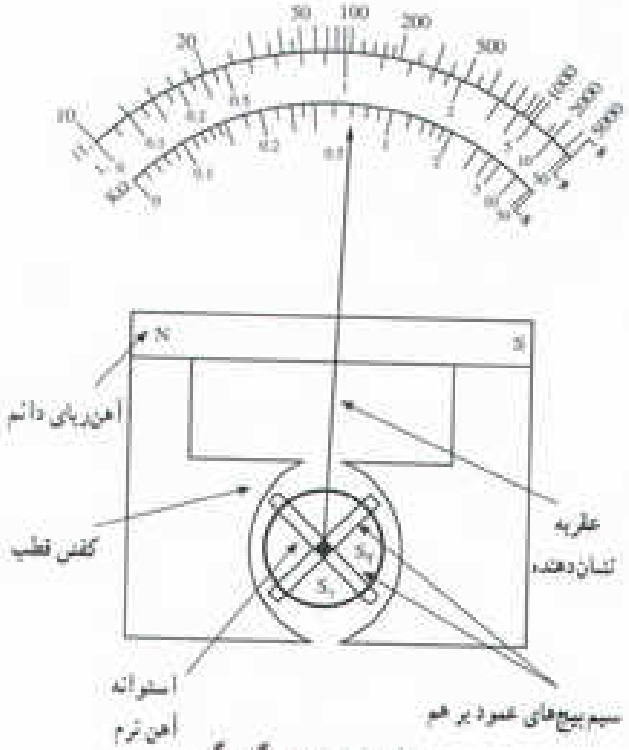
چگونگی اندازه‌گیری مقاومت با آومتر در شکل (۳۳-۵) نشان داده شده است.



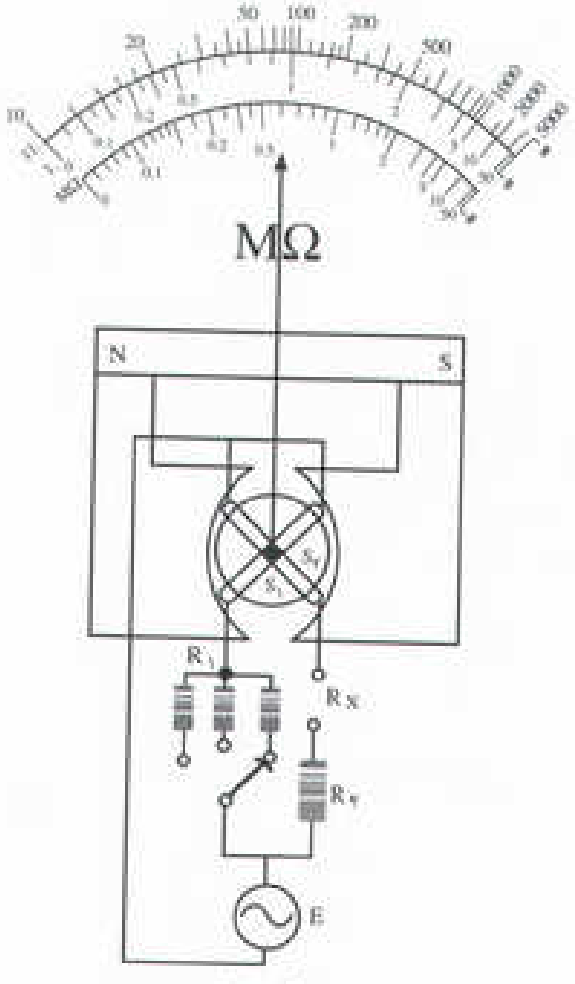
شکل ۳۳-۵- اندازه‌گیری مستقیم مقاومت اهمی

۴ـ۵ـ۵ـ اندازه‌گیری مقاومت‌های زیاد با مگر:

برای اندازه‌گیری مقاومت‌های زیاد، به ولتاژ خیلی زیاد نیاز است. مگر دستگاه اندازه‌گیری است که قادر است با تولید ۱۰۰ الی ۱۰۰۰۰ ولت برق، مقاومت‌های تا ۵۰۰۰ مگا اهم را اندازه‌گیری کند. از این دستگاه بیشتر برای سنجش مقاومت عایقی بدنه دستگاه‌ها و مقاومت عایقی سیم‌های الکتریکی استفاده می‌کنند. در این دستگاه یک مولد برق وجود دارد که شخص اندازه‌گیر می‌تواند با چرخاندن دستگیره مربوطه، ولتاژ مورد نیاز را تولید و در اختیار دستگاه قرار دهد. در مگر از یک دستگاه آهن ربای دایم با قاب صلیبی استفاده شده است. (شکل ۳۴-۵)



شکل ۳۴-۵-دستگاه مگر

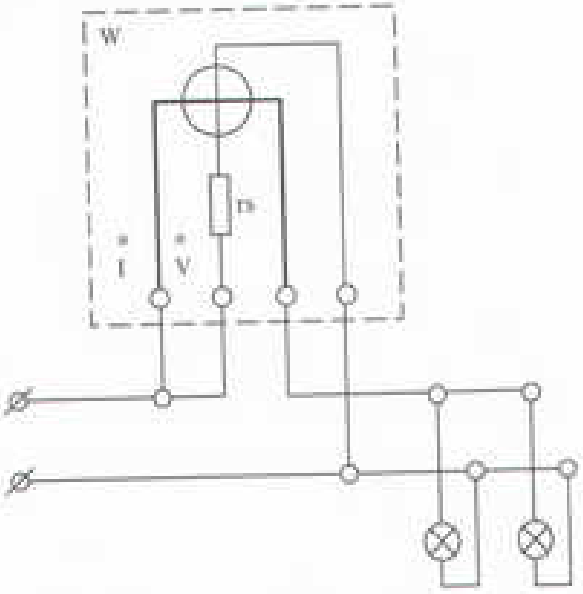


شکل ۳۵-۵

برای سنجش مقاومت خیلی زیاد، مقاومت مورد سنجش را بین دو ترمینال R_X مطابق شکل (۳۵-۵) قرار می‌دهیم. با ایجاد برق توسط ژنراتور جریان الکتریکی متناسب با ولتاژ تولید شده از مسیر R_1 و سیم‌پیچ S_1 و نیز مسیر R_2 و R_X و S_2 که همان جریان R_X است، مدار خود را کامل می‌کند. این جریان‌ها در سیم‌پیچ‌ها و میدان مغناطیسی غیریکنواخت آهن ربای دایم دو گشتاور مخالف ایجاد می‌کنند و قسمت متحرک در جهت گشتاور قوی به حرکت درمی‌آید و هنگامی که دو گشتاور برابر می‌شود، عقربه می‌ایستد. می‌دانیم در این حالت مقدار انحراف متناسب با نسبت جریان‌های دو سیم‌پیچ است که آن هم متناسب با $\frac{V_X}{I_X}$ می‌باشد. پس عقربه مقدار مقاومت مورد سنجش را نشان می‌دهد.

۵-۵-۵- اندازه‌گیری توان: توان الکتریکی توسط وات متر اندازه‌گیری می‌شود. وات‌مترها دستگاه‌هایی هستند که با مکانیزم الکترودینامیکی یا فرودینامیکی ساخته می‌شوند و بیشتر از نوع فرودینامیکی آن، در سنجش توان استفاده می‌شود. سیم‌پیچ ثابت این دستگاه، از سیم ضخیم انتخاب می‌شود و در مسیر جریان مدار به صورت سری وصل می‌شود و سیم‌پیچ متحرک آن از سیم‌های نازک با مقاومت زیاد ساخته می‌شود و با یک مقاومت خیلی زیاد سری شده و مجموعاً به طور موازی در مسیر ولتاژ مدار قرار می‌گیرد. عقربه دستگاه با گشتاور متناسب با ولتاژ و جریان مدار به حرکت درمی‌آید به عبارت دیگر انحراف عقربه متناسب با توان مدار خواهد شد. در این دستگاه دو ترمینال برای جریان و دو ترمینال برای ولتاژ منظور می‌شود. چون با تعویض اتصالات در ترمینال‌ها جهت انحراف عقربه عوض می‌شود لذا برای اتصال صحیح، ورودی‌ها را با علامت * روی دستگاه مشخص می‌کنند. گشتاور مخالف این دستگاه‌ها را فنرها تأمین می‌کنند. در شکل (۳۶-۵) یک نمونه وات متر همراه با مدار الکتریکی آن در سنجش توان الکتریکی نشان داده شده است. وات‌مترها در جریان متناوب مقدار توان حقیقی یا به عبارت دیگر $U.I.\cos\varphi$ را نشان می‌دهند.

الف- نمای ظاهری دستگاه



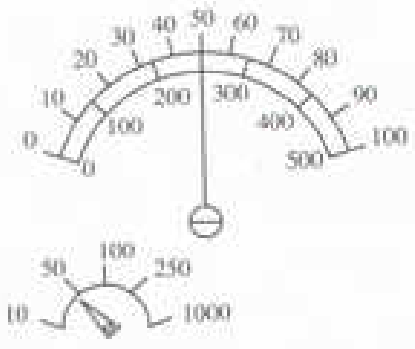
ب- نمای مداری وات‌متر

شکل ۳۶-۵ - دستگاه وات‌متر

۵-۵-۶- خواندن مقادیر اندازه‌گیری شده: در دستگاه‌های اندازه‌گیری که دارای چندین حدود اندازه‌گیری هستند اغلب صفحه مدرج برای یک یا دو رنج درجه‌بندی می‌شود و عددی که از صفحه دستگاه خوانده می‌شود بایستی در ضریب دستگاه ضرب شود تا مقدار واقعی کمیت بدست آید. این ضریب، ضریب ثابت صفحه نامیده می‌شود و از رابطه:

$$\text{ضریب ثابت صفحه } C = \frac{\text{حدود اندازه‌گیری}}{\text{ماکزیمم عدد روی صفحه}}$$

بدست می‌آید. (شکل ۳۷-۵)



شکل ۳۷-۵

مثال: ماکزیمم عدد روی صفحه آمپرمتری ۱۵ و حدود اندازه‌گیری آن ۵A است اگر در یک اندازه‌گیری عقربه روی عدد ۱۲ قرار گیرد مقدار اندازه‌گیری شده چند آمپر است؟

حل:

$$C = \frac{\text{حدود اندازه‌گیری}}{\text{ماکزیمم عدد روی صفحه}} = \frac{5}{15} = \frac{1}{3}$$

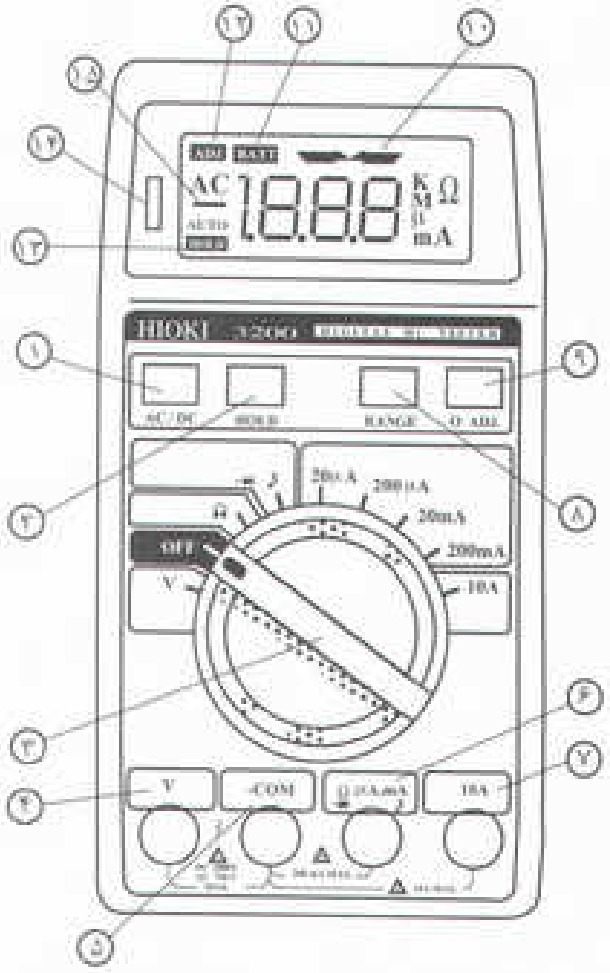
مقداری که عقربه نشان می‌دهد × C = مقدار مورد اندازه‌گیری

$$I_m = \frac{1}{3} \times 12 = 4A$$

۷ـ۵ـ۵ـ اندازه‌گیری جریان ولتاژ و مقاومت با دستگاه دیجیتالی:

از آنجا که امروزه معمولاً اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی با دستگاه‌های دیجیتالی انجام می‌گیرد در این قسمت به معرفی یک مدل آومتر دیجیتالی و نحوه استفاده از آن می‌پردازیم.

اساس کار دستگاه‌های دیجیتالی بر مبنای مقایسه‌ای می‌باشد بدین طریق که کمیت مورد سنجش با یک ولتاژ مرجع مقایسه شده و نتیجه سنجش با ارقام روی صفحه دستگاه نمایش داده می‌شود. قسمت‌های مختلف این دستگاه چند منظوره دیجیتالی (شکل ۳۸-۵) به شرح ذیل است.



شکل ۳۸-۵- آومتر دیجیتالی

۱ـ انتخاب نوع کمیت مورد سنجش (متناوب AC یا مستقیم DC)، موقع روشن شدن دستگاه بطور اتوماتیک کمیت مورد سنجش را DC انتخاب می‌کند.

۲ـ کلید HOLD (کلید نگهدارنده مقادیر) با فشار دادن این کلید مقدار قرائت شده در صفحه دستگاه ثابت می‌شود و تغییر نمی‌کند. اگر بخواهیم مقدار جدیدی را بسنجیم یک بار دیگر باید کلید HOLD را فشار دهیم تا دستگاه از حال تثبیت شده خارج شود.

۳ـ کلید سلکتور یا کلید انتخاب سنجش ولتاژ (V)، جریان (۲۰۰μA تا ۱۰A) و مقاومت (Ω) در سنجش جریان صفر تا ۱۰ آمپر دستگاه یک دقیقه مجاز است در مدار بماند. اگر سلکتور روی علامت ⏚ قرار بگیرد در دو سر ترمینال مشترک و ترمینال ⏚ حدود ۱۵۰ میلی ولت قرار می‌گیرد که مقدار دقیق آن در صفحه دستگاه نشان داده می‌شود اگر ترمینال مشترک و ترمینال

⏚ را به هم وصل کنیم بوق دستگاه به صدا درمی‌آید از این قسمت برای اطمینان از ارتباط دو نقطه یا برای آزمایش سالم بودن دیودها استفاده می‌شود.

۴ـ ترمینال مخصوص سنجش ولتاژ می‌باشد برای سنجش ولتاژهای مستقیم و متناوب از این ترمینال و ترمینال عمومی (COM) استفاده می‌شود.

۵ـ ترمینال مشترک برای کلیه اندازه‌گیری‌ها (COM)

۶ـ ترمینال مخصوص اندازه‌گیری مقاومت اهمی، جریان و حالت پیوستگی مدار

۷ـ ترمینال اندازه‌گیری جریان‌های AC ، DC تا ۱۰ آمپر

۸ـ با فشار دادن این دگمه تنظیم اتوماتیک به تنظیم دستی تبدیل می‌شود و با فشارهای مکرر رنج دستگاه تغییر می‌یابد.

۹ـ کلید تنظیم صفر، دو ترمینال خروجی را به هم اتصال می‌دهیم اگر دستگاه مقدار صفر را نشان ندهد با فشار دادن دکمه شماره ۹ دستگاه روی صفر تنظیم می‌شود.

۱۰ـ اگر کلید سلکتور در وضعیت ⏚ باشد و دو ترمینال خروجی بین دو نقطه اتصالی قرار گرفته باشند و مقاومت بین دو نقطه خیلی کم باشد این علامت روی صفحه ظاهر می‌شود.

۱۱ـ اگر علامت BATT روی صفحه آومتر ظاهر شود باتری دستگاه ضعیف شده و باید با باتری نو عوض شود.

۱۲ـ با فشار دادن دگمه شماره ۹ علامت ADJ ظاهر می‌شود و نشان می‌دهد که دستگاه در حال تنظیم صفر قرار دارد.

۱۳ـ اگر نسبتی HOLD را برای ضبط مقادیر اندازه‌گیری شده فشار دهیم علامت HOLD روی صفحه دیده می‌شود.

۱۴ـ لامپ نئون می‌باشد و زمانی که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت اهمی تحت اندازه‌گیری بیش از ۸۰ ولت باشد روشن می‌شود.

۱۵ـ در اندازه‌گیری ولتاژ DC اگر ترمینال شماره ۴ به قطب مثبت و ترمینال شماره ۵ به قطب منفی وصل بشود علامت ▬ در صفحه ظاهر نمی‌شود ولی با مثبت شدن ترمینال شماره ۵ نسبت به ترمینال شماره ۴ این علامت روی صفحه ظاهر می‌گردد.

۸-۵-۵-علائم اختصاری دستگاه‌های اندازه‌گیری

وسیله	نشانه	وسیله	نشانه
آمپرمتر	A	فرکانس متر	Hz
ولتمتر	V	اهم‌متر	Ω
وات‌متر	W	هانری‌متر	H
کنتور برق	KWh	فارادمتر	F
کسینوس فی‌متر	φ		

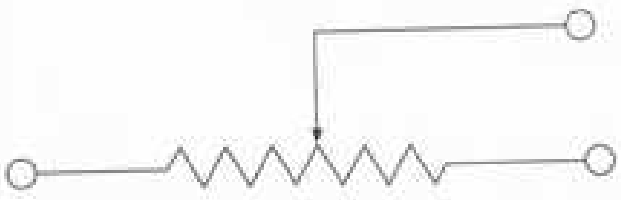
مفهوم علائم مندرج بر روی صفحه دستگاه‌های اندازه‌گیری

شرح دستگاه		نشانه
حرارتی	سیم داغ	
	بی متال	
آهن‌ربای دائم	قاب گردان	
	آهن‌ربای گردان	
آهن گردان	آهن	
	آهن‌ربای دائم گردان پلاریزه نشده	
الکترودینامیکی	الکترودینامیک	
	فرودینامیک	
القایی	اندوکسیونی	
	مغناطیسی	
الکترواستاتیک		
ترموکوپل با گرمایش الکتریکی عایق شده بدون اتصال		
ترموکوپل با گرمایش الکتریکی عایق شده اتصالی یکسوساز		
یکسو ساز		
یکسو ساز لامپی الکترونیکی		

شرح	نشانه
حفاظت شده در مقابل میدان‌های مغناطیسی خارجی	
حفاظت شده در مقابل میدان‌های الکتریکی خارجی	
دستگاه آهن ربای دائم حفاظت شده در مقابل میدان‌های مغناطیسی خارجی	
دستگاه الکترواستاتیکی حفاظت شده در مقابل میدان‌های الکتریکی خارجی	
جریان مستقیم	
جریان متناوب	
جریان متناوب سه فاز	
کلاس طبقه‌بندی با دقت ۱/۵ درصد	1.5
مورد استفاده، دستگاه به حالت افقی	
مورد استفاده، دستگاه به حالت عمودی	
به اندازه معین نسبت به افق مایل می‌شود (مثلاً ۶۰ درجه)	
حفاظت عایقی دستگاه (مثلاً با ۲ کیلوولت امتحان شده است.)	
ترمینال	
ترمینالی که به بدنه دستگاه متصل است.	
ترمینال اتصال به زمین	

۹ـ۵ـ۵ـ پتانسیومتر: پتانسیومتر یک مقاومت اهمی متغیر است که دو سر ثابت و یک سر لغزنده دارد. با حرکت این قسمت لغزنده در طول مقاومت اهمی، مقدار مقاومت خروجی تغییر می‌کند. (شکل ۳۹-۵) اگر دو سر ثابت به منبع تغذیه وصل شود می‌توان با استفاده از قانون تقسیم ولتاژ، از سر قسمت لغزنده و یکی از سرهای ثابت، ولتاژهای بین صفر تا مقدار ولتاژ منبع تغذیه را به‌دست آورد. پتانسیومتر معمولاً در تقسیم ولتاژ منبع جریان مستقیم بکار می‌رود. در جریان متناوب برای تهیه منابع ولتاژ متغیر از ترانسفورماتور یا اتوترانسفورماتور استفاده می‌شود. اگر مقاومت کل پتانسیومتر را به R و ولتاژ منبع را به V و مقاومت سر لغزنده ترمینال مشترک را به R_x نشان دهیم ولتاژ خروجی V_x از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V_x = \frac{V}{R} \times R_x$$



شکل ۳۹-۵- پتانسیومتر

۶ـ۵ـ تلفات ترانسفورماتورها

خواندیم که در مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور با عبور جریان الکتریکی، مقداری انرژی به صورت حرارت تلف می‌شود. از طرف دیگر وجود جریان‌های گردابی و پس ماند مغناطیسی در درون هسته، سبب ایجاد تلفات حرارتی می‌شوند. به همین دلایل همه انرژی ورودی در ترمینال‌های خروجی ترانسفورماتور ظاهر نشده و مقداری از آن تلف می‌شود. به تفاضل انرژی ورودی و انرژی خروجی، تلفات انرژی در ترانسفورماتورها گفته می‌شود. مقدار انرژی تلف شده در ترانسفورماتورها را در مدت یک ثانیه تلفات توان در ترانسفورماتورها می‌گویند. (شکل ۴۰-۵) تلفات توان در ترانسفورماتورها به دو گروه دسته‌بندی می‌شود:

۱ـ تلفات ثابت

۲ـ تلفات متغیر

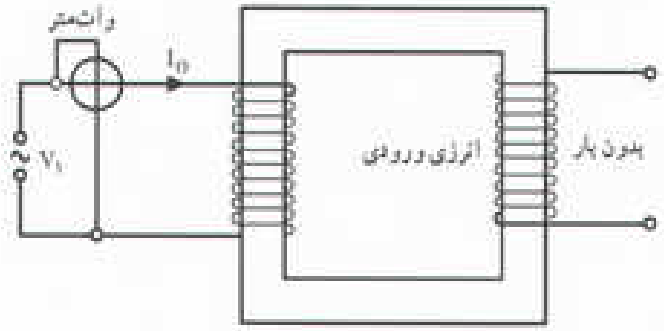
شکل ۴۰-۵

۱ـ۶ـ۵ـ تلفات ثابت ترانسفورماتور: تلفات ثابت

ترانسفورماتورها به هسته آهنی مربوط می‌شود بدین علت آن را تلفات هسته یا تلفات آهنی نیز می‌گویند. این تلفات در حالت بی باری و بارداری ترانسفورماتور مقدار ثابت دارد و مقدار آن به بار بستگی ندارد. وقتی که ترانسفورماتور بدون بار باشد تلفات ترانسفورماتور تقریباً تلفات هسته می‌باشد. بدین علت به تلفات ثابت، تلفات بی باری نیز می‌گویند. (شکل ۴۱-۵) مقدار تلفات هسته یا تلفات ثابت را، از آزمایش بی باری تعیین می‌کنند. در آزمایش بی باری جریان بی باری که آن را به I_0 نشان دادیم در اثر عبور از سیم‌پیچ اولیه، کمی تلفات حرارتی ایجاد می‌کند که به علت ناچیز بودن، از آن صرف‌نظر می‌کنند. تلفات هسته یا تلفات آهنی از دو قسمت تشکیل می‌گردد.

الف ـ تلفات هیسترزیس

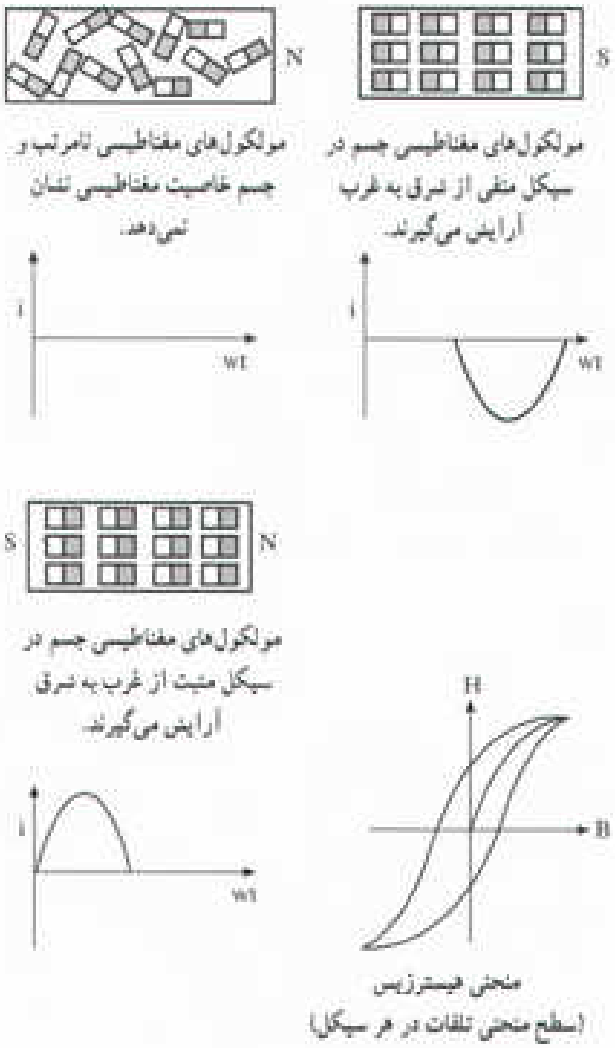
ب ـ تلفات فوکو



شکل ۴۱-۵- وات‌متر در حالت بی باری تلفات آهنی را نشان می‌دهد.

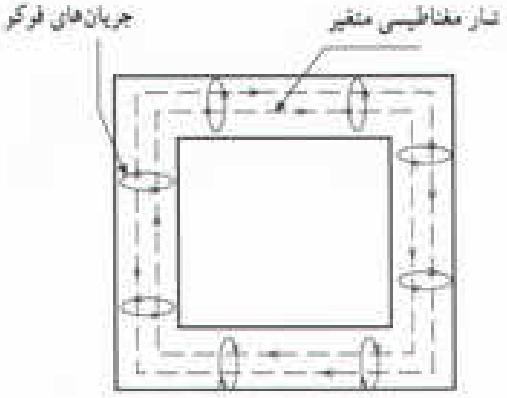
ـ **تلفات هیسترزیس:** چون ترانسفورماتور با جریان متناوب کار می‌کند لذا آرایش مولکول‌های مغناطیسی در هر سیکل جریان متناوب، ۱۸۰ درجه با همدیگر اختلاف جهت دارند. وقتی که مولکول‌های مغناطیسی در سیکل مثبت مثلاً در جهت غرب به شرق قرار می‌گیرند در سیکل منفی در جهت شرق به غرب قرار خواهند گرفت. در انتهای هر سیکل بعضی از مولکول‌های مغناطیسی آرایش خود را حفظ می‌کنند و برای تغییر جهت آن‌ها، لازم است مقداری انرژی صرف شود. این مقدار انرژی که مصرف می‌شود تا مولکول‌هایی که تغییر وضعیت نداده‌اند وادار به تغییر وضعیت شوند تلفات هیسترزیس نامیده می‌شود.

تلفات هیسترزیس با مجذور چگالی میدان (B^2) و فرکانس (f) جریان متناوب، نسبت مستقیم دارد، در شکل (۴۲-۵) منحنی هیسترزیس نشان داده شده است. سطح زیر منحنی انرژی تلف شده را در هر سیکل جریان متناوب نشان می‌دهد، بنابراین هرچه قدر این منحنی باریک‌تر باشد تلفات کم‌تر است و راندمان ترانسفورماتور بیشتراست. در صنعت با استفاده از هسته‌های آهن سیلیس‌دار که به ورقه‌های دینامویلش هم معروف هستند تلفات هیسترزیس را کاهش می‌دهند.



شکل ۴۱-۵- آرایش مولکول‌های مغناطیسی و منحنی هیسترزیس هسته مغناطیسی در جریان متناوب

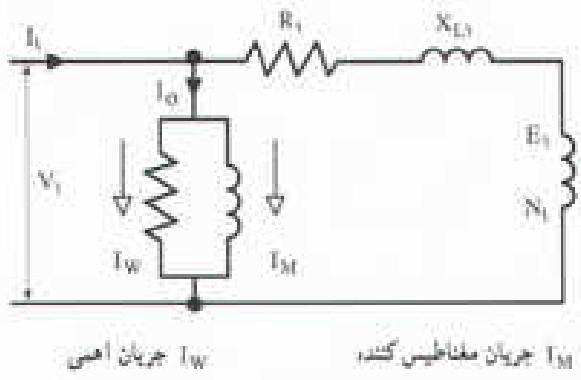
- **تلفات فوکو:** هسته آهنی ترانسفورماتورها یک رسانای الکتریکی است و همواره در میدان مغناطیسی متغیر ترانسفورماتور قرار دارد و یا تغییر شار مغناطیسی مواجه است. براساس قانون فارادی در هسته جریان الکتریکی القا می‌شود. (شکل ۴۳-۵) این جریان‌ها با مسیرهای نامشخص بطور عرضی مدار خودشان را در هسته کامل می‌کنند و در کار ترانسفورماتور اثر نامطلوب به جا می‌گذارند. به عبارت دیگر باعث گرم شدن هسته و تلفات انرژی می‌شوند و راندمان ترانسفورماتورها را کاهش می‌دهند. تلفات فوکو را با ورقه ورقه کردن هسته و عایق کردن آنها نسبت به هم کاهش می‌دهند. تلفات فوکو با مجذور فرکانس (f^2) و تقریباً با مجذور میدان (B^2) متناسب می‌باشد.



شکل ۴۳-۵- شار مغناطیسی متغیر و تولید جریان‌های فوکو در هسته

۲-۶-۵- آزمایش بی باری و تعیین تلفات آهنی:

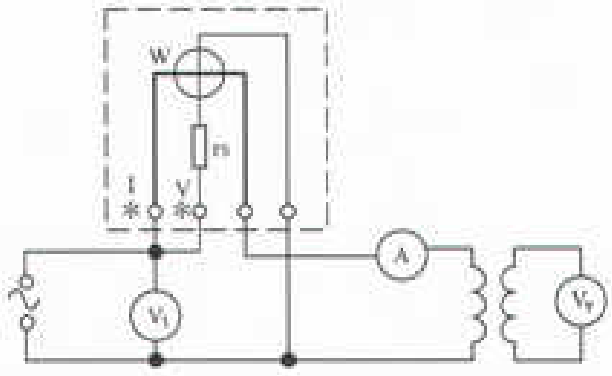
اگر ثانویه ترانسفورماتوری باز باشد به عبارت دیگر ترانسفورماتور باری را تغذیه نکند ترانسفورماتور را بدون بار می‌گویند. جریان اولیه در ترانسفورماتور برابر I_0 می‌باشد و جریان I_0 برابر صفر می‌باشد جریان اولیه یعنی I_0 از جمع برداری دو جریان مغناطیس کننده و جریان آهنی که نسبت به هم ۹۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند تشکیل می‌شوند. (شکل ۴۴-۵) این جریان توانی ایجاد می‌کند که به توان بی باری معروف است این توان را تلفات آهنی یا تلفات ثابت می‌گویند. تلفات آهنی را به‌صورت $P_{Fe}=P_f+P_H$ نشان می‌دهند و از تلفات فوکو P_f و تلفات هیسترزیس P_H تشکیل می‌گردد. تلفات آهنی یا تلفات هسته از آزمایش بی باری تعیین می‌گردد.



I_M جریان مغناطیس کننده I_W جریان آهنی

شکل ۴۴-۵

- **آزمایش بی باری:** آزمایش بی باری برای تعیین تلفات هسته به کار می‌رود. مداری مطابق شکل (۴۵-۵) تشکیل می‌دهیم. ولتاژ منبع تغذیه را چنان تنظیم می‌کنیم که ولت متر ولتاژ نامی ترانسفورماتور را نشان دهد. مقداری که آمپرمتر نشان می‌دهد جریان بی باری ترانسفورماتور می‌باشد. مقدار قرائت شده از وات‌متر تلفات آهنی یا تلفات هسته است. ولت متر V_2 ولتاژ بی‌باری در ثانویه و ولت متر V_1 ولتاژ نامی اولیه را نشان می‌دهند.



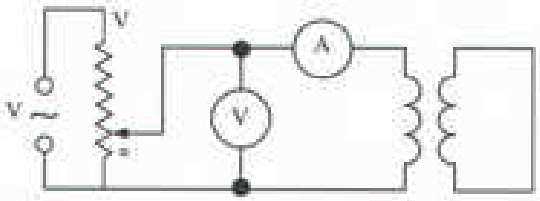
شکل ۴۵-۵- مدل آزمایش بی‌باری

- درصد ولتاژ اتصال کوتاه $U_{sh}\%$: درصد ولتاژ اتصال کوتاه یکی از ویژگی‌های ترانسفورماتور است که در پلاک ترانسفورماتورها قید می‌شود. این مقدار مقیاسی برای نشان دادن مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها و میدان پراکندگی ترانسفورماتورها است مقدار آن هرچه قدر بیشتر باشد مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها و میدان پراکندگی در ترانسفورماتور زیاد است به طور کلی :

ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتور به اختلاف پتانسیلی گفته می‌شود که در فرکانس نامی اگر به سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور، در حالتی که سیم‌پیچ ثانویه اتصال کوتاه است اعمال شود، در سیم‌پیچ‌ها جریان نامی ترانسفورماتور را برقرار کند. ولتاژ اتصال کوتاه در موازی بستن ترانسفورماتورها مورد توجه قرار می‌گیرد.

برای تعیین ولتاژ اتصال کوتاه مداری مطابق شکل (۵-۴۶) تشکیل می‌دهیم. پتانسیومتر را در صفر قرار داده، به آرامی مقدار آن را افزایش می‌دهیم تا از آمپرمتر جریان نامی خوانده شود. مقداری که در این حالت از ولت متر خوانده می‌شود ولتاژ اتصال کوتاه(U_{sh}) می‌باشد ولتاژ اتصال کوتاه را به درصد بیان می‌کنند و درصد ولتاژ اتصال کوتاه را به صورت زیر محاسبه می‌کنند.

$$\%U_{sh}=\frac{U_{sh}}{V}\times 100$$



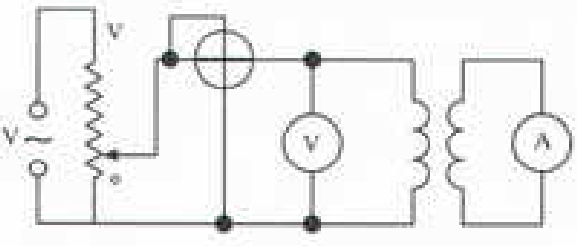
سیم‌پیچ ثانویه اتصال کوتاه

شکل ۴۶-۵- مدار تعیین ولتاژ اتصال کوتاه

۳ـ۶ـ۵ـ آزمایش اتصال کوتاه و تعیین تلفات

مسی: گفتیم عبور جریان از درون سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه تلفات حرارتی برابر $P_{cu}=R_1 I_1^2+R_2 I_2^2$ در سیم‌پیچ‌ها ایجاد می‌کند به این تلفات که به بار بستگی دارد تلفات مسی یا تلفات اهمی و گاهی تلفات حرارتی یا تلفات ژولی و بالاخره تلفات متغیر نیز می‌گویند. تلفات مسی در بار نامی را از آزمایش اتصال کوتاه بدست می‌آورند.

مداری مطابق شکل (۵-۴۷) تشکیل می‌دهیم. در این آزمایش پتانسیومتر، ابتدا در حداقل مقدار خود قرار دارد چون طولانی بودن آزمایش سبب آسیب دیدن ترانسفورماتور می‌شود، لذا زمان آزمایش باید خیلی کوتاه باشد. بدین علت به محض آن که جریان نامی در سیم‌پیچ ثانویه اتصال کوتاه شده برقرار گردید، بلافاصله مقداری را که وات متر نشان می‌دهد قرائت کرده و مدار



شکل ۴۷-۵- مدار الکتریکی آزمایش اتصال کوتاه برای تعیین تلفات مسی

را از شبکه برق قطع می‌کنیم. مقدار قرائت شده از وات متر تقریباً تلفات مسی می‌باشد. لازم به توضیح است که تلفات هسته نیز در این آزمایش مستتر است ولی مقدار آن خیلی ناچیز است که از آن صرفنظر می‌شود. تلفاتی که از آزمایش اتصال کوتاه بدست می‌آید تلفات ترانسفورماتور در بار نامی است و اگر بار ترانسفورماتور تغییر کند مقدار تلفات مسی نیز تغییر خواهد کرد.

اگر بار ترانسفورماتور به $\frac{1}{n}$ مقدار نامی برسد تلفات مسی به $\frac{P_{cun}}{n^2}$ خواهد رسید لازم به توضیح است که P_{cun} مقدار تلفات مسی ترانسفورماتور است که در آزمایش اتصال کوتاه بدست می‌آید.

۴ـ۶ـ۵ـ تلفات کل ترانسفورماتور: به مجموع تلفات مسی و آهنی ترانسفورماتور تلفات کل ترانسفورماتور می‌گویند مقدار این تلفات برابر تفاضل توان ورودی و خروجی است. اگر توان ورودی را به P_1 و توان خروجی را به P_2 و تلفات کل را به ΔP نشان دهیم خواهیم داشت.

$$\Delta P = P_1 - P_2$$
$$\Delta P = P_{fe} + P_{Cu}$$
$$\Delta P = P_f + P_H + I_1^2 . R_1 + I_2^2 . R_2$$

۵ـ۶ـ۵ـ راندمان ترانسفورماتور: نسبت توان خروجی به توان ورودی را راندمان یا بازده گویند و با η نشان می‌دهند و معمولاً آن را به درصد می‌نویسند.

$$\%\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \times 100 = \left(1 - \frac{\Delta P}{P_1}\right) \times 100$$
$$\%\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{fe} + P_{cu}} \times 100$$
$$P_2 = V_2 . I_2 . \cos\varphi_2$$

۶ـ۶ـ۵ـ ماکزیمم راندمان ترانسفورماتور: در ترانسفورماتورها به علت وابستگی راندمان به بار، مقادیر متفاوتی در بارهای مختلف برای راندمان به دست می‌آید. زمانی که تلفات مسی برابر تلفات آهنی (ثابت) می‌شود راندمان ترانسفورماتور ماکزیمم می‌شود.

اگر $P_{cu} = P_{Fe} \Rightarrow \eta = \eta_{max}$

$$\%\eta_{max} = \frac{P_2}{P_2 + 2P_{Fe}} \times 100 = \frac{P_2}{P_2 + 2P_{cu}} \times 100$$

مثال: ترانسفورماتور یک فاز در آزمایش بی باری ۱۶۰ وات و در آزمایش اتصال کوتاه ۶۴۰ وات از شبکه توان دریافت می‌کند. این ترانسفورماتور در ثانویه بار نامی ۴۰A را، به ضریب توان ۰/۹ پس فاز تحت ولتاژ ۲۰۰ ولت با فرکانس ۵۰ Hz تغذیه می‌کند. مطلوب است:

راندمان ترانسفورماتور

حل:

$P_{cu} = 640\,w, P_{fe} = 160\,w, \cos\varphi_2 = 0/9$
$I_2 = 40\,A, f = 50\,Hz$ بار نامی

$$P_2 = V_2 . I_2 . \cos\varphi_2 = 200 \times 40 \times 0/9 = 7200\,w$$
$$P_1 = P_2 + P_{Fe} + P_{cu} = 7200 + 160 + 640 = 8000\,w$$
$$\%\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{7200}{8000} \times 100 = \%90$$

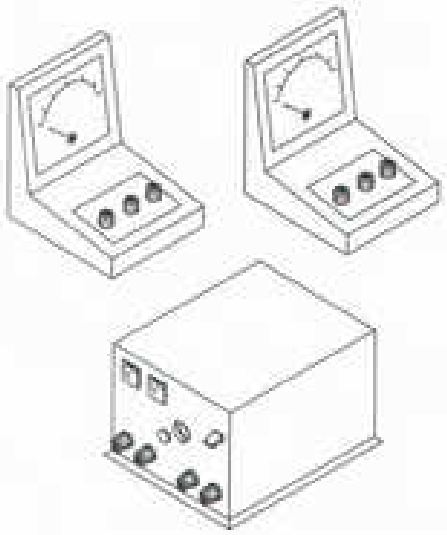
۷ـ۵ـ کار شماره ۱ (زمان اجرا: ۴ ساعت)

۱ـ۷ـ۵ـ هدف:

اندازه‌گیری جریان ولتاژ و مقاومت الکتریکی

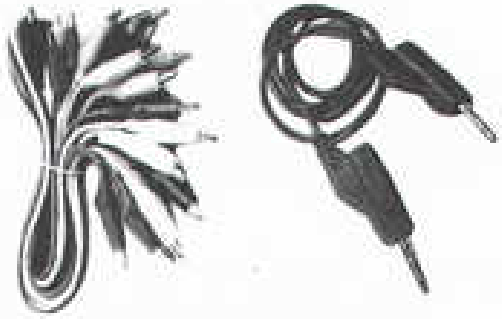
۲ـ۷ـ۵ـ وسایل مورد نیاز:

مقاومت‌های ۲، ۴، ۶، ۱۰ و ۲۰ اهمی



*** توجه اگر مقاومت‌های فوق را در اختیار ندارید از مقاومت موجود در کارگاه که به مقادیر داده شده نزدیک است، استفاده کنید.**

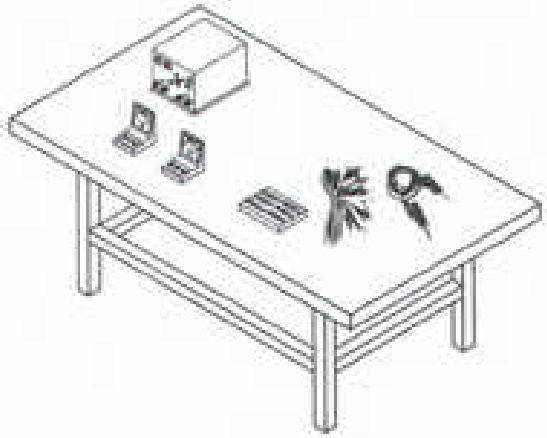
- منبع ولتاژ ۱۲ ولتی مستقیم و متناوب از هر کدام یک عدد
- ولت متر (DC-AC) با حدود اندازه‌گیری مناسب یک عدد
- آمپرمتر (DC-AC) با حدود اندازه‌گیری مناسب یک عدد
- سیم‌های رابط با گیره‌های سوسماری به اندازه کافی (شکل ۵-۴۸)



شکل ۵-۴۸

۳ـ۷ـ۵ـ نکات ایمنی:

- با سر سیم‌های خروجی منبع تغذیه، هیچگونه تماس بدنی برقرار نکنید. زیرا به علت اتصال قسمت فشار قوی احتمال برق گرفتگی وجود دارد.
- وسایل آزمایش را به طور مرتب در میز کار قرار دهید. (شکل ۵-۴۹) و آنها را مطابق نقشه ارائه شده (شکل ۵-۵۰) ارتباط دهید.
- در اتصالات الکتریکی از کوتاه‌ترین مسیر، اتصال را برقرار کنید و قبل از اجرای آزمایش، صحت اتصالات را با بررسی‌های مکرر تأیید کنید.
- از دست یاچگی به هنگام نگرفتن پاسخ از آزمایش بپرهیزید و با قطع منبع تغذیه مجدداً اتصالات مدار و درست کارکردن دستگاه‌ها را بررسی کنید. در صورت داشتن هرگونه تردید با مربی یا مسؤول آزمایشگاه مشورت لازم را انجام دهید.



شکل ۵-۴۹

- پس از اتمام آزمایش منبع تغذیه را قطع کنید و با دقت زیادی دستگاه‌ها را از مدار جدا کرده و پس از قرار دادن آنها در محل‌های مربوطه و تمیز کردن محیط کار، آزمایشگاه یا کارگاه را ترک کنید.

۴ـ۷ـ۵ـ مراحل کار:

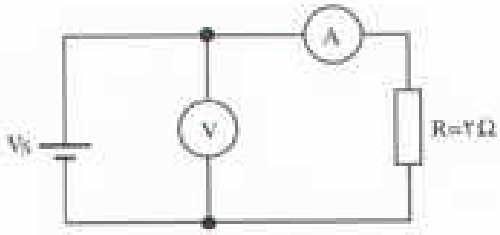
- ولت متر را در وضعیت DC در بالاترین رنج قرار دهید و دو ترمینال آن را با سیم‌های رابط خودش به منبع وصل کنید و منبع تغذیه را در ۱۲ ولت قرار داده، سپس به برق وصل کنید. رنج دستگاه را آنقدر تغییر دهید تا عقربه از میانه صفحه مدرج بگذرد. ولت متر باید ۱۲ ولت را نشان دهد در صورت منفی بودن جواب به آرامی پیچ تغییر ولتاژ را به چپ یا راست بچرخانید تا ولتاژ ۱۲ ولت از ولت متر خوانده شود.

- منبع تغذیه را قطع کرده مداری مطابق شکل (۱-۵-۵) تشکیل دهید. مقادیر ولت متر و آمپرمتر را خوانده در جدول (۱-۵) قرار دهید.

- سپس مقاومت را با دیگر مقاومت‌های موجود تعویض کنید و مقادیر بدست آمده را در جدول منظور کنید.

- منبع ولتاژ DC ۱۲ ولتی را با منبع ولتاژ ۱۲ ولت AC عوض کنید و مطابق دستورالعمل بالا جدول (۱-۵) را کامل کنید.

- دو جدول بدست آمده را با هم مقایسه کنید و تفاوت‌ها و مشترک‌های دو جدول را یادداشت کنید و در نتایج بدست آمده در کلاس درس بحث کنید.



شکل ۵۰-۵

جدول ۱-۵

R	V	A	V/A	(V/A)R

۸ـ۵ـ کار شماره ۲ (زمان اجرا: ۶ ساعت)

۱ـ۸ـ۵ـ هدف:

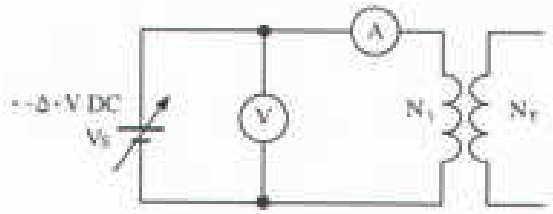
تعیین مشخصات یک ترانسفورماتور

۲ـ۸ـ۵ـ وسایل مورد نیاز:

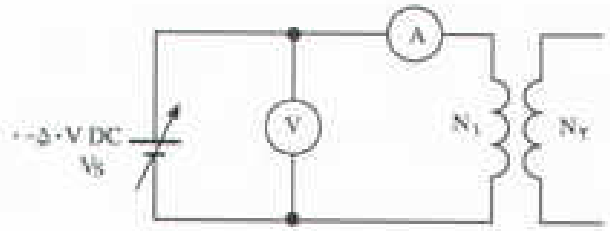
- یوبین کار عملی شماره یک ساخت ترانسفورماتور
- منبع تغذیه ۵۰- ولتی DC
- منبع ۱۰۰- ولتی AC
- ولت متر AC-DC یک عدد با حدود اندازه‌گیری مناسب.
- آمپرمتر AC-DC یک عدد با حدود اندازه‌گیری مناسب.
- سیم‌های رابط با گیره سوسماری به اندازه کافی.

۳ـ۸ـ۵ـ مراحل کار:

- ولت متر و آمپرمتر را روی سنجش جریان DC قرار دهید.
- منبع ولتاژ DC را روی مقدار صفر تنظیم کنید.
- سر سیم‌های سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را آزاد کنید که با هم ارتباط الکتریکی نداشته باشند.
- مداری مطابق شکل (۵-۵۱) تشکیل دهید.
- مقدار منبع ولتاژ را آن قدر تغییر دهید که از آمپرمتر جریان ۱۰ میلی آمپر قرائت شود.
- مقادیر قرائت شده از ولت متر و آمپرمتر را به V_{DC_1} و I_{DC_1} منظور کرده و در جدول یادداشت کنید.
- مقدار منبع ولتاژ را به صفر برسانید و سرسیم‌های سیم‌پیچ اولیه را از مدار جدا کنید.
- مطابق شکل (۵-۵۲) مداری برای سیم‌پیچ ثانویه تشکیل دهید و مقدار منبع ولتاژ را چنان تنظیم کنید تا از آمپرمتر جریان ۲ آمپر قرائت شود.
- مقادیر قرائت شده از ولت متر و آمپرمتر را به V_{DC_2} و I_{DC_2} منظور کرده و در جدول (۵-۲) یادداشت کنید.



شکل ۵-۵۱



شکل ۵-۵۲

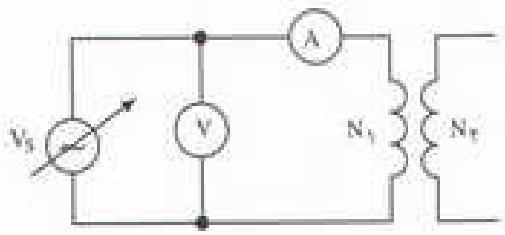
جدول ۵-۲

$R_2=\frac{V_{DC2}}{I_{DC2}}$	$R_1=\frac{V_{DC1}}{I_{DC1}}$	I_{DC_2}	V_{DC_2}	V_{DC_1}	I_{DC_1}	آزمایش DC

- محاسبات جدول را دنبال کنید و مقادیر R_1 و R_2 را بدست آورید بدین طریق مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه از طریق آزمایش بدست می‌آید.

- منبع تغذیه ۰-۱۰۰ ولتی را در فرکانس ۵۰ هرتز و مقدار صفر ولت تنظیم کنید.

- مداری مطابق شکل (۵-۵۳) تشکیل دهید.

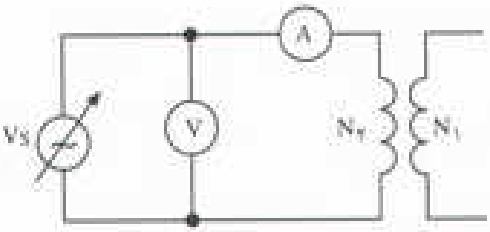


۰-۱۰۰V 50Hz AC

شکل ۵-۵۳

- ولتاژ منبع تغذیه را چنان تغییر دهید تا جریان ۲۰ میلی آمپر از آمپرمتر قرائت شود.

- مقادیر قرائت شده از ولت متر و آمپرمتر را به V_{AC_1} و I_{AC_2} منظور کرده و در جدول یادداشت کنید.



۰-۱۰۰V 50Hz AC

شکل ۵-۵۴

- مقدار منبع ولتاژ را به صفر برسانید و سرسیم‌های سیم‌پیچ اولیه را از مدار جدا کنید.

- مطابق شکل (۵-۵۴) مداری برای سیم‌پیچ ثانویه تشکیل دهید و مقدار منبع ولتاژ را چنان تنظیم کنید تا از آمپرمتر جریان ۲ آمپر قرائت شود.

جدول ۵-۳

$Z_2=\frac{V_{AC_2}}{I_{AC_2}}$	$Z_1=\frac{V_{AC_1}}{I_{AC_1}}$	I_{AC_2}	V_{AC_2}	I_{AC_1}	V_{AC_1}	آزمایش AC

- مقادیر قرائت شده از ولت متر و آمپرمتر را به V_{AC_1} و I_{AC_1} منظور کرده و در جدول (۵-۳) یادداشت کنید.

- محاسبات جدول را دنبال کنید و مقادیر Z_1 و Z_2 را بدست آورید بدین طریق مقاومت ظاهری سیم‌پیچ اولیه و ثانویه از طریق آزمایش بدست می‌آید.

- جدول (۵-۴) را تشکیل دهید و محاسبات را دنبال کنید و مشخصات تقریبی ترانسفورماتور را تعیین کنید.

جدول ۵-۴

f	Z_2	Z_1	R_2	R_1	
					آزمایش DC
					آزمایش AC
$X_{L_1}=\sqrt{Z_1^2-R_1^2}=$ Ω					
$X_{L_2}=\sqrt{Z_2^2-R_2^2}=$ Ω					
$L_1=\frac{X_{L_1}}{2\pi f}=$ H					
$L_2=\frac{X_{L_2}}{2\pi f}=$ H					

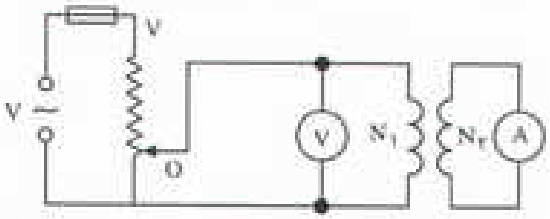
۹ـ۵ـ کار شماره ۳ (زمان اجرا: ۲ ساعت)

۱ـ۹ـ۵ـ هدف:

تعیین ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتور

۲ـ۹ـ۵ـ وسایل مورد نیاز:

- بوبین کار عملی شماره یک ساخت ترانسفورماتور
- پتانسیومتر ۲۲۰ـ۰ ولتی
- ولت متر AC یک عدد
- آمپرمتر AC یک عدد
- فیوز ۵ آمپری
- سیم‌های رابط با گیره سوسماری به اندازه کافی



شکل ۵۵-۵

۳ـ۹ـ۵ـ مراحل کار

- پتانسیومتر را روی مقدار صفر تنظیم کنید.
- مدار شکل (۵۵-۵) را تشکیل دهید.
- ولت متر و آمپرمتر را روی سنجش AC قرار دهید.
- ورودی‌های پتانسیومتر را به شبکه برق شهر وصل کنید.
- پتانسیومتر را آن قدر تغییر دهید تا از آمپرمتر جریان نامی ۰/۱۲ آمپر عبور کند.
- مقدار قرائت شده از ولت متر را یادداشت کنید. این مقدار ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتور می‌باشد.
- درصد ولتاژ اتصال کوتاه را از رابطه:

$$\%U = \frac{U_{Sh}}{V_n} \times 100$$

بدست آورید U_{SH} ولتاژی است که از آزمایش بالا بدست می‌آید و V_n ولتاژ نامی ترانسفورماتور است.

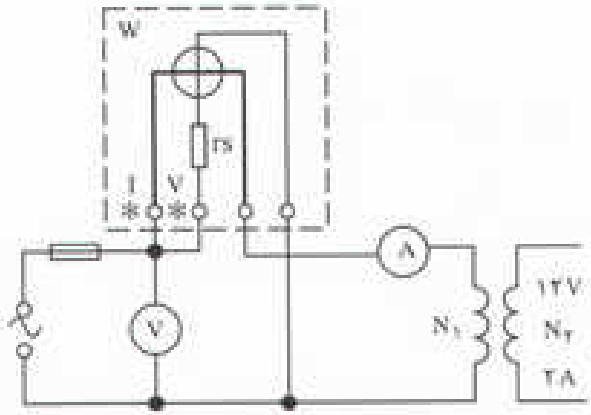
۱۰ـ۵ـ کار شماره ۴ (زمان اجرا: ۴ ساعت)

۱ـ۱۰ـ۵ـ هدف:

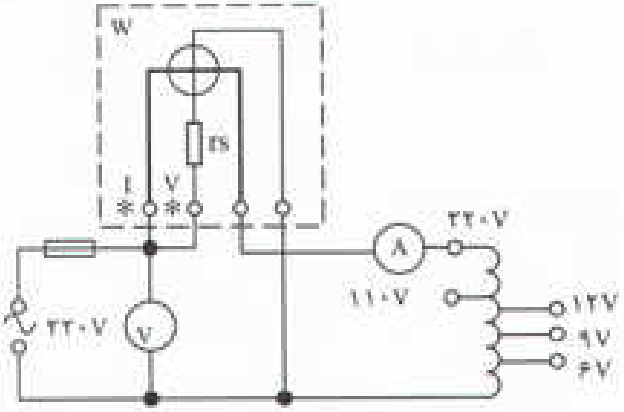
به دست آوردن تلفات هسته ترانسفورماتور

۲ـ۱۰ـ۵ـ وسایل مورد نیاز:

- ترانسفورماتورهای ساخته شده در کارهای عملی شماره ۱ و شماره ۲ بخش ساخت ترانسفورماتورها
- وات متر یک عدد با حدود اندازه‌گیری مناسب
- ولت متر AC یک عدد با حدود اندازه‌گیری مناسب
- آمپرمتر AC یک عدد با حدود اندازه‌گیری مناسب
- فیوز ۵ آمپری. (شکل ۵۶-۵)
- سیم‌های رابطه با گیره سوسماری به اندازه کافی.



شکل ۵۶-۵



شکل ۵۷-۵

۳ـ۱۰ـ۵ـ مراحل کار

- مداری مطابق شکل (۵۷-۵) را تشکیل دهید.
- ولت متر و آمپرمتر را روی سنجش AC قرار دهید.
- مقادیر قرائت شده از ولت متر و آمپرمتر را در هر مدار یادداشت کنید و آنها را در جدول (۵-۵) بنویسید.
- مقداری که وات متر در هر آزمایش نشان می‌دهد تقریباً تلفات هسته یا تلفات آهنی است.

جدول ۵-۵

ترانسفورماتور	قرائت شده از آمپرمتر A	قرائت شده از ولت‌متر V	قرائت شده از وات‌متر W	$\cos\varphi_1 = \frac{W}{V.A}$
شماره ۱				
شماره ۲				

۱۱ـ۵ـ کار شماره ۵ (زمان اجرا: ۴ ساعت)

۱ـ۱۱ـ۵ـ هدف:

به دست آوردن تلفات مسی ترانسفورماتور در بار نامی

۲ـ۱۱ـ۵ـ وسایل مورد نیاز:

- ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی شماره ۱ بخش ساخت ترانسفورماتورها
- وات متر یک عدد
- ولت متر AC یک عدد
- آمپرمتر AC یک عدد
- فیوز ۵ آمپری
- سیم‌های رابط با گیره سوسماری به اندازه کافی
- پتانسیومتر

۳ـ۱۱ـ۵ـ مراحل کار

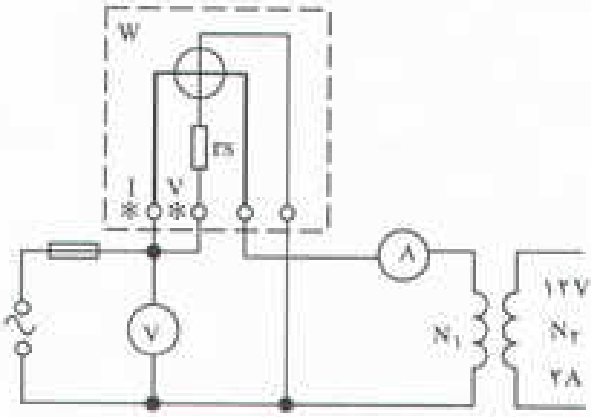
- پتانسیومتر را روی مقدار صفر تنظیم کنید.
- مدار شکل (۵-۵۸) را ببندید.
- ولت متر و آمپرمتر را روی سنجش AC قرار دهید.
- پتانسیومتر را آن قدر تغییر دهید که از آمپرمتر جریان نامی عبور کند.
- ولتاژ و توان قرائت شده را از ولت متر و وات متر بخوانید و در جدول (۶-۵) یاده کنید.
- مقداری که وات متر در آزمایش نشان می‌دهد، تقریباً تلفات مسی در بار نامی ترانسفورماتور مربوطه است.

اگر مقدار قرائت شده از وات متر در آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه برای کار شماره ۱ را با هم جمع کنید تلفات کل ترانسفورماتور در بارنامی بدست می‌آید از رابطه زیر راندمان ترانسفورماتور را در بار نامی مشخص کنید.

$$\Delta P = P_{cu} + P_{fe} \qquad \%\eta = \frac{U_2 . I_2}{U_2 . I_2 + \Delta P} \times ۱۰۰$$

$$\%\eta = \frac{۱۲ \times ۲}{۱۲ \times ۲ + \Delta P} \times ۱۰۰$$

راندمان ترانسفورماتور را وقتی که بار یک آمپری را تغذیه می‌کند از طریق محاسبه بدست آورید.



شکل ۵۸-۵

جدول ۶-۵

ترانسفورماتور	قرائت شده از آمپرمتر A	قرائت شده از ولت‌متر V	قرائت شده از وات‌متر W
شماره ۱			

آزمون پایانی (۵)

۱ـ اندازه‌گیری را تعریف کنید.

۲ـ روش‌های اندازه‌گیری را نام ببرید و هرکدام از آن‌ها را شرح دهید.

۳ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری به چند گروه تقسیم می‌شوند؟

۴ـ خطای مطلق و خطای نسبی را تعریف کنید و روابط مربوطه را بنویسید.

۵ـ کلاس دستگاه اندازه‌گیری چیست؟

۶ـ قسمت‌های مختلف یک دستگاه اندازه‌گیری عقربه‌ای را نام ببرید.

۷ـ چگونه می‌توان دقت اندازه‌گیری یک دستگاه را افزایش داد؟

۸ـ نقش فنرها در یک دستگاه اندازه‌گیری چیست؟

۹ـ نقش خفه‌کن‌ها (دمپرها) در دستگاه اندازه‌گیری چیست؟

۱۰ـ ساختمان و طرز کار خفه‌کن فوکو را شرح دهید.

۱۱ـ ساختمان و طرز کار خفه‌کن بادی را شرح دهید.

۱۲ـ عدد ثابت صفحه دستگاه را شرح دهید.

۱۳ـ آخرین عدد صفحه یک دستگاه ۱۵ است رنج دستگاه دو ۵ آمپر تنظیم شده است اگر عقربه در صفحه مدرج روی عدد ۱۰ قرار گرفته باشد مقدار کمیت مورد سنجش چند آمپر است؟

۱۴ـ دستگاه اندازه‌گیری آهن‌ربای دایم و قاب گردان را شرح دهید و کاربرد این دستگاه را بیان کنید. آیا این دستگاه قادر به سنجش جریان متناوب است؟

۱۵ـ اصول کار و کاربرد دستگاه‌های اندازه‌گیری آهن نرم گردان را شرح دهید؟

۱۶ـ دستگاه اندازه‌گیری نسبت سنج چگونه کار می‌کند؟

۱۷ـ ساختمان و طرز کار و کاربرد دستگاه اندازه‌گیری الکترودینامیکی را شرح دهید.

۱۸ـ کدام دستگاه مستقیماً قادر به سنجش ولتاژ الکتریکی است ساختمان و اصول کار آن را بیان کنید.

۱۹ـ طرز کار فرکانس متر تیغه‌ای را شرح دهید.

۲۰ـ طرز کار و کاربرد دستگاه‌های اندازه‌گیری حرارتی را شرح دهید.

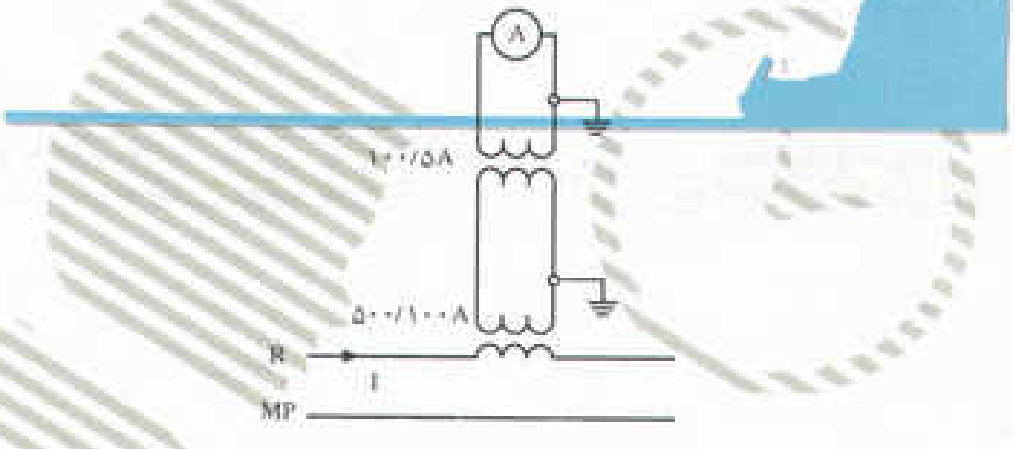
۲۱ـ ظاهرشدن علائم BATT ، ADJ ، HOLD و ▬ بر روی صفحه دستگاه اندازه‌گیری دیجیتالی چه پیام‌هایی را در بردارند؟

۲۲ـ علائم بر روی یک دستگاه اندازه‌گیری بیانگر چیست؟

۲۳ـ چگونگی توسعه دامنه اندازه‌گیری ولت متر را در جریان dc و ac شرح دهید.

۲۴ـ چگونگی توسعه دامنه اندازه‌گیری آمپرمتر را در جریان dc و AC بیان کنید.

۲۵ـ در شکل داده شده رنج آمپرمتر روی ۵ آمپر تنظیم شده است و آخرین عدد صفحه ۱۵ است اگر عقربه آمپرمتر عدد ۱۰ را نشان دهد جریان در سیمهای مدار چند آمپر است؟



۲۶ـ مگر چیست و چه کاربردی دارد؟

۲۷ـ انواع تلفات ترانسفورماتورها را نام ببرید و بیان کنید کدام نوع از تلفات در طول کار ترانسفورماتور یا ثابت ماندن فرکانس شبکه ثابت می‌ماند؟

۲۸ـ راندمان ترانسفورماتورها را تعریف کنید.

۲۹ـ ترانسفورماتوری بار نامی را با ضریب توان ۰/۶ پس فاز تحت ولتاژ ۱۲ ولتی و جریان ۱۰ آمپر تغذیه می‌کند. اگر تلفات هسته ترانسفورماتور ۵ وات و تلفات مسی ۸ وات باشد، راندمان ترانسفورماتور چند درصد است؟

۳۰ـ ترانسفورماتور یک فاز در آزمایش بی‌باری ۴۰ وات و در آزمایش اتصال کوتاه ۵۰ وات از شبکه توان دریافت می‌کند. اگر

$R_1=0.5\Omega, R_2=2\Omega$

$I_0=0.2I_n$

$V_n=24V, f=50Hz$

$V_1=220V$

باشد مطلوب است:

الف ـ مشخصات بار نامی با ضریب توان ۰/۸ پس فاز

ب ـ راندمان ترانسفورماتور در بار نامی

پاسخ پیش آزمون‌ها

پاسخ سؤالات پیش آزمون واحد کار اول

شماره سؤال	گزینه صحیح	شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	۲	۶	۴
۲	۳	۷	۳
۳	۳		
۴	۱		
۵	۱		

پاسخ سؤالات پیش آزمون واحد کار دوم

شماره سؤال	گزینه صحیح	شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	۴		
۲	۱		
۳	۴		
۴	۳		
۵	۴		

پاسخ سؤالات پیش آزمون واحد کار سوم

شماره سؤال	گزینه صحیح	شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	۱		
۲	۲		
۳	۱		
۴	۲		
۵			

پاسخ سؤالات پیش آزمون واحد کار چهارم

شماره سؤال	گزینه صحیح	شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	۲	۶	۱
۲	۱		
۳	۱		
۴	۲		
۵	۴		

پاسخ سؤالات پیش آزمون واحد کار پنجم

شماره سؤال	گزینه صحیح	شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	۴		
۲	۴		
۳	۳		
۴	۴		
۵	۴		

منابع و مآخذ

۱- ELECTRIC MACHINERY

A.E. FITZGERRALD-DHARLESKINGDLEY, J.R. STEPHEN D.UMANS

۲ـ محاسبه عملی ترانسفورماتورها و چوک‌ها ـ انتشارات سیم لاکی فارس ـ مؤلفین : علی عراقی ـ فتح الله نظریان ـ احمد معیری

۳ـ ماشین‌های الکتریکی ـ مؤلف پی ـ ال ـ تراژاد ـ ترجمه شعاری نژاد

۴ـ محاسبات عملی ترانسفورماتورها ـ مؤلف احمد ریاضی

۵ـ ترانسفورماتورهای منابع تغذیه ـ مؤلف محمد فرخی

۶ـ کتاب کارگاهی سال دوم هنرستان ـ مؤلفین ـ حسن خاور ـ عسگر شفق ـ سیدمحمود صموتی ـ فرود کمالی سروستانی

۷ـ کتاب کارگاهی سال سوم هنرستان ـ مؤلفین حسین رحمتی‌زاده ـ فریدون علومی ـ مسلم نیک‌زاد

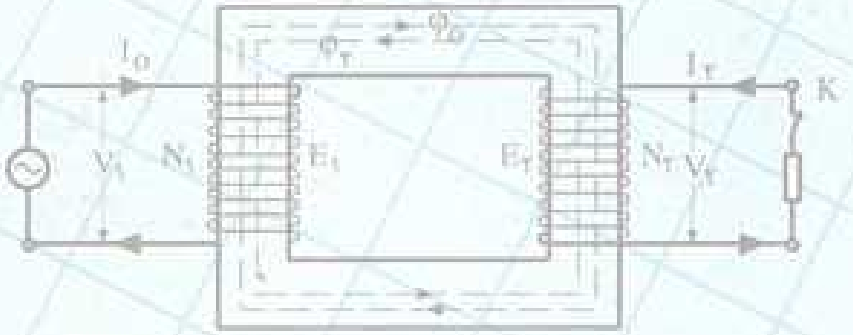
۸ـ اصول اندازه‌گیری الکتریکی ـ مؤلفین فریدون قیطرانی ـ فتح‌الله نظریان

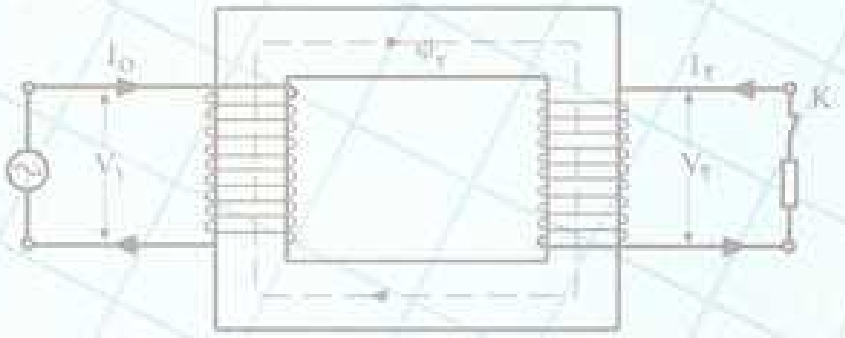
۹ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری ـ مؤلف مسعود سلطانی

فهرست رشته‌های مهارتی که می توانند از کتاب ساخت ترانسفورماتور استفاده نمایند.

ردیف	نام رشته‌ی مهارتی	شماره رشته‌ی مهارتی	کدرایانه‌ای رشته‌ی مهارتی	نام استاندارد مهارتی مبنا	کداستاندارد مهارتی متولی
۱	ماشین‌های الکتریکی	۳۰۶-۱۰۱-۱۰-۱	۹۳۷۶	تعمیرماشین‌های الکتریکی درجه ۲	۵۳/۲۸-۸و۷۵
۲	ماشین‌های الکتریکی درجه ۱	۳۰۵-۱۰۱-۱۰-۱	۹۳۷۵	تعمیرماشین‌های الکتریکی درجه ۲	۵۳/۲۸-۸و۷۵

$$K = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow I_2 = K I_1$$





شابک ۴-۱۲۰۴-۰۵-۹۶۴
ISBN 964-05-1204-4

قیمت در تمام کشور ۸۲۰۰ ریال