جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تحریر و چاپ کتب درسی

کارگاه الکترونیک مقدماتی

فنی و حرفه‌ای (رشته‌های الکترونیک ـ الکترونیک و مخابرات دریایی)

۳۵۹/۶۲

نظام جدید آموزش متوسطه

بسم الله الرحمن الرحیم

کارگاه الکترونیک مقدماتی

رشته‌های الکترونیک ـ الکترونیک و مخابرات دریایی

زمینه‌ی صنعت

شاخه‌ی آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره‌ی درس ۲۰۹۵

۶۲۱ صمونی، سیدمحمود
۸۸۱/ کارگاه الکترونیک مقدماتی/ مؤلفان: سیدمحمود صمونی، شهرام نصیری سوادکوهی.
۲۸ ـ ویرایش دوم ام بازسازی و تجدید نظر: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشته‌ی الکترونیک.
ک۸۴۸ص/ ـ تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۴.
۱۳۸۴ ۹۶ص.: مصور. ـ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره‌ی درس ۹۵ ۲۰۹۵)
متون درسی رشته‌های الکترونیک ـ الکترونیک و مخابرات دریایی، زمینه‌ی صنعت.
برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. الکترونیک ـ کارگاه‌ها. الف. نصیری سوادکوهی، شهرام. ب. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشته‌ی الکترونیک. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز،

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

پست الکترونیکی	info@tvoced.sch.ir
آدرس الکترونیکی	www.tvoced.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: کارگاه الکترونیک مقدماتی ـ ۳۵۹/۶۲

مؤلفان: سید محمود صمدانی، شهرام نصیری سوادکوهی

اعضای کمیسیون تخصصی: مهندس علیرضا داستانچی، مهندس فتح‌الله نظریان، مهندس سید محمود صمدانی، مهندس جمشید پرداز، مهندس ناصر ساعتچی و مهندس شهرام نصیری سوادکوهی

امور نمونه‌خوانی و نظارت بر چاپ: اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

رسام: مریم دهقان‌زاده، سیروس نوذری‌نسین

صفحه‌آرا: صغری طاهری

طراح جلد: مریم کیوان

نشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، تهران ـ کیلومتر ۱۷ جاده‌ی مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن: ۴-۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵/۱۳۹۵

چاپخانه: شرکت افست (سهامی عام)

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ پنجم ۱۳۸۴

حق چاپ محفوظ است.

ISBN 964-05-0806-3 شابک ۹۶۴-۰۵-۰۸۰۶-۳

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

امام خمینی «قدس سرّه الشّریف»

فهرست

فصل اوّل: لحیم‌کاری ۱
۱ـ۱ـ اطلاعات مقدماتی ۱
۱ـ۲ـ انواع لحیم‌کاری ۱
۱ـ۳ـ روغن لحیم ۱
۱ـ۴ـ خواص روغن لحیم ۲
۱ـ۵ـ لحیم ۲
۱ـ۶ـ وسایل لحیم‌کاری ۳
۱ـ۷ـ انواع هویه‌های قلمی ۵
۱ـ۸ـ پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی هویه ۸
۱ـ۹ـ نکات مهم در تعمیر و نگه‌داری هویه‌های قلمی ۹
۱ـ۱۰ـ قلع‌کش ۱۰
۱ـ۱۱ـ طریقه‌ی لحیم‌کاری ۱۲
۱ـ۱۲ـ لحیم‌کاری در تکنولوژی نصب سطحی(SMT) ۱۳
۱ـ۱۳ـ پیاده‌کردن قطعات SMD از روی برد ۱۴
۱ـ۱۴ـ انتخاب هویه با وات مناسب برای لحیم‌کاری ۱۵
۱ـ۱۵ـ کار عملی شماره ۱ : ساختن زاویه‌ی ۳۰° ۱۵
۱ـ۱۶ـ کار عملی شماره ۲ : ساختن زاویه‌ی ۶۰° ۱۶
۱ـ۱۷ـ کار عملی شماره ۳ : اتصال عمود برهم ۱۶
۱ـ۱۸ـ کار عملی شماره ۴ : ساختن مربع ۱۶
۱ـ۱۹ـ کار عملی شماره ۵ : ساختن هرم ۱۶
۱ـ۲۰ـ کار عملی شماره ۶ : ساختن مکعب یا استفاده از چند قطعه سیم ۱۶
۱ـ۲۱ـ کار عملی شماره ۷ : پیاده کردن قطعات از روی قیر مدارچاپی ۱۶
۱ـ۲۲ـ کار عملی شماره ۸ : سوار کردن قطعات روی قیر مدارچاپی ۱۷
۱ـ۲۳ـ کار عملی شماره ۹ : اتصال گیره‌ی سوسماری ۱۷
۱ـ۲۴ـ کار عملی شماره ۱۰ : اتصال پایانه‌ی آنتن تلویزیون ۱۷
۱ـ۲۵ـ کار عملی شماره ۱۱ : تهیه‌ی یراب BNC ۱۷
۱ـ۲۶ـ کار عملی شماره ۱۲ : اتصال فیش بلندگو، میکروفون، آمپلی‌فایر و... ۱۷
۱ـ۲۷ـ پروژه ۱۷

فصل دوم: بوبین و ترانسفورماتور ۱۹
۲ـ۱ـ اطلاعات مقدماتی ۱۹
۲ـ۲ـ محاسبه‌ی عملی سیم‌پیچ (بوبین) با هسته‌ی هوا ۲۲
۲ـ۳ـ محاسبه‌ی بوبین‌های چند لایه ۲۲
۲ـ۴ـ کار عملی شماره ۱ ۲۶
۲ـ۵ـ کار عملی شماره۲ ۲۶
۲ـ۶ـ کار عملی شماره ۳ ۲۷

۷ـ۲ـ ترانسفورماتور ۲۷
۸ ـ۲ـ محاسبه‌ی عملی ترانسفورماتور ۲۹
۹ـ۲ـ انتخاب ورقه‌ی مناسب برای هسته‌ی ترانسفورماتور ۳۵
۱۰ـ۲ـ محاسبه‌ی مساحت اشغال‌شده توسط سیم‌پیچ‌ها ۳۸
۱۱ـ۲ـ انتخاب قرقره‌ی ترانسفورماتور ۳۸
۱۲ـ۲ـ آماده‌کردن نهایی ترانسفورماتور ۴۰
۱۳ـ۲ـ چند مثال ۴۱
۱۴ـ۲ـ کار عملی شماره ۱ ۴۵
۱۵ـ۲ـ کار عملی شماره ۲ ۴۵

فصل سوم: منابع تغذیه ۴۷
۱ـ۳ـ باتری‌ها ۴۷
۲ـ۳ـ کار عملی شماره ۱ ۴۸
۳ـ۳ـ کار عملی شماره ۲ ۴۸
۴ـ۳ـ کار عملی شماره ۳ ۴۸
۵ـ۳ـ کار عملی شماره ۴ ۴۸
۶ـ۳ـ کار عملی شماره ۵ ۴۹
۷ـ۳ـ کار عملی شماره ۶ ۴۹
پرسش ۵۰
۸ـ۳ـ منبع تغذیه‌ی ساده با استفاده از برق شهر ۵۰
۹ـ۳ـ کار عملی شماره ۷ ۵۱
۱۰ـ۳ـ کار عملی شماره ۸ ۵۱
۱۱ـ۳ـ کار عملی شماره ۹ ۵۱
۱۲ـ۳ـ کار عملی شماره ۱۰ ۵۲
۱۳ـ۳ـ کار عملی شماره ۱۱ ۵۲
۱۴ـ۳ـ منبع تغذیه با آی‌سی رگلاتور ۵۳
۱۵ـ۳ـ کار عملی شماره ۱۲ ۵۳
۱۶ـ۳ـ کار عملی شماره ۱۳ ۵۴
پرسش ۵۴

فصل چهارم: نقشه‌های الکترونیکی ۵۵
۱ـ۴ـ اطلاعات مقدماتی ۵۵
۲ـ۴ـ طریقه‌ی ترسیم نقشه‌های الکترونیکی ۵۷
۳ـ۴ـ انواع شابلون‌های الکترونیکی ۵۸
۴ـ۴ـ کار عملی شماره ۱ ۶۰
۵ـ۴ـ کار عملی شماره ۲ ۶۰
۶ـ۴ـ کار عملی شماره ۳ ۶۱
۷ـ۴ـ کار عملی شماره ۴ ۶۲
۸ـ۴ـ کار عملی شماره ۵ ۶۲

فصل پنجم: طراحی مدار چاپی ۶۳
۱ـ۵ـ اطلاعات مقدماتی ۶۳
۲ـ۵ـ استانداردهای فیبر مدار چاپی ۶۴
۳ـ۵ـ جنس فیبرها ۶۴
۴ـ۵ـ ضخامت لایه‌های مس روی فیبر ۶۵
۵ـ۵ـ محاسبه‌ی ماکزیمم جریان عبوری از لایه‌ی مس ۶۵
۶ـ۵ـ محاسبه‌ی مقاومت خطوط ارتباطی ۶۶
۷ـ۵ـ فاصله‌ی خطوط ارتباطی ۶۶
۸ـ۵ـ استاندارد طراحی مدار چاپی ۶۶
۹ـ۵ـ طرز تهیه‌ی طرح مدار چاپی ۶۷
۱۰ـ۵ـ نکته‌های مهم در طراحی مدار چاپی ۶۷
۱۱ـ۵ـ چند مثال ۶۹
۱۲ـ۵ـ طراحی مدار چاپی (کار عملی شماره ۱) ۷۴
۱۳ـ۵ـ کار عملی شماره ۲ ۷۵
۱۴ـ۵ـ کار عملی شماره ۳ ۷۵
۱۵ـ۵ـ کار عملی شماره ۴ ۷۶
۱۶ـ۵ـ طراحی مدارچاپی با استفاده از کامپیوتر ۷۶
۱۷ـ۵ـ کار عملی نمایشی شماره ۵ ۷۶
۱۸ـ۵ـ کار عملی شماره ۶ ۷۶
۱۹ـ۵ـ روش‌های انتقال نقشه‌ی مدار چاپی روی فیبر ۷۸
۲۰ـ۵ـ طرز تهیه‌ی محلول اسید و آماده نمودن فیبر برای مونتاژ ۸۰
۲۱ـ۵ـ پاک‌کردن لامینت ۸۰
۲۲ـ۵ـ سوراخ‌کاری و نصب قطعات ۸۰

فصل ششم: پروژه ۸۲
۱ـ۶ـ پروژه‌ی طراحی مدار چاپی و موتاژ قطعات ۸۲
۲ـ۶ـ تعیین پایه‌ها و تشخیص سالم‌بودن
دیود و ترانزیستور به وسیله‌ی اهم‌متر ۹۱
۳ـ۶ـ تشخیص آند و کاتد و سالم‌بودن
دیود توسط اهم‌متر ۹۱
۴ـ۶ـ تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور
به کمک اهم‌متر ۹۲
منابع و مأخذ ۹۶

مقدمه

کتاب «کارگاه الکترونیک مقدماتی» برای سال دوم رشته‌ی الکترونیک هنرستان‌های فنی با توجه به برنامه‌ی سالی واحدی تألیف شده است. هدف از آموزش این کتاب ایجاد توانمندی و تقویت انگیزه و علاقه در دانش‌آموزان، از طریق آموزش مبانی عملی الکترونیک، است.

ضروری است قبل از شروع به تدریس کتاب موارد زیر مدّ نظر قرار گیرد:

۱ـ در محتوای کتاب، آموزش‌های عملی «ترانس‌ییجی» «طراحی مدارهای چاپی» و «موتاژ مدارهای ساده‌ی الکترونیکی» پیش‌بینی شده است؛ توصیه می‌شود هنرآموزان عزیز از پرداختن به مباحث تئوری اضافی خودداری کنند و همواره با آموزش نکات عملی، زمینه‌های شکوفایی، خلاقیت و نوآوری هنرجویان را فراهم آورند.

۲ـ در مبحث «ترانس پیچی»، پیچیدن یک نمونه ترانس با استفاده از فرقه‌ی آماده، به‌صورت کاملاً کاربردی، برحسب نیاز هنرستان و هنرجویان، اجرا شود.

۳ـ مراحل تدریس و اجرای کتاب باید به‌گونه‌ای باشد که در پایان سال منتهی به انجام یک کار عملی قابل استفاده برای هنرجویان یا هنرستان شود.

۴ـ تعمیر سیم‌های رابط سوسماری، پراب‌های BNC اسیلوسکوپ و پراب‌های سایر دستگاه‌های آزمایشگاهی از مواردی است که می‌بایستی توسط این کارگاه انجام شود.

۵ـ نظر به این که هنرجویان در این کارگاه با ولتاژ ۲۲۰ ولت متناوب سر و کار دارند، از هنرآموزان محترم تقاضا می‌شود نسبت به آموزش نکات ایمنی در برق و رعایت دقیق آن توجّه مخصوص داشته باشند.

۶ـ آزمون پایان سال به گونه‌ای باشد که محتوای کتاب، خصوصاً جنبه‌های عملی آن، مورد ارزیابی قرار گیرد.

در خاتمه از همکاران و هنرجویان عزیز درخواست می‌شود رهنمودهای لازم را جهت بهبود کمی و کیفی کتاب اعلام فرمایند تا ان‌شاء الله در چاپ‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

با تشکر مؤلفان

فهرست و بودجه‌بندی زمانی پیشنهادی

شماره‌ی فصل	عنوان فصل	بودجه‌بندی زمانی پیشنهادی
۱	لحیم‌کاری	۲۰ ساعت
۲	بوبین و ترانسفورماتور	۲۰ ساعت
۳	منابع تغذیه	۱۶ ساعت
۴	نقشه‌های الکترونیکی	۱۶ ساعت
۵	طراحی مدار چاپی	۲۴ ساعت
۶	پروژه	۲۴ ساعت

هدف کلّی

شناسایی قطعات الکترونیکی، انجام ترانس‌پیجی، تهیه‌ی مدارهای چاپی و مونتاژ مدارهای الکترونیکی ساده.

فصل اوّل

لحیم‌کاری

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

۱ـ انواع لحیم‌کاری را نام ببرد.

۲ـ انواع روغن‌های لحیم‌کاری را نام ببرد و خواص آن‌ها را شرح دهد.

۳ـ انواع لحیم را از یکدیگر تمیز دهد.

۴ـ انواع هویه را نام ببرد و طرز کار با هویه را شرح دهد.

۵ـ لحیم‌کاری صحیح را از لحیم‌کاری غلط تشخیص دهد.

۶ـ چند قطعه را به یکدیگر لحیم کند.

۱ـ۱ـ اطلاعات مقدماتی

منظور از لحیم‌کاری اتصال دو یا چند قطعه فلز به‌یکدیگر است. این عمل به‌وسیله‌ی آلیاژی از قلع و سرب گاهی همراه با سایر فلزات که آن‌ها را لحیم می‌نامند انجام می‌شود. برای انجام لحیم‌کاری ابتدا محل اتصال دو فلز را با وسیله‌ای در حدی گرم می‌کنیم که دمای آن محل به نقطه‌ی ذوب لحیم برسد و لحیم در محل اتصال ذوب شود. در نتیجه، پس از سرد شدن محل اتصال دو قطعه به هم متصل می‌شوند.

۲ـ۱ـ انواع لحیم‌کاری

برای ایجاد اتصالات معمولاً از دو نوع لحیم‌کاری سخت و لحیم‌کاری نرم استفاده می‌شود در لحیم‌کاری سخت (خشن) درجه حرارت کار بالا است و در لحیم‌کاری نرم (سست) درجه حرارت کار نسبتاً پایین است.

۳ـ۱ـ روغن لحیم[1]

یکی از مهم‌ترین موادی که در عملیات لحیم‌کاری از آن استفاده می‌شود روغن لحیم‌کاری است.

تمام فلزاتی که می‌خواهند به یکدیگر متصل شوند ممکن است در اثر عوامل جوی اکسید شوند و یا سطوح خارجی آن‌ها کثیف و آلوده باشد. برای از بین بردن این عوامل از مواد پاک‌کننده (روغن لحیم) استفاده می‌شود. این مواد علاوه‌بر آن‌که آلودگی سطوح قطعات را پاک می‌کنند مانع از اکسیده شدن محل اتصال در خلال عمل لحیم‌کاری نیز می‌شوند. لذا تمام مواد پاک‌کننده‌ای را که قادرند ترکیباتی نظیر اکسیدها و هیدرات‌ها را در خود حل کنند می‌توان در شمار روغن‌های لحیم‌کاری به حساب آورد. به این روغن‌ها روغن‌های کروسیو[2] یا سایند گویند. از معروف‌ترین روغن‌های کروسیو می‌توان اسیدهای معدنی، پراکس، محلول آمونیاک و کلرید روی را نام برد.

از روغن‌های کروسیو عموماً برای لحیم‌کاری خشن و قطعات بزرگ و حجیم استفاده می‌شود. این بدان معنی است که در کار لحیم‌کاری عناصر الکترونیکی معمولاً از این نوع روغن‌ها استفاده نمی‌شود، در حالی که اگر استفاده شود معمولاً عمل لحیم‌کاری به‌سهولت نیز انجام می‌شود. عدم استفاده از این

۱ـ Flux

۲ـ Corrosive

روغن‌ها در لحیم کاری الکترونیک دلیل دیگری دارد و آن این است که چون درجه‌حرارت پایین است روغن لحیم تجزیه و تبخیر نمی‌شود و در محل اتصال باقی می‌ماند که سبب خورده شدن محل اتصال می‌شود.

در کارهای الکترونیکی (لحیم کاری نرم) از روغن‌های نان کروسیو[1] یا غیرساینده استفاده می‌کنند که از نوع مواد آلی (کربنی) هستند.

این مواد در خلال عمل لحیم کاری تجزیه و تبخیر می‌شوند و درنتیجه مواد زاید و اکسیدها را در محل اتصال از بین می‌برند.

از معروف‌ترین روغن‌های نان کروسیو که برای لحیم کاری فلزات مختلف به‌کار می‌رود می‌توان استارین، روژین و کالیفن را نام برد. اگر این روغن‌ها پس از پایان عمل لحیم کاری در محل اتصال باقی بمانند با گذشت زمان فاسد می‌شوند و مقاومت محل اتصال را تغییر می‌دهند. این تغییر مقاومت، در مدارهای چاپی، می‌تواند موجب بروز عیب در مدار شود.

۴ـ۱ـ خواص روغن لحیم

روغن لحیم کاری باید دارای خصوصیاتی به شرح زیر باشد:

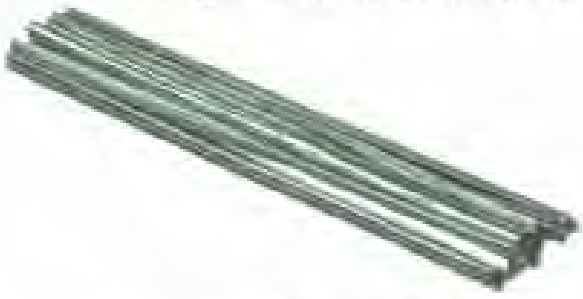
۱ـ نقطه‌ی ذوب روغن لحیم باید کم‌تر و پایین‌تر از نقطه‌ی ذوب لحیم باشد تا زودتر ذوب شود و سطح فلز را پاک کند.

۲ـ روغن لحیم ذوب شده باید قدرت گسترش و نفوذ در سطح فلز را داشته باشد ولی نباید روی سطح فلز پخش شود.

۳ـ روغن لحیم نباید با فلزات به‌صورت ترکیب درآید.

۴ـ روغن لحیم باید اکسیدها را به‌آسانی در خود حل کند.

۵ـ اثر روغن لحیم باید تا پایان عمل لحیم کاری باقی بماند و درضمن عمل لحیم کاری از اکسید شدن سطح اتصال جلوگیری کند.



الف) میله‌ی لحیم

ب) قرقره‌های مختلف لحیم

شکل ۱ـ۱

۵ـ۱ـ لحیم[2]

لحیم آلیاژی است از سرب و قلع که نقطه‌ی ذوب آن پایین است. آلیاژ لحیم را به‌صورت سیم‌های مفتولی با قطرهای محدود ۰/۵ تا ۴ میلی‌متر می‌سازند. در داخل اغلب این سیم‌ها معمولاً سوراخی سرتاسری وجود دارد که روغن لحیم در داخل آن قرار می‌گیرد. (سیم لحیم با مغزی روغن).

نسبت قلع و سرب در آلیاژ لحیم بین ۴۰ تا ۶۰ درصد تغییر می‌کند.

در عمل، سیم‌های لحیم را معمولاً با آلیاژهای ۶۰/۴۰، ۵۰/۵۰ و ۴۰/۶۰ می‌سازند. لحیم ۶۰/۴۰ آلیاژی است که در آن به‌نسبت ۶۰ درصد قلع و ۴۰ درصد سرب وجود دارد. هرچه درصد قلع بیش‌تر باشد لحیم در درجه حرارت کم‌تری ذوب می‌شود. مثلاً لحیم ۶۰/۴۰ در درجه حرارت حدود 190°C ذوب می‌شود درصورتی که لحیم ۴۰/۶۰ برای ذوب شدن به حداقل 235°C حرارت نیاز دارد. چون حرارت زیاد سبب معیوب شدن وسایل نیمه هادی نظیر دیود و ترانزیستور و نیز خرابی مدارهای چاپی می‌شود لذا برای انجام لحیم کاری قطعات الکترونیکی لحیم با درصد قلع بیش‌تر مناسب‌تر است که البته گران‌تر است. بهترین لحیم برای عمل لحیم کاری در الکترونیک آلیاژ ۶۳/۳۷ (۶۳ درصد قلع و ۳۷ درصد سرب) است. شکل ۱ـ۱ـ چند نوع سیم لحیم را نشان می‌دهد.

۱ـ Non corrosive

۲ـ Solder

شکل ۱ـ۱ـ الف میله‌ی لحیم را نشان می‌دهد. اگر میله‌ی لحیم دارای ۶۰ درصد قلع و ۴۰ درصد سرب باشد نقطه‌ی ذوب آن حدود ۱۸۳ تا ۱۹۰°C است.

در شکل ۱ـ۱ـ ب قرقره‌های مختلف لحیم با درصد قلع و سرب و قطر سیم مختلف نشان داده شده است. بعضی از انواع آلیاژ لحیم ممکن است دارای ۶۰ درصد قلع و ۳۸ درصد سرب و ۲ درصد مس باشد. قطر سیم لحیم ممکن است ۰/۶mm، ۰/۸mm، ۱mm، ۱/۵mm یا ۲mm و بیش‌تر باشد.

شکل ۲ـ۱ قرقره‌ی لحیم را روی پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی آن برای میزکار نشان می‌دهد.

شکل ۲ـ۱ ـ قرقره لحیم و پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی آن

۶ـ۱ـ وسایل لحیم‌کاری

برای لحیم کاری دو یا چند قطعه‌ی فلزی به یکدیگر باید ابتدا نقاط مورد نظر آن‌ها را گرم کرد و سپس عمل لحیم کاری را انجام داد. وسیله‌ای که حرارت مورد نیاز را برای لحیم‌کاری تأمین می‌کند **هُویه** نام دارد. هویه بر دو نوع است. هویه‌ی ساده و هویه‌ی برقی.

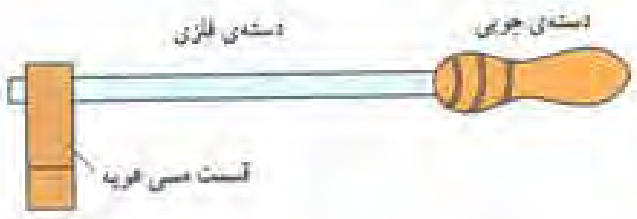
۱ـ۶ـ۱ـ هویه‌ی ساده: هویه‌ی ساده از سه قسمت تشکیل شده است.

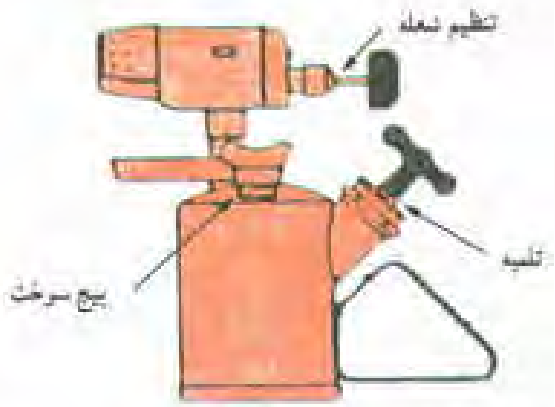
الف ـ سر هویه، که شبیه چکش و از جنس مس است.

ب ـ دسته‌ی هویه که مفتولی از آهن است.

ج ـ دسته‌ی چوبی هُویه که در انتهای دسته‌ی فلزی قرار دارد.

هُویه‌ی ساده به‌وسیله‌ی حرارت چراغ پریموس، گاز یا زغال گرم می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۳ـ۱ هویه‌ی ساده و دستگاه گرم‌کننده‌ی آن نشان داده شده است.





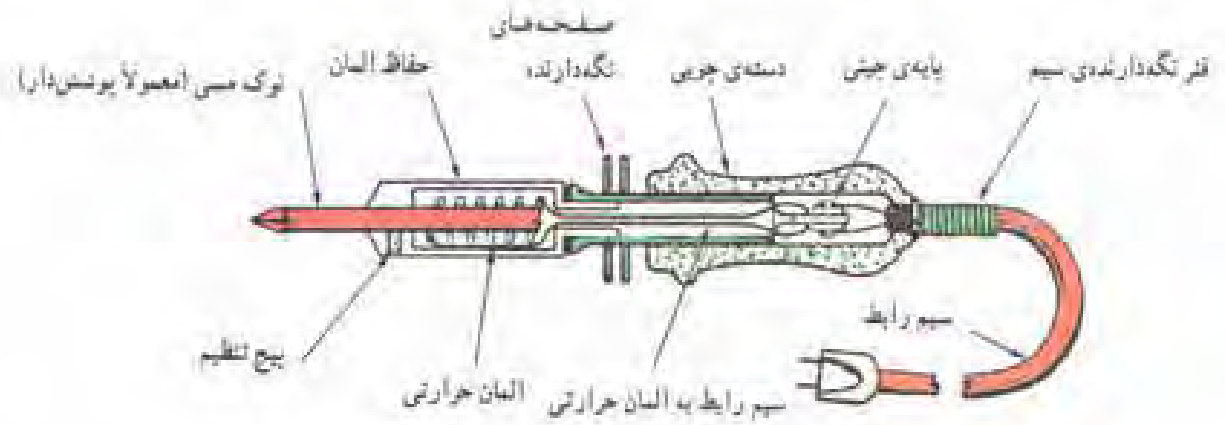
شکل ۳ـ۱ـ هویه‌ی ساده و دستگاه گرم‌کننده‌ی آن

۲ــ۶ــ۱ــ هویه‌ی برقی: هویه‌ی برقی بر دو نوع است: هویه قلمی (مقاومتی) و هویه‌ی هفت‌تیری.

هویه‌ی قلمی: در ساختمان این نوع هویه‌ها معمولاً از سیم‌های حرارتی مانند کُرُم نیکل یا کُرُم آلومینیم استفاده می‌شود.

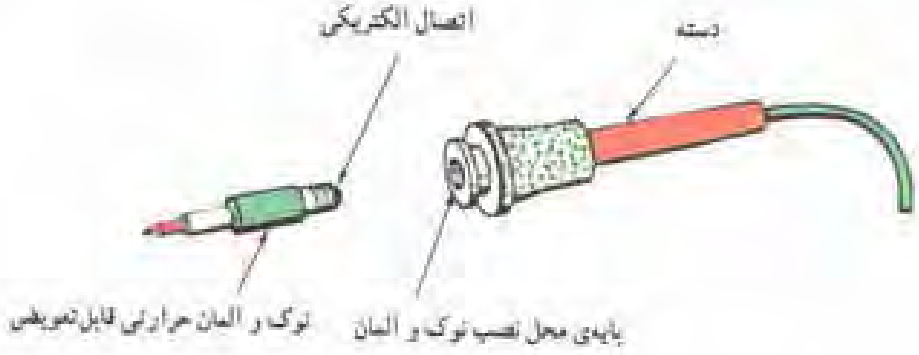
در این نوع هویه سیم گرم کننده را روی عایقی از آجرنسوز که وسط آن خالی است می‌پیچند. یک میله‌ی مسی که همان نوک هویه است در داخل محفظه‌ی خالی قرار می‌گیرد. در اثر عبور جریان از سیم گرم کننده حرارت ایجاد می‌شود. حرارت به‌میله‌ی مسی انتقال می‌یابد.

شکل ۴ــ۱ قسمت‌های مختلف یک هویه‌ی قلمی را که از نوک هویه، المان گرم کننده، حفاظ، دسته‌ی چوبی و سیم رابط و غیره تشکیل شده است نشان می‌دهد.



شکل ۴ــ۱ــ قسمتهای مختلف یک هویه‌ی قلمی

در بعضی از انواع هویه‌های قلمی نوک و المان حرارتی آن قابل تعویض است. شکل ۵ــ۱ این نوع هویه را نشان می‌دهد.



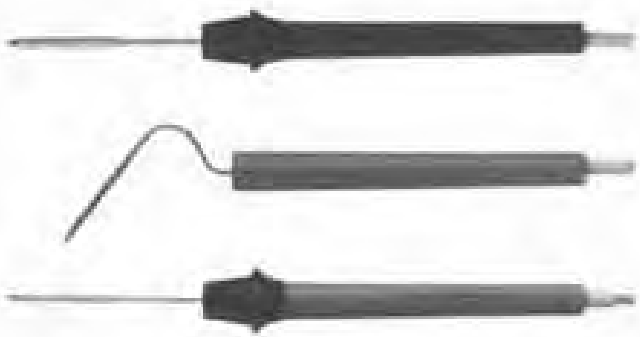
شکل ۵ــ۱ــ هویه‌ی قلمی با نوک و المان حرارتی قابل تعویض

۷ـ۱ـ انواع هویه‌های قلمی

هویه‌های قلمی در اندازه‌های کوچک با توان ۱۰ وات تا اندازه‌های بزرگ با توان ۵۰۰ وات ساخته می‌شوند. شکل ۶ـ۱ چند نمونه از این هویه‌ها را در توان‌ها و اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد.

شکل ۶ـ۱ـ انواع هویه‌های قلمی در توان‌ها و اندازه‌های مختلف

۱ـ۷ـ۱ـ هویه‌ی قلمی کوچک: برای لحیم‌کاری بسیار ظریف و دقیق در مدارهای الکترونیکی بسیار کوچک، مثلاً در تولید و تعمیر ساعت الکترونیکی یا مهندسی دندانپزشکی، از هویه‌ی قلمی کوچک استفاده می‌کنند. شکل ۱ـ۷ چند نمونه از این هویه‌ها را نشان می‌دهد:



شکل ۷ـ۱ـ هویه‌های قلمی کوچک

این هویه‌ها در توان ۵W ساخته می‌شوند و با ولتاژ کم مانند باتری ۶ ولتی یا ترانسفورماتور ۶ ولتی کار می‌کنند.

۲ـ۷ـ۱ـ هویه‌ی سرعت بالا: این هویه معمولاً برای عمل تعمیر به‌کار می‌رود. با اتصال هویه به برق بلافاصله حرارت نوک آن بالا می‌رود اما به‌علت این‌که مقاومت حرارتی این نوع هویه‌ها دارای ضریب حرارتی مثبت (PTC)[1] است با گرم‌شدن مقاومت حرارتی، اهم آن افزایش می‌یابد که سبب می‌شود جریان عبوری کم شود و درنتیجه حرارت نوک هویه کاهش یابد. در شکل ۸ـ۱ نوعی از این هویه‌ی سرعت بالا نشان داده شده است. این نوع هویه در حالت سرد دارای توان ۱۵۰W و در حالت گرم دارای توان ۶۰ وات است.

شکل ۸ـ۱ـ هویه‌ی سرعت بالا

۳ـ۷ـ۱ـ هویه با کنترل الکترونیکی درجه حرارت: در بعضی از هویه‌ها درجه حرارت ضمن کار هویه قابل کنترل است. شکل ۹ـ۱ این نوع هویه را نشان می‌دهد. المنت به‌کاررفته در این هویه مانند یک پراب[2] حرارتی عمل می‌کند. درجه حرارت کار هویه‌ی نشان داده شده در این شکل از ۲۰۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد قابل تغییر است.

شکل ۹ـ۱ـ هویه با کنترل الکترونیکی درجه حرارت

۱ـ Positive Temperature Coefficient

۲ـ probe سیم رابط ـ رابط

۴ـ۷ـ۱ـ هویه‌ی گازی: برای انجام عمل لحیم‌کاری در مواردی که برق وجود ندارد می‌توان از هویه‌ی گازی استفاده کرد. جرقه‌زن‌های پیزوالکتریک گاز را مشتعل کرده و حرارت آن نوک هویه را گرم می‌کند.

شکل ۱۰ـ۱ یک نوع هویه‌ی گازی را نشان می‌دهد.

این هویه دارای توان ۸۰ تا ۱۵۰ وات است و مخزن گاز آن با گاز بوتان پر می‌شود. یک مخزن گاز می‌تواند تا ۱۸۰ دقیقه کار کند.

شکل ۱۰ـ۱ـ یک نمونه هویه‌ی گازی

نوع دیگری از هویه‌ی گازی وجود دارد که نوک آن قابل تعویض است، از این جهت با تعویض نوک آن می‌توان استفاده‌های مختلفی از آن به‌عمل آورد. شکل ۱۱ـ۱ این نوع هویه و کار نوک‌های مختلف آن را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱ـ۱ـ هویه‌ی گازی با نوک قابل تعویض

توان این نوع هویه‌ها معمولاً از ۲۵ تا ۱۲۵ وات است و با گاز بوتان کار می‌کند. یک مخزن گاز می‌تواند حداکثر ۱۲۰ دقیقه سرویس دهد.

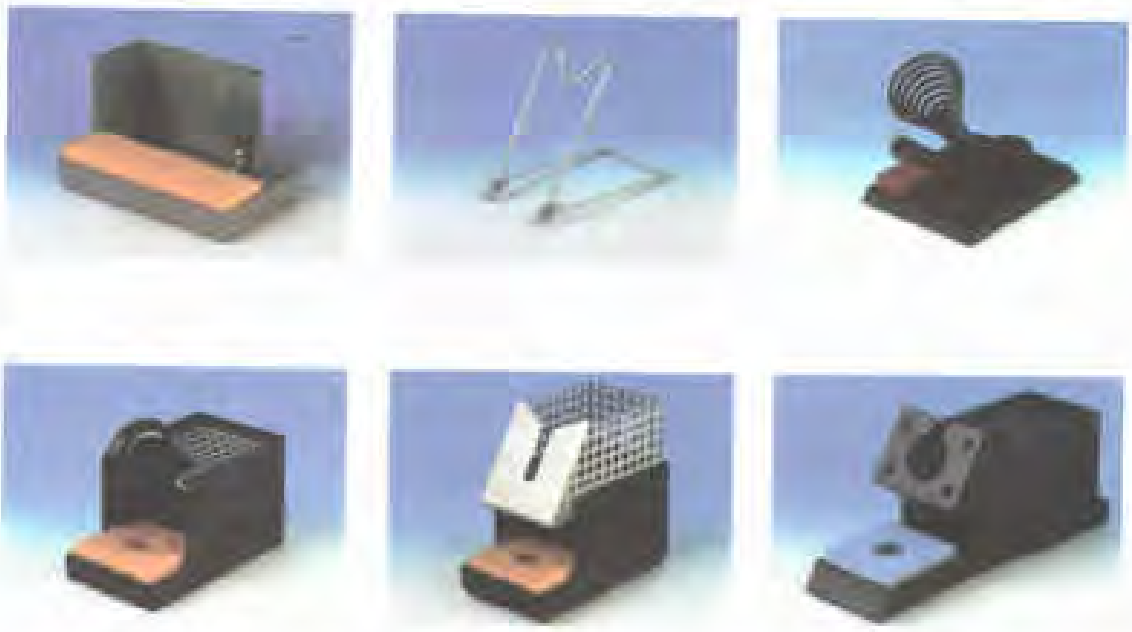
۵ ــ۷ــ۱ــ هویه‌ی قلمی باتری دار: برای آن‌که بتوان عمل لحیم‌کاری را در موقعیت‌هایی که برق شهری وجود ندارد نیز انجام داد، از هویه‌ی قلمی باتری‌دار استفاده می‌کنند. این هویه طوری طراحی شده است که می‌تواند با باتری اتومبیل نیز کار کند. شکل ۱۲ــ۱ نمونه‌ای از این نوع هویه را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲ــ۱ــ هویه‌ی قلمی باتری‌دار

۸ ــ۱ــ پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی هویه

چون حرارت هویه ممکن است ناخواسته به محیط کار آسیب برساند هنگام کار با هویه گرمی که از آن استفاده نمی‌کنیم باید آن را روی پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی مناسب قرار دهیم. برخی از پایه‌های نگه‌دارنده دارای اسفنج نرم نسوز نیز می‌باشند که می‌توان با نم‌دار کردن اسفنج نوک هویه را تمیز کرد.

در شکل ۱۳ــ۱ چند نوع پایه‌ی نگه‌دارنده هویه قلمی نشان داده شده است.



شکل ۱۳ــ۱ــ چند نمونه پایه نگه‌دارنده‌ی هویه‌ی قلمی

۹ــ۱ نکات مهم در تعمیر و نگه‌داری هویه‌های قلمی

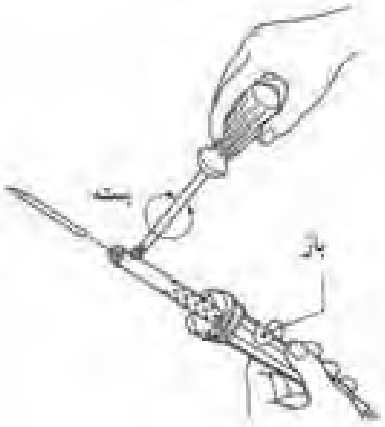
اگر یک هویه‌ی قلمی به‌طریق صحیح و فنی نگه‌داری شود می‌تواند سال‌های متوالی کار کند. برای این منظور باید نکات زیر را رعایت کنید.

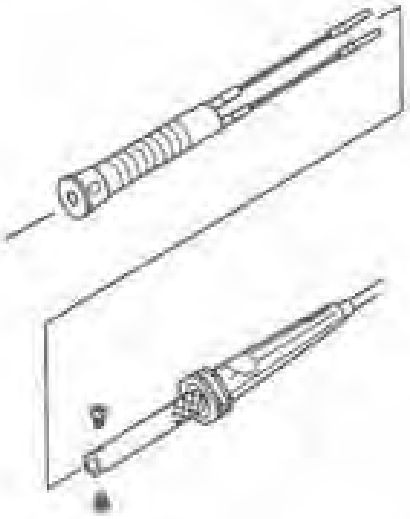
۱ــ همیشه نوک هویه را قلع اندود کنید. اگر نوک هویه خیلی کثیف است ابتدا به‌وسیله‌ی یک سوهان یا سمباده‌ی نرم آن را تمیز کنید، سپس آن را به گونه‌ای قلع‌اندود کنید که نوک هویه کاملاً براق و درخشان شود. پس از اتمام کار کمی قلع روی نوک هویه قرار دهید و پس از ذوب شدن آن را به‌وسیله‌ی اسفنج نرم یا پارچه‌ی نمدار تمیز کنید. بعضی از نوک‌ها دارای پوشش فلزی ضد اکسید هستند. برای تمیز کردن این قبیل نوک‌ها نباید سطح نوک را سوهان زد.

۲ــ هنگامی که از هویه استفاده نمی‌کنید دو شاخه‌ی آن را از برق بکشید زیرا اتصال مداوم هویه به برق سبب ایجاد حرارت بیش از اندازه در نوک آن می‌شود و آن را اکسید می‌کند. اکسید شدن نوک هویه سبب از بین رفتن آن می‌شود. بعضی از هویه‌های قلمی دارای ترموستات هستند. ترموستات حرارت نوک هویه را به‌طور خودکار تنظیم می‌کند.

۳ــ اگر دیدید هویه داغ نمی‌شود، ابتدا پریز را با استفاده از لامپ یا به‌وسیله‌ی ولت متر AC آزمایش کنید. پس از اطمینان از وجود برق در پریز، سیم رابط و اتصال آن را به دو شاخه، کنترل کنید. اگر سیم‌های رابط سالم بود به‌وسیله‌ی اهم‌متری مقاومت سیم حرارتی را اندازه بگیرید. درصورت قطع بودن رشته‌ی حرارتی اهم‌متر مقاومت بی‌نهایت را نشان می‌دهد. یک هویه سالم دارای مقاومت کمی در حدود چند کیلواهم است.

اگر سیم حرارتی (المنت) هویه سوخته باشد می‌توان با تعویض آن با یک قطعه گرم‌کننده سالم، هویه را تعمیر کرد. شکل ۱۲ــ۱ نحوه‌ی بیرون آوردن و تعویض قطعه گرم‌کننده را نشان می‌دهد.





شکل ۱۲ــ۱ــ نحوه‌ی بیرون آوردن و تعویض قطعه گرم‌کننده در هویه‌ی قلمی

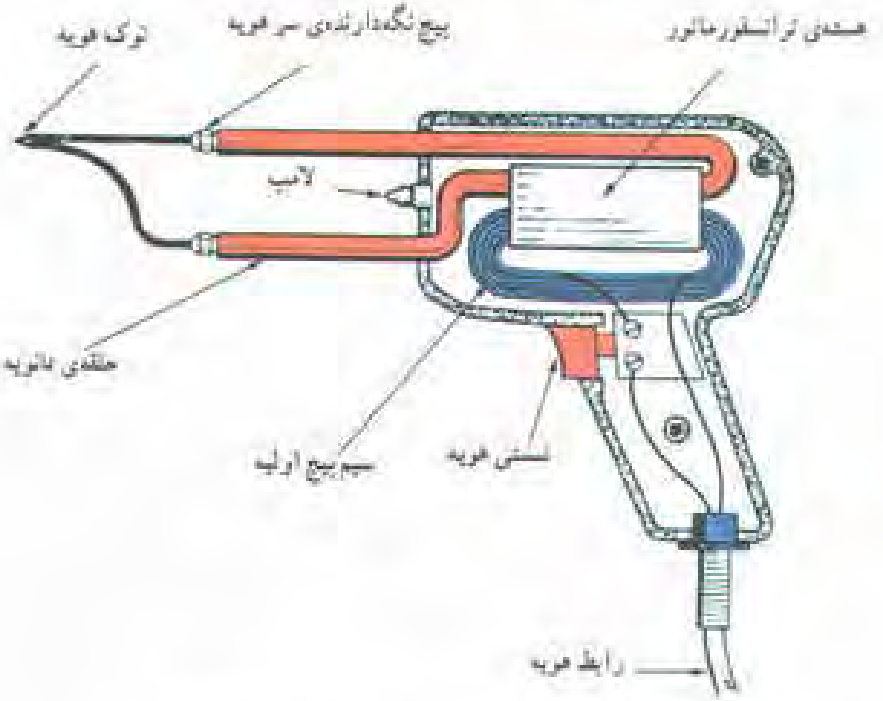
هویه‌ی هفت‌تیری (ترانسفورماتوری): هویه‌ی هفت‌تیری بر اساس اصول کار ترانسفورماتور کار می‌کند. ترانسفورماتور یا ترانس دارای دو سیم‌پیچ به نام اولیه و ثانویه است. سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه بر روی هسته‌ای آهنی به شکل U یا E پیچیده شده‌اند. با توجه به رابطه‌ی $\frac{N_1}{N_2}=\frac{E_1}{E_2}=\frac{I_2}{I_1}$ چنانچه دور سیم‌پیچ ثانویه کم‌تر باشد ترانسفورماتور از نوع کاهنده است و جریان در سیم‌پیچ ثانویه بیش‌تر می‌شود.

هویه‌ی هفت‌تیری براساس ترانسفورماتوری که سیم‌پیچ ثانویه‌ی آن اتصال کوتاه شده است کار می‌کند. اولیه‌ی ترانسفورماتور از چندین حلقه سیم نازک تشکیل شده است. ثانویه‌ی ترانسفورماتور از یک میله‌ی فلزی ساخته شده که دو

انتهای آن به‌وسیله‌ی یک سیم مفتولی (نوک هویه) به‌هم مربوط می‌شوند.

با فشار دادن دستی مانه‌ای، جریان برقی که در سیم‌پیچ اولیه جاری می‌شود، در سیم‌پیچ ثانویه جریان زیادی را برقرار می‌کند. این جریان باعث گرم شدن نوک هویه می‌شود. شکل ۱۵ـ۱ ساختمان داخلی یک هویه‌ی هفت‌تیری را نشان می‌دهد.

فرق هویه‌ی هفت‌تیری با هویه‌ی قلمی در این است که هویه‌ی هفت‌تیری در مدت زمان کوتاه‌تری گرم می‌شود. این هویه‌ها برای تولید توان‌های بالا ساخته می‌شوند.



شکل ۱۵ـ۱ـ ساختمان داخلی یک هویه‌ی هفت‌تیری

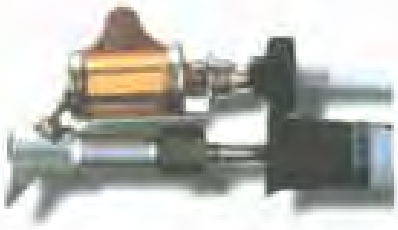
۱۰ـ۱ـ قلع‌کش

قلع‌کش وسیله‌ای است که با آن می‌توان لحیم را از محل اتصال جدا کرد. قلع‌کش‌ها در انواع مختلفی ساخته می‌شوند.

۱ـ ۱۰ـ۱ـ قلع‌کش پیستونی: این قلع‌کش دارای سیلندر و پیستون است. با فشار دادن روی دسته‌ی قلع‌کش، پیستون به داخل سیلندر وارد شده و در نقطه‌ی انتهایی قفل می‌شود. برای برداشتن قلع، ابتدا با هویه لحیم (قلع) محل اتصال را ذوب کرده و نوک قلع‌کش پیستونی را به آن نزدیک می‌کنند. سپس با فشار دادن روی دکمه‌ای، قفل آزاد شده و پیستون به‌عقب کشیده می‌شود و لحیم را به داخل سیلندر می‌مکد. شکل ۱۶ـ۱ چند نوع از این قلع‌کش را نشان می‌دهد.

شکل ۱۶ـ۱ـ چند نمونه از قلع‌کش پیستونی

۲ـ۱۰ـ۱ـ قلع‌کش حرارتی: این قلع‌کش در واقع نوعی هویه است، که خود، لحیم محل اتصال را ذوب می‌کند، سپس آن را با پمپ دستی یا دستگاه مکنده‌اش می‌مکد. شکل ۱۷ـ۱ نوک این قلع‌کش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷ـ۱ـ نوک قلع‌کش حرارتی

نوک در محل لحیم مانند شکل ۱۸ـ۱ قرار می‌گیرد سپس دستگاه مکنده قلع ذوب شده را مکش می‌کند.

شکل ۱۹ـ۱ قلع‌کش با دستگاه مکنده را نشان می‌دهد.

شکل ۱۸ـ۱ـ نحوه‌ی قرارگیری قلع‌کش حرارتی

شکل ۱۹ـ۱ـ قلع‌کش با دستگاه مکنده

۳ـ۱۰ـ۱ـ فتیله‌ی لحیم: گاهی برای برداشتن لحیم، از فتیله‌ی لحیم استفاده می‌کنند. فتیله‌ی لحیم سیم‌های به‌هم تابیده‌ی افشان بسیار نازکی است که روی لحیم قرار می‌گیرد و پس از ذوب‌کردن لحیم، آن را، مانند فتیله‌ای که نفت را بالا می‌کشد، به سمت خود جذب می‌کند. شکل ۲۰ـ۱ فتیله‌ی لحیم را نشان می‌دهد.

شکل ۲۰ـ۱ـ فتیله‌ی لحیم

۱۱ـ۱ـ طریقه‌ی لحیم‌کاری

برای انجام لحیم‌کاری ابتدا نوک هویه را که در اثر کارکردن کثیف شده است با برس سیمی یا سمباده‌ی نرم تمیز کنید. سپس هویه را به برق وصل کنید تا گرم شود. بعد از این که نوک هویه به درجه حرارت ذوب لحیم رسید مقداری لحیم روی آن قرار دهید تا نوک هویه آغشته به یک لایه‌ی نازک لحیم شود. این عمل از اکسید شدن نوک هویه جلوگیری می‌کند. برای انجام عمل لحیم‌کاری نکات زیر را رعایت کنید.

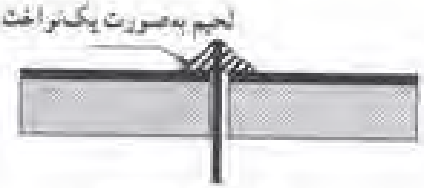
۱ـ از هویه با وات مناسب استفاده کنید. در الکترونیک هویه‌های ۱۰ وات تا ۴۰ وات برای لحیم‌کاری مناسب‌اند.

۲ـ نقاطی را که می‌خواهید لحیم کاری کنید با سمباده‌ی نرم یا پارچه‌ی زبر تمیز کنید، زیرا عمل لحیم‌کاری روی سیم‌های کثیف و اکسید شده انجام نمی‌گیرد.

۳ـ نوک هویه را کاملاً تمیز کنید.

۴ـ سیم‌ها و عناصری را که می‌خواهید به یکدیگر متصل کنید به‌طور جداگانه حرارت دهید و صبر کنید تا درجه حرارت محل اتصال افزایش یابد سپس سیم لحیم را روی اتصال گرم‌شده قرار دهید تا ذوب شود و بتواند محل تقاطع دو سیم یا محل اتصال عناصر را کاملاً بپوشاند.

۵ـ هویه را به‌طور بی‌دریی از سطح کار جدا نکنید، زیرا این عمل علاوه‌بر صرف وقت زیاد موجب لحیم به در محل اتصال می‌شود، یعنی در این حالت لحیم در محل اتصال به‌طور کامل پخش نمی‌شود و یک اتصال با لحیم‌کاری سرد به‌وجود می‌آید. شکل ۲۱ـ۱ لحیم‌کاری صحیح و لحیم‌کاری سرد را نشان می‌دهد.



ب) لحیم‌کاری صحیح

الف) لحیم‌کاری سرد (غلط)

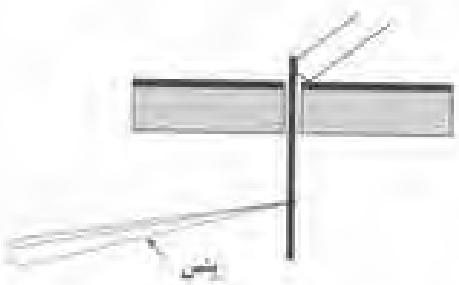
شکل ۲۱ـ۱ـ لحیم‌کاری صحیح

در اتصال با لحیم سرد اگرچه مقدار قلع ظاهراً کافی به‌نظر می‌رسد ولی در زیر لحیم قشری از هوا به‌وجود می‌آید که مانع برقراری اتصال الکتریکی می‌شود. لحیم سرد ممکن است در اثر عوامل دیگری نیز به‌وجود آید. مثلاً حرکت دادن اتصال قبل از سرد شدن و نیز کثیف بودن محل اتصال سبب ایجاد لحیم سرد می‌شود. همچنین پیش از حد گرم شدن، محل اتصال سطح دو فلز را اکسید می‌کند و سبب تولید یک لایه اکسید بین دو فلز می‌شود.

بروز این حالت در لحیم‌کاری را نیز لحیم سرد گویند. اگر هویه به‌طور مناسب به محل اتصال تماس داده نشود نیز لحیم سرد ایجاد می‌شود. به‌هر حال مهم‌ترین عامل ایجاد لحیم‌سرد کافی نبودن گرما در محل اتصال و در هنگام لحیم‌کاری است.

۶ـ اکثر قطعات الکترونیکی نظیر دیودها، ترانزیستورها و آی‌سی‌ها در مقابل افزایش حرارت مقاوم نیستند و این قطعات در اثر حرارت ناشی از لحیم‌کاری ممکن است آسیب ببینند. برای لحیم‌کاری این عناصر، باید زمان اعمال حرارت در خلال لحیم‌کاری دقیقاً تنظیم شود باید در هنگام لحیم‌کاری پایه‌ی این قطعات را با پنس یا دم باریک، یا هر وسیله‌ی فلزی دیگر که سبب انتشار حرارت می‌شود نگه‌دارید.

در شکل ۲۲ـ۱ پنس پایه‌ی قطعه را گرفته است، در این حالت حرارت پایه به پنس منتقل می‌شود و آسیبی به قطعه‌ی الکترونیکی نمی‌رسد.



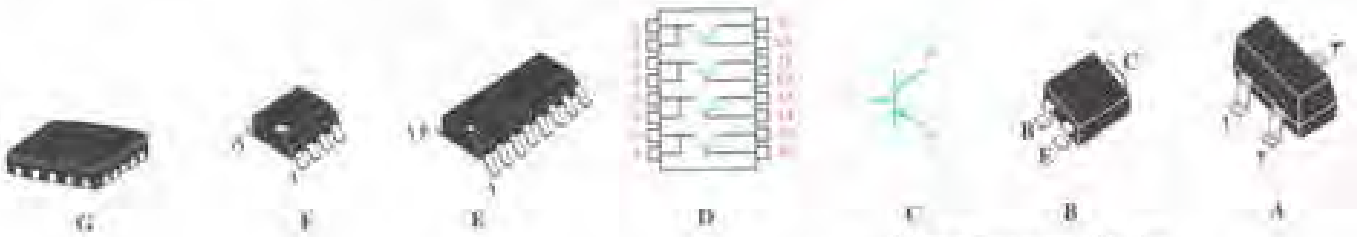
شکل ۲۲ـ۱ـ نحوه‌ی لحیم‌کاری قطعات الکترونیکی

۷ـ یک اتصال لحیم‌کاری شده‌ی خوب علاوه بر دارا بودن استقامت مکانیکی و هدایت الکتریکی باید دارای سطحی براق و درخشان باشد.

۱۲ـ۱ـ لحیم‌کاری در تکنولوژی نصب سطحی (SMT)[1]

در فن نصب سطحی قطعات، از قطعات بسیار ریز برای ساختن مدارهای الکترونیکی در حجم کوچک استفاده می‌کنند. این قطعات ریز، قطعات SMD[2] نام دارند. شکل ۲۳ـ۱ چند نمونه از این قطعات را نشان می‌دهد.

پایه‌ی قطعات نصب سطحی از برد مدار چاپی عبور نمی‌کنند بلکه در همان سطح لحیم‌کاری قرار می‌گیرند. لحیم‌کاری نصب سطحی به دو روش انجام می‌گیرد.



شکل ۲۳ـ۱ـ چند نمونه قطعه SMD

۱ـ۱۲ـ۱ـ روش لحیم مذاب جاری: در این روش ابتدا قطعه‌ی نصب سطحی در جای خود چسبانده می‌شود سپس برد مدار چاپی در محفظه‌ای قرار گرفته و تا رسیدن به دمای لحیم حرارت می‌بیند. سپس قلع مذاب بر روی آن جریان یافته و پایه‌های قطعات را به مسیرهای زیر آن می‌چسباند. برای جلوگیری از چسبیدن قلع به قسمت‌های دیگر مدار سایر قسمت‌های مدار را با موادی که قلع به آن نمی‌چسبد می‌پوشانند. بعد از عمل لحیم‌کاری برد را به آرامی خنک می‌کنند و پوشش روی سایر قسمت‌های مدار را برمی‌دارند.

۲ـ۱۲ـ۱ـ روش لحیم‌کاری فروکشی: در این روش ابتدا قسمت‌های غیرضروری برد مدار چاپی را با موادی می‌پوشانند. سپس روی برد مدار چاپی لایه‌ای از لحیم قرار می‌دهند و برد را تا دمای لحیم‌کاری حرارت می‌دهند. به این ترتیب لحیم روی مسیرهای مورد نظر می‌نشیند و در زیر پایه هریک از قطعات برآمدگی بسیار کوچکی از لحیم ایجاد می‌شود. بعد از این عمل پوشش روی مدار چاپی برداشته شده و سپس قطعات با دستگاه خودکار در محل خود روی برد چسبانده می‌شوند. بعد از این مرحله برد به‌سرعت تا دمای ذوب لحیم‌کاری گرم می‌شود و پایه‌ی قطعات را به محل مربوطه لحیم می‌کند. بعد از این مرحله بُرد به‌آرامی خنک می‌شود.

لحیم‌کاری مجدد قطعات نصب سطحی مانند لحیم‌کاری قطعات پایه‌دار است. ابزار موردنیاز در این حالت، حداقل شامل پنس با سر ظریف و دقیق جهت جا دادن قطعات، هویه‌ی بسیار دقیق با نوکی به قطر ۰/۲mm به بالا و سیم نازک لحیم مخصوص SMT با قطر ۰/۵mm (با ۲درصد نقره، ۳۶ درصد سرب و ۶۲ درصد قلع) به‌همراه روغن مخصوص لحیم‌کاری می‌باشد.

شکل ۲۴ـ۱ ابزار موردنیاز برای این نوع لحیم‌کاری را نشان می‌دهد.

۱ـ Surface mount Technology ۲ـ Surface mount devices

شکل ۲۴ـ۱ـ ابزار موردنیاز برای لحیم‌کاری قطعات SMD

۱۳ـ۱ـ پیاده کردن قطعات SMD از روی برد

برای پیاده کردن قطعات SMD سوخته از روی برد به یک پنس، هویه‌ی انبری یا هویه‌ی هوای داغ نیاز است. در شکل ۲۵ـ۱ ابزار کار و نحوه‌ی کشیدن قطعه را از روی برد SMT نشان می‌دهد.

شکل ۲۵ـ۱ـ ابزار موردنیازبرای کشیدن قطعات SMD از روی بُرد

۱۴ـ۱ـ انتخاب هویه با وات مناسب برای لحیم‌کاری

برای انجام عمل لحیم کاری روی قطعات مختلف اگر هویه با وات مناسب انتخاب نشود موجب آسیب رسیدن به قطعه یا برد مدار چاپی می‌شود. در جدول ۱ـ۱ نحوه انتخاب هویه برای لحیم کاری روی قطعات مختلف معرفی شده است.

جدول ۱ـ۱ـ نحوه انتخاب هویه قلمی مناسب

موارد کاربرد	وات بسیار مناسب	وات مناسب	وات نامناسب
آی‌سی	۴۰W	۳۰W	۱۰۰W – ۸۰W – ۶۰W – ۴۰W
برد مدار چاپی	۳۰W – ۴۰W	۴۰W	۱۰۰W – ۸۰W – ۶۰W
ترانزیستور	۴۰W – ۳۰W – ۲۰W	۶۰W	۱۰۰W – ۸۰W
خازن ـ مقاومت	۲۰W – ۳۰W – ۴۰W	۶۰W	۱۰۰W – ۸۰W
ترمینال‌ها و کلیدها	۶۰W – ۴۰W – ۳۰W	۸۰W – ۱۰۰W	—
اتصالات برقی	۸۰W – ۶۰W – ۴۰W	۳۰W – ۲۰۰W	—
سیم‌های سربی	۶۰W – ۴۰W – ۳۰W	۲۰W – ۸۰W – ۱۰۰W	—
کابل کواکسیال	۱۰۰W – ۸۰W	—	—
محفظه‌های فلزی	۱۰۰W	۸۰W	—

۱۵ـ۱ـ کار عملی شماره ۱: ساختن زاویه‌ی ۳۰°

نکته‌ی مهم: برای انجام کارهای عملی لحیم‌کاری، توصیه می‌شود از سیم‌های دورریز کارگاه‌های سیم‌کشی استفاده شود.

قطعات و مواد مورد نیاز: هویه، انبردست، سیم‌چین، دم‌باریک، سیم لخت‌کن، سیم‌لحیم، پایه‌ی هویه و سیم مفتولی.

مراحل انجام کار

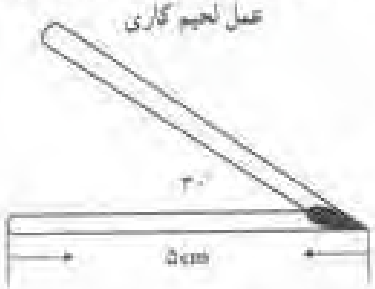
۱ـ چند قطعه سیم مفتولی یاسطح مقطع ۱/۵ میلی‌متری مربع روپوش‌دار انتخاب کنید.

۲ـ دو سر سیم‌ها را، با استفاده از سیم لخت‌کن، به اندازه‌ی یک سانتی‌متر لخت کنید.

۳ـ دو سر سیم‌ها را سمباده‌ی نرم بکشید و آن‌ها را قلع‌اندود کنید.

۴ـ هر دو سیم را با زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به هم در دست بگیرید و نوک هویه را در زیر تقاطع آن‌ها قرار دهید. سیم‌ها باید به‌هم متصل شوند (شکل ۲۶ـ۱) یک لحیم کاری خوب باید مطابق شکل ۲۷ـ۱ باشد.

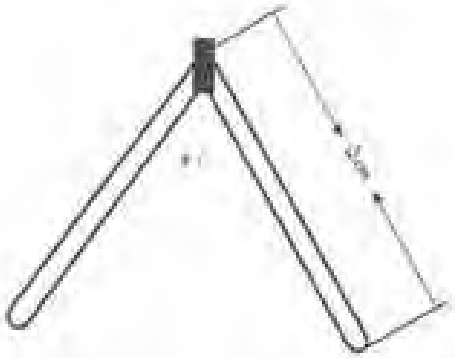
شکل ۲۶ـ۱ـ نحوه‌ی صحیح در دست گرفتن سیم و هویه برای عمل لحیم کاری



شکل ۲۷ـ۱ـ نمونه صحیح ساختن زاویه‌ی ۳۰°

۱۶ـ۱ـ کار عملی شماره۲: ساختن زاویه‌ی ۶۰°

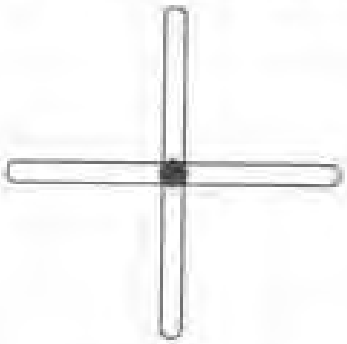
مراحل کار عملی شماره ۱۶ـ۱ را برای ساختن زاویه‌ی ۶۰ درجه تکرار کنید. کار در این تمرین باید مطابق شکل ۲۸ـ۱ باشد.



شکل ۲۸ـ۱ـ نمونه صحیح ساختن زاویه‌ی ۶۰°

۱۷ـ۱ـ کار عملی شماره ۳: اتصال عمود برهم

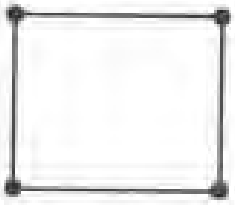
مراحل کار شماره ۱۶ـ۱ را تکرار کنید و اتصال ۹۰ درجه بسازید یک اتصال خوب مانند شکل ۲۹ـ۱ است.



شکل ۲۹ـ۱ـ نمونه صحیح اتصال عمود بر هم

۱۸ـ۱ـ کار عملی شماره۴: ساختن مربع

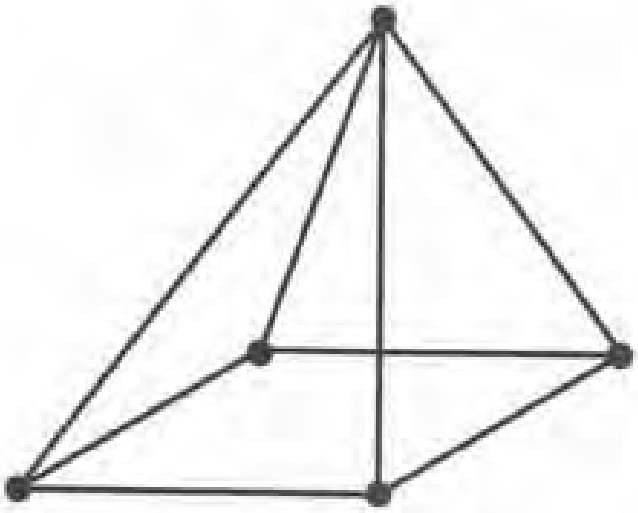
با استفاده از ۴ قطعه سیم طبق شکل ۳۰ـ۱ یک مربع بسازید.



شکل ۳۰ـ۱ـ نمونه صحیح ساخت مربع

۱۹ـ۱ـ کار عملی شماره۵: ساختن هرم

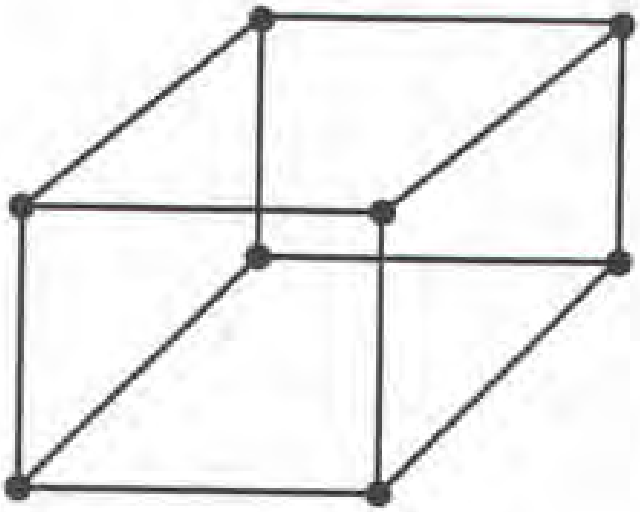
با استفاده از چند قطعه سیم، شکل ۳۱ـ۱ را بسازید.



شکل ۳۱ـ۱ـ نمونه صحیح ساخت هرم

۲۰ـ۱ـ کار عملی شماره ۶: ساختن مکعب با استفاده از چند قطعه سیم

شکل ۳۲ـ۱ را بسازید.



شکل ۳۲ـ۱ـ نمونه صحیح ساخت مکعب

۲۱ـ۱ـ کار عملی شماره ۷: پیاده‌کردن قطعات از روی فیبر مدار چاپی

قطعات و تجهیزات موردنیاز: هویه‌ی قلمی، قلع‌کش پیستونی، برد اوراقی مدار چاپی و سیم لحیم مفتولی ۶۰/۴۰.

مراحل انجام کار

۱ـ فیبر مدار چاپی را مورد بازبینی قرار دهید و تا حد امکان قطعات روی آن را شناسایی کنید.

۲ـ دستگاه هویه‌ی قلمی را بررسی کنید و از سالم بودن آن مطمئن شوید.

۳ـ قلع‌کش پمپی را آزمایش کنید و از سالم بودن آن مطمئن شوید.

۴ـ هویه را به برق بزنید تا گرم شود.

۵ـ قطعه‌ی تعیین شده توسط استادکار کارگاه را با استفاده از هویه و قلع‌کش از روی بُرد بیرون بکشید و آن را به مربی نشان دهید.

۶ـ مرحله ۵ را تکرار کنید تا مهارت لازم را در بیرون آوردن قطعات به‌دست آورید.

۷ـ هنگامی که مهارت لازم را به‌دست آوردید از استادکار بخواهید کار شما را مورد ارزیابی قرار دهد.

۲۲ـ۱ـ کار عملی شماره ۸: سوار کردن قطعات روی فیبر مدار چاپی

مراحل انجام کار

۱ـ نوک هویه را بررسی و درصورت نیاز آن را کاملاً تمیز کنید.

۲ـ قطعاتی را که استادکار برای شما تعیین می‌کند روی یک فیبر اوراقی سوار کنید.

۳ـ مرحله‌ی ۲ را آن‌قدر تکرار کنید تا مهارت لازم را به‌دست آورید.

۴ـ پس از اطمینان از کسب مهارت کافی از استادکار بخواهید کار شما را مورد ارزیابی قرار دهد.

۲۳ـ۱ـ کار عملی شماره ۹: اتصال گیره‌ی سوسماری

مواد و تجهیزات مورد نیاز

گیره‌ی سوسماری به تعداد لازم، هویه، سیم لحیم مفتولی ۶۰/۴۰ و سیم افشان ۰/۲۵ یا ۰/۵.

مراحل انجام کار: با کمک و راهنمایی استادکار، تعدادی سیم به گیره‌ی سوسماری لحیم کنید. این گیره‌ها بعداً در آزمایشگاه مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

تذکر: برای انجام لحیم‌کاری، سیم‌های رابط آزمایشگاهی را تعمیر کنید.

۲۴ـ۱ـ کار عملی شماره ۱۰: اتصال پایانه‌ی آنتن تلویزیون

مواد و تجهیزات لازم: فیش نر و ماده‌ی آنتن تلویزیون، کابل آنتن تلویزیون، پیچ‌گوشتی، دم‌باریک، سیم‌چین و سیم لخت‌کن.

مراحل انجام کار: با کمک استادکار تعدادی فیش نر و ماده‌ی آنتن را به کابل آنتن اتصال دهید.

۲۵ـ۱ـ کار عملی شماره ۱۱: تهیه‌ی پراب BNC

مواد و تجهیزات مورد نیاز: فیش BNC، گیره‌ی سوسماری، کابل کواکسیال هویه، لحیم مفتولی، سیم‌چین، دم‌باریک، انبردست و پیچ‌گوشتی.

مراحل انجام کار: با کمک استادکار کارگاه یک پراب BNC با یک طرف گیره‌ی سوسماری بسازید. این پراب در آزمایشگاه مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۲۶ـ۱ـ کار عملی شماره ۱۲: اتصال فیش بلندگو، میکروفون، آمپلی‌فایر و...

مواد و تجهیزات مورد نیاز: انواع فیش‌ها، هویه، سیم لحیم، دم‌باریک، سیم‌چین، سیم لخت‌کن و پیچ‌گوشتی.

مراحل انجام کار: با کمک استادکار، تعدادی سیم رابط برای میکروفون، گوشی، بلندگو و ... بسازید. در شکل ۳۳ـ۱ انواع فیش‌ها نشان داده شده است.

۲۷ـ۱ـ پروژه

با توجه به اطلاعات کسب شده یک پروژه‌ی پیشنهادی را پس از تأیید معلم مربوطه انجام دهید.

شکل ۳۳ـ۱

فصل دوم

بوبین و ترانسفورماتور

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

۱ـ اجزای یک بوبین یک لایه و چند لایه را نام ببرد.

۲ـ یک بوبین یک لایه و چندلایه با هسته‌ی هوا را محاسبه کند.

۳ـ یک بوبین یک لایه و چندلایه را بپیچد.

۴ـ اجزای یک ترانسفورماتور را نام ببرد.

۵ـ یک ترانسفورماتور تک فاز را محاسبه کند.

۶ـ یک ترانسفورماتور تک فاز را سیم‌پیچی کند.

۷ـ یک ترانسفورماتور را آزمایش کند.

۱ـ۲ـ اطلاعات مقدماتی

۱ـ۱ـ۲ـ سیم‌پیچ یا بوبین: از پیچیدن سیم هادی روپوش‌دار روی یک استوانه، یک سیم‌پیچ الکتریکی یا بوبین یا سلف ایجاد می‌شود. از بوبین برای ایجاد مقاومت القایی در مدارها استفاده می‌کنند. این سیم‌پیچ‌ها دارای ابعاد و اشکال مختلفی هستند ولی می‌توان آن‌ها را به دو دسته‌ی کلی طبقه‌بندی کرد:

الف ـ سیم‌پیچ بدون هسته (یا هسته‌ی هوا)

ب ـ سیم‌پیچ با هسته‌ی فلزی یا فریت

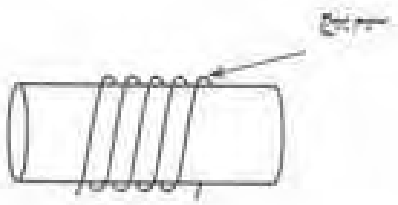
در سیم‌پیچ بدون هسته، سیم را روی لوله‌های عایق، مانند مقوا یا پلاستیک، می‌پیچند. این لوله‌ها که قرقره نام دارند فقط برای حفظ و نگه‌داری سیم‌پیچ مورد استفاده قرار می‌گیرند. سلف‌های با خود القایی زیاد، اگر بدون هسته (یا هسته‌ی هوا) ساخته شوند ابعاد آن‌ها بزرگ می‌شود بنابراین بهتر است آن‌ها را با هسته (فلزی) بسازند، در این مورد هسته‌ی مناسب، بخصوص در صنعت الکترونیک فریت‌ها هستند. در شکل ۱ـ۲ تعدادی از سلف‌ها و ترانسفورماتورها، نشان داده شده‌اند.

شکل ۱ـ۲ـ نمونه‌هایی از سلف‌ها و ترانسفورماتورهای کوچک با هسته‌ی فریت

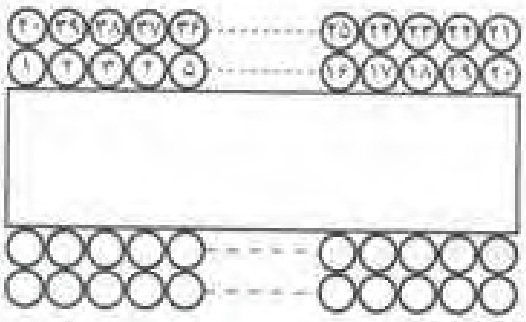
پیچیدن سیم روی هسته معمولاً به دو صورت یک لایه و چند لایه انجام می‌گیرد.

الف ــ سیم‌پیچ یک لایه: در این نوع سیم‌پیچ بر روی یک قرقره یا بر روی هسته‌ی استوانه‌ای شکل سیم را به‌طور منظم می‌پیچند. شکل ۲ــ۲ یک بوبین یک لایه را نشان می‌دهد.

ب ــ سیم‌پیچ چند لایه: اگر به بوبین با خود القایی زیاد احتیاج باشد، از سیم‌پیچ چند لایه استفاده می‌کنیم. پیچیدن سیم‌پیچ چند لایه روش‌های مختلفی دارد. شکل ۳ــ۲ــ الف یک سیم‌پیچ دو لایه را که به‌صورت معمولی پیچیده شده است نشان می‌دهد. شکل ۳ــ۲ــ ب اجزاء بوبین و بوبین ساخته‌شده را نشان می‌دهد.



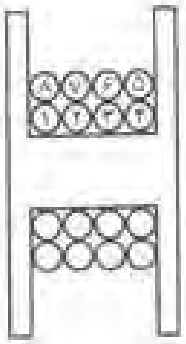
شکل ۲ــ۲ــ بوبین یک‌لایه



شکل ۳ــ۲ــ الف ــ بوبین چند لایه

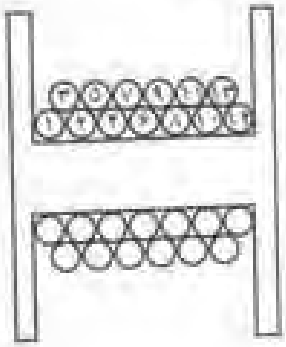
شکل ۳ــ۲ــ ب

برای کاهش ظرفیت خازن‌های پراکنده در سیم‌پیچ، می‌توان از روش پیچیدن مستقیم بر روی هم مطابق شکل ۴ـ۲ استفاده کرد.



شکل ۴ـ۲ـ پیچین چند لایه با کاهش ظرفیت خازن پراکنده

برای کاهش بیش‌تر ظرفیت خازن‌های پراکنده از روشی مطابق شکل ۵ـ۲ استفاده می‌کنند. البته پیچیدن سیم‌پیچ با این روش بسیار مشکل است.



شکل ۵ ـ۲ـ نوع دیگری از پیچین چند لایه

روش رایج برای کاهش ظرفیت خازن‌های پراکنده، پیچیدن سیم‌پیچ چند لایه به روش یونیورسال یا لانه‌زنبوری است. شکل ۶ـ۲ این روش را نشان می‌دهد.

شکل ۶ـ۲ـ سیم‌پیچ چند لایه با روش لانه زنبوری

۲ــ۲ــ محاسبه‌ی عملی سیم‌پیچ (بوبین) با هسته‌ی هوا

برای پیچیدن بوبین باید اطلاعات زیر را داشته باشیم

الف ــ جریان عبوری از بوبین.

ب ــ ضریب خودالقایی بوبین.

ج ــ حجم فضایی که بوبین اشغال می‌کند.

با در دست داشتن اطلاعات فوق باید مجهولات زیر را محاسبه کنیم:

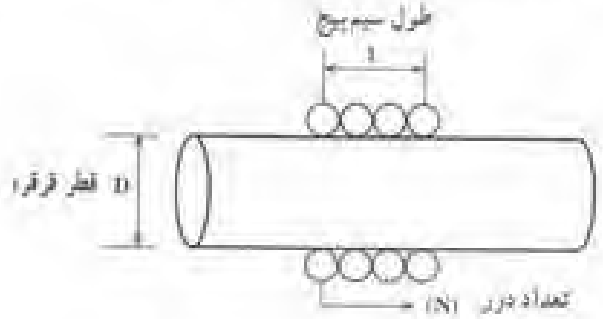
الف ــ قطر قرقره (D)

ب ــ طول مفید سیم‌پیچ (l)

ج ــ تعداد دور سیم‌پیچ (N)

د ــ قطر سیم مورد استفاده (d)

شکل ۷ــ۲ یک بوبین یک لایه را با مشخصات فوق نشان می‌دهد.



شکل ۷ــ۲ــ مشخصات بوبین یک لایه

برای محاسبه‌ی یک بوبین یک لایه‌ی منظم با هسته‌ی هوا، از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

$$L=\frac{۰/۰۸D^{۲}N^{۲}}{۳D+۹l}$$

در این فرمول L ضریب خودالقایی بوبین برحسب میکروهانری، D قطر قرقره برحسب سانتی‌متر، l طول سیم‌پیچ برحسب سانتی‌متر و N تعداد دور سیم‌پیچ است. اگر قطر سیم را d در نظر بگیریم طبیعی است که $l=N.d$ خواهد شد. در محاسبات چون l بر حسب سانتی‌متر است باید d هم برحسب سانتی‌متر باشد.

۱ــ۲ــ۲ــ برای پیچیدن یک بوبین باید مراحل زیر را اجرا کنید:

الف ــ متناسب با فضای موجود، ابعاد قرقره را انتخاب کنید.

ب ــ قطر سیم را مطابق با جریان عبوری از آن محاسبه کنید. چون سیم لاکی با سطح مقطع دایره‌ای برای پیچیدن بوبین به‌کار می‌رود، باید برای محاسبه‌ی قطر سیم از چگالی جریان استفاده کنید.

۲ــ۲ــ۲ــ چگالی جریان: مقدار جریان عبوری از واحد سطح را چگالی جریان گویند. چگالی جریان را با J نشان می‌دهند و واحد آن آمپر بر میلی‌متر مربع است

$$J=\frac{I\ \text{(آمپر)}}{A\ \text{(میلی‌متر مربع)}}$$

A سطح مقطع سیم برحسب میلی‌مترمربع است. اگر قطر سیم d باشد:

$$A=\frac{\pi d^2}{4}\Rightarrow d=\sqrt{\frac{4A}{\pi}}\Rightarrow d=1/13\sqrt{\frac{I}{J}}$$

مقدار J متناسب با توان بوبین انتخاب می‌شود. در جدول ۱ـ۲ مقادیر J متناسب با توان (P) نشان داده شده است.

جدول ۱ـ۲

P(V.A)	J(آمپر / میلی‌متر مربع)
۱۰ـ۵۰	۴
۵۰ـ۱۰۰	۳/۵
۱۰۰ـ۲۰۰	۳
۲۰۰ـ۵۰۰	۲/۵

چون توان بوبین‌ها معمولاً کم است بنابراین مقدار ۴،۵ آمپر بر میلی‌مترمربع در نظر گرفته می‌شود.
چنانچه در فرمول محاسبه‌ی L، به‌جای l مساوی آن Nd را قرار دهیم، N را می‌توانیم به‌صورت زیر محاسبه کنیم:

$$N=\frac{9Ld\pm\sqrt{(9Ld)^2+0/96LD^3}}{0/16D^2}$$

۳ـ۲ـ۲ـ مثال: بوبینی با ضریب خودالقایی ۱mH و جریان عبوری ۲۰۰mA طراحی کنید.

حل:

۱) $D=1cm$ و $l=2cm$ انتخاب می‌کنیم.

۲) $J=4\frac{A}{mm^2}$

۳) قطر سیم $d=1/13\sqrt{\frac{I}{J}}=1/13\sqrt{\frac{0/2}{4}}=0/2524mm$

قطر سیم استاندارد $d=0/25mm=0/025cm$

۴) تعداد دور

$$N=\frac{9Ld\pm\sqrt{(9Ld)^2+0/96LD^3}}{0/16D^2}$$

$$N=\frac{9\times10\times0/025\pm\sqrt{(9\times10\times0/025)^2+0/96\times10\times1^3}}{0/16\times1^2}=\frac{2/25\pm3/82}{0/16}$$

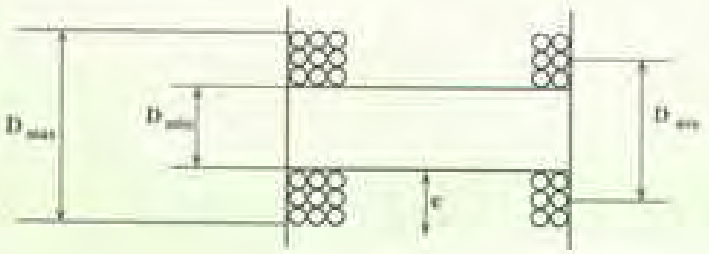
$$N=\frac{2/25+3/82}{0/16}=38\ \text{دور}$$

برای مطالعه (آغاز)

۳ـ۲ـ محاسبه‌ی بوبین‌های چندلایه

۱ـ۳ـ۲ـ محاسبه بوبین چندلایه: اگر ضریب خودالقایی زیاد باشد، پیچیدن سیم به‌صورت یک لایه باعث بزرگ شدن بوبین می‌شود لذا بوبین را به‌صورت چندلایه می‌پیچند.

شکل ۸ ـ۲ یک بوبین چندلایه را نشان می‌دهد.



شکل ۸ ـ۲ـ مشخصات بوبین چند لایه

با معلوم بودن D_{min} و D_{max} قطر متوسط یعنی D_{ave} را به‌دست می‌آوریم.

$$D_{ave} = \frac{D_{max} + D_{min}}{۲}$$

برای به‌دست آوردن عمق سیم‌پیچ (c) از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم :

$$c = \frac{D_{max} - D_{min}}{۲}$$

با استفاده از رابطه‌ی :

$$L = \frac{۰/۰۸ D_{ave}^{۲} N^{۲}}{۳D_{ave} + ۹l + ۱۰c}$$

مقدار ضریب خودالقایی L محاسبه می‌شود. که در آن :

L ضریب خودالقایی برحسب میکروهانری

D_{ave} قطر متوسط برحسب سانتی‌متر

l طول سیم‌پیچ برحسب سانتی‌متر

c عمق سیم‌پیچ برحسب سانتی‌متر

و N، تعداد دور بوبین است

اگر فقط D_{min} معلوم باشد به‌صورت زیر عمل می‌کنیم :

الف ـ محاسبه‌ی قطر سیم عیناً شبیه محاسبات قطر سیم در بوبین یک لایه است.

ب ـ تعداد دور در یک لایه از رابطه‌ی $n = \frac{l}{d}$ به دست می‌آید.

ج ـ اگر بوبین را یک لایه فرض کنیم از D_{min} می‌توان تعداد دور یعنی N را به‌دست آورد :

$$L=\frac{۰/۰۸D_{min}^{۲}N^{۲}}{۳D_{min}+۹l}$$

$$N=\sqrt{\frac{L(۳D_{min}+۹l)}{۰/۰۸D_{min}^{۲}}}$$

د ـ بعد از محاسبه‌ی تعداد دور فرضی تعداد لایه‌ها را به‌دست می‌آوریم :

$$\text{تعداد لایه‌ها } n'=\frac{N}{n}$$

هـ ـ عمق سیم‌پیچ برحسب سانتی‌متر $e=n'.d$ است.

و ـ قطر متوسط از رابطه $D_{ave}=D_{min}+e$ به‌دست می‌آید.

۲ـ۳ـ۲ـ مراحل محاسبه و اجرای یک بوبین چند لایه

الف ـ ابعاد فرقره را متناسب با فضای موجود انتخاب کنید.

ب ـ قطر سیم را با توجه به جریان محاسبه کنید.

ج ـ تعداد دور فرضی را برای بوبین یک لایه محاسبه کنید.

$$N=\sqrt{L\frac{(۳D+۹l)}{۰/۰۸D^{۲}}}$$

د ـ D_{ave} و e را محاسبه کنید.

هـ ـ در رابطه‌ی $L=\frac{۰/۰۸D_{ave}^{۲}N^{۲}}{۳D_{ave}+۹l+۱۰e}$ به‌جای e مساوی آن $\frac{Nd^{۲}}{l}$ را قرار دهید، سپس N را به‌دست آورید، به‌فرمول نهایی زیر می‌رسید.

$$N=\frac{\frac{۱۰Ld^{۲}}{l}\pm\sqrt{(\frac{۱۰Ld^{۲}}{l})^{۲}+۰/۳۲LD_{ave}^{۲}(۳D_{ave}+۹l)}}{۰/۱۶D_{ave}^{۲}}$$

۳ـ۳ـ۲ـ مثال: بوبینی با ضریب خودالقایی ۱۰ میلی‌هانری را برای جریان ۲۰۰ میلی‌آمپر با فرقره‌ای به ابعاد $D_{min}=۱/۵cm$ و $l=۲cm$ طراحی و محاسبه کنید.

حل:

الف ـ $D_{min}=۱/۵cm \quad l=۲cm$

ب ـ محاسبه‌ی تعداد دور فرضی برای یک لایه :

$$N=\sqrt{\frac{L(۳D+۹l)}{۰/۰۸D^{۲}}}=\sqrt{\frac{۱۰^{۲}(۳\times۱/۵+۹\times۲)}{۰/۰۸\ (۱/۵)^{۲}}}$$

$$=\sqrt{\frac{۲۲/۵\times۱۰^{۲}}{۰/۱۸}}=۱۱۱۸ \text{ دور}$$

ج ـ قطر سیم که در بوبین یک لایه محاسبه شد

$d = ۰/۲۵mm$

د ـ دور یک لایه

$$n = \frac{l}{d} = \frac{۲}{۰/۰۲۵} = ۸۰$$

هـ ـ تعداد لایه

$$n' = \frac{N}{n} = \frac{۱۱۱۸}{۸۰} = ۱۳/۹۷ \cong ۱۴$$

و ـ عمق سیم‌پیچ $e = d.n' = ۰/۰۲۵ \times ۱۴ = ۰/۳۵cm$

ز ـ قطر متوسط $D_{ave} = D_{min} + e = ۱/۵ + ۰/۳۵$

$D_{ave} = ۱/۸۵cm$

ح ـ محاسبه‌ی تعداد دور

$$N = \frac{\frac{۱۰ \times ۱۰^{-۲} \times (۰/۰۲۵)^۲}{۲} \pm \sqrt{\left[\frac{۱۰ \times ۱۰^{-۲}(۰/۰۲۵)^۲}{۲}\right]^۲ + \frac{۰/۳۲ \times ۱۰^{-۲} \times (۱/۸۵)^۲ (۳ \times ۱/۸۵ + ۹ \times ۲)}{۰/۱۶ \times (۱/۸۵)^۲}}}{۰/۱۶ \times (۱/۸۵)^۲}$$

$$N = \frac{۳۱/۲۵ \pm ۵۰۸/۸۱}{۰/۵۴} \Rightarrow N = \frac{۵۴۰}{۰/۵۴} = ۱۰۰۰ \text{ دور}$$

پس مشخصات این بوبین به قرار زیر است:

$D_{ave} = ۱/۸۵cm$

$e = ۰/۳۵cm$

$l = ۲cm$

$N = ۱۰۰۰$ دور

۴ـ۲ـ کار عملی شماره ۱

بوبینی یک لایه با ضریب خودالقایی ۱۵μH و جریان ۲۵۰ میلی‌آمپر را با ابعاد $D = ۱/۵$ سانتی‌متر و $l = ۲cm$ طراحی کنید و بوبین را روی قرقره‌ی مناسب آن بپیچید.

با کمک مربی و دستگاه سلف سنج ضریب خودالقایی بوبین پیچیده شده را اندازه بگیرید.

۵ـ۲ـ کار عملی شماره ۲

بوبینی یک لایه با ضریب خودالقایی ۲۵ میکروهانری و جریان ۲۵۰ میلی‌آمپر را در ابعاد $D = ۲cm$ و $l = ۳cm$ طراحی کنید و بوبین را روی قرقره‌ی مناسب بپیچید. سپس با کمک مربی و دستگاه سلف‌سنج ضریب خودالقایی بوبین پیچیده شده را اندازه بگیرید.

۶ـ۲ـ کار عملی شماره ۳

بوبینی چندلایه با ضریب خودالقایی $L_1 = 2/5mH$ و جریان ۲۰۰ میلی‌آمپر را طراحی کنید. ابعاد قرقره را متناسب با فضای موجود انتخاب کنید. بوبین را روی قرقره‌ی مناسب آن بپیچید. سپس با کمک مربی و دستگاه سلف‌سنج ضریب خودالقایی بوبین را اندازه بگیرید.

برای مطالعه (پایان)

۷ـ۲ ـ ترانسفورماتور

هر ترانسفورماتور معمولاً دارای یک سیم‌پیچ اولیه[1] و یک یا چند سیم‌پیچ ثانویه[2] است. اگر سیم‌پیچ اولیه را به یک منبع انرژی متناوب، مثلاً برق شهر، وصل کنیم، از آن جریان I_1 عبور می‌کند، درنتیجه در اطراف سیم‌پیچ اولیه میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. سیم‌پیچ ثانویه این میدان را قطع می‌کند، درنتیجه در دو سر آن ولتاژی القایی به‌وجود می‌آید. اگر ولتاژ اولیه را E_1 و جریان آن را I_1 بنامیم، همچنین ولتاژ ثانویه E_2 و جریان آن I_2 باشد، در صورت ایده‌آل بودن ترانسفورماتور خواهیم داشت:

$$E_1 \times I_1 = E_2 \times I_2$$

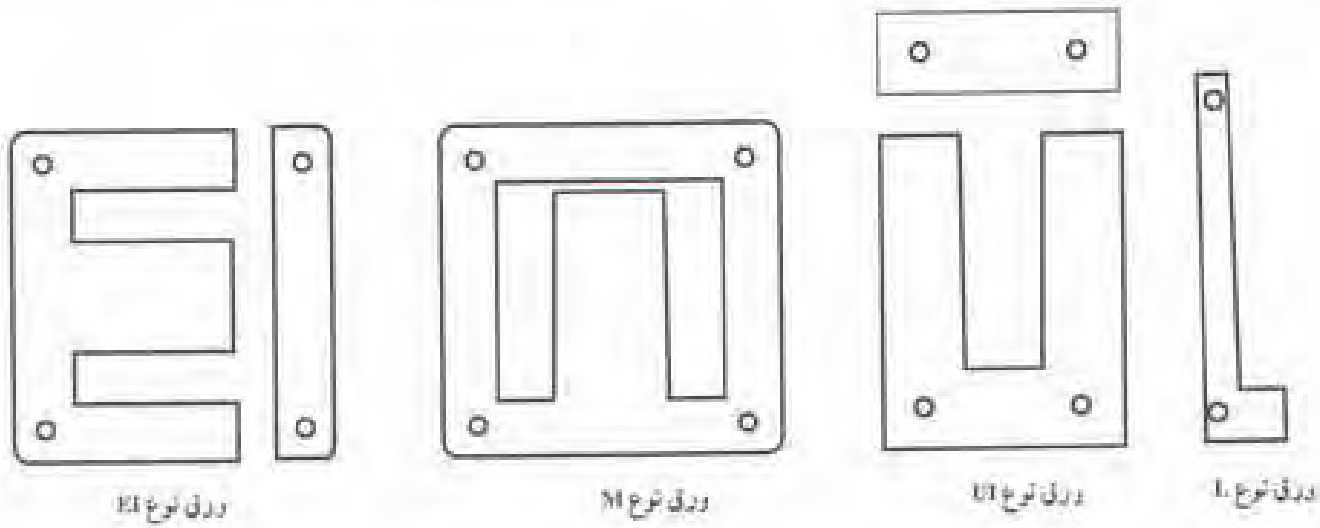
در این صورت ترانسفورماتور سبب تبدیل قدرتی با ولتاژ و جریان معین به‌همان قدرت ولی با ولتاژ و جریانی متفاوت می‌شود.

۱ـ۷ـ۲ـ اجزای تشکیل دهنده‌ی یک ترانسفورماتور:

یک ترانسفورماتور دارای اجزایی به شرح زیر است:

الف ـ هسته: هسته‌ی ترانسفورماتور از ورقه‌های نازک فلزی از جنس آهن نرم سیلیس‌دار، تشکیل شده است.

در این ورقه‌ها حداکثر ۴/۵ درصد سیلیسیم وجود دارد و دارای قابلیت هدایت الکتریکی کم ولی قابلیت هدایت مغناطیسی زیاد است. برای عایق کردن این ورقه‌ها در هنگام ساختن آن‌ها یک لایه‌ی نازک اکسید، فسفات یا سیلیکات به ضخامت ۲ تا ۲۰ میکرون را به‌عنوان عایق روی آن قرار می‌دهند؛ این عایق مانند لعابی روی ورقه را می‌پوشاند. ورقه‌های هسته‌ی ترانسفورماتور در ضخامت ۰/۳۵ و ۰/۵ میلی‌متر و در اندازه‌های استاندارد و به فرم‌های مختلف ساخته می‌شوند. معمولی‌ترین ورقه‌های استاندارد شده به فرم EI و M است (شکل ۹ـ۲) تصویر انواع مختلف این ورقه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۹ـ۲ـ انواع مختلف ورقه‌های ترانسفورماتور

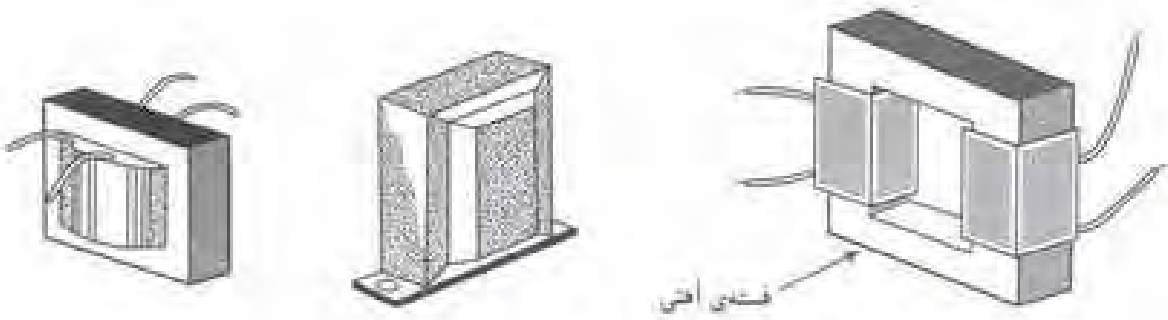
۱ـ Primary اولیه ۲ـ Secondary ثانویه

ب ــ سیم پیچ: برای سیم‌پیچ ترانسفورماتور از سیم‌مسی با عایق لاکی استفاده می‌کنند. این سیم‌ها با سطح مقطع دایره و در قطرهای مختلف در بازار وجود دارند.

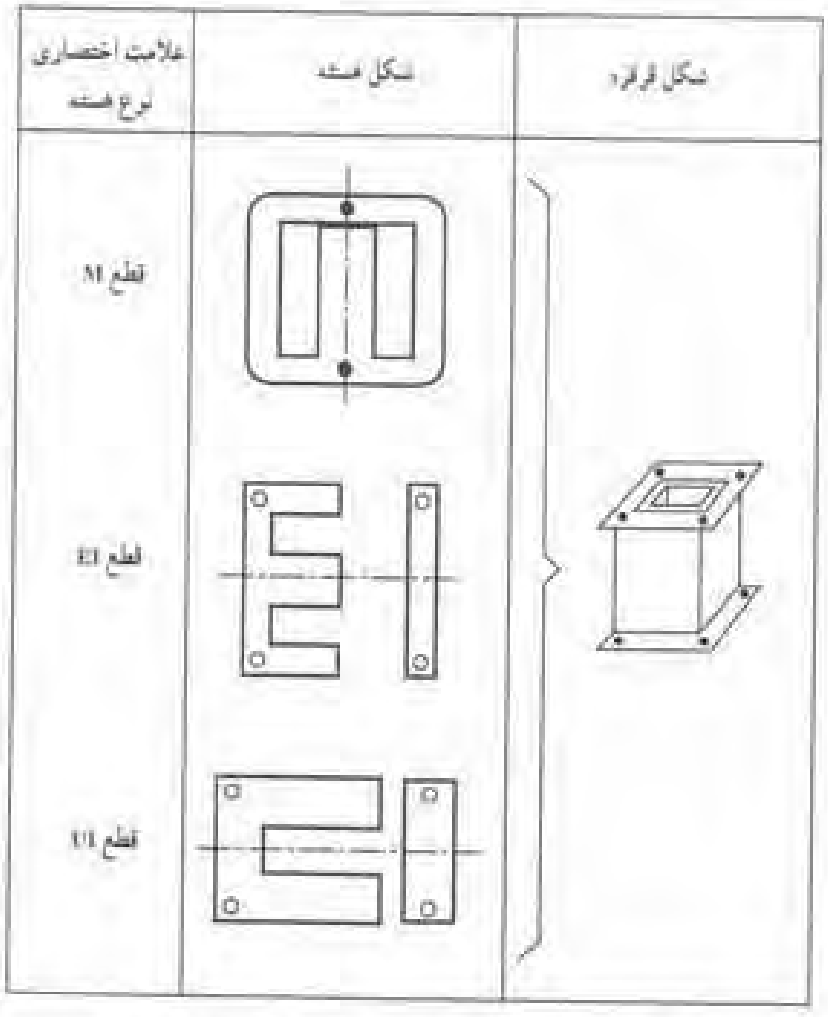
ج ــ قرقره: برای حفاظت و نگه‌داری سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور، مخصوصاً ترانسفورماتورهای کوچک، از قرقره استفاده می‌کنند. جنس قرقره از مواد عایق مانند کاغذ عایق سخت (برش مانی)، فیبرهای استخوانی یا مواد ترموپلاستیک انتخاب می‌شود. قرقره‌های از جنس ترموپلاستیک معمولاً یک‌پارچه ساخته می‌شوند.

اندازه‌ی قرقره باید متناسب با اندازه‌ی ورقه‌های ترانسفورماتور باشد.

در شکل ۱۰ــ۲ هسته، سیم‌پیچ و ترانسفورماتور ساخته شده را مشاهده می‌کنید. در شکل ۱۱ــ۲ علامت اختصاری نوع هسته، شکل هسته و شکل قرقره نشان داده شده است.

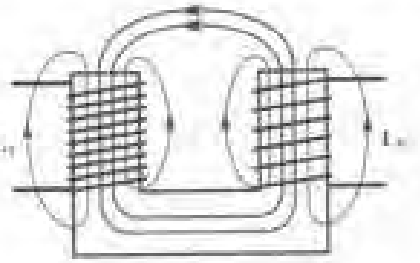


شکل ۱۰ــ۲ــ هسته‌ی سیم‌پیچ و ترانسفورماتور ساخته شده



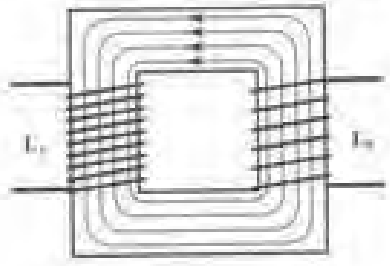
شکل ۱۱ــ۲ــ علامت اختصاری نوع هسته، شکل هسته و قرقره

۲ــ۷ــ۲ــ روابط بین جریان و ولتاژ در یک ترانسفورماتور: می‌دانیم در یک ترانسفورماتور، اثر میدان یک سیم‌پیچ روی سیم‌پیچ دیگر، سبب القای ولتاژ در آن می‌شود. در میدانی که دارای هسته‌ی آهنی است شکل است و سیم‌ها روی دو پایه‌ی این هسته پیچیده شده‌اند. شکل ۱۲ــ۲ تمام خطوط میدان اولیه از هسته‌ی سیم‌پیچ مقابل (ثانویه) نمی‌گذرند و قسمتی از آن‌ها مدار خود را از طریق هوا می‌بندند. در این صورت می‌گوییم در این ترانسفورماتور کوپلاژ سست است.



شکل ۱۲ــ۲ــ کوپلاژ سست

اما اگر حلقه‌ی هسته آهنی کاملاً مسدود باشد در این صورت تقریباً تمام فوران مغناطیسی در هسته‌ی آهنی باقی می‌ماند و دو سیم‌پیچ با یکدیگر مدار مغناطیسی کاملی را تشکیل می‌دهند. در این صورت می‌گوییم کوپلاژ سفت است. شکل ۱۳ــ۲ کوپلاژ سفت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ــ۲ــ کوپلاژ سفت

ضریب کوپلاژ: نسبت فوران مغناطیسی مؤثر در سیم‌پیچ دوم به فوران مغناطیسی کل ایجاد شده در سیم‌پیچ اول را ضریب کوپلاژ می‌نامند.

$$K=\frac{\Phi_{12}}{\Phi_1}$$

در کوپلاژ سست $K<1$ و در کوپلاژ سفت $K=1$ است.

در یک ترانسفورماتور با کوپلاژ سفت رابطه‌ی زیر برقرار است.

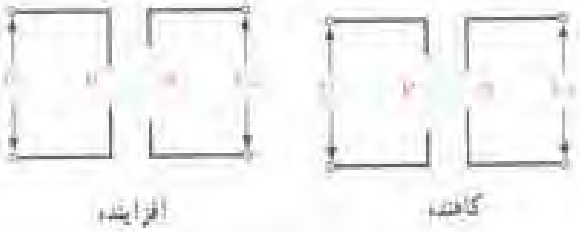
$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{I_2}{I_1}$$

که در آن U_1 ولتاژ اولیه، U_2 ولتاژ ثانویه، N_1 تعداد دور اولیه، N_2 تعداد دور ثانویه، I_1 جریان اولیه و I_2 جریان ثانویه است.

۳ــ۷ــ۲ــ ترانسفورماتور کاهنده: اگر تعداد دور ثانویه کم‌تر از تعداد دور اولیه باشد در این صورت ولتاژ ثانویه کم‌تر از ولتاژ اولیه است ولی جریان در ثانویه بیش‌تر از جریان در اولیه است، به این ترانسفورماتور کاهنده گویند.

۴ــ۷ــ۲ــ ترانسفورماتور افزاینده: در یک ترانسفورماتور افزاینده تعداد دور ثانویه بیش‌تر از تعداد دور اولیه، ولتاژ ثانویه بیش‌تر از ولتاژ اولیه ولی جریان ثانویه کم‌تر از جریان اولیه است.

شکل ۱۴ــ۲ علامت یا نمای فنی یک ترانسفورماتور کاهنده و یک ترانسفورماتور افزاینده را نشان می‌دهد.



افزاینده کاهنده

شکل ۱۴ــ۲ــ نقشه‌ی فنی ترانسفورماتور افزاینده و کاهنده

۸ ــ۲ــ محاسبه‌ی عملی ترانسفورماتور

برای محاسبه و طراحی یک ترانسفورماتور احتیاج به یک رشته معلومات داریم تا با استفاده از آن مجهولات معینی را محاسبه کنیم و ترانسفورماتور را بسازیم:

۱ــ۸ــ۲ــ معلومات لازم برای محاسبه یک ترانسفورماتور کوچک:

الف ــ ولتاژ اولیه (U_1): این ولتاژ معمولاً ولتاژ منبع تغذیه، یعنی برق شهر، است. هدف از ساختن ترانسفورماتور تبدیل ولتاژ U_1 به ولتاژی کم‌تر یا بیش‌تر است.

ب ــ ولتاژ ثانویه (U_2): ولتاژی است که باید آن را تهیه کنیم تا مصرف کننده با این ولتاژ کار کند.

ج ــ جریان ثانویه (I_2): جریانی است که از مصرف‌کننده‌ی مورد نظر عبور می‌کند.

مثلاً اگر بخواهیم مصرف کننده‌ای را که با ولتاژ ۱۲ ولت کار می‌کند و به جریان ۲ آمپر نیاز دارد، به شبکه‌ی ۲۲۰ ولت وصل کنیم، به ترانسفورماتوری با مشخصات $U_1 = 220V$ و $U_2 = 12V$ و $I_2 = 2A$ نیاز داریم.

برای پیچیدن یک ترانسفورماتور، به محاسبات و معلومات زیر نیاز داریم:

الف ــ محاسبه‌ی سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور.

ب ــ تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور.

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

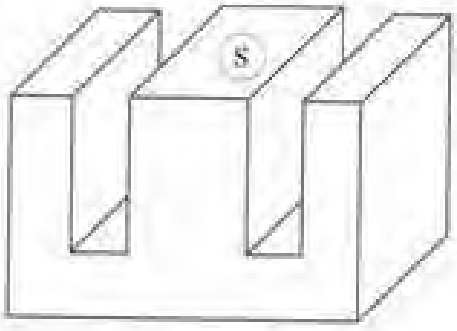
د ــ شماره‌ی استاندارد ورقه‌های ترانسفورماتور.

هـ ــ ابعاد و اندازه‌های اجزای تشکیل دهنده‌ی قرقره‌ی ترانسفورماتور.

و ــ انتخاب قرقره‌ی مناسب.

۲ــ۸ــ۲ــ محاسبه‌ی سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور: برای محاسبه‌ی سطح مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور از فرمول $S_{FE} = K\sqrt{P_1}$ استفاده می‌کنیم. در این فرمول S سطح مقطع خالص هسته برحسب سانتی‌مترمربع، P_1 قدرت اولیه‌ی ترانسفورماتور برحسب ولت‌آمپر است. ضریب K بستگی به جنس هسته و نقطه‌ی کار ترانسفورماتور دارد و بین ۰/۸ تا ۱/۲ انتخاب می‌شود. برای ترانسفورماتورهای کوچک کم قدرت $K = 1$ یا $K = 0/9$ انتخاب می‌شود. بهتر است برای ترانسفورماتورهای معمولی $K = 1/2$ در نظر گرفته شود.

شکل ۱۵ــ۲ سطح مقطع هسته را برای هسته‌ای از نوع EI نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ــ۲ــ سطح مقطع هسته

۳ــ۸ــ۲ــ سطح مقطع ظاهری: هسته‌ی مورد مصرف در ترانسفورماتورها را، به منظور کاهش تلفات، به‌صورت ورق ورق می‌سازند. چون ورقه‌های ترانسفورماتور با لایه‌های نازک عایق پوشیده شده است. هنگامی که این ورقه‌ها در داخل قرقره در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند سطح مقطع بیش‌تری را نسبت به سطح مقطع خالص (S)[1] اشغال می‌کنند. این سطح مقطع را سطح مقطع ظاهری می‌نامند و آن را با S'FE نشان می‌دهند.

برای محاسبه‌ی S'_{FE} از رابطه‌ی $S'_{FE} = \frac{S_{FE}}{K_{FE}}$ استفاده می‌کنند. مقدار K_{FE} از ۰/۸۵ تا ۰/۹۳ در نظر گرفته می‌شود. در محاسبات معمولی مقدار K_{FE} برابر ۰/۹ تا ۰/۹۵ انتخاب می‌شود. پس $S'_{FE} = \frac{S_{FE}}{K_{FE}} = \frac{S_{FE}}{0/9} = 1/11 S_{FE}$ است. با توجه به سطح مقطع ظاهری محاسبه‌شده، قرقره تهیه می‌شود.

۴ــ۸ــ۲ــ راندمان ترانسفورماتور: P_1 قدرت اولیه بستگی به قدرت ثانویه (P_2) دارد. در ترانسفورماتور ایده‌آل $P_1 = P_2$ است. در ترانسفورماتورهای واقعی به‌علت تلفات کلی ترانسفورماتور همیشه $P_1 > P_2$ است یعنی همواره راندمان ترانسفورماتور کم‌تر از یک است.

$$\text{راندمان } R_\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

معمولاً قدرت ظاهری ترانسفورماتور را برحسب ولت‌آمپر برای طرف ثانویه مشخص می‌کنند. مقدار ولت آمپر از ضرب کردن ولتاژ ثانویه در جریان ثانویه به‌دست می‌آید.

$$P_2 = U_2 \times I_2 \quad (VA)$$

با در نظر گرفتن راندمان $0/75 < R_\eta < 0/95$ و از رابطه‌ی $P_1 = \frac{P_2}{R_\eta}$ می‌توان P_1 را محاسبه کرد.

مقدار راندمان (R_η) برای ترانسفورماتورها از قدرت ۱۲۵ تا ۳۵۰۰ ولت‌آمپر حدود ۰/۹ تا ۰/۹۵ و برای ترانسفورماتورهای تا قدرت ۲۰ ولت آمپر مابین ۰/۷۵ تا ۰/۸ انتخاب می‌شود.

در جدول ۲ــ۴ مقدار تقریبی راندمان ترانسفورماتورهای کوچک برحسب قدرت خروجی آورده شده است.

۱ــ Surface = سطح

جدول ۲ـ۲ـ راندمان تقریبی ترانسفورماتور

P_2(V.A)	۳۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۵۰۰	۷۵۰	۱۰۰۰
R_n٪	۸۶/۲	۸۷/۶	۸۹/۶	۹۰/۹	۹۱/۳	۹۲/۳	۹۳	۹۳/۵	۹۴

با معلوم بودن P_2 ، راندمان R_n را محاسبه می‌کنیم.

۵ـ۸ـ۲ـ محاسبه‌ی تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور: برای تعیین تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور ابتدا تعداد دور برای یک ولت را که دور بر ولت نامیده می‌شود از رابطه‌ی $n=\frac{۳۷/۵۴}{S}$ حساب می‌کنیم.

چگونگی به‌دست آمدن این رابطه به‌صورت مطالعه‌ی آزاد بیان شده است.

با توجه به رابطه‌ی n درمی‌یابیم که :

دور بر ولت تابعی از سطح مقطع خالص هسته می‌باشد.

برای سهولت در محاسبات می‌توان از جداول و منحنی‌هایی که تغییرات دور بر ولت را به‌ازای سطح مقطع آهن نشان می‌دهد استفاده نمود.

اگر افت ولتاژ ایجاد شده توسط مقاومت‌های اهمی و القایی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را منظور نکنیم می‌توانیم تعداد دور اولیه و ثانویه را از روابط زیر حساب کنیم

$$N_1 = n \times U_1$$

$$N_2 = n \times U_2$$

اما در سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور افت ولتاژی وجود دارد که باید مقدار آن محاسبه شود.

۶ـ۸ـ۲ـ محاسبه‌ی درصد افت ولتاژ: همان‌طوری که می‌دانیم چون سیم‌پیچ های ترانسفورماتور دارای مقاومت هستند، در اثر عبور جریان از هر یک از سیم‌پیچ‌ها افت ولتاژی متناسب با مقدار جریان به‌وجود می‌آید به‌طوری که نیروی محرکه‌ی اولیه کاهش می‌یابد ($E_1 < U_1$) و درنتیجه ولتاژ دو سر مصرف‌کننده هم کاهش می‌یابد ($U_2 < E_2$) ، چون ترانسفورماتور را بر مبنای ولتاژ شبکه و ولتاژ مصرف کننده طراحی می‌کنیم باید سعی شود ولتاژ خروجی در حالتی که جریان نامی (اسمی) از بار می‌گذرد درست به اندازه‌ی ولتاژ مورد نیاز مصرف کننده باشد. پس تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را چنان انتخاب می‌کنیم تا ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور در حالت بی‌باری (U_2') مقداری بیش‌تر از ولتاژ مورد نیاز باشد تا هنگام وصل به‌بار، ولتاژ خروجی برابر ولتاژ مورد نیاز مصرف کننده بشود.

افت ولتاژ در ترانسفورماتور تابعی از قدرت ترانسفورماتور می‌باشد. جدول ۳ـ۲ درصد افت ولتاژ ($\%\Delta U$) را برحسب قدرت ترانسفورماتور نشان می‌دهد.

با مشخص شدن درصد افت ولتاژ، U_1' و U_2' را به‌دست می‌آوریم.

$$U_1' = U_1 - U_1 \times \%\Delta U = U_1(1 - \%\Delta U_1)$$

$$U_2' = U_2 + U_2 \times \%\Delta U = U_2(1 + \%\Delta U_2)$$

لذا تعداد دور اولیه $N_1 = nU_1'$ و تعداد دور ثانویه $N_2 = nU_2'$ می‌باشد. ملاحظه می‌شود تعداد دور مورد نیاز برای اولیه کاهش و برای ثانویه افزایش پیدا می‌کند.

اگر قدرت مورد نیاز ترانسفورماتور در جدول نباشد برای پیدا کردن درصد افت ولتاژ با در نظر گرفتن دو عدد قبل و بعد از آن در جدول و یا نوشتن تناسب درصد افت ولتاژ به‌دست می‌آید.

جدول ۳ـ۲ـ درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتور

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

برای مطالعه (آغاز)

۷ــ۸ــ۲ــ برای محاسبه‌ی تعداد دور اولیه و ثانویه و اثبات رابطه‌ی دور بر ولت برای تعیین تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور، می‌توان از روابط اصلی زیر استفاده کرد:

$$U_1 = ۴/۴۴ \times N_1 \times B_{max} \times S \times f$$

$$U_2 = ۴/۴۴ \times N_2 \times B_{max} \times S \times f$$

در این رابطه:

U_1 ولتاژ اولیه برحسب ولت،

U_2 ولتاژ ثانویه برحسب ولت،

N_1 تعداد دور اولیه،

N_2 تعداد دور ثانویه،

B_{max} اندوکسیون برحسب تسلا (T)

S سطح مقطع آهن خالص برحسب مترمربع (m^2)،

و f، فرکانس برحسب هرتز (Hz) است.

اگر اندوکسیون برحسب گوس (G) و سطح مقطع آهن خالص برحسب سانتی‌مترمربع باشد چون $۱T = ۱۰^{۴}G$ و $۱m^2 = ۱۰^{۴}cm^2$ است، روابط فوق به‌صورت زیر درمی‌آید.

$$U_1 = ۴/۴۴ \times N_1 \times B_{max} \times S \times f \times ۱۰^{-۸}$$

$$U_2 = ۴/۴۴ \times N_2 \times B_{max} \times S \times f \times ۱۰^{-۸}$$

از این روابط تعداد دور برای اولیه و ثانویه به‌دست می‌آید:

$$N_1 = \frac{U_1 \times ۱۰^{۸}}{۴/۴۴ \times B_{max} \times S \times f}$$

$$N_2 = \frac{U_2 \times ۱۰^{۸}}{۴/۴۴ \times B_{max} \times S \times f}$$

بهتر است برای محاسبه‌ی تعداد دور ابتدا تعداد دور برای یک ولت نیروی محرکه را به‌دست آوریم و از روی آن تعداد دور N_1 و N_2 را محاسبه کنیم. برای این منظور به‌جای U مقدار یک ولت را قرار می‌دهیم و دور بر ولت (n) را به‌دست می‌آوریم:

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

مقدار عددی اندوکسیون B_{max} بستگی به شدت میدان مغناطیسی (H) و جنس ورقه‌ی ترانسفورماتور و آلیاژ آن‌ها دارد. برای محاسبه‌ی ترانسفورماتورهایی که در آن‌ها از ورقه‌های معمولی ترانسفورماتور استفاده می‌شود می‌توان $B_{max} = ۱۲۰۰۰G$ در نظر گرفت. در فرکانس ۵۰ هرتز با $B_{max} = ۱۲۰۰۰G$ رابطه‌ی دور بر ولت به‌صورت ساده‌ی زیر محاسبه می‌شود:

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

برای مطالعه (پایان)

۸ـ۸ـ۲ـ محاسبه‌ی قطر سیم لاکی برای اولیه و ثانویه: قطر سیم باید طوری محاسبه شود که توان تلف شده در دو سیم‌پیچ که به‌صورت حرارت در آن ظاهر می‌شود صدمه‌ای به آن نرساند و علاوه‌بر آن افت ولتاژ آن بیش از حد نباشد. همان‌طوری که گفته شد قطر سیم براساس جریان عبوری از سیم‌ها و چگالی جریان محاسبه می‌گردد.

جدول ۴ـ۲ مقدار چگالی جریان را برحسب قدرت در ترانسفورماتورهای معمولی نشان می‌دهد.

سطح مقطع سیم ثانویه از رابطه‌ی $A_۲ = \frac{I_۲}{J}$ به‌دست می‌آید.

جریان اولیه از رابطه‌ی $I_۱ = \frac{P_۲}{U_۱}$ به‌دست می‌آید. با معلوم کردن جریان اولیه، سطح مقطع سیم اولیه از رابطه‌ی $A_۱ = \frac{I_۱}{J}$ محاسبه می‌شود. با توجه به دایره بودن سطح مقطع سیم، چون مساحت دایره $A = \frac{\pi d^۲}{۴}$ است، لذا قطر سیم اولیه از رابطه‌ی $d_۱ = \sqrt{\frac{۴}{\pi} A_۱} = ۱/۱۳\sqrt{A_۱}$ و قطر سیم ثانویه از رابطه‌ی $d_۲ = ۱/۱۳\sqrt{A_۲}$ به‌دست می‌آید. اگر قطر سیم‌های به‌دست آمده استاندارد نباشد با توجه به جدول ۵ـ۲ نزدیک‌ترین سیم استاندارد را که قطر آن بیش‌تر از قطر سیم به‌دست آمده است انتخاب می‌کنند.

در موقع اندازه‌گیری قطر سیم باید لاک روی آن را پاک کرد به‌طوری که به خود سیم آسیب نرسد. می‌توان لاک روی سیم را سوزاند یا با سمباده‌ی نرم از بین برد.

جدول ۴ـ۲ـ چگالی جریان در ترانسفورماتور

چگالی $\frac{A}{mm^۲}$	قدرت $P_۲$ [VA]
۴	۵۰ تا ۰
۳/۵	۱۰۰ تا ۵۰
۳	۲۰۰ تا ۱۰۰
۲/۵	۵۰۰ تا ۲۰۰
۲	۱۰۰۰ تا ۵۰۰
۱/۷۵	۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰
۱/۵	۴۰۰۰ تا ۲۰۰۰
۱	۴۰۰۰ تا ۳۰۰۰

جدول ۵ـ۲ـ استاندارد سیم‌ها با توجه به تعداد دور سیم‌پیچ در هر سانتی‌مترمربع

تعداد دور در هر Cm^2	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm^2	قطر سیم بالاک mm	قطر سیم mm
۲۰۰۰	۸/۹۴	۰/۱۹	۰/۰۲۰	۰/۶۲	۰/۰۵
۱۵۰۰	۶/۲۱	۰/۲۷	۰/۰۲۸	۰/۷۵	۰/۰۶
۱۱۰۰	۴/۵۶	۰/۳۷	۰/۰۳۹	۰/۸۵	۰/۰۷
۹۰۰	۳/۴۹	۰/۴۸	۰/۰۵۰	۰/۹۵	۰/۰۸
۷۰۰	۲/۷۶	۰/۶۰	۰/۰۶۴	۰/۱۰۸	۰/۰۹
۶۰۰	۲/۲۳	۰/۷۲	۰/۰۷۹	۰/۱۱۵	۰/۱۰
۵۰۰	۱/۸۲	۰/۸۵	۰/۰۹۵	۰/۱۳	۰/۱۱
۴۰۰	۱/۵۵	۱/۰۵	۰/۱۱۵	۰/۱۴	۰/۱۲
۳۶۰	۱/۳۲	۱/۲۰	۰/۱۳۳	۰/۱۵	۰/۱۳
۳۲۰	۱/۱۴	۱/۴۳	۰/۱۵۴	۰/۱۶	۰/۱۴
۲۸۰	۰/۹۹	۱/۶۲	۰/۱۷۷	۰/۱۷	۰/۱۵
۲۵۰	۰/۸۷	۱/۸۶	۰/۲۱۱	۰/۱۸	۰/۱۶
۲۲۵	۰/۷۷۳	۲/۱۰	۰/۲۲۷	۰/۱۹	۰/۱۷
۲۰۰	۰/۶۸۹	۲/۳۵	۰/۲۵۴	۰/۲۰	۰/۱۸
۱۸۰	۰/۶۱۹	۲/۶۰	۰/۲۸۲	۰/۲۱	۰/۱۹
۱۶۵	۰/۵۵۷	۲/۸۹	۰/۳۱۴	۰/۲۲	۰/۲۰
۱۵۰	۰/۵۰۷	۳/۳۰	۰/۳۴۶	۰/۲۳	۰/۲۱
۱۴۰	۰/۴۶۰	۳/۵۰	۰/۳۸	۰/۲۴	۰/۲۲
۱۳۰	۰/۴۲۲	۳/۹۰	۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۲۳
۱۲۰	۰/۳۸۸	۴/۲۵	۰/۴۵	۰/۲۶	۰/۲۴
۱۱۰	۰/۳۵۷	۴/۶۰	۰/۴۹	۰/۲۷	۰/۲۵
۱۰۲۰	۰/۳۳۰	۴/۹۵	۰/۵۳	۰/۲۸۵	۰/۲۶
۹۵۰	۰/۳۰۶	۵/۳۳	۰/۵۷	۰/۲۹۵	۰/۲۷
۸۷۰	۰/۲۸۵	۵/۷۱	۰/۶۲	۰/۳۰۵	۰/۲۸
۸۰۰	۰/۲۶۶	۶/۱۲	۰/۶۶	۰/۳۱۵	۰/۲۹
۷۷۰	۰/۲۴۸	۶/۴۵	۰/۷۱	۰/۳۳	۰/۳۰
۶۹۰	۰/۲۱۸	۷/۲۰	۰/۸۰	۰/۳۵	۰/۳۲
۵۸۰	۰/۱۸۲۲	۸/۹۰	۰/۹۶	۰/۳۸	۰/۳۵
۵۲۰	۰/۱۶۳۲	۹/۹۲	۱/۰۸	۰/۴۰	۰/۳۷
۴۵۰	۰/۱۳۹۶	۱۱/۶۰	۱/۲۶	۰/۴۳	۰/۴۰
۳۷۰	۰/۱۱۰۳	۱۴/۸۰	۱/۵۹	۰/۴۸	۰/۴۵
۳۰۰	۰/۰۸۹۲	۱۸/۳۰	۱/۹۶	۰/۵۴	۰/۵۰
۲۵۰	۰/۰۷۳۸	۲۲/۲۰۰	۲/۳۸	۰/۵۹	۰/۵۵

دنباله جدول ۵ــ۲

تعداد دور در هر Cm^2	مقاومت سیم Ω/m	وزن سیم gr/m	سطح مقطع سیم mm^2	قطر سیم بالاک mm	قطر سیم mm
۲۱۰	۰/۰۶۲۱	۲/۶۲	۰/۳۸۳	۰/۶۲	۰/۶۰
۱۸۰	۰/۰۵۲۶	۲/۹۷	۰/۳۳۴	۰/۶۹	۰/۶۵
۱۶۰	۰/۰۴۵۵	۳/۴۳	۰/۳۸۵	۰/۷۲	۰/۷۰
۱۴۰	۰/۰۳۹۵	۳/۹۵	۰/۴۴۴	۰/۷۹	۰/۷۵
۱۲۰	۰/۰۳۴۸	۴/۴۸	۰/۵۰۲	۰/۸۴	۰/۸۰
۱۱۰	۰/۰۳۰۹	۵/۰۵	۰/۵۶۸	۰/۸۹	۰/۸۵
۱۰۰	۰/۰۲۷۵	۵/۶۶	۰/۶۳۶	۰/۹۲	۰/۹۰
۹۰	۰/۰۲۴۷	۶/۳۱	۰/۷۰۹	۰/۹۹	۰/۹۵
۸۱	۰/۰۲۲۳	۷/۰۰	۰/۷۸۶	۱/۰۴	۱/۰۰
۷۵	۰/۰۱۸۵	۸/۴۶	۰/۹۵۰	۱/۱۴	۱/۱۰
۵۶	۰/۰۱۵۵	۱۰/۰۹	۱/۱۳۱	۱/۲۶	۱/۲۰
۴۸	۰/۰۱۳۲	۱۱/۱۸	۱/۲۲۷	۱/۳۶	۱/۳۰
۴۰	۰/۰۱۱۴۰	۱۳/۷	۱/۵۳۹	۱/۴۶	۱/۴۰
۳۳	۰/۰۰۹۹	۱۵/۷۵	۱/۷۷۰	۱/۵۶	۱/۵۰
۲۵	۰/۰۰۸۸	۱۷/۹	۲/۰۱۱	۱/۶۶	۱/۶۰
۲۰	۰/۰۰۷۷	۲۰/۲	۲/۲۷۰	۱/۷۶	۱/۷۰
۱۷	۰/۰۰۶۹	۲۲/۶	۲/۵۲۵	۱/۸۶	۱/۸۰
۱۵	۰/۰۰۶۲	۲۵/۲	۲/۸۳۵	۱/۹۶	۱/۹۰
۱۲	۰/۰۰۵۶	۲۸/۰۰	۳/۱۴۲	۲/۰۷	۲
۷	۰/۰۰۳۶	۴۳/۷	۴/۹۰۸	۲/۵۷	۲/۵
—	۰/۰۰۲۵	۶۲/۹	۷/۰۷۰	۳/۰۸	۳

۹ــ۲ــ انتخاب ورقه‌ی مناسب برای هسته‌ی ترانسفورماتور

ورق‌های استاندارد که برای هسته‌ی ترانسفورماتورهای کوچک استفاده می‌شود از انواع M و یا El می‌باشند. ورق El به شکل ۱۶ــ۲ ساخته می‌شود. معمولاً بین اندازه‌های قسمت‌های مختلف ورق روابطی تقریبی برقرار است.

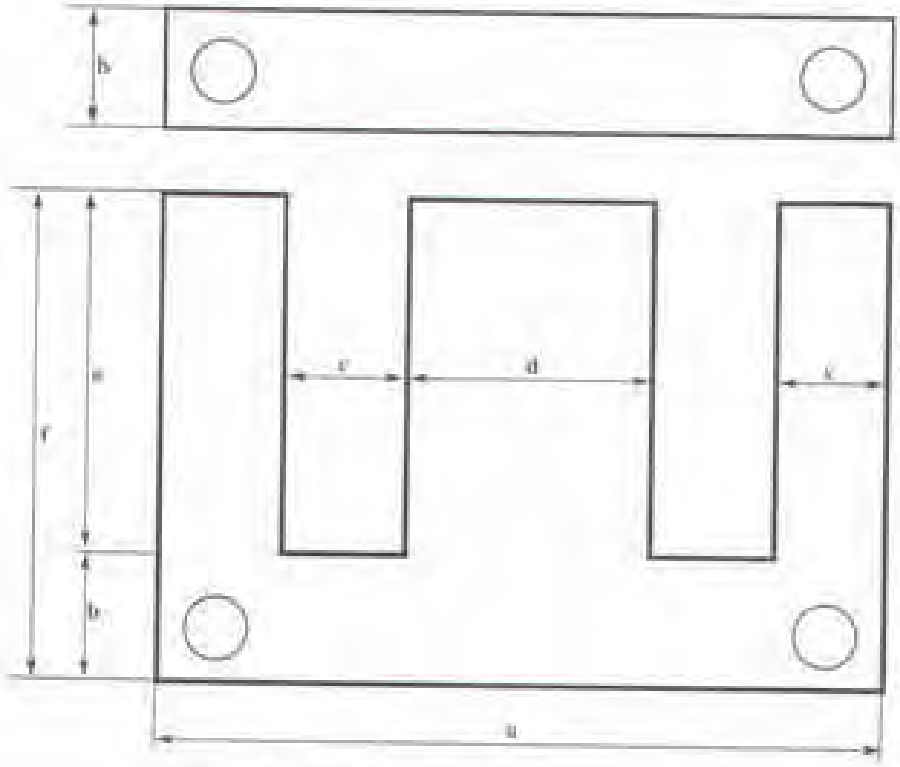
$a = 8b$

$c = b = \frac{a}{8}$

$d = 2c = 2b = \frac{a}{4}$

$e = 2b = \frac{a}{4}$

$f = 4b = \frac{2a}{4}$



شکل ۱۶ـ۲ـ ورق EI

معمولاً ورق EI با اندازه‌ی a، بر حسب میلی‌متر بیان می‌شود. مثلاً ورق EI۷۸ یعنی اندازه ضلع a ورق برابر ۷۸ میلی‌متر است. در جدول ۶ـ۲ اندازه‌ی قسمت‌های مختلف این ورق را تا اندازه‌ی ۱۵۰ میلی‌متر نشان می‌دهد.

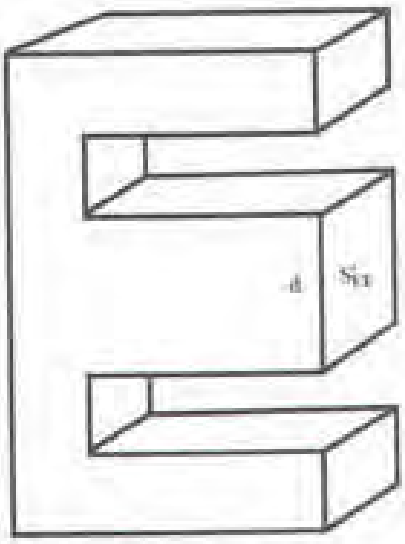
جدول ۶ـ۲ـ اندازه قسمت‌های مختلف ورق EI

اندازه	a	b	c	d	e	f
۳۰	۳۰	۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰
۳۶	۳۶	۶	۶	۱۲	۱۸	۲۴
۴۲	۴۲	۷	۷	۱۴	۲۱	۲۸
۴۸	۴۸	۸	۸	۱۶	۲۴	۳۲
۵۴	۵۴	۹	۹	۱۸	۲۷	۳۶
۶۰	۶۰	۱۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
۶۶	۶۶	۱۱	۱۱	۲۲	۳۳	۴۴
۷۵	۷۵	۱۲/۵	۱۲/۵	۲۵	۳۷/۵	۵۰
۷۸	۷۸	۱۳	۱۳	۲۶	۳۹	۵۲
۸۴	۸۴	۱۴	۱۴	۲۸	۴۲	۵۶
۹۶	۹۶	۱۶	۱۶	۳۲	۴۸	۶۴
۱۰۸	۱۰۸	۱۸	۱۸	۳۶	۵۴	۷۲
۱۲۰	۱۲۰	۲۰	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰
۱۳۵	۱۳۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۴۵	۶۷/۵	۹۰
۱۵۰	۱۵۰	۲۵	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰

اگر سطح مقطع زبانه‌ی وسط در هسته، مربع‌شکل و یا نزدیک به مربع در نظر گرفته شود و d نشان دهنده‌ی عرض زبانه‌ی وسط ورق E باشد، داریم :

$$d = \sqrt{S'_{FE}}$$

با توجه به این‌که $a = 2d$ است، می‌توان با معلوم بودن d مقدار a را به‌دست آورد و نهایتاً نوع ورق را انتخاب کرد. شکل ۱۷ـ۲ سطح مقطع زبانه‌ی وسط در هسته‌ی مربع شکل را نشان می‌دهد.

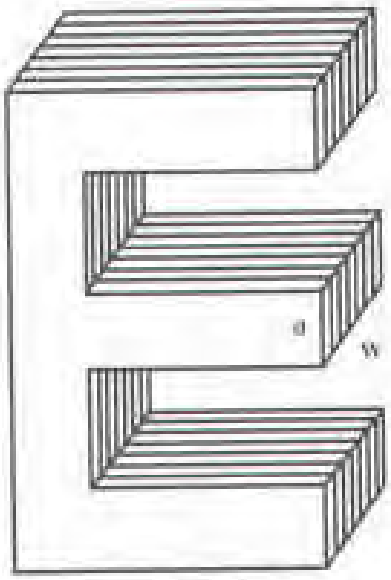


شکل ۱۷ـ۲ـ سطح مقطع زبانه‌ی وسط در هسته‌ی مربع‌شکل

۱ـ۹ـ۲ـ محاسبه‌ی تعداد ورق‌ها: چون ورق آهنی به‌ضخامت ۰/۵ میلی‌متر و ۰/۳۵ میلی‌متر می‌باشد. (۰/۵ میلی‌متر و ۰/۳۵ میلی‌متر ضخامت آهن خالص در نظر گرفته شده است). درعمل هسته‌ی ترانسفورماتور از ورق‌های آهن با لایه‌ی نازک لاک برای عایق تشکیل شده است، لذا برای محاسبه‌ی تعداد ورق‌ها باید ضریب K_{FE} را در نظر داشت. اگر سطح مقطع هسته مطابق شکل ۱۸ـ۲ مستطیل شکل و با ابعاد d و W باشد W برابر است با :

$$W = \frac{S'_{FE}}{d}$$

$$\text{تعداد ورق‌ها } n = \frac{W(cm)}{\text{ضخامت هر ورق (cm)}} \times K_{FE}$$



شکل ۱۸ـ۲ـ ابعاد زبانه هسته E شکل

۱۰ـ۲ـ محاسبه‌ی مساحت اشغال‌شده توسط سیم‌پیچ‌ها

برای محاسبه‌ی مساحت اشغال شده توسط سیم‌پیچ‌ها می‌توان از جدول ۵ـ۲ استفاده نمود. از ستون اول جدول قطر سیم مورد نظر را که قبلاً محاسبه کرده‌اید، پیدا می‌کنند. از ستون ششم در سطر مربوط به قطر سیم مورد نظر، تعداد سیم‌هایی را که یک سانتی‌متر مربع را اشغال می‌کند به‌دست می‌آورند.

واضح است که بین سیم‌ها نباید فضای خالی وجود داشته باشد. بنابراین با داشتن قطر سیم اولیه (d_1) از روی جدول، تعداد دوری را که در یک سانتی‌متر مربع جای می‌گیرد $\left(\frac{\text{تعداد دور}}{\text{سانتی‌متر مربع}}\right)$ پیدا می‌کنند، و از تقسیم N_1 بر عدد به دست آمده سطح مورد لزوم برای سیم‌پیچ اولیه (A_1) را به‌دست می‌آورند. برای سیم‌پیچ ثانویه نیز، به‌همین ترتیب، با توجه به قطر d_2 سطح مورد نیاز (A_2) را به‌دست می‌آورند. سطح مورد نیاز برای هر دو سیم‌پیچ (A_3) از جمع A_1 و A_2 به‌دست می‌آید:

$$A_3 = A_1 + A_2$$

سطح لازم برای عایق‌های بین لایه‌های سیم‌پیچ و قرقره‌ی سیم‌پیچ، بستگی به قدرت ترانسفورماتور دارد. علاوه‌بر عایق، در هنگام پیچیدن سیم‌ها بر روی قرقره نیز، مقداری فضای خالی (فضای مرده) بین حلقه‌های سیم‌پیچ باقی می‌ماند.

هرچه سیم‌پیچ دقیق‌تر پیچیده شود، مقدار این فضای مرده کمتر خواهد بود. در ترانسفورماتورهایی که با ماشین پیچیده می‌شوند مقدار این فضا خیلی ناچیز است.

در مجموع، برای عایق و قرقره و فضای خالی بین سیم‌ها می‌توان ۲۰ تا ۳۵ درصد سطح سیم‌ها را منظور نمود. برای ترانسفورماتورهای دست‌پیچ از ضریب ۰/۳۵ و برای ترانسفورماتورهای کوچک که با ماشین پیچیده می‌شوند از ضریب تقریبی ۰/۲۰ استفاده می‌شود. بنابراین سطح کل مورد نیاز برآورد می‌شود با:

$$A = A_3 + (\%20 \text{ تا } \%35 A_3)$$

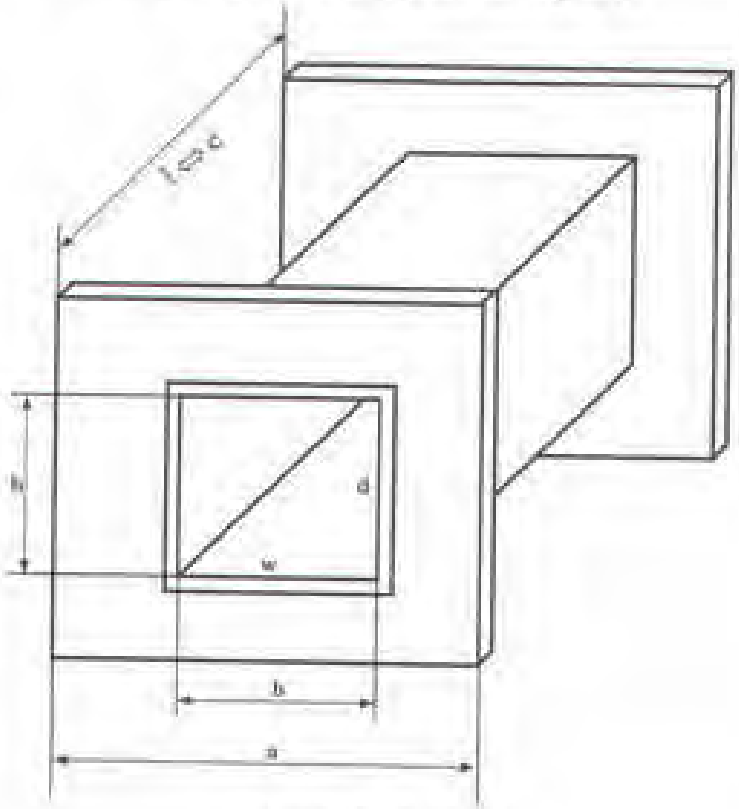
$$A = (1/2 \text{ تا } 1/351) A_3$$

با پیدا کردن سطح A و انتخاب هسته باید همواره $a \times c \geq A$ باشد:

۱۱ـ۲ـ انتخاب قرقره‌ی ترانسفورماتور

با داشتن اندازه‌های ورق ترانسفورماتور می‌توان قرقره‌ای را که باید سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه روی آن پیچیده شوند، انتخاب کرد. ابعاد قرقره باید با a و W متناسب باشند. قرقره را می‌توان با عایق‌های کاغذی (کاغذ پرسمان) یا فیبر استخوانی یا ضخامت مناسب ساخت. امروزه، با توجه به مشکلات ساخت، معمولاً از قرقره‌های پلاستیکی آماده استفاده می‌کنند. هرگاه اندازه‌ی دقیق قرقره‌ی مورد نظر موجود نباشد نزدیک‌ترین سطح مقطع قرقره به عدد S_{fig} را انتخاب می‌کنند.

در شکل ۱۹ـ۲ یک قرقره‌ی آماده نشان داده شده است.



شکل ۱۹ـ۲ـ یک قرقره آماده

در جدول ۷ـ۲ مشخصات ابعاد قرقره با توجه به انواع مختلف موجود در بازار آورده شده است :

جدول ۷ـ۲ـ مشخصات ابعاد قرقره موجود در بازار

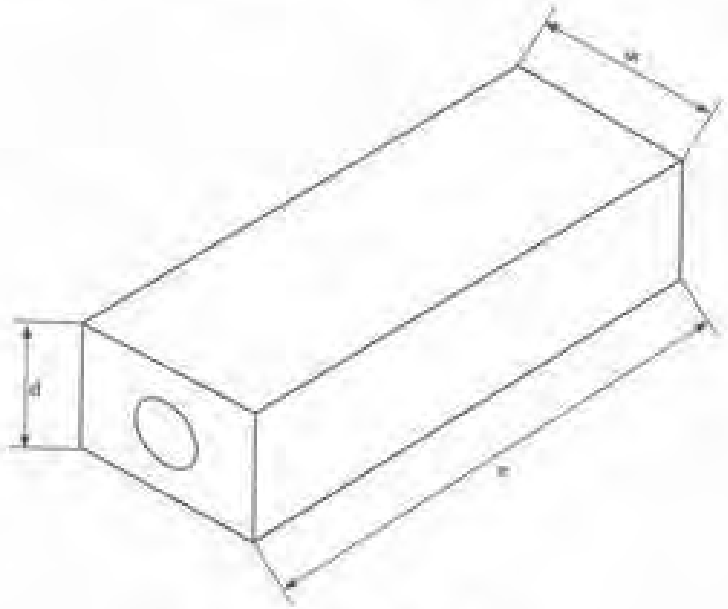
نوع	a(mm)	b(mm)	h(mm)	l(mm)
EI 30	19.5	10.5	10.5	14.5
EI 38	25.1	13.3	13.6	18.7
EI 42	27.2	14.5	14.8	20.5
EI 48	31.2	16.5	16.8	23.5
EI 54	35.2	18.5	18.8	26.5
EI 60	39.1	20.6	21	29
EI 66	43.1	22.6	24.7	32
EI 78	51.1	26.6	27.5	38
EI 84 a	55.1	28.6	29.5	41
EI 84 b	55.1	28.6	43.5	41
EI 92 a	67.4	23.6	24.5	47
EI 92 b	67.4	23.6	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	76.7	94
EI 195 a	136	56.5	57.7	124
EI 195 b	136	56.5	70.7	124
EI 195 c	136	56.5	85.7	124
EI 231 a	159	66.5	64.7	143
EI 231 b	159	66.5	80.7	143
EI 231 c	159	66.5	99.7	143

۱۲ـ۲ـ آماده کردن نهایی ترانسفورماتور

پس از تهیه‌ی قرقره، باید سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را روی آن بپیچید. برای انجام این کار می‌توان از دستگاه بوبین‌پیچ اتوماتیک استفاده کرد یا توسط دستگاه‌های ابتدایی و ساده عمل بوبین‌پیچی را با دست انجام داد. شکل ۲۰ـ۲ یک دستگاه بوبین‌پیچ را نشان می‌دهد.

شکل ۲۰ـ۲ـ دستگاه بوبین پیچ

دستگاه باید روی میز کار نصب شود به‌طوری که پایه‌های دستگاه به‌هنگام کار حرکت نداشته باشند. برای نصب قرقره روی دستگاه بوبین‌پیچ باید از یک قالب چوبی متناسب با حجم داخل قرقره استفاده کرد. شکل ۲۱ـ۲ این قالب چوبی را نشان می‌دهد. در مرکز سطح قالب، سوراخی با سطح مقطع دایره‌ای شکل وجود دارد. این سوراخ جهت عبور محور گردان دستگاه بوبین پیچ به‌وجود آمده است. پس از تهیه‌ی قالب آن را داخل قرقره وارد می‌کنند، سپس محور گردان دستگاه بوبین پیچ وارد سوراخ قالب می‌شود و قالب توسط مخروط های نگه‌دارنده و توسط پیچ کاملاً محکم می‌شود.



شکل ۲۱ـ۲ـ یک نمونه قالب چوبی

پس از جازدن قالب چوبی در داخل قرقره و بستن آن روی دستگاه بوبین‌پیچ، می‌توان سیم‌پیچی را شروع کرد. البته بهتر است در ابتدا یک لایه عایق نازک روی قرقره بپیچید و سپس سیم‌پیچی اولیه را شروع کرد.

با سمباده یا سوزاندن عایق لاک سر سیم را از بین می‌برند.

سر سیم‌پیچ اولیه باید از پایین‌ترین سوراخ دیواره‌ی قرقره خارج شود. در صورتی که قطر سیم خیلی نازک باشد باید یک سیم رشته‌ای را به سر سیم لاکی لحیم نمود و قسمت لحیم‌شده را با ماکارونی (وارنیش) عایق نمود.

پس از عایق کردن قسمت لحیم شده، سیم رشته‌ای را از سوراخ دیواره‌ی قرقره خارج می‌کنند به‌طوری که قسمت لحیم شده در کف قرقره طوری قرار می‌گیرد که سیم‌پیچ بر روی آن پیچیده شود. با این عمل سیم لاکی در اثر کشش پاره و قطع نمی‌شود، اما اگر قطر سیم به‌اندازه‌ای ضخیم باشد که در برابر نیروی کشش پاره نشود، می‌توان از عایق‌های لوله‌ای استفاده کرد و عایق را زیر سیم‌پیچ قرار داده و سیم لاکی را با لوله‌ی عایق از سوراخ قرقره خارج نمود. پس از اتمام سیم‌پیچ اولیه با همین روش انتهای سیم را پس از محکم کردن با سیم رشته‌ای یا با لوله‌ی عایق با همان رنگ از قرقره خارج می‌کنند.

قبل از پیچیدن سیم‌پیچ دوم، باید روی سیم‌پیچ اول، عایق کاغذی (کاغذ پرشمان) با ضخامت مناسب قرار داد. سپس سیم‌پیچ دوم را مشابه سیم‌پیچ اول پیچید. در پایان روی سیم‌پیچ دوم نیز یک لایه کاغذ عایق نسبتاً ضخیم می‌پیچند تا هم سیم‌پیچ را نسبت به اجسام خارجی عایق کند و هم لایه‌ی رویی سیم‌پیچ حفظ شود.

پس از اتمام هر سیم‌پیچی باید سیم‌پیچ‌ها را از نظر قطع‌شدگی یا اتصال دو سیم به یکدیگر توسط اهم‌متر آزمایش کرد. و سپس قرقره را با ورقه‌های هسته‌ی مناسب آن پُر کرد.

پس از جازدن کامل ورقه‌ها باید هسته‌ها را محکم و سرسیم‌ها را به ترمینال‌هایی که روی قرقره یا هسته سوار شده‌اند وصل کرد. در پایان کار هم لازم است مجدداً سرسیم‌های اولیه و ثانویه را نسبت به هسته‌ی ترانسفورماتور، برای تشخیص اتصال بدنه، آزمایش کرد.

۱۳ــ۲ــ چند مثال

۱ــ۱۳ــ۲ــ مثال: می‌خواهیم یک وسیله‌ی الکتریکی را که با ولتاژ ۱۲۵ ولت کار می‌کند و جریان نامی آن یک آمپر است به ولتاژ ۲۲۰ ولت و ۵۰ هرتز وصل کنیم. ترانسفورماتور مورد نیاز را محاسبه کنید.

حل:

الف ــ مشخص کردن پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی ترانسفورماتور:

$U_1 = ۲۲۰$

$U_2 = ۱۲۵$

$I_2 = ۱A$

ب ــ محاسبه‌ی قدرت اولیه:

قدرت ثانویه $P_2 = U_2 I_2 = ۱۲۵ \times ۱ = ۱۲۵VA$

ضریب بهره برای این ترانسفورماتور ۹۰٪ انتخاب می‌شود، بنابراین

$$P_1 = \frac{P_2}{R_0} = \frac{۱۲۵}{۰/۹} = ۱۳۸/۸ \cong ۱۴۰VA$$

ج ــ تعیین سطح مقطع هسته:

سطح مقطع واقعی

$$S_{FE} = ۱/۲\sqrt{P_1} = ۱/۲\sqrt{۱۴۰} = ۱۴/۲cm^2$$

با انتخاب $K_{FE} = ۰/۹$ سطح ورق‌های ترانسفورماتور مورد نیاز به‌دست می‌آید.

$$S'_{FE} = \frac{S_{FE}}{K_{FE}} = \frac{۱۴/۲}{۰/۹} = ۱۵/۷۷cm^2$$

د ــ محاسبه‌ی دور بر ولت:

$$n = \frac{۳۷/۵۴}{S} = \frac{۳۷/۵۴}{۱۴/۲} = ۲/۶۴ \quad \frac{\text{دور}}{\text{ولت}}$$

هـ ــ تعیین تعداد دور اولیه: درصد افت ولتاژ را از جدول مربوطه به‌دست می‌آوریم. در جدول، برای ۱۲۵ ولت آمپر درصد افت ولتاژ داده نشده است.

اما برای ۱۵۰ ولت آمپر درصد افت ولتاژ ۸ درصد و برای ۱۰۰ ولت‌آمپر برابر ۹ درصد است، یعنی به‌ازای افزایش ۵۰=۱۰۰−۱۵۰ ولت آمپر به‌اندازه‌ی ۱=۸−۹ درصد از افت ولتاژ کم می‌شود. حال می‌توان گفت اگر ۲۵=۱۰۰−۱۲۵ ولت‌آمپر به‌قدرت افزوده شود افت ولتاژ به اندازه‌ی

$\frac{۲۵\times۱}{۵۰}=۰/۵$ درصد کاهش می‌یابد، پس برای قدرت ۱۲۵ ولت‌آمپر درصد افت ولتاژ برابر $۸/۵=۸-۰/۵$ درصد می‌شود که از این مقدار با توجه به مقاومت سیم‌پیچ‌ها به‌طور نسبی برای سیم‌پیچ اولیه حدود ۵ درصد و برای سیم‌پیچ ثانویه حدود ۳/۵ درصد منظور می‌کنیم. بنابراین تعداد دور اولیه چنین محاسبه می‌شود:

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

دور $N_۱ = ۲/۶۲\times۲۲۰(۱-۰/۰۵)=۵۵۱/۷۶\cong ۵۵۲$

و ـ تعیین تعداد دور ثانویه:

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

دور $N_۲ = ۲/۶۲\times۱۲۵(۱+۰/۰۳۵)=۳۴۱/۵۵\cong ۳۴۲$

ز ـ محاسبه‌ی قطر سیم اولیه: برای محاسبه قطر سیم ابتدا چگالی جریان را برای این ترانسفورماتور از جدول پیدا می‌کنیم. چگالی جریان برای ترانسفورماتورهای از قدرت ۱۰۰ تا ۲۰۰ ولت‌آمپر برابر $J=۳\frac{A}{mm^۲}$ است.

$$I_۱=\frac{P_۱}{U_۱}=\frac{۱۴۰VA}{۲۲۰V}=۰/۶۳A$$

$$d_۱=۱/۱۳\sqrt{\frac{I_۱}{J}}=۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۶۳}{۳}}=۰/۵۱mm$$

چون سیم با قطر ۰/۵۱mm وجود ندارد از روی جدول باید نزدیک‌ترین عدد استاندارد بزرگ‌تر از آن یعنی $d=۰/۵۵$ را انتخاب نمود. اما چون ۰/۵۱ به عدد ۰/۵۰ خیلی نزدیک‌تر است با تقریب خوبی سیم با قطر ۰/۵۰ میلی‌متر را انتخاب می‌کنیم

ح ـ محاسبه‌ی قطر سیم ثانویه:

$$J=۳\frac{A}{mm^۲} \qquad I_۲=۱A$$

$$d_۲=۱/۱۳\sqrt{\frac{I_۲}{J}}=۱/۱۳\sqrt{\frac{۱}{۳}}=۰/۶۵mm$$

این سیم استاندارد است و در بازار موجود می‌باشد.

ط ـ انتخاب ورق استاندارد هسته‌ی ترانسفورماتور: برای انتخاب ورق باید ابتدا سطح پنجره‌ی مورد نیاز را به‌دست آورد. در این ترانسفورماتور، باید برای سیم‌پیچ اولیه ۵۵۲ دور سیم با قطر ۰/۵ و برای سیم‌پیچ ثانویه ۳۴۲ دور سیم با قطر ۰/۶۵ میلی‌متر پیچیده شود. از روی جدول ۵ـ۲ برای قطر سیم اولیه، یعنی $d_۱=۰/۵۰$، تعداد دور در هر سانتی‌مترمربع عدد ۳۰۰ و برای قطر $d_۲=۰/۶۵$ عدد ۱۸۰ به‌دست می‌آید.

$$A_۱=\frac{۵۵۲}{۳۰۰}=۱/۸۴cm^۲$$

$$A_۲=\frac{۳۴۲}{۱۸۰}=۱/۹cm^۲$$

سطح اشغال شده توسط دو سیم‌پیچ $A_۲=۱/۸۴+۱/۹=۳/۷۴cm^۲$ برای ضایق‌های بین سیم‌پیچ‌ها و فضای مرده و ضخامت قرقره نیز ۳۵٪ به سطح لازم جهت سیم‌پیچ اضافه می‌کنیم. در نتیجه، سطح کل لازم برابر می‌شود با:

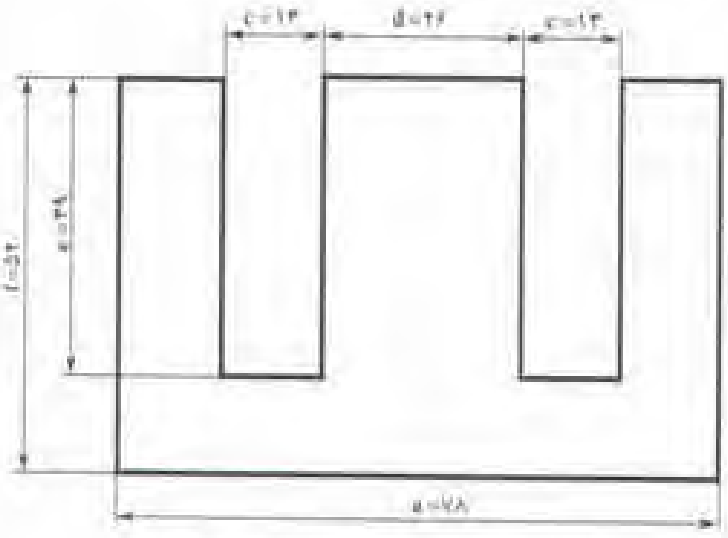
$$A=۱/۳۵\times A_۲=۱/۳۵\times ۳/۷۴=۵/۰۵cm^۲$$

با توجه به جدول ۶ـ۲ نزدیک‌ترین ورق استانداردی که سطح پنجره‌ی آن از A بیش‌تر باشد ورق EI – ۷۸ است که در آن $c=۳۹mm$ و $c=۱۳mm$ است.

$$c\times c\geq A$$

$$۳/۹\times۱/۳=۵/۰۷\cong ۵/۰۵cm^۲$$

ی ـ انتخاب قرقره‌ی ترانسفورماتور: با توجه به شکل ۲۲ـ۲ که ابعاد یک ورق EI – ۷۸ را نشان می‌دهد. قرقره‌ی مناسب را انتخاب می‌کنیم:



شکل ۲۲ـ۲ـ ابعاد ورق EI-۷۸

۲ــ۱۳ــ۲ــ مثال ۲: گاهی با داشتن ابعاد قرقره، می‌توان (S) سطح مقطع هسته را به‌دست آورد و سپس ترانسفورماتور مورد نظر را محاسبه نمود. مثلاً می‌خواهیم با قرقره و هسته‌ای به مساحت $7/8\,cm^2$، ترانسفورماتوری با ولتاژ اولیه‌ی ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه‌ی ۱۲ ولت طراحی کنیم.

$$S = 7/8\,cm^2$$

$$S = K\sqrt{P_1}$$

$$7/8 = 1/2\sqrt{P_1} \Rightarrow \sqrt{P_1} = \frac{7/8}{1/2} = 6/5$$

$$P_1 = 42/25\,VA$$

$$n = \frac{37/54}{7/8} = 4/812 \quad \text{دور بر ولت}$$

اگر درصد افت ولتاژ کل را ۱۰ درصد در نظر بگیریم ۸ درصد آن را برای سیم‌پیچ اولیه و ۲ درصد آن را برای سیم‌پیچ ثانویه در نظر می‌گیریم.

$$N_1 = n u_1 (1 - \Delta u_1\%) = 4/812 \times 220 (1 - 0/08)$$

تعداد دور اولیه $N_1 = 973/94 = 974$ دور

جدول مشخصات برای ساختن چند نمونه ترانس: در جدول ۸ــ۲ اطلاعات مورد نیاز برای پیچیدن چند نمونه ترانس مختلف آورده شده است. از این جدول برای پیچیدن ترانس در بازار استفاده می‌شود. بدین سبب ممکن است این اطلاعات با محاسبات دقیق علمی اندکی تفاوت داشته باشد ولی از نظر عملی پاسخ کاملاً مطلوبی را ارائه می‌کند. هنرجویان در صورت داشتن زمان اضافی می‌توانند نمونه‌ای از ترانس را متناسب با نیاز خود از جدول انتخاب و سیم‌پیچی کنند.

تعداد دور ثانویه $N_2 = n u_2 (1 + \Delta u_2\%)$

$N_2 = 4/812 \times 12 (1 + 2\%) = 58/89 = 59$ دور

جگالی جریان را $\frac{4A}{mm^2}$ در نظر می‌گیریم:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{42/25}{220} = 0/192A$$

$$d_1 = 1/13\sqrt{\frac{I_1}{J}} = 1/13\sqrt{\frac{0/192}{4}} = 0/247 \simeq 0/25mm$$

قطر سیم اولیه

اگر راندمان را ۸۷٪ در نظر بگیریم:

$$R_\eta = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_2 = 0/87 \times P_1$$

$$P_2 = 0/87 \times 42/25 = 36/75VA$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{36/75}{12} = 3/06A$$

$$\text{قطر سیم ثانویه} = d_2 = 1/13\sqrt{\frac{3/06}{4}} = 0/988mm = 1mm$$

هسته و قرقره مناسب	
مشخصات ترانس	$N_1 = 974$ دور
	$N_2 = 59$ دور
	$d_1 = 0/25\,mm$
	$d_2 = 1mm$
	$I_2 = 3A$
	$U_2 = 12V$

جدول ۸ ـ ۲ـ اطلاعات بازاری موجود برای پیچیدن چند نمونه ترانس

نوع هسته	ولتاژ ثانویه (۷) ولت	توان ثانویه ۷۰۸	تعداد دور اولیه	تعداد دور ثانویه	قطر سیم اولیه mm	قطر سیم ثانویه mm
۲۲ـ۸	۶	۰/۵	۱۵۰۰۰	۲۲۰	۰/۰۰۴	۰/۱۰
۲۲ـ۸	۱۲	۰/۵	۱۵۰۰۰	۸۵۰	۰/۰۰۴	۰/۰۷
۲۲ـ۸	۲۲	۰/۵	۱۵۰۰۰	۱۷۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۵
۲۸ـ۱۰	۶	۱/۱	۱۰۰۰۰۰	۲۹۰	۰/۰۱۵	۰/۱۰
۲۸ـ۱۰	۱۲	۱/۱	۱۰۰۰۰۰	۵۶۰	۰/۰۱۵	۰/۰۷
۲۸ـ۱۰	۲۲	۱/۱	۱۰۰۰۰۰	۱۱۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۶

جدول ۸ ـ ۲ـ اطلاعات بازاری موجود برای پیچیدن چند نمونه ترانس

نوع هسته	ولتاژ ثانویه (۷) ولت	توان ثانویه ۷۰۸	تعداد دور اولیه	تعداد دور ثانویه	قطر سیم اولیه mm	قطر سیم ثانویه mm
۳۵ـ۱۰	۶	۲	۸۸۰۰	۲۶۰	۰/۰۰۶	۰/۳۰
۳۵ـ۱۰	۱۲	۲	۸۸۰۰	۵۰۰	۰/۰۰۶	۰/۲۰
۳۵ـ۱۰	۲۲	۲	۸۸۰۰	۱۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۱۲
۳۸ـ۱۲	۶	۲/۵	۶۰۰۰	۱۷۵	۰/۰۶۳	۰/۳۵
۳۸ـ۱۲	۱۲	۲/۵	۶۰۰۰	۳۴۰	۰/۰۶۳	۰/۲۵
۳۸ـ۱۲	۲۲	۲/۵	۶۰۰۰	۶۸۰	۰/۰۶۳	۰/۲۰
۴۱ـ۱۲	۶	۳/۵	۵۰۰۰	۱۶۰	۰/۰۷	۰/۳۵
۴۱ـ۱۲	۱۲	۳/۵	۵۰۰۰	۲۹۵	۰/۰۷	۰/۲۷
۴۱ـ۱۲	۲۲	۳/۵	۵۰۰۰	۵۷۰	۰/۰۷	۰/۲۰
۴۱ـ۱۷	۶	۵/۵	۴۴۰۰	۱۳۰	۰/۰۸	۰/۴۰
۴۱ـ۱۷	۱۲	۵/۵	۴۴۰۰	۲۵۰	۰/۰۸	۰/۳۵
۴۱ـ۱۷	۲۲	۵/۵	۴۴۰۰	۴۷۵	۰/۰۸	۰/۲۵
۴۸	۶	۸	۳۰۰۰	۹۵	۰/۱۰	۰/۶۰
۴۸	۱۲	۸	۳۰۰۰	۱۷۵	۰/۱۰	۰/۴۵
۴۸	۲۲	۸	۳۰۰۰	۳۴۰	۰/۱۰	۰/۳۵
۵۷	۹	۱۲	۲۵۰۰	۱۱۰	۰/۱۵	۰/۶۵
۵۷	۱۲	۱۲	۲۵۰۰	۱۴۵	۰/۱۵	۰/۵۵
۵۷	۲۲	۱۲	۲۵۰۰	۲۸۵	۰/۱۵	۰/۴۰

نوع هسته	ولتاژ ثانویه (۷) ولت	توان ثانویه ۷۰۸ وات-	تعداد دور اولیه	تعداد دور ثانویه	قطر سیم اولیه mm	قطر سیم ثانویه mm
۶۶_۲۵	۱۲	۲۵	۱۷۶۰	۱۰۴	۰/۴۰	۰/۸۰
۶۶_۲۵	۱۶	۲۵	۱۷۶۰	۱۳۶	۰/۲۰	۰/۶۵
۶۶_۲۵	۲۴	۲۵	۱۷۶۰	۲۰۰	۰/۲۰	۰/۳۰
۶۶_۳۵	۱۲	۵۰	۱۳۲۰	۷۸	۰/۲۵	۱/۱۰
۶۶_۳۵	۱۶	۵۰	۱۳۲۰	۱۰۴	۰/۱۵	۰/۸۵
۶۶_۳۵	۲۴	۵۰	۱۳۲۰	۱۵۰	۰/۱۵	۰/۷۵
۷۸	۱۲	۶۰	۱۲۱۰	۷۲	۰/۳۰	۱/۲۰
۷۸	۲۴	۶۰	۱۲۱۰	۱۳۸	۰/۳۰	۰/۸۵
۸۲_۳۲	۱۲	۸۰	۱۱۰۰	۶۵	۰/۳۵	۱/۲۰
۸۲_۳۲	۲۴	۸۰	۱۱۰۰	۱۲۵	۰/۳۵	۱/۱۰
۹۶_۳۲	۱۲	۱۰۰	۱۰۰۰	۶۰	۰/۴۰	۱/۸۰
۹۶_۳۲	۲۴	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۱۳	۰/۴۰	۱/۳۰

۱۴ـ۲ـ کار عملی شماره ۱

۱ـ یک ترانسفورماتور با مشخصات زیر طراحی کنید:

$U_2 = ۶$ ولت

$I_2 = ۱۸$ A

$U_1 = ۲۲۰$ ولت

$f = ۵۰$ Hz

۲ـ بعد از طراحی و تهیه‌ی قرقره، قالب قرقره و هسته‌ی مناسب، ترانس را بپیچید.

۳ـ ترانس را از نظر قطع بودن سیم‌پیچ‌ها و یا اتصال کوتاه بودن سیم‌ها، به‌وسیله‌ی اهم‌متر، تست کنید.

۴ـ اتصال سیم‌های اولیه و ثانویه‌ی ترانس را با بدنه، توسط اهم‌متر، تست کنید.

۵ـ با نظارت مربی، اولیه‌ی ترانس را به برق وصل کنید و ولتاژ ثانویه‌ی ترانس را در حالت بی‌باری با ولت‌متر اندازه بگیرید:

۶ـ یک لامپ ۶ ولت و ۰/۵ آمپر را به ثانویه‌ی ترانس وصل کنید و جریان عبوری از لامپ را اندازه بگیرید.

۱۵ـ۲ـ کار عملی شماره ۲

در صورت داشتن وقت کافی و موجود بودن امکانات، مربی کارگاه می‌تواند طراحی و ساخت ترانس دیگری را که مورد نیاز کارگاه است به هنرجویان آموزش دهد.

شکل ۲۳ـ۲ـ انواع بوبین و ترانسفورماتور

فصل سوم

منابع تغذیه

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند:
۱ـ ولتاژ و جریان باتری‌های مختلف را با مولتی‌متر (آوومتر) اندازه بگیرد.
۲ـ اجزای یک منبع تغذیه را نام ببرد.
۳ـ مدارهای منبع تغذیه‌ی ساده را روی بُرد آزمایشگاهی اتصال دهد.
۴ـ مقدار ولتاژ منبع تغذیه‌های مختلف را با استفاده از مولتی‌متر اندازه بگیرد.

۱ـ۳ـ باتری‌ها[1]

۱ـ۱ـ۳ـ اطلاعات مقدماتی: ساده‌ترین وسیله برای ایجاد انرژی در دستگاه‌هایی که مصرف برق DC[2] دارند باتری‌ها هستند. باتری‌ها در اندازه‌های مختلف با ولتاژ و جریان معینی ساخته می‌شوند. باتری‌های ۱٫۵ ولتی قلمی متداول در ابعاد سه‌گانه‌ی کوچک، متوسط و بزرگ تولید می‌شوند. این باتری‌ها ولتاژ یکسانی دارند ولی میزان جریان‌دهی آن‌ها با هم فرق می‌کند. در شکل ۱ـ۳ چند نمونه از این نوع باتری‌ها را مشاهده می‌کنید.

شکل ۱ـ۳ـ چند نمونه باتری روی ـ کربن

برای به‌دست آوردن ولتاژ بیش‌تر تعدادی باتری را به‌صورت سری به‌هم وصل می‌کنند. در صورتی که جریان بیش‌تری مورد نیاز باشد چند باتری را با هم موازی می‌کنیم. ظرفیت جریان‌دهی باتری را با آمپر ساعت (AH)[3] بیان می‌کنند. بیش‌ترین شدت جریانی را که باتری می‌تواند در مدت یک ساعت به مدار بدهد ظرفیت جریان‌دهی باتری می‌نامند.

۱ـ معمولاً باتری از چند پیل تشکیل می‌شود ولی در بازار به پیل، باتری نیز می‌گویند.

۲ـ DC = Direct Current

۳ـ AH = Ampere Hour

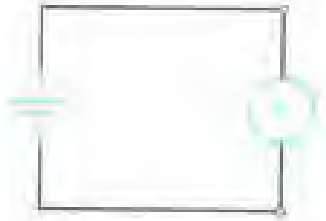
موازی نمودن چند باتری کاربرد چندانی ندارد زیرا مقاومت داخلی هر باتری برای باتری دیگر به‌عنوان بار محسوب شده و سبب اتلاف انرژی می‌گردد.

۲ـ۱ـ۳ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز: باتری قلمی کوچک و متوسط از هرکدام ۲ عدد، مولتی متر عقربه‌ای یا دیجیتالی، برد آزمایش و کلید قطع و وصل.

۲ـ۳ـ کار عملی شماره ۱

مراحل آزمایش: مدار را مطابق شکل ۲ـ۳ ببندید.

به‌وسیله‌ی ولت‌متر DC ولتاژ دو سر دو باتری قلمی کوچک (پیل) و متوسط را اندازه بگیرید و جدول ۱ـ۳ را کامل کنید.



شکل ۲ـ۳ـ اندازه‌گیری ولتاژ باتری

جدول ۱ـ۳ـ اندازه‌گیری ولتاژ دو سر باتری

ولتاژ دو سر باتری	نوع باتری
	کوچک
	متوسط

۳ـ۳ـ کار عملی شماره ۲

مراحل آزمایش: دو باتری قلمی کوچک را مطابق شکل ۲ـ۳ با هم به صورت سری ببندید، سپس ولتاژ کل را اندازه بگیرید. آزمایش را با باتری‌های قلمی متوسط نیز انجام دهید و جدول ۳ـ۳ را کامل کنید.

شکل ۳ـ۳ـ مدار سری دو باتری

جدول ۲ـ۳ـ اندازه‌گیری ولتاژ دو سر دو باتری سری

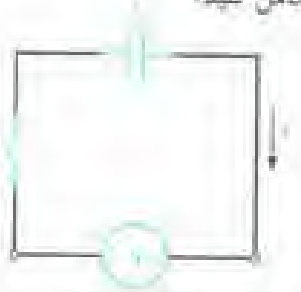
ولتاژ کل	باتری‌های سری
	کوچک
	متوسط

۴ـ۳ـ کار عملی شماره ۳

مراحل آزمایش: آمپرمتر DC را طوری تنظیم کنید که بتواند آمپر زیاد را اندازه بگیرد.

برای اندازه‌گیری آمپر بالا، باید سیم مثبت آمپرمتر را در محل مخصوص آمپر بالا قرار دهید.

مدار را مطابق شکل ۴ـ۳ ببندید. برای لحظه‌ای بسیار کوتاه کلید k را وصل کنید و شدت جریان را اندازه بگیرید، سپس جدول ۳ـ۳ را کامل کنید.



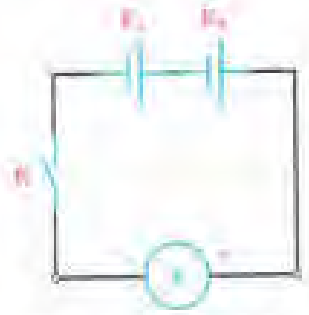
شکل ۴ـ۳ـ اندازه‌گیری جریان یک باتری تکی (پیل)

جدول ۳ـ۳ـ اندازه‌گیری جریان باتری تکی (پیل)

حداکثر جریان	نوع باتری (پیل)
	کوچک
	متوسط

۵ـ۳ـ کار عملی شماره ۴

مراحل آزمایش: ابتدا دو باتری کوچک و سپس دو باتری (پیل) متوسط را مطابق شکل ۵ـ۳ با هم به صورت سری ببندید و برای لحظه‌ای بسیار کوتاه کلید k را وصل کنید و شدت جریان مدار را اندازه بگیرید. سپس جدول ۴ـ۳ را کامل کنید.



شکل ۵ ـ۳ـ اندازه‌گیری جریان دو باتری به‌صورت سری

جدول ۴ـ۳

آمپر کل	باتری‌های سری
	کوچک
	متوسط

۶ ـ۳ـ کار عملی شماره ۵

مراحل آزمایش: باتری‌ها (پیل‌ها) را مطابق شکل ۶ ـ۳ با هم به صورت موازی ببندید. ولتاژ دو سر باتری‌ها را اندازه بگیرید، سپس جدول ۵ ـ۳ را کامل کنید.

شکل ۶ـ۳ـ دو باتری به‌صورت موازی

جدول ۵ ـ۳ـ اندازه‌گیری جریان دوباتری موازی

ولتاژ کل	باتری‌های موازی
	کوچک
	متوسط

۷ـ۳ـ کار عملی شماره ۶

مراحل آزمایش: باتری‌ها را مطابق شکل ۷ـ۳ با هم به‌صورت موازی ببندید. برای لحظه‌ای بسیار کوتاه کلید k را وصل کنید. شدت جریان کل مدار را اندازه بگیرید، سپس جدول ۶ ـ۳ را کامل کنید.

شکل ۷ـ۳ـ اندازه‌گیری جریان دو باتری موازی

جدول ۶ـ۳ـ اندازه‌گیری جریان دو باتری به صورت موازی

جریان کل	باتری‌های موازی
	کوچک
	متوسط

پرسش

۱ـ نتایج به‌دست آمده از اجرای آزمایش‌های فوق را به‌طور خلاصه بنویسید.

۲ـ چه تفاوتی بین باتری‌های قلمی ۱/۵ ولتی کوچک، متوسط و بزرگ وجود دارد؟

۳ـ به‌وسیله‌ی چند باتری ۱/۵ ولتی می‌توان یک منبع تغذیه‌ی ۶ ولتی ساخت؟

۴ـ سه باتری ۱/۵ ولتی را که هرکدام می‌توانند یک آمپر جریان بدهند، طوری به هم اتصال دهید که بتوانیم از آن جریان بیش‌تر از ۱ آمپر دریافت کنیم.

۵ ـ چگونه می‌توان تشخیص داد که یک باتری معیوب است؟

۶ ـ آیا تنها با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر یک باتری می‌توان تشخیص داد که آن باتری سالم است؟ اگر جواب منفی است چرا؟

۷ـ چند نمونه باتری را انتخاب کنید و مشخصات آن‌ها را (ولتاژ، AH و ...) بنویسید.

۸ ـ ۳ـ منبع تغذیه‌ی ساده با استفاده از برق شهر

۱ ـ ۸ ـ ۳ـ اطلاعات مقدماتی: باتری‌ها بعد از مدتی کار کردن ضعیف می‌شوند و به تدریج ولتاژ آن‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه باتری دیگر قادر به تأمین جریان لازم برای مدار نخواهد بود، در ضمن برای دست یافتن به ولتاژ و جریان زیاد، سری یا موازی کردن چند باتری به علت افزایش حجم کار و هزینه‌ی زیاد مقرون به صرفه نیست. در این صورت باید با استفاده از برق شهر منبع تغذیه‌هایی را طراحی کرد که بتواند ولتاژ و جریان مورد نیاز مصرف‌کننده‌های مختلف را تأمین کند. یک منبع تغذیه معمولاً شامل اجزایی به شرح زیر است:

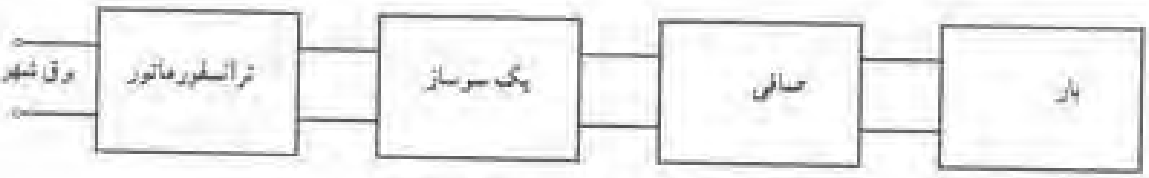
۱ـ ترانسفورماتور: ترانسفورماتور معمولاً در ابتدای مدار قرار می‌گیرد و برای کاهش یا افزایش ولتاژ برق شهر به کار می‌رود. در اغلب منابع تغذیه از ترانسفورماتور کاهنده استفاده می‌کنند.

۲ـ یک‌سوساز: کار یک‌سوساز، یک‌طرفه کردن جریان متناوب ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور است. عمل یک‌طرفه کردن به‌وسیله‌ی دیودها انجام می‌شود. برای این کار معمولاً یک تا چهار عدد دیود در مدار به‌کار می‌رود.

یک‌سوسازها به صورت نیم موج، تمام موج با ترانس سه سر یا تمام موج پُل بسته می‌شوند.

۳ـ صافی: عمل صاف کردن ولتاژ یک‌سو شده به عهده‌ی مدار صافی است. ساده‌ترین مدار صافی از یک خازن الکترولیتی با ظرفیت زیاد تشکیل می‌شود.

۴ـ مصرف‌کننده یا بار: ولتاژ یک‌سو شده و صاف شده (ولتاژ DC) توسط منبع تغذیه به مصرف‌کننده داده می‌شود. مصرف‌کننده ممکن است یک رادیو، یک تلویزیون و یا یک آمپلی فایر باشد. در شکل ۸ـ۳ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه‌ی ساده رسم شده است.



شکل ۸ـ۳ـ بلوک دیاگرام منبع تغذیه همراه با بار

۲ـ ۸ ـ ۳ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز:

ترانسفورماتور ۲۲۰/۶۷ نیم آمپر ۱ عدد، ترانسفورماتور ۶ ـ ۰ ـ ۶ـ ۲۲۰/۶ ولت نیم آمپر ۱ عدد، دیود ۱N۴۰۰۱ شش عدد، دیود LED[1] یک عدد، مقاومت $10K\Omega/\frac{1}{4}W$ یک عدد، مقاومت $270K\Omega/\frac{1}{4}W$ یک عدد، خازن ۱۰۰۰μF/۱۶V یک عدد،

۱ـ Light Emitting Diode = دیود نوردهنده

خازن ۱۰ μF/۱۶V یک عدد، دیود پل یک آمپر یک عدد، خازن ۰/۱ μF یک عدد، مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی و برد آزمایش.

۹ــ۳ــ کار عملی شماره ۷ منبع تغذیه‌ی نیم موج

مراحل آزمایش: مدار منبع تغذیه‌ی نیم موج را مطابق شکل ۹ــ۳ ببندید.

شکل ۹ــ۳ــ مدار منبع تغذیه نیم‌موج

به‌وسیله‌ی ولت متر AC ولتاژ دو سر ثانویه‌ی ترانس را اندازه بگیرید. V_{AC} =

به‌وسیله‌ی ولت متر DC ولتاژ دو سر بار را اندازه بگیرید.

V_{RL} =

۱۰ــ۳ــ کار عملی شماره ۸ منبع تغذیه‌ی تمام موج با ترانس سه سر

مراحل آزمایش: مدار منبع تغذیه‌ی تمام موج را مطابق شکل ۱۰ــ۳ ببندید.

شکل ۱۰ــ۳ــ مدار یکسوساز تمام موج با ترانس سه‌سر

با ولت‌متر AC ولتاژ دو سر هر یک از ثانویه‌ی ترانس را نسبت به سر وسط اندازه بگیرید.

ولتاژ دو سر بار را توسط ولت‌متر DC اندازه بگیرید

V_{RL} =

۱۱ــ۳ــ کار عملی شماره ۹ منبع تغذیه‌ی تمام موج با چهار دیود

مراحل آزمایش: مدار منبع تغذیه‌ی تمام موج پل را مطابق شکل ۱۱ــ۳ ببندید.

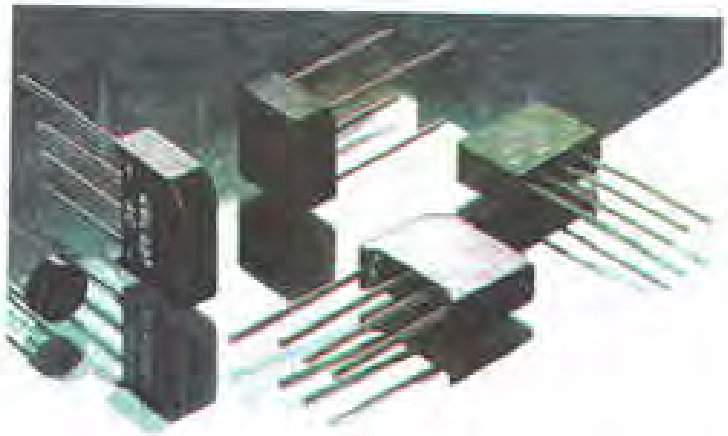
شکل ۱۱ــ۳ــ مدار یکسوساز تمام موج با پل دیود

ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور را با ولت‌متر AC اندازه بگیرید. ولتاژ دو سر بار را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید.

$V_{AC} = \ldots$ $V_{RL} = \ldots$

دیود مجتمع پُل: دیود مجتمع پل از چهار دیود تشکیل شده است که مطابق شکل ۱۲ـ۳ در یک محفظه قرار می‌گیرد.

شکل مداری دیود پل به صورت است.



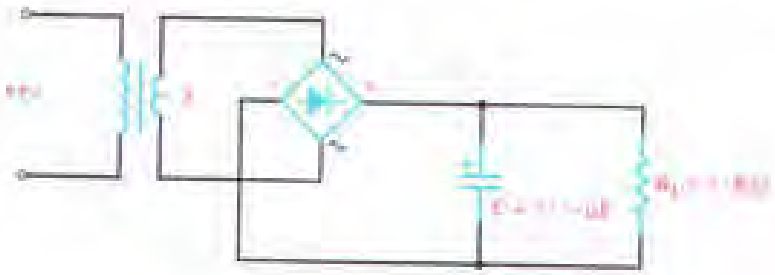
شکل ۱۲ـ۳ـ چند دیود مجتمع پُل

۱۲ـ۳ـ کار عملی شماره ۱۰

مراحل آزمایش: مدار یک‌سوساز تمام موج با دیود پل را مطابق شکل ۱۳ـ۳ ببندید.

ولتاژ دو سر بار را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید.

$V_{RL} = \ldots$

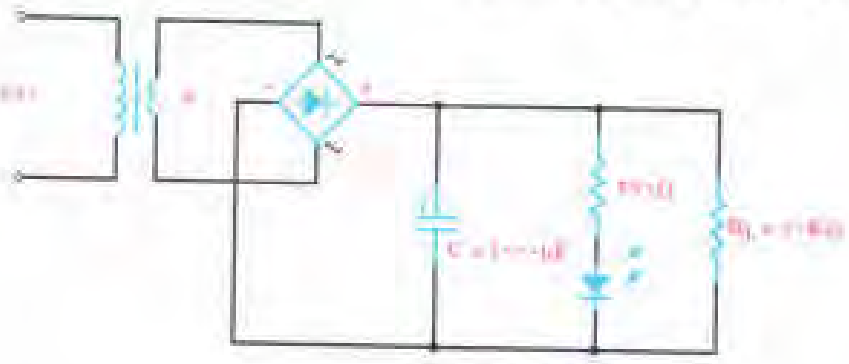


شکل ۱۳ـ۳ـ مدار یک‌سوساز تمام موج با دیود پل

۱۳ـ۳ـ کار عملی شماره ۱۱

منبع تغذیه با دیود نوردهنده: برای آن که نشان دهیم در خروجی مدار منبع تغذیه ولتاژ وجود دارد می‌توانیم یک LED را در مدار قرار دهیم. برای کنترل جریان عبوری از LED، باید مقاومتی را با آن سری کنیم.

مراحل آزمایش: مدار شکل ۱۴ـ۳ را ببندید.



شکل ۱۴ـ۳ـ مدار منبع تغذیه با دیود نوردهنده

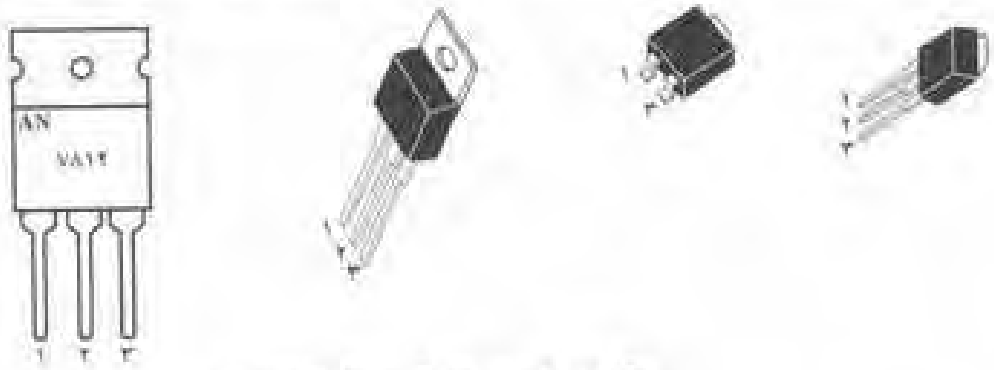
ولتاژ دو سر بار را با ولت‌متر DC و ولتاژ دو سر LED را با ولت متر DC اندازه بگیرید.

$V_{LED} = \cdots$ $V_{RL} = \cdots$

۱۴ـ۳ـ منبع تغذیه با آی سی رگولاتور

۱ـ۱۴ـ۳ـ اطلاعات مقدماتی: از خروجی مدار مجتمع (آی سی رگولاتور) می‌توان ولتاژ ثابت و کاملاً صاف دریافت کرد. در صورتی که بخواهیم از ولتاژ بیش‌تر ولتاژ ثابت کم‌تری دریافت کنیم از آی سی رگولاتور استفاده می‌کنیم. همواره باید ولتاژ ورودی آی سی رگولاتور بیش از ولتاژ خروجی آن باشد. این مدارات مجتمع با ولتاژها و آمپرهای مختلف ساخته می‌شوند. اگر خروجی آی‌سی رگولاتور اتصال کوتاه شود یا از آی سی جریان بیش از اندازه کشیده شود، معمولاً آی سی همچنان محافظت می‌شود زیرا مدار محافظ داخلی آن مانع از آسیب دیدن آی سی خواهد شد.

یک نمونه از آی سی‌های رگولاتور شامل آی‌سی‌های سری ANV۸XX است. به‌عنوان مثال ANV۸۰۵ دارای ولتاژ خروجی برابر ۵ ولت است. همچنین آی سی شماره ANV۸۰۶ دارای ولتاژ خروجی برابر ۶ ولت و آی سی ANV۸۱۲ دارای ولتاژ خروجی برابر ۱۲ ولت است و حداکثر جریان خروجی این آی‌سی‌ها برابر یک آمپر است. شکل ۱۵ـ۳ چند نمونه آی‌سی رگولاتور را نشان می‌دهد. در این آی‌سی، پایه‌ی شماره‌ی ۱ ورودی و پایه‌ی شماره‌ی ۳ خروجی و پایه‌ی شماره‌ی ۲ مشترک است. آی‌سی‌های رگولاتور با جریان ماکزیمم ۱۰۰mA تا ۵A نیز وجود دارند. در بعضی آی‌سی‌های رگولاتور می‌توان ولتاژ خروجی را تغییر داد و به‌وسیله‌ی آن‌ها یک منبع تغذیه‌ی متغیر ساخت. مانند آی‌سی رگولاتور شماره LM۳۱۷ که یک آی‌سی رگولاتور قابل تنظیم سه پایه است. مشخصات آی‌سی‌های رگولاتور را می‌توانید از کتاب آی‌سی‌ها به‌دست آورید.



شکل ۱۵ـ۳ـ چند نمونه آی‌سی رگولاتور سه‌پایه

۱۵ـ۳ـ کار عملی شماره ۱۲

مراحل آزمایش: منبع تغذیه‌ی ثابت با آی‌سی رگولاتور.

- مدار شکل ۱۶ـ۳ را ببندید.
- ولتاژ ثانوی ترانس را با ولت‌متر AC اندازه بگیرید.

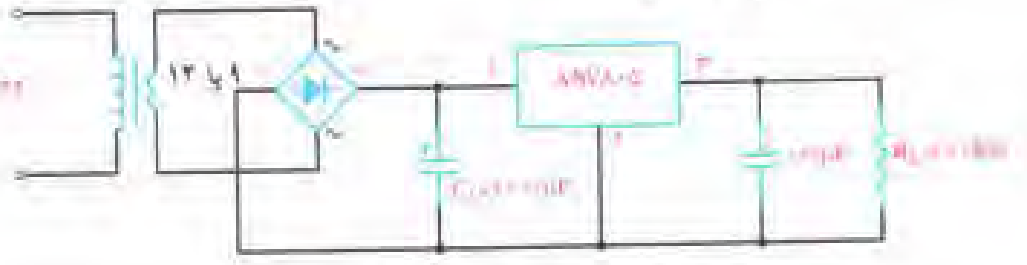
ولت $V_S = \cdots$

- ولتاژ دو سر خازن C_1 را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید.

ولت $V_{C_1} = \cdots$

- ولتاژ دو سر بار را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید.

ولت $V_{RL} = \cdots$



شکل ۱۶ـ۳ـ مدار منبع تغذیه با آی‌سی رگولاتور سه‌پایه

۱۶ـ۳ـ کار عملی شماره ۱۴

مراحل آزمایش: منبع تغذیه‌ی ۵ ولت برق و باتری و یا کلید تبدیل اتوماتیک.

مدار شکل ۱۷ـ۳ را ببندید.

ـ اولیه‌ی ترانس را به برق وصل کنید. سپس ولتاژ دو سر خازن C_1 را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید. $V_{C_1} = \cdots V$

ـ ولتاژ پایه‌ی یک آی‌سی رگولاتور را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید. $V_1 = \cdots V$

ـ ولتاژ خروجی آی‌سی رگولاتور را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید. $V_2 = \cdots\cdots V$

برق ورودی ترانس را قطع کنید، سپس ولتاژ دو سر خازن C_1 را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید. $V'_{C_1} = \cdots V$

ولتاژ ورودی آی‌سی رگولاتور را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید. ولتاژ خروجی آی‌سی رگولاتور را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید. $V'_2 = \cdots V$

خلاصه‌ی نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های فوق را یادداشت کنید.

شکل ۱۷ـ۳ـ نوع دیگر مدار منبع تغذیه با آی‌سی رگولاتور سه‌پایه

پرسش

۱ـ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه را رسم کنید.

۲ـ نقش خازن صافی را در منابع تغذیه شرح دهید.

۳ـ آیا ظرفیت خازن صافی در مقدار ولتاژ خروجی منبع تغذیه تأثیر دارد؟

۴ـ چرا از آی‌سی‌های رگولاتور در منابع تغذیه استفاده می‌کنیم؟

۵ـ کلید قطع و وصل الکترونیکی برق و باتری نسبت به کلید مکانیکی چه مزایایی دارد؟

فصل چهارم

نقشه‌های الکترونیکی

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

۱ـ شکل مداری بعضی از قطعات مدارهای الکترونیکی را رسم کند.

۲ـ بلوک دیاگرام یک مدار الکترونیکی ساده را رسم کند.

۳ـ نقشه‌ی یک مدار الکترونیکی ساده را رسم کند.

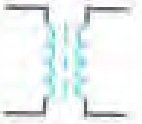
۱ـ۴ـ اطلاعات مقدماتی

نقشه‌ی الکترونیکی عبارت است از مجموعه‌ی علایم گوناگون که ارتباط عناصر مختلف موجود در یک مدار را با یکدیگر مشخص می‌کند. در یک مدار الکترونیکی معمولاً قطعات و المان‌های متفاوتی به‌کار می‌رود. برای هر المان الکترونیکی یک علامت فنی (شمای فنی) در نظر گرفته می‌شود. شمای فنی هر المان باید طوری انتخاب شود که گویای کار و مشخصات همان المان باشد.

از این‌رو معمولاً از یک جدول مرجع استاندارد استفاده می‌شود. در جدول ۱ـ۴ شمای فنی همراه با حرف یا حروف اختصاری و اصطلاح انگلیسی بعضی از قطعات الکترونیک آورده شده است.

جدول ۱ـ۴ـ علائم اختصاری قطعات

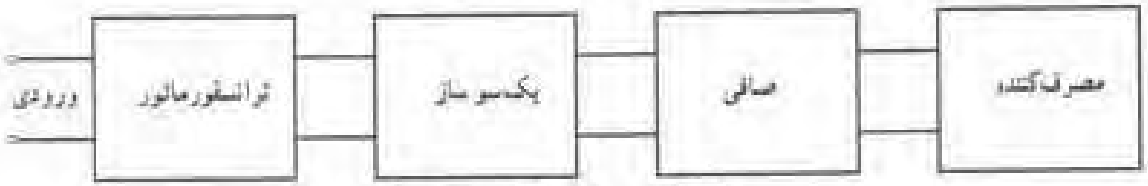
شرح	شمای فنی	علامت اختصاری	انگلیسی
اتصال زمین		E	Earth ground
اتصال شاسی ـ اتصال بدنه			Chassis of frame connection
اتصال مشترک		TB	Common connection
نقطه‌ی اتصال			Junction of connecind
مقاومت اهمی		R	Resistor
مقاومت متغیر			
پتانسیومتر(مقاومت متغیر قابل تنظیم با پیچ گوشتی)		R	Potentiometer

Positive and negative Tem Petore coefficient	PTC		مقاومت تابع حرارت
	NTC		مقاومت تابع حرارت
Capacitor	C		خازن
Electrolytic capacitor	C		خازن الکترولیت
Variable capacitor	C		خازن متغیر
Coil with Air core	L		بوبین با هسته‌ی هوا
Coil with Magnetic core	L		بوبین با هسته‌ی زغالی(فریت)
Transformer with Magnetic core	T		ترانسفورماتور با هسته‌ی آهنی
Transformer with Variable ferrite cor	T		ترانسفورماتور با هسته‌ی متغیر فریتی
Auto Transformer	T		اوتوترانسفورماتور
Single cell Battery	BT		باتری یک واحدی
Multiple cell Battery	BT		باتری چند واحدی
Fuse	F		فیوز
Antenna	A		آنتن
Loud Speaker	LS		بلندگو
Ac Oscillator	OS		نوسان‌ساز سینوسی
Diode	D		دیود نیمه هادی
Zener diode	DZ		دیود زنر

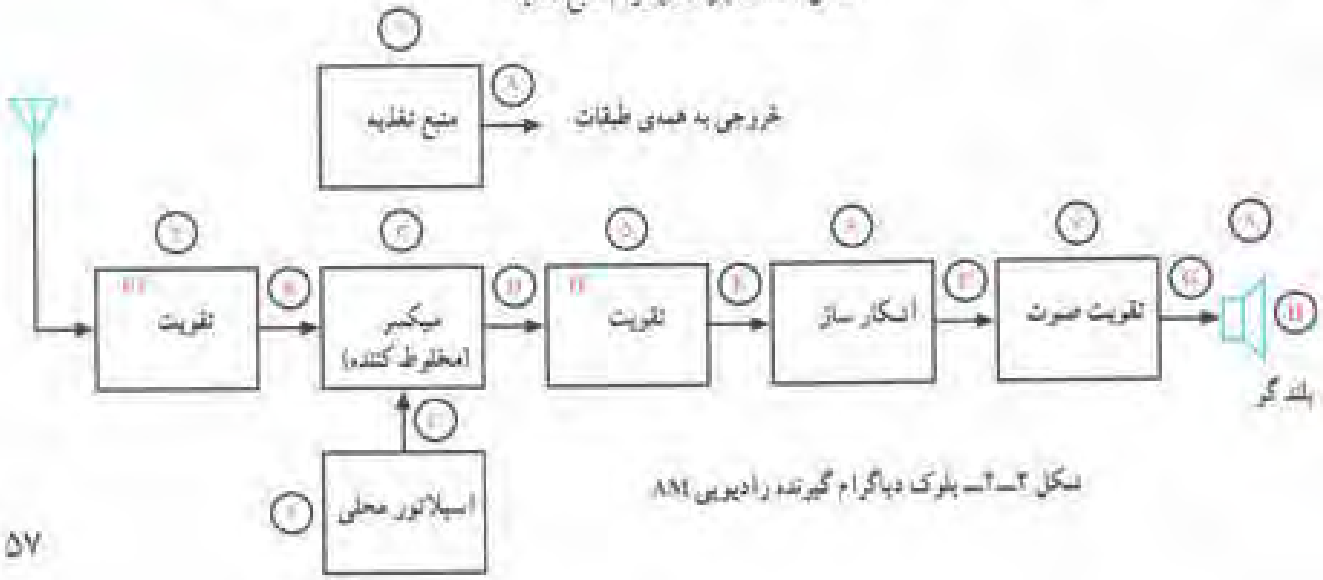
Light Emitting diode	LED		دیود نوردهنده
Photo Diode			دیود نوری(فتودیود)
NPN Transistor			ترانزیستور NPN
PNP Transistor			ترانزیستور PNP
Silicon controlled Rectifier	SCR		یکسوکننده‌ی قابل کنترل سیلیکونی
Unijunction Transistor	UJT		ترانزیستور تک‌پیوندی
Amplifier	AMP		تقویت‌کننده

۲ـ۴ـ طریقه‌ی ترسیم نقشه‌های الکترونیکی

برای آن که کار هر مجموعه از مدارهای الکترونیکی را به‌طور جداگانه نشان دهیم لازم است از بلوک دیاگرام استفاده کنیم. برای این منظور معمولاً مشخصات فنی و نام هر مدار را در داخل مستطیل یا بلوک مخصوص می‌نویسیم و ورودی‌ها و خروجی‌های هر بلوک را مشخص می‌کنیم. در شکل ۱ـ۴ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه و در شکل ۲ـ۴ بلوک دیاگرام یک گیرنده‌ی رادیویی رسم شده است.



شکل ۱ـ۴ـ بلوک دیاگرام منبع تغذیه



شکل ۲ـ۴ـ بلوک دیاگرام گیرنده رادیویی AM

در ترسیم نقشه‌های الکترونیکی باید قواعد و قراردادهایی را رعایت کرد. بعضی از مهم‌ترین قراردادها به شرح زیر است:

۱ـ نحوه‌ی کلی ترسیم مدارها باید از سمت چپ به سمت راست باشد.

۲ـ ورودی‌ها در طرف چپ صفحه و خروجی‌ها در طرف راست صفحه قرار گیرد.

۳ـ متناسب با مراحل کار دستگاه، مدار به ترتیب و در دنباله‌ی هم رسم شود.

۴ـ مقادیر ولتاژهای پیش‌تر در بالای صفحه و مقادیر ولتاژهای کم‌تر در پایین صفحه قرار گیرند. (مثلاً مقادیر ولتاژ یک مدار ترانزیستوری به صورت ۱۲۷+ در بالای صفحه و علامت زمین به صورت ⏚ در پایین صفحه مشخص می‌شود).

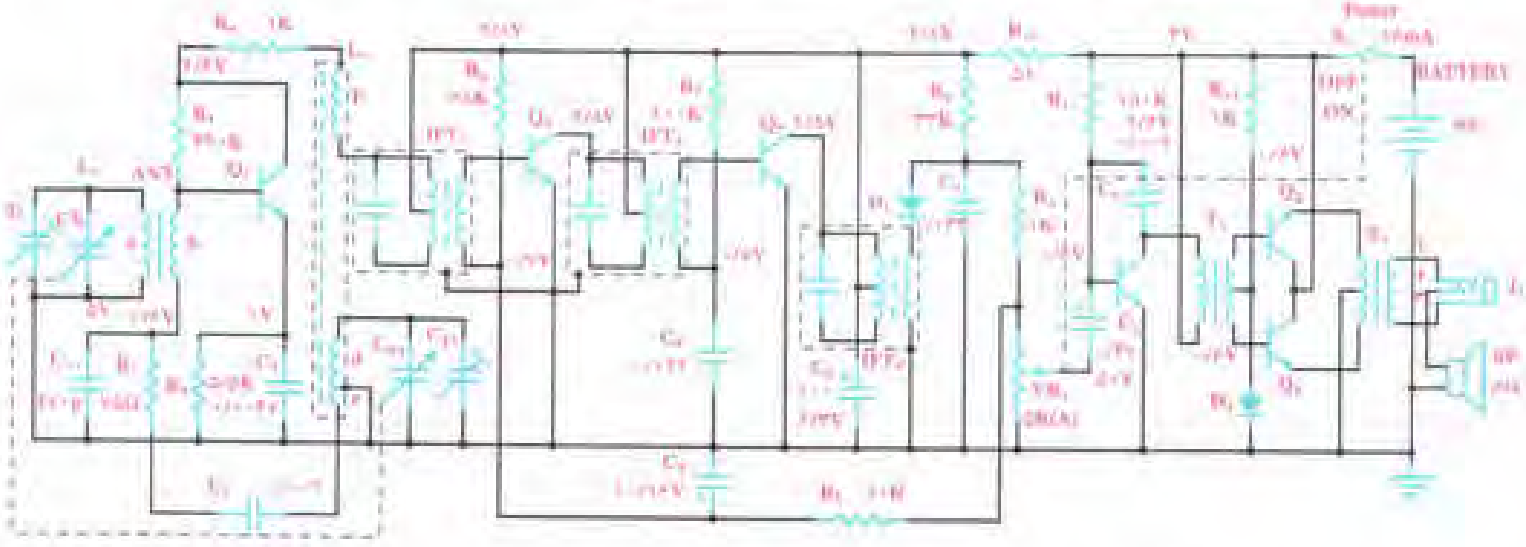
۵ ـ مدارهای معینی که در نقشه وجود دارد ولی قسمت اصلی مدار را تشکیل نمی‌دهد (مانند منابع تغذیه) باید در نیمه‌ی پایینی صفحه کشیده شوند.

۶ ـ خطوط اتصال بین اجزای مدار باید به‌طور دقیق رسم شوند.

۷ـ تا آن‌جایی که مقدور است خطوط به صورت قائم (۹۰°) یکدیگر را قطع کنند.

۸ ـ وقتی که خطوط یکدیگر را قطع می‌کنند و در همان نقطه‌ی برخورد نیز به یکدیگر وصل می‌شوند باید محل اتصال با یک نقطه‌ی توپُر مشخص شود.

در شکل ۳ـ۴ خصوصیات کلی ترسیم یک نقشه‌ی الکترونیکی تا حدودی رعایت شده است:



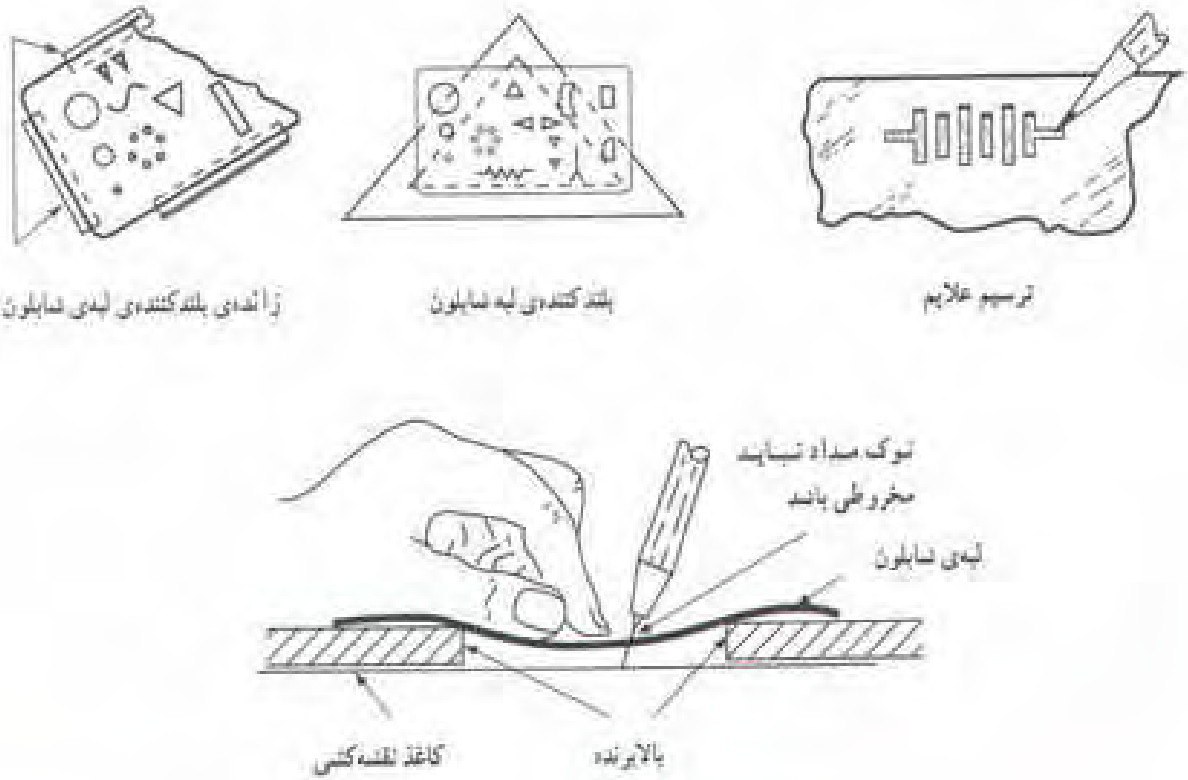
شکل ۳ـ۴ـ نقشه‌ی کامل گیرنده‌ی رادیویی ۶ ترانزیستوری یک موج AM

امروزه با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری بدون استفاده از شابلون می‌توان نقشه‌های مدارهای الکترونیکی را به‌صورت استاندارد ترسیم کرد.

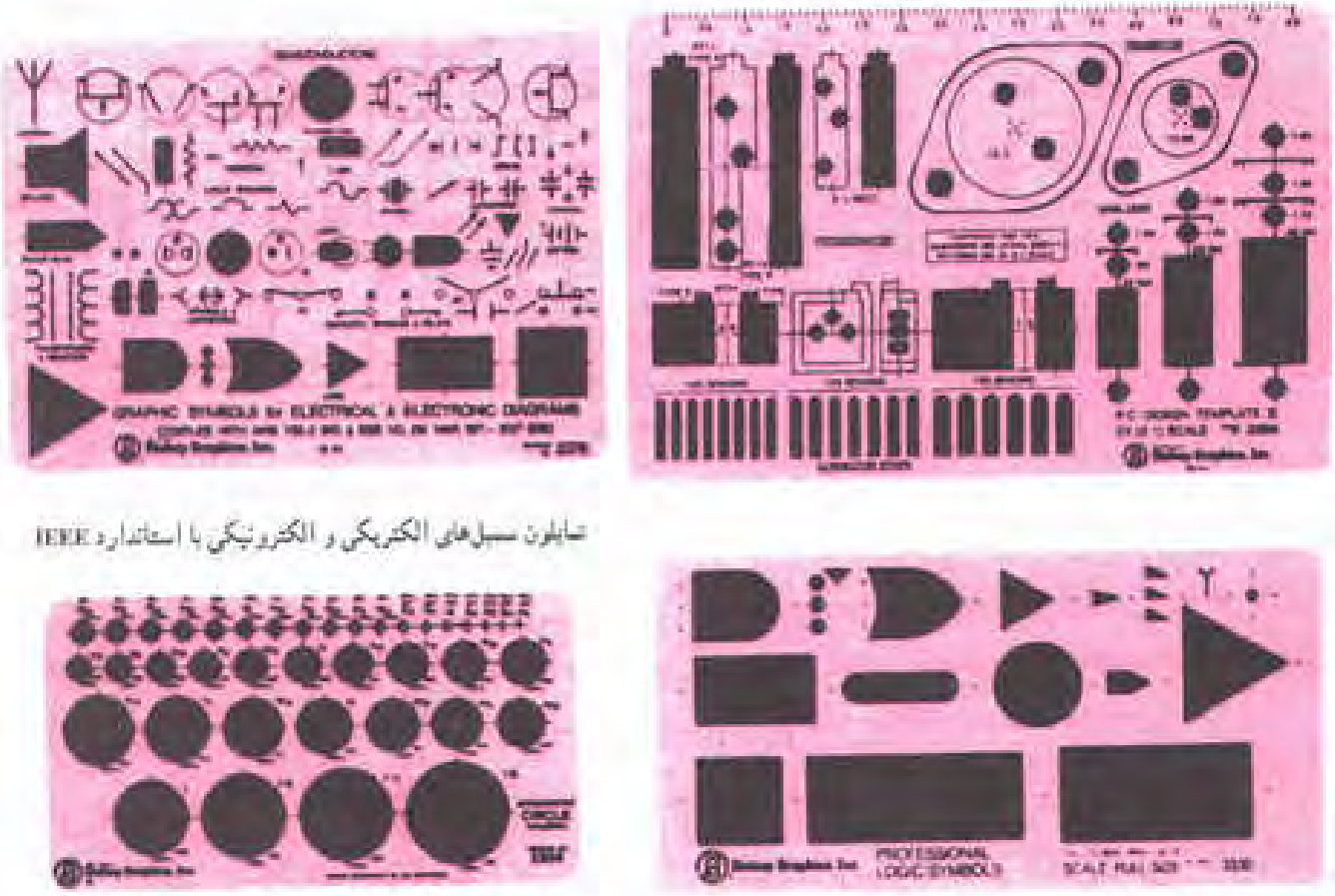
۳ـ۴ـ انواع شابلون‌های الکترونیکی

در ترسیم نقشه‌های الکترونیکی باید شمای فنی عناصر مدار با اندازه و مقیاس مناسب رسم شوند. برای سرعت بخشیدن در کار نقشه‌کشی و رعایت اندازه‌ی قطعات در تمام نقشه‌ها از ابزارهایی مانند شابلون استفاده می‌کنند. در شکل ۴ـ۴ نحوه‌ی استفاده از شابلون، طریقه‌ی قرار دادن فاصله مابین کاغذ و شابلون و نحوه‌ی ترسیم علایم بر روی کاغذ دیده می‌شود.

در شکل ۵ ـ۴ چند نمونه شابلون را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴ــ۴ــ استفاده از شابلون



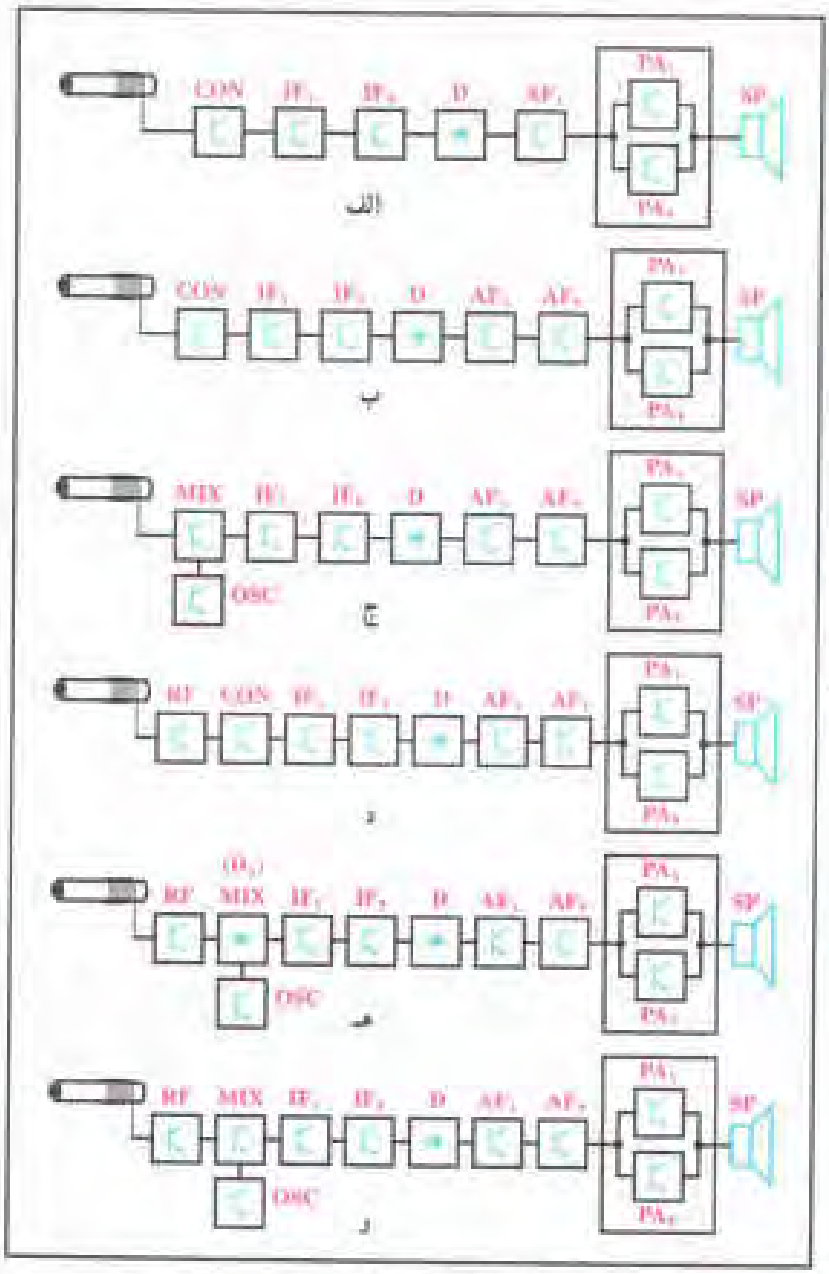
شابلون سمبل‌های الکتریکی و الکترونیکی با استاندارد IEEE

شکل ۵ ــ۴ــ چند نمونه شابلون

۴ـ۴ـ کار عملی شماره ۱

در شکل ۶ـ۴ بلوک دیاگرام انواع گیرنده رادیویی سوپرهترودین ترسیم شده است.

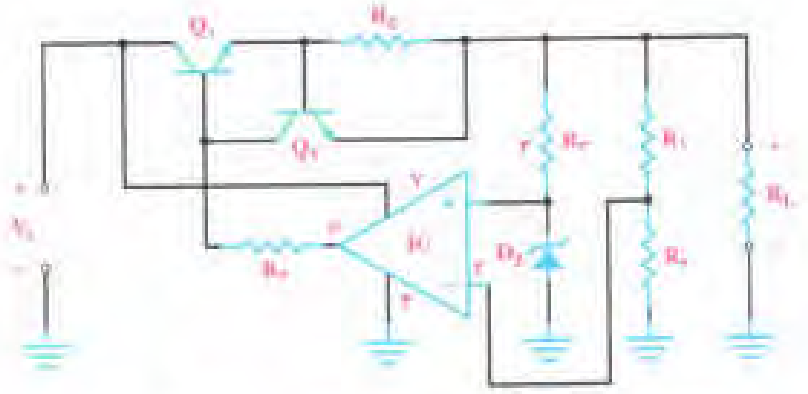
بلوک دیاگرام‌ها را با مقیاس مناسب (مقیاس مناسب را معلم تعیین می‌کند) روی کاغذ میلی‌متری و یا در صورت امکان روی کاغذ کالک ترسیم کنید.



شکل ۶ـ۴ـ بلوک دیاگرام انواع گیرنده رادیویی سوپرهترودین

۵ـ۴ـ کار عملی شماره ۲

نقشه‌ی رگولاتور ولتاژ شکل ۷ـ۴ را روی کاغذ میلی‌متری و در صورت امکان روی کاغذ کالک با مقیاس مناسب رسم کنید.

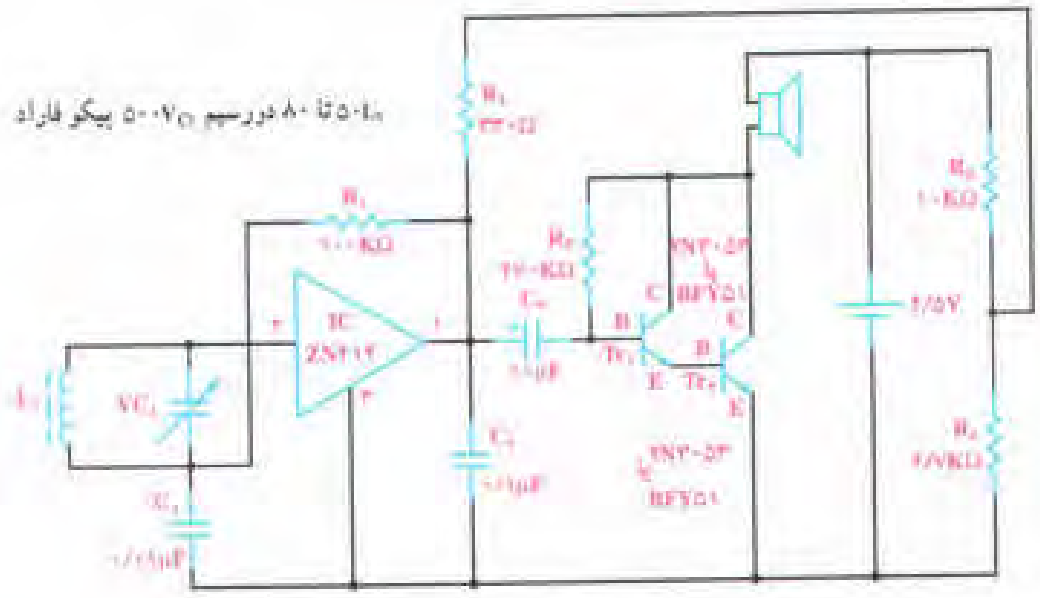


$R_1 = ۲۲K$ $R_2 = ۱K$ $R_3 = ۱/۵\Omega$ $Q_1 = ۲N۳۰۵۵$ $IC = ۷۴۱$
$R_4 = ۲۹K$ $R_5 = ۱۰\Omega$ $DZ = ۶/۲V$ $Q_2 = BC۱۰۷$

شکل ۷ــ۴ــ نقشه‌ی مدار رگولاتور

۶ــ۴ــ کار عملی شماره ۳

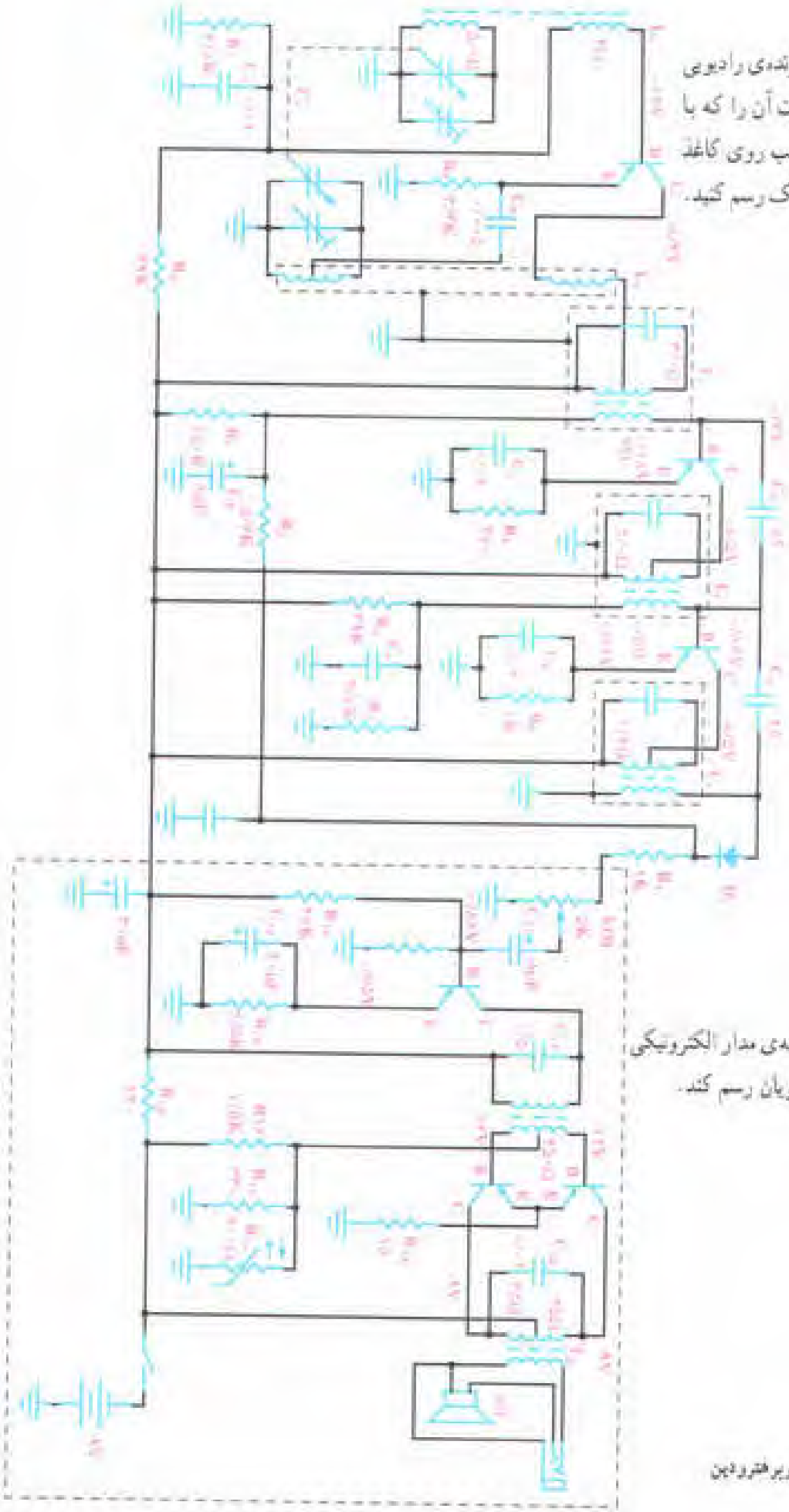
نقشه‌ی رادیو (شکل ۸ــ۴) را روی کاغذ میلی‌متری و در صورت امکان روی کاغذ کالک با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۸ــ۴ــ نقشه‌ی رادیو

۷ــ۴ــ کار عملی شماره ۴

نقشه‌ی شکل ۹ــ۴ مدار کامل یک گیرنده‌ی رادیویی سوپرهترودین است. نقشه‌ی تقویت صوت آن را که با خط‌چین مشخص شده است با مقیاس مناسب روی کاغذ میلی‌متری و در صورت امکان روی کاغذ کالک رسم کنید.



شکل ۹ــ۴ــ مدار کامل رادیو سوپرهترودین

۸ــ۴ــ کار عملی شماره ۵

در صورت امکان معلّم یک نمونه نقشه‌ی مدار الکترونیکی را با استفاده از کامپیوتر در حضور هنرجویان رسم کند.

فصل پنجم

طراحی مدار چاپی

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

۱ـ انواع فیبر مدار چاپی را از یکدیگر تمیز دهد.

۲ـ استانداردهای نحوه‌ی طراحی مدار چاپی را شرح دهد.

۳ـ نقشه‌ی مدار چاپی را مطابق استاندارد تهیه کند.

۴ـ به روش‌های مختلف، نقشه‌ی مدار چاپی را روی فیبر انتقال دهد.

۵ـ به روش‌های مختلف فیبر مدار چاپی را تهیه کند.

۶ـ به روش صحیح قطعات را روی مدار چاپی مونتاژ کند.

۱ـ۵ـ اطلاعات مقدماتی

در گذشته برای ساختن یک مدار الکترونیکی ابتدا نقشه‌ی مدار را روی فیبر مخصوص قرار می‌دادند، سپس جای پایه‌های المان‌های الکترونیکی را روی فیبر سوراخ می‌کردند و پایه‌ها را طبق نقشه از زیر با سیم به‌هم اتصال می‌دادند. این عمل به علت اشغال جای زیاد، وجود سیم‌های متعدد و عبور سیم‌ها از روی یکدیگر، پارازیت زیادی را در مدار به‌وجود می‌آورد. امروزه به علت پیشرفت علم الکترونیک و پیچیده‌تر شدن مدارات الکترونیکی این طریقه سیم‌کشی دیگر استفاده‌ای ندارد و از مدار چاپی استفاده می‌شود.

در یک مدار چاپی عناصر روی یک طرف فیبر قرار می‌گیرند و خطوط ارتباطی به‌وسیله‌ی لایه نازک مسی که در طرف دیگر فیبر وجود دارد برقرار می‌شود. استفاده از مدار چاپی حجم مدار را کوچک می‌کند، علاوه بر این که در این روش می‌توان ضخامت و فواصل خطوط عبور جریان را به‌طور دقیق ترسیم کرد و مانع ایجاد ظرفیت خازنی پراکنده شد. به‌طور کلی مزایای مدار چاپی در مقایسه با مدارهای سیم‌کشی به شرح زیر است:

۱ـ از شلوغ شدن اتصالات و سیم‌کشی‌ها جلوگیری می‌شود.

۲ـ اندازه‌ی مدارها کوچک می‌شود.

۳ـ به هنگام تعمیر مدار دنبال کردن خطوط به سهولت انجام می‌شود.

۴ـ مونتاژ مدار سریع و آسان و مقرون به‌صرفه است.

۵ـ تکثیر و تولید زیاد لوازم الکترونیکی آسان‌تر است.

مزایای فوق سبب شده است که تمام کارخانه‌های تولیدکننده‌ی لوازم الکترونیکی از مدار چاپی استفاده کنند.

صرف‌نظر از روش‌های مختلف طراحی و تکثیر مدار چاپی اجرای مراحل زیر در تمام روش‌ها مشابه است:

۱ـ چسباندن ورقه‌ی نازک مس روی فیبر عایق (مرحله‌ی ساخت فیبر).

۲ـ طراحی مدار چاپی با در نظر گرفتن اندازه‌ی حقیقی و استانداردهای موجود.

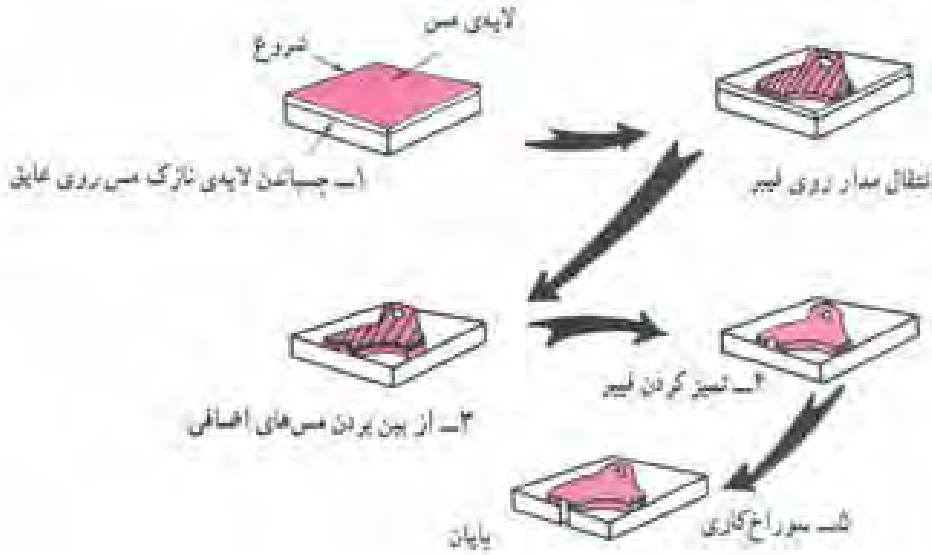
۳ـ استفاده از روش‌های رایج در انتقال مدار روی فیبر.

۴ـ قرار دادن فیبر در داخل اسید و از بین بردن مس‌های اضافی.

۵ـ تمیز کردن فیبر و سوراخ کردن آن.

۶ـ لحیم‌کاری و مونتاژ عناصر روی فیبر.

در شکل ۱ـ۵ پنج مرحله از مراحل فوق نشان داده شده است.



شکل ۱ـ۵ـ مراحل تهیه‌ی مدار چاپی

۲ـ۵ ـ انواع فیبر مدار چاپی

فیبرهای مدار چاپی به صورت یک لایه و دولایه یا چند لایه ساخته می‌شوند. در فیبرهای یک لایه فقط در یک طرف فیبر لایه‌ی مس وجود دارد. در این روش ارتباط بین پایه‌های قطعات و هدایت جریان فقط در یک طرف انجام می‌شود و المان‌ها در طرف دیگر قرار می‌گیرند. در فیبرهای دولایه در دوطرف فیبر لایه‌ی مسی وجود دارد. برای ارتباط پایه‌های قطعات از دوطرف فیبر استفاده می‌شود.

فیبر دولایه برای مدارهایی با ارتباط زیاد و حجم کم استفاده می‌شود اخیراً در مدارهای پیچیده‌ی الکترونیکی از فیبرهای چندلایه استفاده می‌شود که دارای تکنولوژی پیشرفته‌ای است.

۳ـ۵ ـ جنس فیبرها

فیبرها ازنظر جنس به دو دسته فیبر فنولی و فیبر فایبرگلاس، تقسیم می‌شوند.

الف ـ فیبر فنولی: فیبر فنولی از ترکیب لایه‌های کاغذ در محلول فنول ساخته می‌شود و رایج‌ترین نوع فیبر برای مدار چاپی است. این فیبرها به‌صورت استاندارد در ضخامت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر ساخته می‌شوند، و قیمت آن‌ها ارزان است. و در تولید اغلب دستگاه‌های تجارتی به‌کار می‌روند؛ امّا چون در مقابل حرارت مقاومت زیادی ندارند، در دستگاه‌های حساس و گران‌قیمت از آن‌ها استفاده نمی‌شود.

ب ـ فیبر فایبرگلاس: این فیبرها دارای انواع مختلف است و از ترکیب فشرده‌ی الیاف پشم‌شیشه در محلول چسب‌های مختلف مانند اپوکسی ساخته می‌شود. این فیبر تحمل حرارت زیاد را دارد و از نظر استحکام نیز مقاوم‌تر از فیبر فنولی است. چون ارتباط بین پایه‌های عناصر از پشت این نوع فیبر دیده می‌شود. مونتاژ مدار و بررسی آن هنگام تعمیر آسان‌تر است. به علت قدرت تحمل حرارت و استحکام این نوع فیبر، از آن در دستگاه‌های گران‌قیمت استفاده می‌شود. در جدول ۱ـ۵ بعضی از مشخصات فیبرهای فنولی و فایبرگلاس آورده شده است.

جدول ۱ـ۵ ـ مشخصات فیبرهای فنولی و فایبرگلاس

ماکزیمم زمان لحیم‌کاری در ۲۶۰ درجه پرحسب S	حداکثر مقاومت در برابر فشار N/cm^2	ثابت دی‌الکتریک	مقاومت فیبر MΩ	نوع فیبر
۵	۷۰۰۰	۵/۳	۱۰۴	فیبر فنولی
۳۰	۳۱۰۰۰	۵/۸	۱۰۴	فیبر فایبرگلاس

۴ـ۵ـ ضخامت لایه‌های مس روی فیبر

لایه‌های مس چسبانده شده روی فیبر مدار چاپی نیز دارای استانداردهای مشخص است. ضخامت لایه‌ی مس چسبانده شده بر روی فیبر معمولاً ۲۵ـ ۵۰ ـ ۷۵ میکرومتر است.

به علت نازک بودن لایه‌ی مس، ارتباط پایه‌های عناصر دارای محدودیت‌هایی است. این محدودیت‌ها شامل حداکثر جریان عبوری از خطوط ارتباطی و ماکزیمم مقاومت ایجاد شده در محل اتصالات است. همچنین ولتاژی هم که می‌توان بین دو نقطه اتصال داد، دارای محدودیت است. در طراحی برای فرکانس بالا خاصیت خازنی باید در نظر گرفته شود. برای در نظر گرفتن محدودیت‌های فوق جداول و استانداردهایی وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن‌ها مدار چاپی را بدون اشکال طراحی کرد.

۵ـ۵ـ محاسبه‌ی ماکزیمم جریان عبوری از لایه‌ی مس

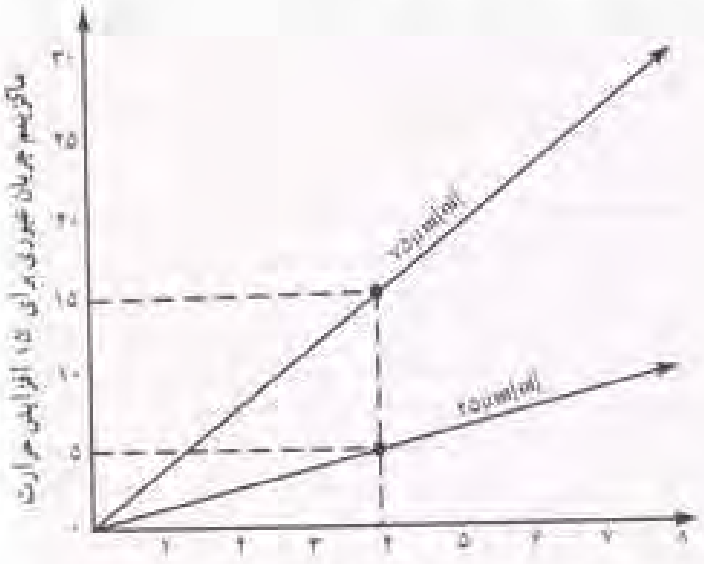
برای محاسبه‌ی ماکزیمم جریان عبوری از لایه‌های مس با پهنای مختلف از نمودار شکل ۲ـ۵ استفاده می‌شود.

در این شکل ابتدا با داشتن پهنای خطوط ارتباطی از منحنی پایین، سطح مقطع محل عبور جریان به‌دست می‌آید. سپس با استفاده از منحنی بالایی ماکزیمم جریان عبوری مجاز تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال خطی با پهنای ۴ mm روی فیبر با لایه‌ی مسی به‌ضخامت ۷۵μm، دارای سطح مقطعی برابر $0/3mm^2$ است. ماکزیمم جریان قابل عبور از این سطح مقطع با توجه

شکل ۲ـ۵

به نمودار برابر ۱۰ ـ ۸ خواهد بود. این مقدار جریان به اندازه‌ی ۱۰ درجه حرارت مس را بالا می‌برد.

برای درجه حرارت‌های مختلف منحنی‌های دیگری نیز وجود دارد. در شکل ۳ـ۵ ماکزیمم جریان عبوری به‌طور مستقیم قابل محاسبه است.



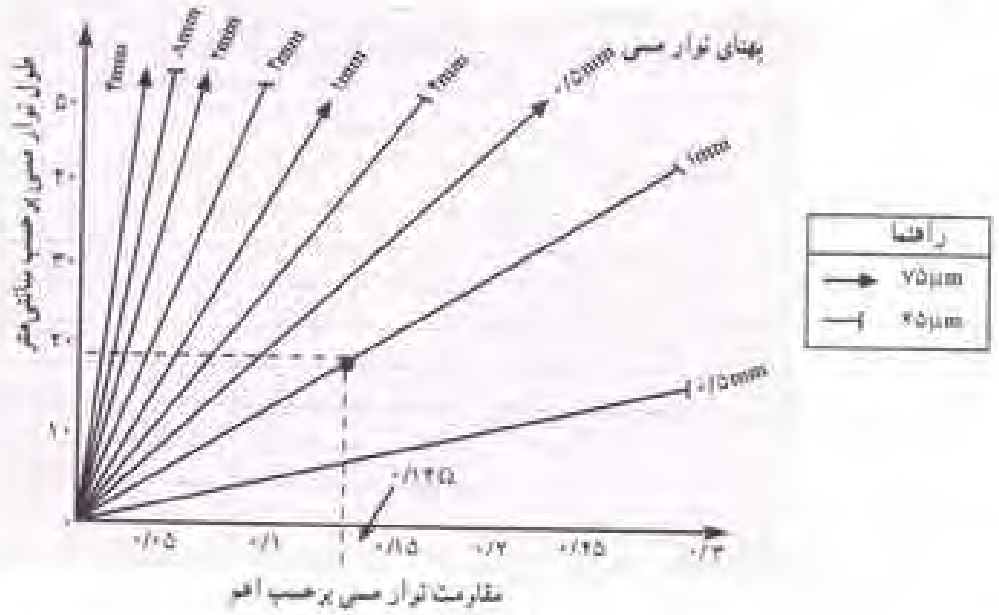
شکل ۳ـ۵

۶ــ۵ــ محاسبه‌ی مقاومت خطوط ارتباطی

مقاومت ایجاد شده بر روی فیبر مدار چاپی در از خطوط ارتباطی، بستگی به ضخامت لایه‌ی مس و پهنای خطوط ارتباط دارد. مقاومت ایجاد شده باید طوری در نظر گرفته شود که باعث افت ولتاژ در طول مسیر و نیز تلفات قدرت بیش از حد نشود. با داشتن سطح مقطع و طول یک هادی می‌توان مقاومت آن را محاسبه کرد. منحنی شکل ۲ــ۵ مقاومت خطوط ارتباطی را با پهنا و طول‌های مختلف نشان می‌دهد.

به عنوان مثال مقاومت خطی به طول ۲۰ cm و پهنای ۱ mm بر روی فیبری با لایه‌ی ۳۵μm برابر ۰/۱۴ اهم است.

اگر از این خط ارتباطی جریانی برابر ۲ A عبور کند، افت ولتاژی برابر ۰/۲۸ ولت ایجاد می‌شود.



شکل ۲ــ۵

۷ــ۵ــ فاصله‌ی خطوط ارتباطی

در بعضی مدارها که به مقاومت کم یا وات بالا نیاز است می‌توان از لایه‌ی مسی روی فیبر به‌عنوان مقاومت استفاده کرد. با اضافه نمودن فواصل پایه‌ی المان‌ها می‌توان طول لایه‌ی مسی را اضافه نمود و مقاومت مورد نظر را به‌دست آورد.

حداقل فاصله‌ی بین دو خط ارتباطی با توجه به ولتاژ مدار محاسبه می‌شود. اگر فاصله‌ی خطوط با در نظرگرفتن ولتاژ مدار از حد مجاز کم‌تر شود باعث ایجاد جرقه و یا ارتباط بین دو خط می‌شود. در جدول ۲ــ۵ حداقل فاصله‌ی بین دو نقطه متناسب با ولتاژ مدار آورده شده است.

جدول ۲ــ۵

ولتاژ DC یا ماکزیمم ولتاژ AC	۰ــ۵۰	۵۱ــ۱۰۰	۱۰۱ــ۱۷۰	۱۷۱ــ۲۵۰	۲۵۱ــ۵۰۰
حداقل فاصله mm	۰/۵	۰/۷	۱	۱/۲	۳

۸ــ۵ــ استاندارد طراحی مدار چاپی

تبدیل یک نقشه‌ی الکترونیکی به نقشه‌ی مدار چاپی باید طبق استانداردهای موجود انجام پذیرد. مدار چاپی باید با رعایت فواصل پایه‌ها، حجم المان‌ها و یا اندازه‌ی حقیقی قطعات طراحی شود. علاوه بر رعایت اندازه‌ی قطعات نکات مهم زیر نیز در طراحی مدار چاپی باید رعایت شود:

۱ـ نقشه‌های الکترونیکی به‌صورتی به نقشه‌ی مدار چاپی تبدیل شود که ورودی‌ها در یک طرف و خروجی‌ها در طرف دیگر قرار گیرند.

۲ـ قطعات حرارتی نظیر مقاومت‌ها و ترانزیستورهای پر وات در کنار المان‌های حساس به حرارت مانند دیودها و ترانزیستورهای کوچک قرار نگیرد.

۳ـ قطعات در مدار به‌صورتی کنار یکدیگر قرار گیرند که هنگام تعمیر به راحتی بتوان آن‌ها را تعویض کرد.

۴ـ مکان‌هایی که در نقشه‌ی الکترونیکی دیده نمی‌شوند مانند رادیاتور جای پیچ و غیره باید در نظر گرفته شود.

۵ ـ پهنای خطوط باید متناسب با جریان عبوری و مقاومت ایجاد شده باشد.

۹ـ۵ـ طرز تهیه‌ی طرح مدار چاپی

برای طرح مدار چاپی باید مراحل زیر اجرا شود.

۱ـ با استفاده از نقشه‌ی مدار، روی یک صفحه کاغذ با ابعاد مناسب جای قطعات را مشخص می‌کنیم. جای قطعات نباید از ابعاد قطعات کوچک‌تر باشد. محل قطعات را می‌توان تغییر داد.

۲ـ برای پایه‌ی هر قطعه یک دایره منظور می‌کنیم. حتی اگر در یک منطقه چندین پایه نزدیک به یکدیگر قرار داشته باشند باید برای هر پایه یک دایره منظور شود.

۳ـ فواصل پایه‌ها باید با فواصل حقیقی مطابقت داشته باشد مثلاً اگر فاصله‌ی پایه‌های یک مقاومت ۲ واتی که به‌طور افقی روی فیبر قرار می‌گیرد ۱۷ mm باشد باید در طراحی مدار چاپی نیز حداقل ۱۷ mm فاصله بین دو پایه در نظر گرفته شود.

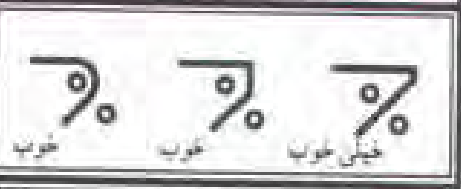
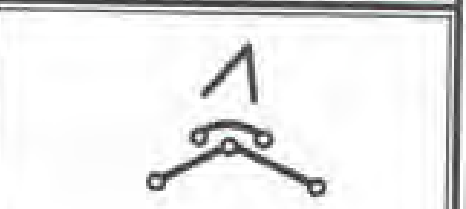
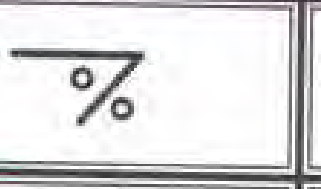
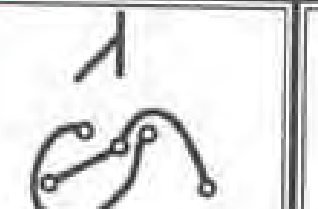
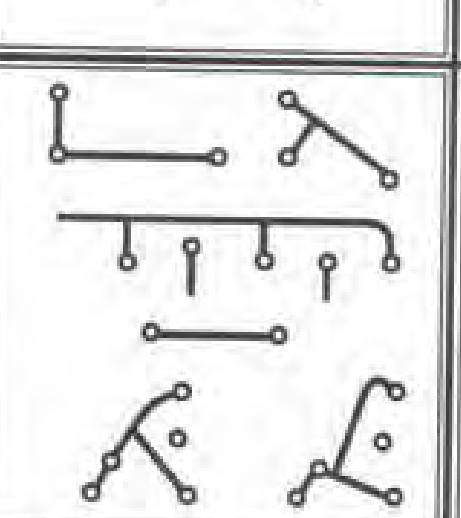
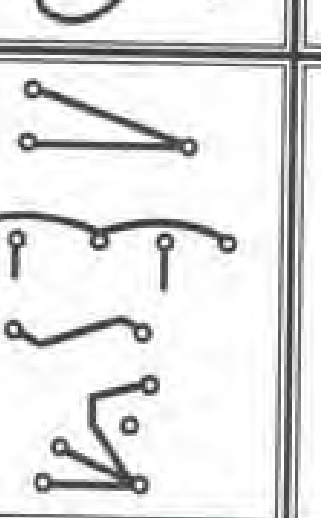
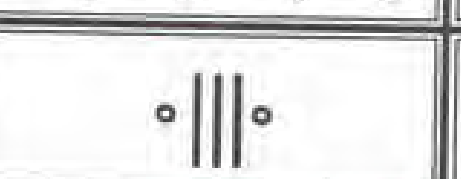
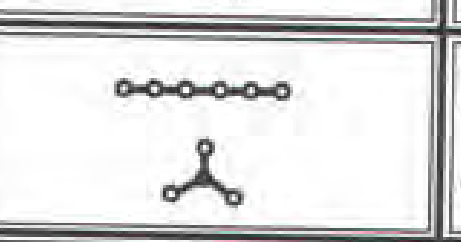
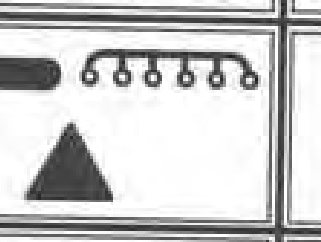
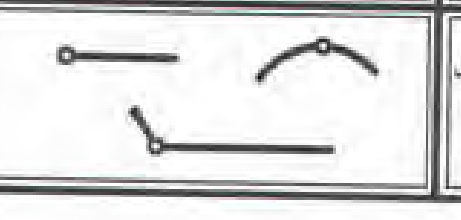
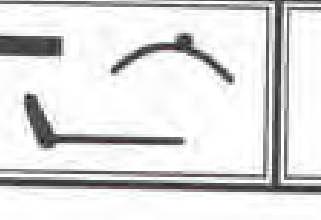
۴ـ پایه‌هایی را که بر روی نقشه به یکدیگر متصل هستند با کوتاه‌ترین فاصله‌ی ممکن به هم وصل کنید. باید توجه داشته باشید که اگر دو سیم از روی یکدیگر عبور کنند ولی اتصال نداشته باشند این خطوط روی فیبر مدار چاپی نباید به‌هم وصل شوند.

۵ـ چون قطعات مدار در یک طرف فیبر و مدار چاپی در طرف دیگر فیبر قرار می‌گیرند باید طرح مدار چاپی که از روی نقشه به‌دست می‌آید معکوس شود.

۱۰ـ۵ـ نکته‌های مهم در طراحی مدار چاپی

نکاتی که باید در طراحی مدار چاپی و ارتباط پایه‌ها رعایت شود در شکل ۵ـ۵ آمده است:

شکل ۵ـ۵ـ نکات مهم در طراحی مدار چاپی

	روش استاندارد	روش غیر استاندارد
از ایجاد زوایای تیز داخلی و خارجی خودداری کنید، زیرا هنگام لحیم‌کاری باعث جدا شدن مس از قیر می‌شود.	 	 
همیشه از کوتاه‌ترین مسیر ارتباط استفاده کنید.		
فواصل خطوط کشیده شده را رعایت کنید.		
هرگز چند جای سوراخ پی‌درپی کنار یکدیگر قرار ندهید زیرا باعث برجسته‌شدن لحیم می‌شود. در دو طرف سوراخ ارتباط را قرینه وصل کنید تا لحیم‌کاری طرفین یکی شود.		
از ارتباط دو نقطه با بهای یکسان خودداری کنید زیرا باعث جاری شدن لحیم می‌شود.		

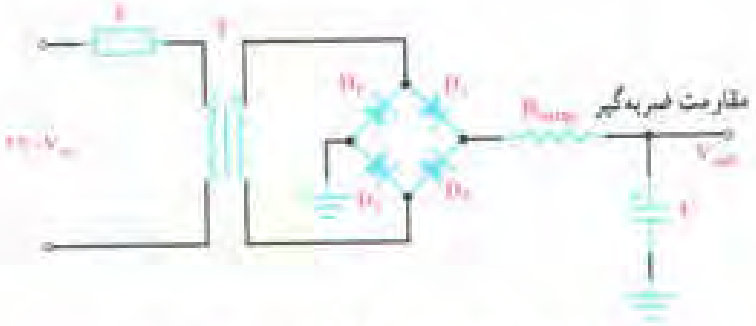
۱۱ــ ۵ ــ چند مثال

۱ــ۱۱ــ۵ــ مثال ۱: شکل ۶ــ ۵ نقشه‌ی الکترونیکی یک منبع تغذیه‌ی ساده را نشان می‌دهد.

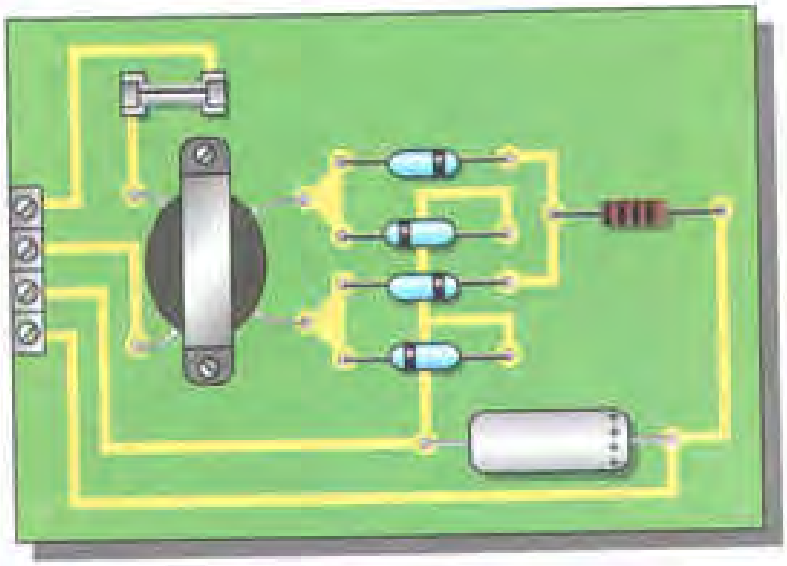
در شکل ۷ ــ۵ نقشه‌ی مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌ی واقعی نشان داده شده است.

البته در این نقشه، ورودی و خروجی مدار به ترمینالی در سمت چپ نقشه وصل شده است.

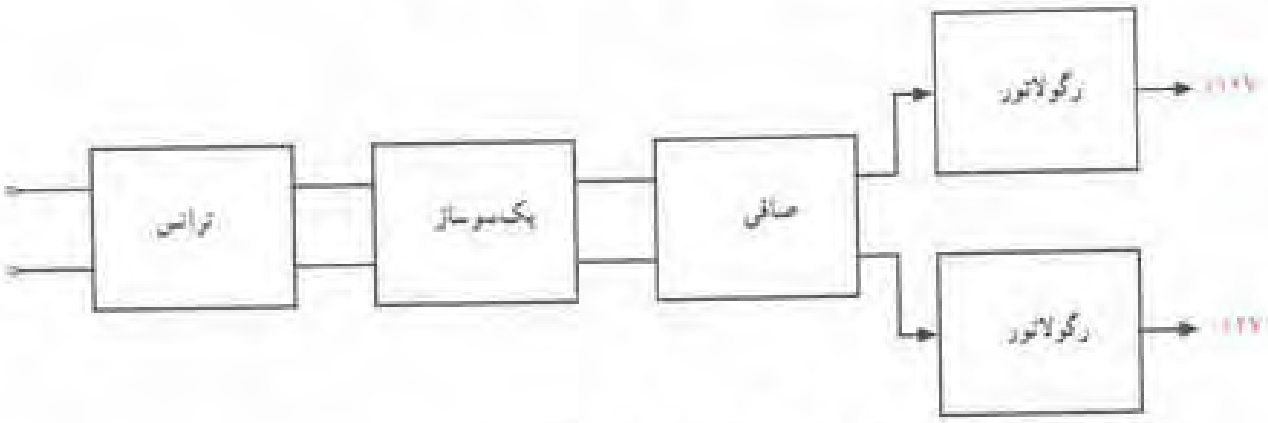
۲ــ۱۱ــ ۵ ــ مثال ۲: در شکل ۸ ــ ۵ نمای بلوکی یک منبع تغذیه‌ی دوبل که دارای ولتاژ خروجی ۱۲+ ولت و ۱۲– ولت است نشان داده شده است.



شکل ۶ــ ۵ ــ نقشه‌ی الکترونیکی یک منبع تغذیه‌ی ساده



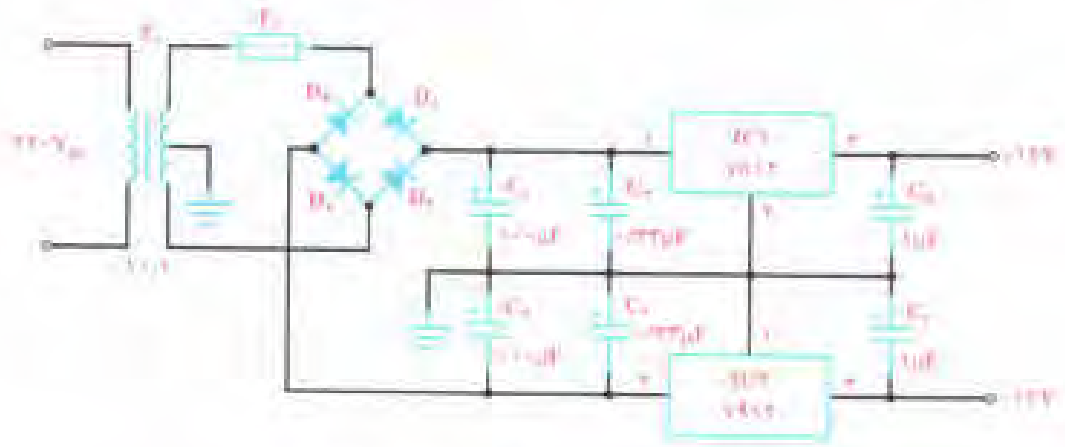
شکل ۷ــ ۵ــ نقشه‌ی مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌های واقعی



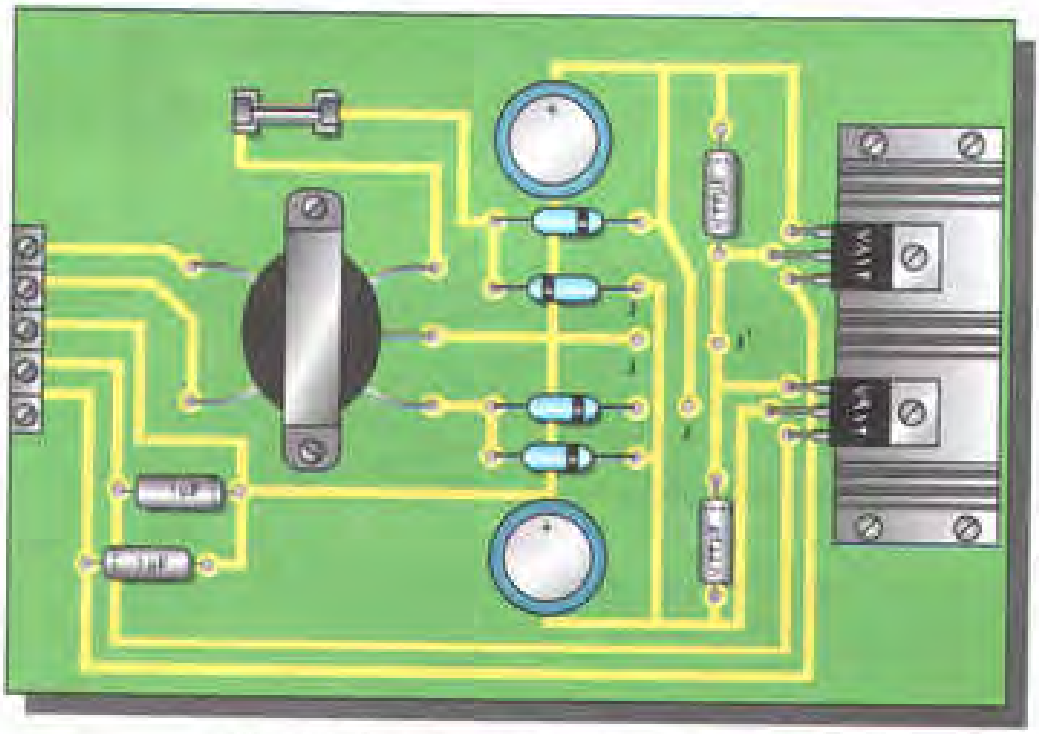
شکل ۸ــ۵ــ نمای بلوکی یک منبع تغذیه دوبل

در شکل ۹ـ ۵ نمای مداری این منبع تغذیه‌ی دوبل رسم شده است.

در شکل ۱۰ـ ۵ طرح مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌ی واقعی رسم شده است؛ البته آی سی ۷۸۱۲ برای آن‌که بتواند با محیط بهتر تبادل حرارتی کند روی گرماگیر (هیت سینک) نصب شده است.



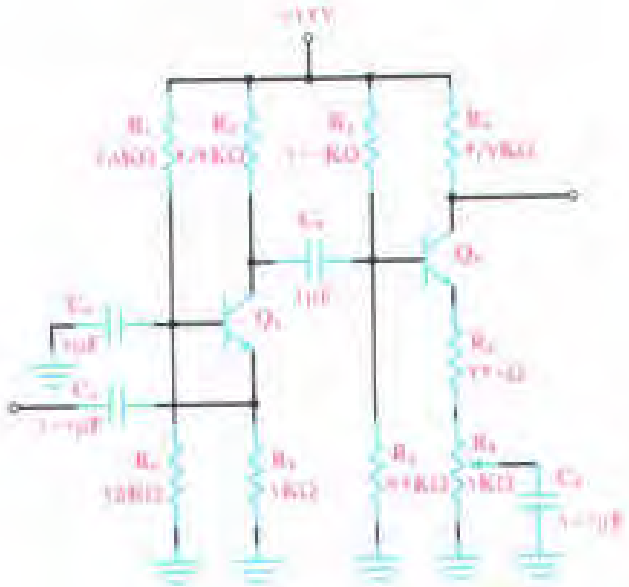
شکل ۹ـ ۵ـ نقشه‌ی الکترونیکی یک منبع تغذیه‌ی دوبل



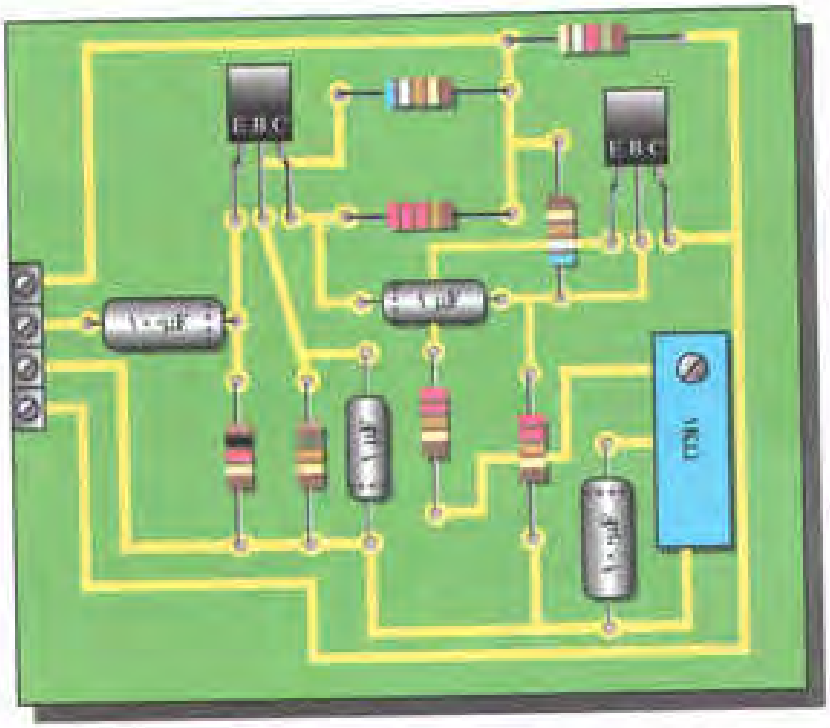
شکل ۱۰ـ ۵ـ برد مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌های واقعی

۳ـ ۱۱ـ ۵ ـ مثال ۳: در شکل ۱۱ـ ۵ نقشه‌ی الکترونیکی یک پری آمپلی‌فایر ترانزیستوری رسم شده است. شماره‌ی هر دو ترانزیستور ۲N۳۹۰۴ می‌باشد. در شکل ۱۲ـ ۵ برد مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌ی واقعی این نقشه‌ی الکترونیکی رسم شده است.

۱ـ Jumper مخفف Jumper است که به معنی سیمی است در مدار که دو نقطه را به‌هم وصل می‌کند.



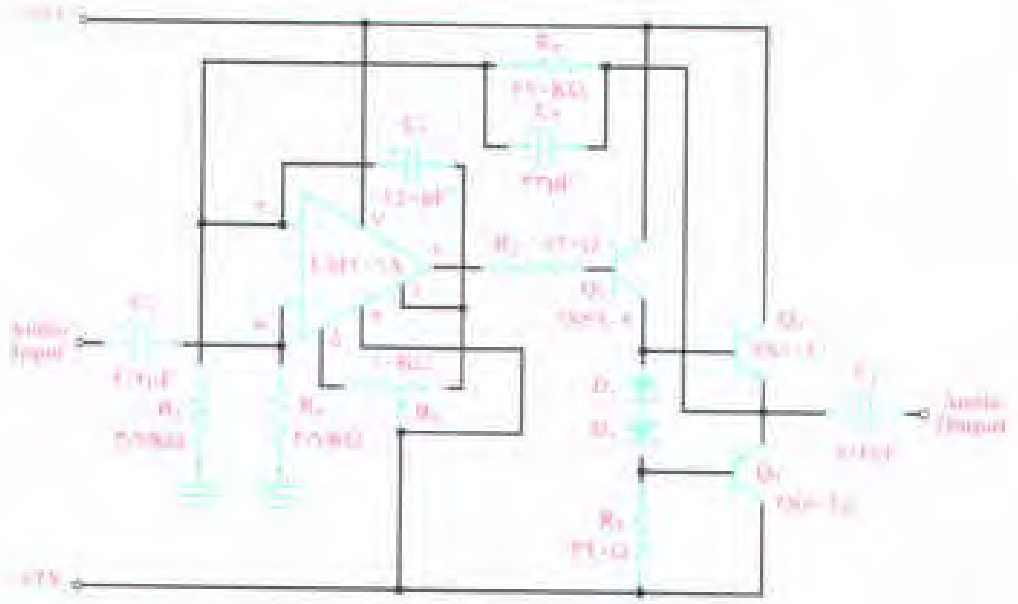
شکل ۱۱ـ۵ـ نقشه‌ی الکترونیکی یک آمپلی‌فایر ترانزیستوری



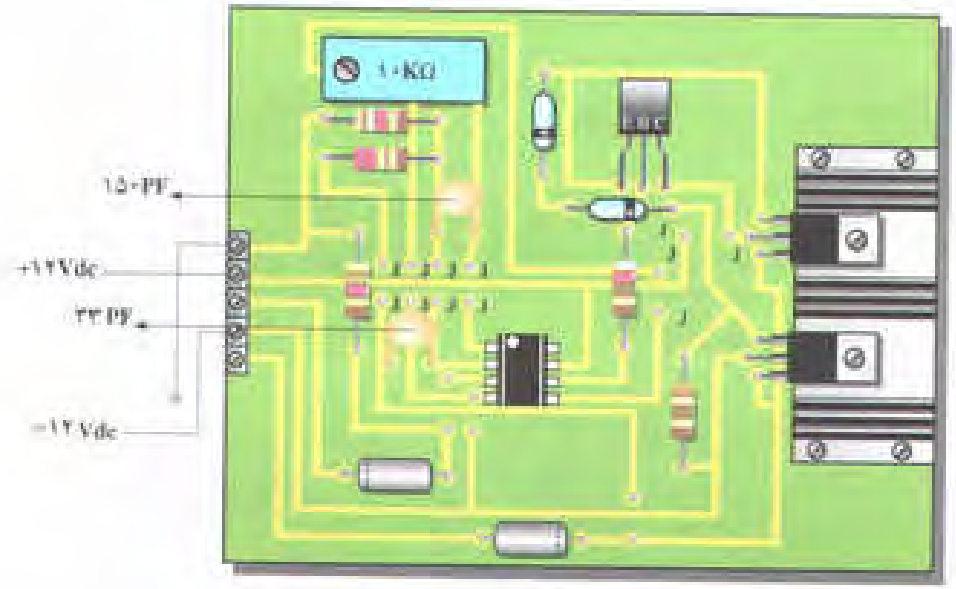
شکل ۱۲ـ۵ـ برد مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌های واقعی

۴ـ۱۱ـ ۵ ـ مثال ۴: در شکل ۱۳ـ ۵ نقشه‌ی الکترونیکی یک آمپلی‌فایر با آی‌سی و ترانزیستور رسم شده است: در شکل ۱۴ـ ۵ برد مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌ی واقعی این نقشه‌ی الکترونیکی رسم شده است.

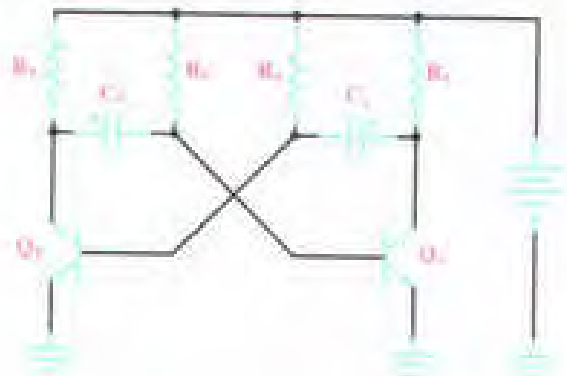
۵ ـ ۱۱ـ ۵ ـ مثال ۵: در شکل ۱۵ـ ۵ مدار یک مولتی‌ویبراتور بی‌ثبات (نوسان ساز موج مربعی) و در شکل ۱۶ـ ۵ طرح مدار چاپی آن رسم شده است.



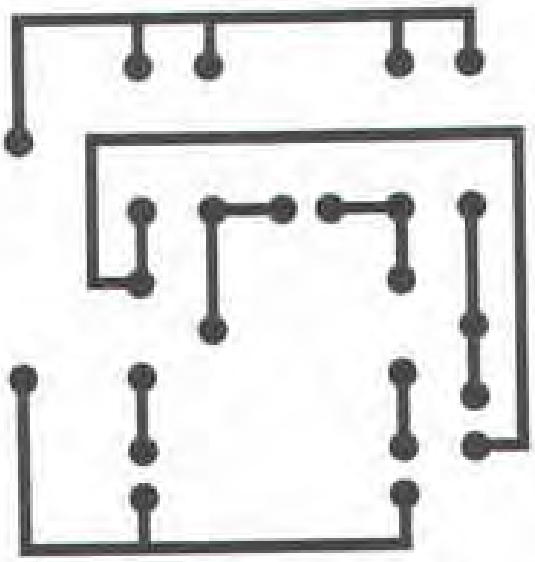
شکل ۱۴ـ۵ـ نقشه‌ی الکترونیکی یک امپلی‌فایر با آی‌سی و ترانزیستور



شکل ۱۴ـ۵ـ برد مدار چاپی و جای قطعات

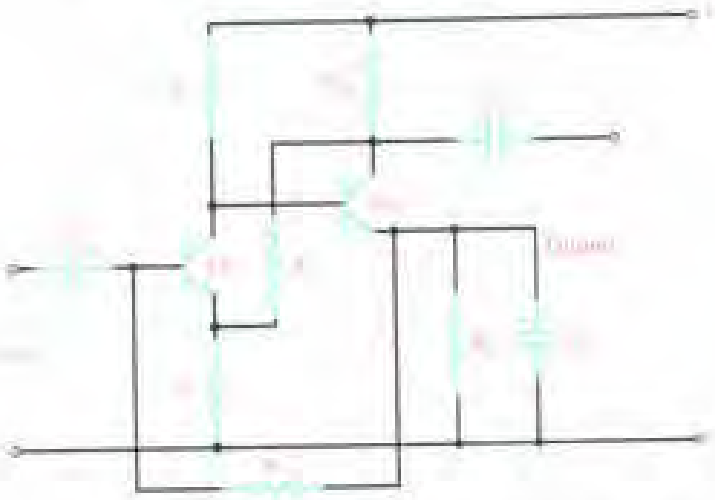


شکل ۱۵ـ۵ـ مولتی‌ویبراتور بی‌ثبات

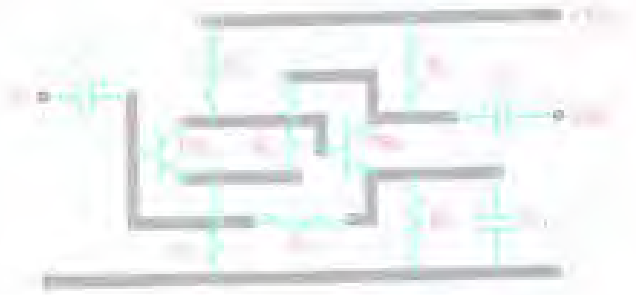


شکل ۱۶ـ۵ـ طرح مدار چاپی مولتی‌ویبراتور

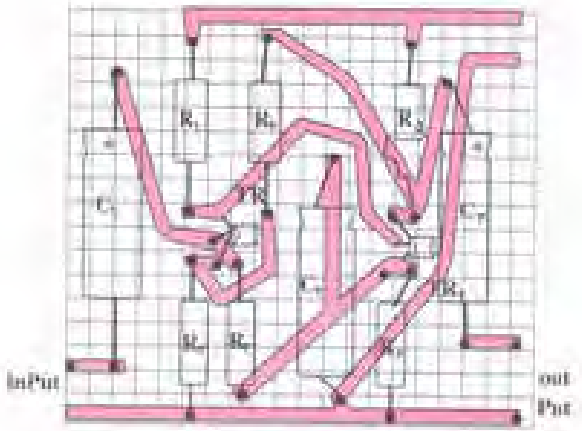
۶ـ۱۱ـ ۵ ـ مثال ۶: شکل ۱۷ـ ۵ نقشه‌ی مدار الکتریکی یک تقویت‌کننده‌ی دوطبقه است. در شکل ۱۸ـ ۵ مدار کمی ساده‌تر شده و ارتباط عناصر با یکدیگر مشخص شده است. شکل ۱۹ـ ۵ با درنظر گرفتن اندازه‌ی حقیقی قطعات مدار چاپی طرح شده است. در شکل ۲۰ـ۵ نقشه معکوس و روی فیبر منتقل شده است.



شکل ۱۷ـ۵ـ نقشه‌ی مدار الکتریکی یک تقویت کننده دو طبقه



شکل ۱۸ـ۵ـ نقشه‌ی مدار تقویت‌کننده دوطبقه

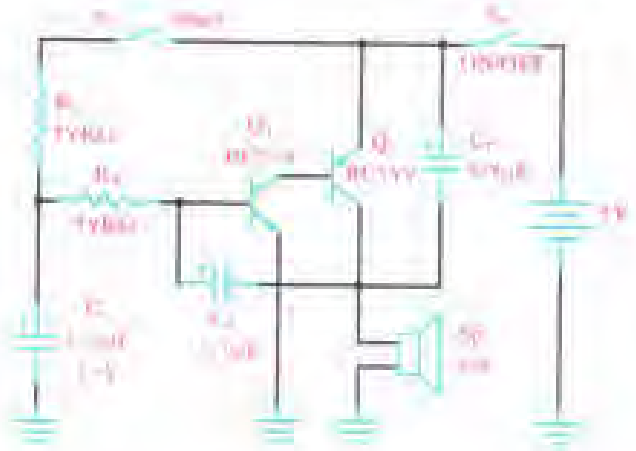


شکل ۱۹ـ۵ـ طرح مدار چاپی

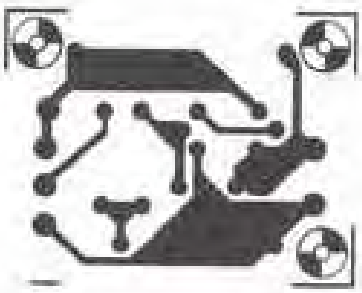
شکل ۲۰ـ۵ـ طرح معکوس شده مدار چاپی

۷ـ۱۱ـ۵ ـ مثال ۷: شکل ۲۱ـ۵ مدار یک آژیر است، در شکل ۲۲ـ۵ طرح مدار چاپی آن رسم شده است.

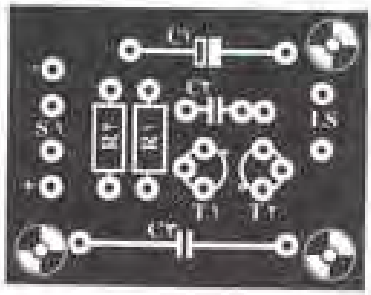
شکل ۲۳ـ۵ جای قطعات را روی قبیر مدار چاپی نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ـ۵ـ مدار آژیر



شکل ۲۲ـ۵ ـ مدار چاپی



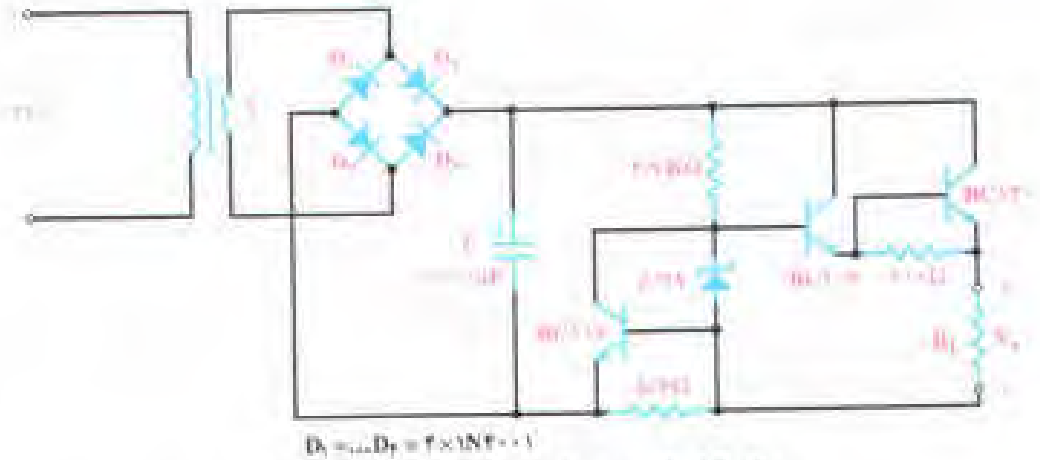
شکل ۲۳ـ۵ ـ جای قطعات

طراحی مدار چاپی

۱۲ـ۵ـ کار عملی شماره ۱

طرح مدار چاپی شکل ۲۴ـ۵ را که یک منبع تغذیه با رگولاتور ولتاژ ترانزیستوری است، در کادر مناسب طراحی کنید.

کلیه‌ی مقاومت‌ها $\frac{1}{4}$ وات هستند. در طراحی مدار چاپی، به اندازه‌ی دقیق قطعات توجه شود.

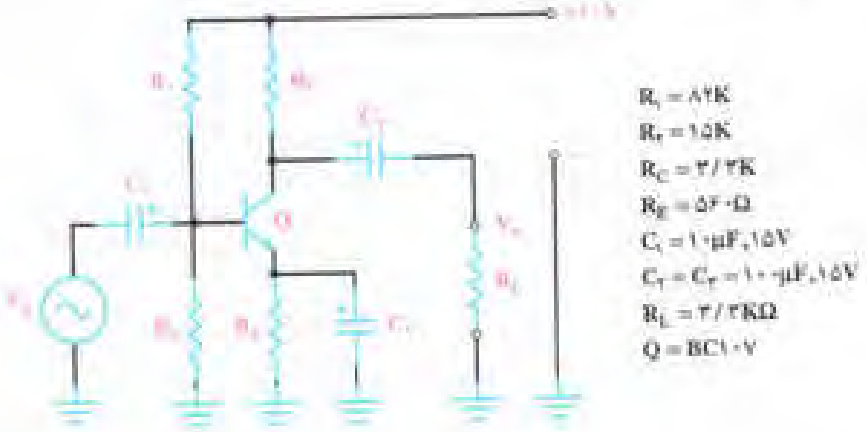


شکل ۲۴ــ ۵ ــ منبع تغذیه با رگولاتور ولتاژ ترانزیستوری

۱۳ــ۵ ــ کار عملی شماره ۲

طرح مدار چاپی تقویت‌کننده را در کادر مناسب طراحی کنید.

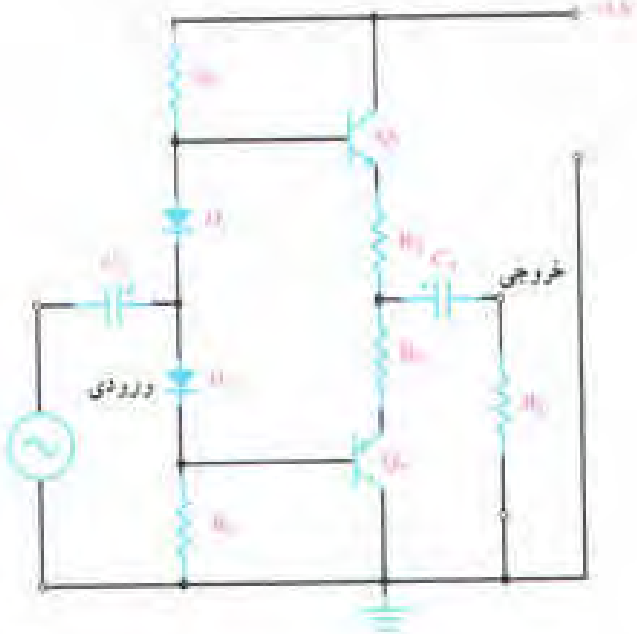
مدار شکل ۲۵ــ۵ یک تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک است



شکل ۲۵ــ ۵ ــ تقویت کننده امیتر مشترک

۱۴ــ ۵ ــ کار عملی شماره ۳

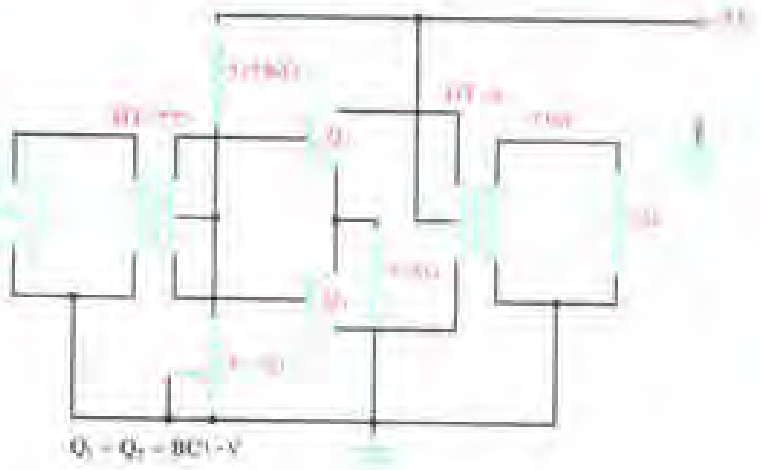
مدار شکل ۲۶ــ۵ یک تقویت‌کننده‌ی انتهایی کامپلی متناری است. مدار چاپی آن را در کادر مناسب طراحی کنید.



شکل ۲۶ــ ۵ ــ تقویت‌کننده کامپلی متناری

۱۵ـ۵ـ کار عملی شماره ۴

شکل ۲۷ـ۵ مدار یک تقویت‌کننده‌ی انتهایی پوش پول است. مدار چاپی آن را در کادر مناسب طراحی کنید. در طراحی به اندازه‌ی واقعی جک‌های HT - ۳۳ و HT - ۵۰ و پتانسیومتر ۳۰ kΩ توجه کنید.



شکل ۲۷ـ۵ ـ تقویت‌کننده پوش پول

۱۶ـ۵ـ طراحی مدار چاپی با استفاده از کامپیوتر

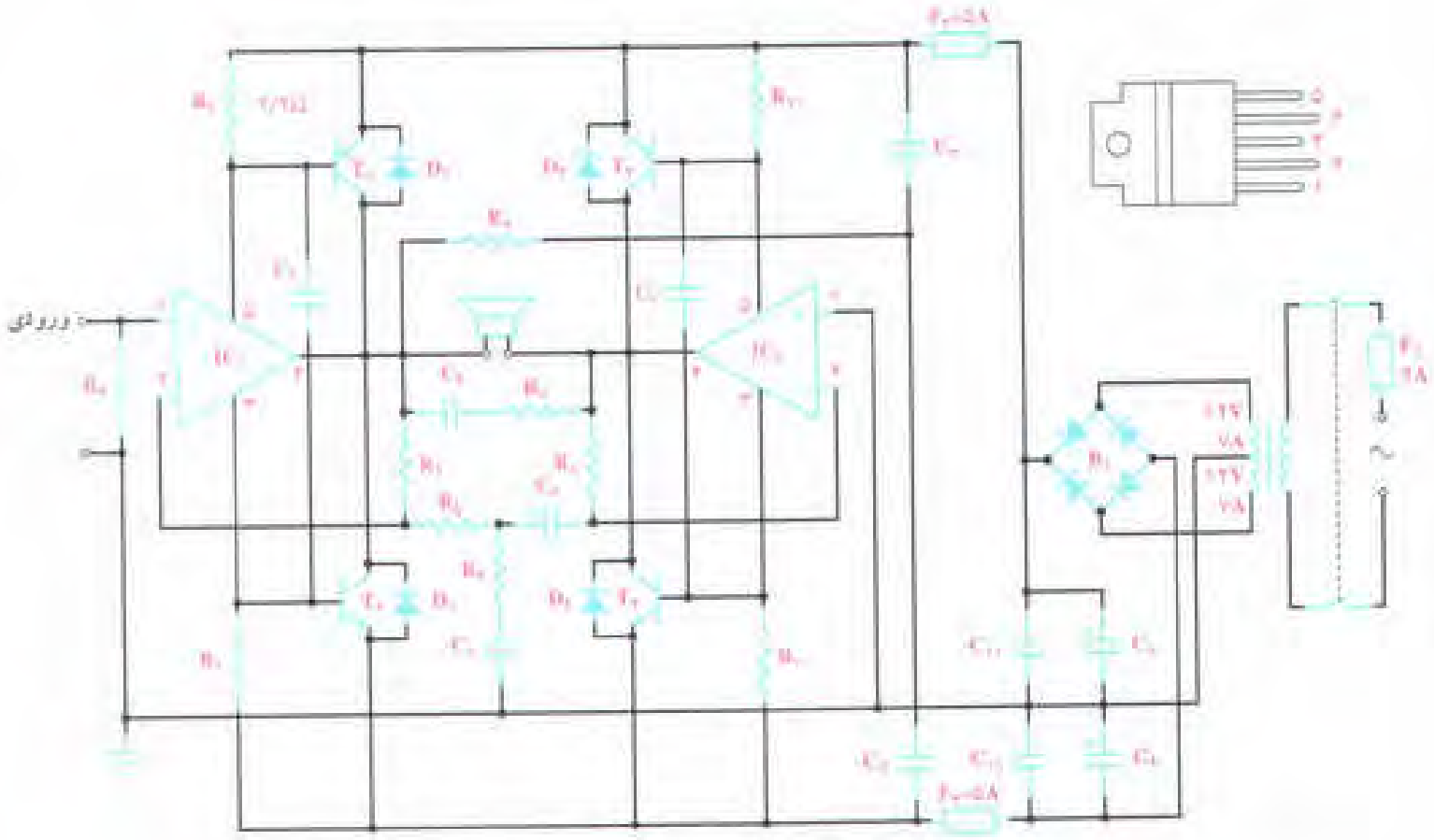
امروزه طراحی مدار چاپی با استفاده از کامپیوتر و نرم‌افزارهای مربوط انجام می‌شود. استفاده از کامپیوتر کار طراحی را بسیار ساده کرده است.

۱۷ـ۵ـ کار عملی نمایشی شماره ۵

در صورت وجود امکانات یک نمونه طراحی مدار چاپی، توسط معلم مربوطه در حضور هنرجویان با کامپیوتر انجام شود تا هنرجویان با این درس طراحی آشنا شوند.

۱۸ـ۵ـ کار عملی شماره ۶

آمپلی‌فایر پرقدرت (این کار عملی در صورت داشتن وقت اضافی انجام شود) مدار تقویت‌کننده‌ی پرقدرت شکل ۲۸ـ۵ را تبدیل به یک مدار چاپی کنید.



شکل ۲۸ـ ۵ ـ آمپلی‌فایر پرقدرت

لیست قطعات

مقاومت‌ها:	
۲/۲ اهم	R1,R4,R10,R11
۱۰۰ کیلواهم	R2,R3,R8
۳/۳ کیلواهم	R5,R6
۱ اهم	R7,R9
خازن‌ها:	
۱/۵ نانوفاراد	C1
۲۲۰ نانوفاراد	C2,C3,C4,C5,C7
۱۰ میکروفاراد، ۴۰ ولت	C6
۲۲۰۰۰ میکروفاراد، ۲۵ ولت	C8,C9
۱۰۰ نانوفاراد	C10, C11
نیمه‌هادی‌ها:	
دیود IN4001	D1 - D4
پل یک‌سوساز، ۵ آمپر	B1
ترانزیستور BD250 یا TIP36	T1,T3
ترانزیستور BD249 یا TIP35	T2,T4
آی سی TDA2030	IC1,IC2

۱۹ـ۵ـ روش‌های انتقال نقشه‌ی مدار چاپی روی فیبر

پس از تبدیل نقشه‌ی الکترونیکی به نقشه‌ی مدار چاپی باید آن را روی فیبر منتقل کرد. در زیر چند روش انتقال مدار چاپی روی فیبر توضیح داده می‌شود.

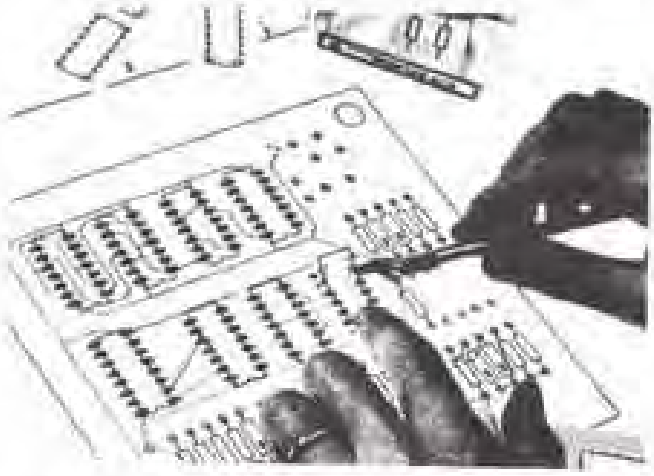
۱ـ۱۹ـ۵ـ روش مازیک یا لتراست: ابتدا فیبر مدار چاپی را کاملاً تمیز کنید. سپس نقشه‌ی مدار چاپی تهیه شده را معکوس کنید و به‌وسیله‌ی کاربن نقشه را روی فیبر مدار چاپی انتقال دهید. با کشیدن قلم روی خطوط و پایه‌های قطعات اثر طرح روی مس فیبر مدار چاپی منتقل می‌شود. با استفاده از مازیک ضد اسید اثر به‌جا مانده از کاربن را پررنگ کنید. در این مرحله می‌توانید پایه‌ی عناصر را با شابلون دایره و یا شابلون مورد نظر روی فیبر رسم کنید و با استفاده از خط‌کش پایه‌ها را به یکدیگر ارتباط دهید. هنگام کار با مازیک باید دقت کنید که مازیک چند بار روی فیبر در جهت عکس یکدیگر کشیده نشود. خطوط ترسیم شده باید پررنگ باشند، زیرا در صورت کم‌رنگ بودن اسید روی آن‌ها اثر می‌کند و مس‌های خطوط ارتباطی را از بین می‌برد. به‌جای مازیک می‌توانید از لتراست استفاده کنید. در این روش لتراست قطعه‌ی مورد نظر را روی فیبر قرار دهید و قلم را روی علامت مورد نظر بکشید تا لتراست روی فیبر منتقل شود. باید توجه کنید که قلم فقط روی علامت مورد نظر کشیده شود و روی علایم اطراف آن کشیده نشود، زیرا علایم جانبی روی فیبر اثر می‌گذارد و هنگام اسیدکاری مس قسمت‌هایی که مورد نظر نیست روی فیبر باقی می‌ماند.

۲ـ۱۹ـ۵ـ روش پوزیتیو (Positive 20) : از این روش برای تولید زیاد استفاده می‌شود و علاوه بر تکثیر سریع می‌توان مدار را با دقت زیاد طراحی کرد.

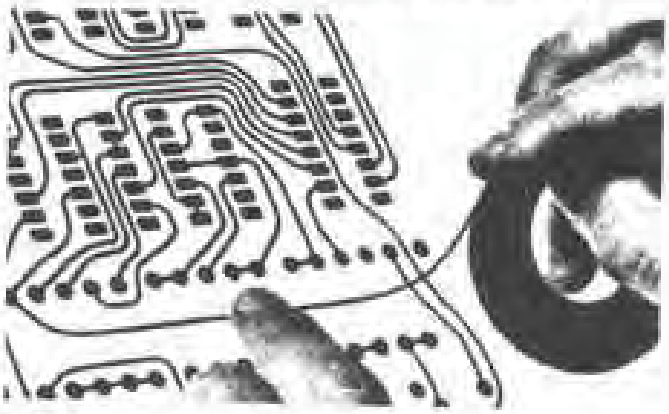
در این روش ابتدا باید نقشه‌ی مدار چاپی طراحی شده را روی کاغذ شفاف انتقال داد. برای این‌منظور از کاغذ کالک و رایبوگراف استفاده می‌شود. ابتدا کالک را روی نقشه بچسبانید و سپس با رایبد و شابلون پایه‌ی قطعات را رسم کنید و در انتها خطوط ارتباطی را بکشید. به علت عدم استفاده از مازیک در این روش، می‌توان خطوط ارتباطی را نزدیک به هم ترسیم کرد. پس از آماده شدن کاغذ کالک، برای اطمینان از پررنگ بودن نقشه و صحت اتصال قطعات نقشه را مقابل نور بگیرید و پررنگی خطوط را کنترل کنید. به علت شفاف بودن کالک از پشت کاغذ کالک، به‌عنوان نقشه‌ی معکوس شده استفاده می‌شود.

به جای انتقال نقشه روی کاغذ کالک می‌توانید نقشه را روی طلق شفاف منتقل کنید. برای انتقال نقشه روی طلق شفاف از لتراست مخصوص استفاده می‌شود. این لتراست در یک طرف دارای چسب است و به‌راحتی روی طلق می‌چسبد.

برای این منظور ابتدا پایه‌ی قطعات را روی طلق بچسبانید، سپس ارتباط بین پایه‌ها را توسط نوارهایی که برای این منظور ساخته شده است برقرار کنید. شکل ۲۹ـ۵ و ۳۰ـ۵ نحوه‌ی چسباندن لتراست مربوط به پایه‌ی قطعات و اتصال نوارها را نشان می‌دهد.



شکل ۲۹ـ۵ ـ نحوه‌ی چسباندن لتراست مربوط به پایه‌ی قطعات



شکل ۳۰ـ۵ ـ نحوه‌ی چسباندن نوار

پس از انتقال نقشه روی طلق، برای استحکام بیش‌تر، می‌توان روی تمام نقشه را با طلق نازک دیگری پوشاند تا لتراست‌های چسبانده شده در جای خود محکم‌تر شده و جابه‌جا

شوند. پس از این مرحله فیبر مدار چاپی را که در ابعاد معین بریده شده است کاملاً تمیز کنید و در محل تاریک‌خانه (می‌توان تاریک‌خانه را با نور قرمز روشن کرد)، روی فیبر را با اسپری مخصوص که نسبت به نور حساس است بپوشانید. در ابتدا اسپری به‌صورت قطرات ریز روی فیبر ظاهر می‌شود و پس از چند لحظه سراسر فیبر را می‌پوشاند. پس از خشک شدن کامل اسپری نقشه‌ی آماده شده را روی فیبر قرار دهید و آن را جلوی نور بگیرید. زمان تابش نور آفتاب ۱۵ دقیقه و برای یک لامپ ۲۰۰ وات ۱۰ دقیقه است.

بعد از این مرحله فیبر را در محلول سود سوزآور قرار دهید. بعد از چند لحظه به خاطر خاصیت اسیری قسمت‌هایی از فیبر که زیر خطوط نقشه بوده و تحت تابش نور قرار نگرفته است، پُر رنگ می‌شود.

حال فیبر را با آب بشویید و آن را برای اسیدکاری آماده کنید.

۴ـ۱۹ـ۵ ـ روش چاپ سیلک (سیلک اسکرین): از این روش در اغلب کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی استفاده می‌شود. تولید و تکثیر مدارها با این روش سریع‌تر انجام می‌گیرد. این روش نسبت به دو روش قبل دارای دقت بیش‌تری است. در این روش ابتدا باید نقشه‌ی مدار چاپی را روی کاغذ معمولی و یا طلق شفاف طراحی کنید، سپس از طرح آماده شده عکس بگیرید و فیلم آن را آماده کنید.

پارچه‌ی سیلک را که دارای استانداردهای ۶۸ـ۹ـ۱۱ سوراخ در سانتی‌متر مربع است به اندازه‌ی موردنظر ببرید و پارچه را روی قاب چوبی به‌صورت کاملاً کشیده وصل کنید. در یک تاریک‌خانه یا در محلی با نور قرمز کم‌رنگ با کاردک ماده‌ی مخصوص چاپ سیلک را روی پارچه‌ی سیلک بمالید، سپس فیلم را از طرف بیرون قاب روی سیلک قرار دهید. حال به‌وسیله‌ی یک لامپ ۱۰۰ وات از فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متری به مدت ۱۵ دقیقه به فیلم نور بتابانید. بعد از این مرحله پارچه را بشویید. به‌خاطر خاصیت ماده‌ی مخصوص سوراخ‌هایی از پارچه که مورد تابش نور قرار نگرفته‌اند به‌وسیله‌ی ماده‌ی مخصوص بسته نمی‌شوند. اما بقیه‌ی سوراخ‌ها که مورد تابش نور قرار گرفته‌اند به وسیله‌ی ماده‌ی مخصوص مسدود می‌شوند. پس از انجام این مرحله فیبر مسی را پشت قاب چوبی قرار دهید و با استفاده از قلم نقاشی روی پارچه را جوهر ضد اسید بمالید. جوهر از طریق سوراخ‌های بسته نشده، مطابق نقشه، روی فیبر منتقل می‌شود. از یک سیلک می‌توان تعداد زیادی فیبر مدار چاپی تهیه کرد. می‌توان پس از شستن سیلک به‌وسیله‌ی گاز یا آب داغ نقشه‌ی دیگری را روی آن طرح کرد.

۴ـ۱۹ـ۵ ـ روش کار با لامینت: لامینت ماده‌ای است ژلاتینی و حساس به نور که معمولاً بین دو لایه‌ی ورق طلق پلاستیکی قرار داده می‌شود. به‌علت داشتن کیفیت بالا و دقت خوب معمولاً در کارهای ظریف و دقیق و حرفه‌ای و چاپ به تعداد زیاد، این روش بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. لامینت باید در تاریکی مطلق، دور از مجاورت هوا و در دمای زیر ۲۵°C نگه‌داری شود. کار با لامینت چهار مرحله دارد.

مرحله‌ی اول ـ حساس کردن فیبر به کمک لامینت: ابتدا فیبر مدار چاپی را باید کاملاً تمیز و صاف نمود. سپس در تاریک‌خانه لامینت را به اندازه‌ی سطح فیبر مدار چاپی برش داد. چون لامینت بین دو ورق طلق قرار دارد، یکی از این لایه طلق پلاستیکی نازک‌تر و نرم‌تر از دیگری است (لایه طرف داخل رول)، طلق پلاستیکی روی لامینت را از این لایه به‌آرامی از یک گوشه برداشته، در همین لحظه لامینت را روی سطح مسی فیبر مدارچاپی به آرامی بچسبانید. باید با دست روی لامینت را مالش داد تا هیچ حبابی زیر آن نماند، درضمن حرارت ایجادشده توسط مالش سبب چسبیدن کامل لامینت به مس می‌شود. می‌توان برای اطمینان کار پارچه‌ای تخی را روی لامینت قرار داد، و توسط اتو با حرارت کم، روی لامینت چسبیده به‌فیبر را اتو کرد.

مرحله‌ی دوم ـ نوردهی: از طرح مدار چاپی موردنظر باید یک نسخه فیلم منفی (نگاتیو) تهیه نمود. این عمل از طریق عکاسی یا کامپیوتر انجام می‌گیرد. فیلم منفی طرح مدار چاپی را که قبلاً تهیه کرده‌اید باید در تاریک‌خانه روی فیبر مدارچاپی حساس به لامینت قرار داده و سپس شیشه‌ای تمیز روی آن قرار دهید. حدود ۲ تا ۵ دقیقه توسط نور مستقیم خورشید به سطح فیبر نور دهید. البته می‌توان توسط لامپ معمولی با وات زیاد یا چند لامپ فلورسنت نیز به سطح فیبر نور داد. میزان نوردهی با لامپ بسیار مهم است. زیرا نور زیاد یا نور کم باعث پایین آمدن

کیفیت یا ظاهر شدن طرح می‌شود. (میزان نور و زمان دقیق نوردهی با لامپ بهتر است تجربه شود).

پس از نوردادن به فیبر شیشه و فیلم را از روی فیبر بردارید، سپس لایه‌ی دوم طلق را که روی لامینت قرار دارد بردارید (لایه‌ی دوم طلق ضخیم‌تر و شفاف‌تر از لایه‌ی اول طلق است).

مرحله‌ی سوم ــ ظاهر نمودن طرح: حدود ۱۰ گرم پودر سفیدرنگ مخصوص ظهور لامینت را در یک لیتر آب سرد ریخته و محلول را خوب هم بزنید. در تاریک‌خانه فیبر نور خورده را در محلول ظهور تهیه شده قرار داده و به آرامی آن را تکان دهید. به‌تدریج طرح روی فیبر ظاهر می‌شود. پس از ظاهر شدن کامل طرح و پاک‌شدن کامل لامینت در نقاط خارج از طرح، فیبر را از محلول ظهور خارج نموده و بلافاصله آن را با آب کاملاً شست‌وشو دهید تا محلول ظهور کاملاً از روی سطح فیبر پاک شود. سپس فیبر را کاملاً خشک کنید تا هیچ قطره آب یا رطوبتی روی فیبر نماند.

مرحله‌ی چهارم ــ اسیدکاری و پاک‌کردن لامینت: برای حل کردن مس‌های اضافی فیبر مدار چاپی از اسید استفاده می‌کنیم. البته مس‌های اضافی فیبرمدار چاپی تهیه شده به روش‌های دیگر هم توسط اسید حل شده و فیبر مدار چاپی برای مونتاژ قطعات آماده می‌شود.

۲۰ــ۵ــ طرز تهیه‌ی محلول اسید و آماده نمودن فیبر برای مونتاژ

اسید مورد استفاده معمولاً پرکلرورفر است. هنگام درست کردن اسید باید به نکات زیر توجه کنید:

۱ــ حتماً از ظروف شیشه‌ای، لعابی یا چینی استفاده کنید.

۲ــ در ظرف به اندازه‌ای آب بریزید تا با قرار دادن فیبر در داخل آن، محلول حدود ۲ میلی‌متر بالاتر از سطح فیبر قرار گیرد.

۳ــ حتماً آب را گرم کنید، یا این که آب گرم در ظرف بریزید. اگر از ظرف پیرکس استفاده می‌کنید ظرف را روی حرارت خیلی کم نگه‌دارید.

۴ــ به پرکلرورفر تا اندازه‌ای آب اضافه کنید که محلول تقریباً غلیظی به‌دست آید.

۵ــ فیبر مدار چاپی را در داخل محلول قرار دهید و محلول را به آرامی تکان دهید.

۶ــ پس از خورده شدن مس اضافی فیبر، فیبر را از محلول خارج کنید و آن را کاملاً بشویید.

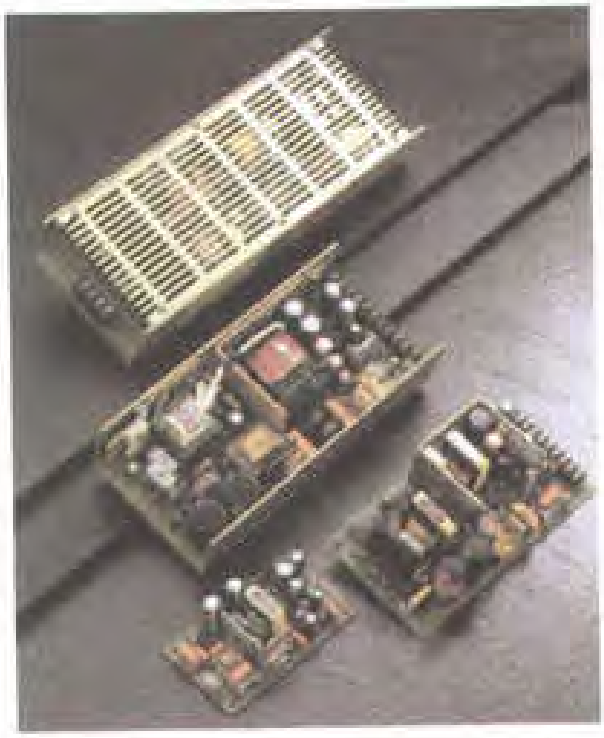
۲۱ــ۵ــ پاک‌کردن مواد لامینت

برای پاک‌کردن مواد لامینت روی سطح خطوط مسی فیبرمدار چاپی معمولاً ازمحلول غلیظ سود سوزآور استفاده می‌کنند. حدود ۲۰ گرم سود را در یک لیتر آب سرد ریخته و پس از حل نمودن کامل سود در آب فیبر مدار چاپی تهیه شده را در محلول قرار می‌دهند. پس از گذشت حدود چند دقیقه کلیه‌ی مواد لامینت از روی فیبر مدارچاپی پاک می‌شود. البته هرچه محلول سود غلیظ‌تر باشد پاک شدن مواد لامینت سریع‌تر انجام می‌گیرد. پس از پاک‌شدن مواد لامینت باید فیبر مدار چاپی را با آب شست‌وشو داد.

۲۲ــ۵ــ سوراخ‌کاری و نصب قطعات

پس از آماده نمودن فیبر مدار چاپی باید جای پایه‌ی قطعات را به‌وسیله‌ی دریل، و با مته‌ی با قطر مناسب، سوراخ نمود. مته‌ی مناسب برای پایه‌ی قطعاتی نظیر مقاومت، خازن، دیود و ترانزیستور و آی‌سی مته‌ی شماره یک است. پس از سوراخ نمودن فیبر قطعات را در جای مناسب آن قرار داده و پایه‌ی قطعات را روی سطح مس لحیم می‌نمایند.

شکل ۳۱ــ ۵ چند برد مدار چاپی و قطعات مونتاژ شده روی آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳۱ــ ۵ ــ قطعات مونتاژشده روی برد مدار چاپی

فصل ششم

پروژه

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

۱ـ با استفاده از نقشه‌ی فنی مدار، طرح مدار چاپی را تهیه کند.

۲ـ طرح مدار چاپی را روی فیبر مدار چاپی منتقل کند.

۳ـ قطعات مدار را روی فیبر مونتاژ و لحیم‌کاری کند.

۴ـ مدار مورد نظر را راه‌اندازی کند.

برای دست‌یابی به مهارت کافی در تهیه‌ی مدارهای الکترونیکی و لحیم‌کاری، در این فصل چند پروژه پیشنهاد شده است. هنرآموزان عزیز می‌توانند با توجه به وقت حداقل یک پروژه را انتخاب و اجرا کنند. همچنین درصورت تمایل می‌توانند با توجه به نیازهای هنرجویان و هنرستان هر پروژه مناسب دیگری را نیز ارائه دهند.

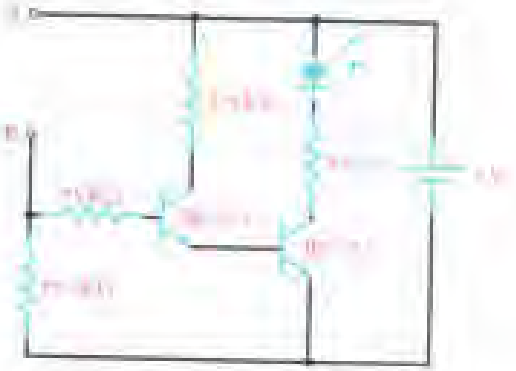
۱ـ۶ـ پروژه‌ی طراحی مدار چاپی و مونتاژ قطعات

حداقل طرح مدار چاپی یکی از مدارهای زیر را در کادر مناسب آماده کنید و سپس طرح را روی فیبر انتقال دهید. پس از آماده‌سازی فیبر قطعات را روی آن مونتاژ کنید.

در طراحی، به ابعاد واقعی قطعات و اندازه‌ی پایه‌ی آی‌سی توجه داشته باشید. پس از مونتاژ قطعات مدار مورد نظر را راه‌اندازی کنید.

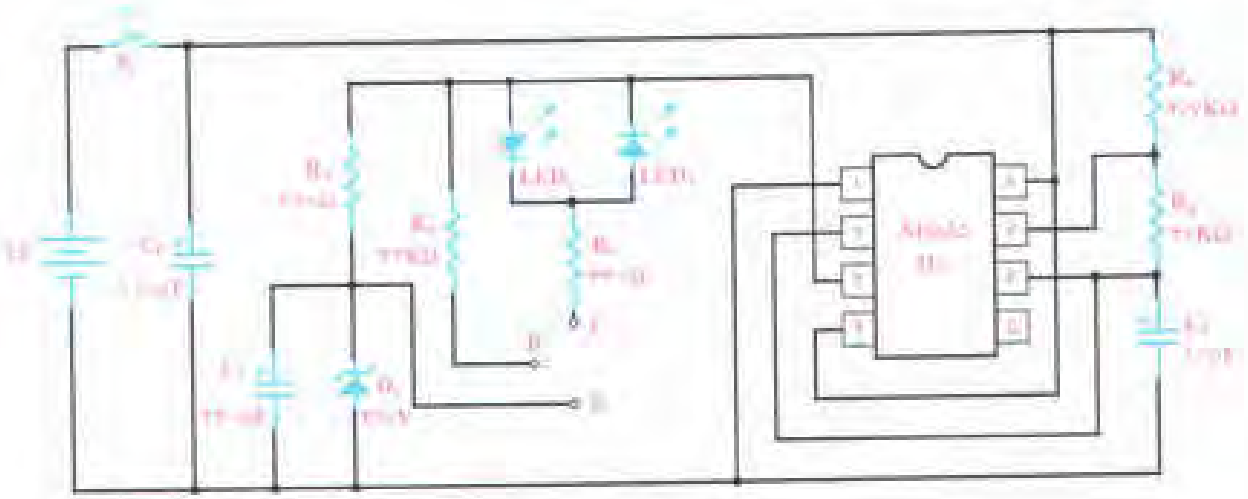
۱ـ۱ـ۶ـ مدار تست‌کننده قطع نبودن سیم یا مسیر مسی در فیبر مدار چاپی: برای آن‌که از قطع نبودن یک سیم یا یک مسیر مسی در فیبر مدار چاپی اطمینان حاصل کنید از مدار شکل ۱ـ۶ می‌توانید استفاده کنید.

اگر دو نقطه‌ی A و B را به دو سر سیم یا مسیر مورد نظر وصل کنیم، درصورت قطع نبودن مسیر یا سیم، ترانزیستورها فعال شده و LED روشن می‌گردد. اگر سیم یا مسیر قطع باشد LED خاموش است.

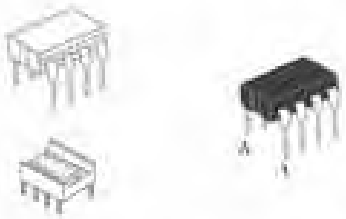


شکل ۱ـ۶ـ مدار تست کننده قطع سیم یا مسیر مسی روی فیبر مدار چاپی

۲ـ۱ـ۶ـ مدار تست کننده‌ی ترانزیستور: مدار شکل ۲ـ۶ یک تست کننده‌ی ترانزیستور است. به کمک این مدار می‌توان به سالم‌بودن ترانزیستور پی‌برد. پایه‌های ترانزیستور در محل B و C و E قرار می‌گیرد. در صورت سالم‌بودن ترانزیستور یکی از LEDها چشمک می‌زند. آی‌سی به‌کار رفته در مدار NE۵۵۵ می‌باشد. بهتر است آی‌سی روی سوکت نصب شود. شکل ۳ـ۶ این آی‌سی و سوکت آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ۶ـ مدار تست‌کننده ترانزیستور



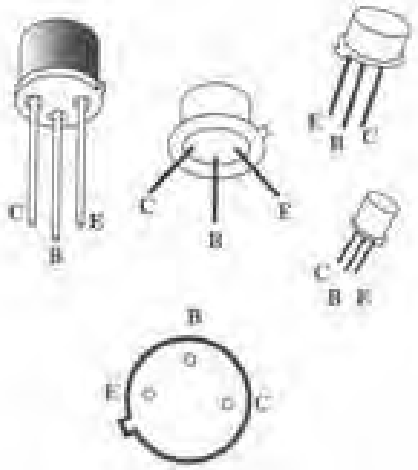
شکل ۳ـ۶ـ شکل ظاهری و سوکت آی‌سی NE۵۵۵

۲ـ۱ـ۶ـ مدار چشمک‌زن با LED: مدار شکل ۲ـ۶ چشمک‌زن با LED است. ترانزیستورهای مدار BC۱۰۷ یا BC۱۰۸ یا BC۱۰۹ می‌باشند.

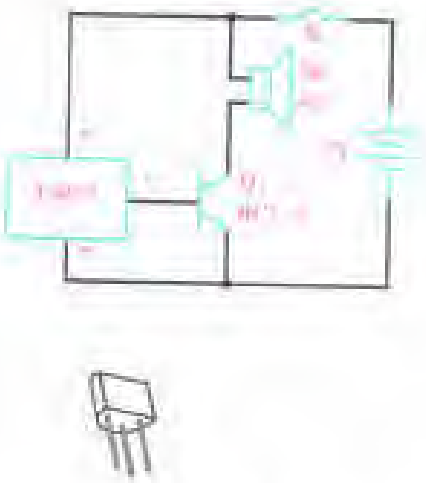
شکل ۴ـ۶ـ مدار چشمک‌زن با LED

شکل ظاهری و پایه‌های برخی ترانزیستورهای به‌کار رفته در مدارهای مختلف به‌صورت شکل ۵ ـ۶ است.

BC 140	BC 178
BC 141	BC 179
BC 160	2N 1711
BC 161	2N 1613
BC 107	2N 2907
BC 108	2N 2219
BC 109	2N2222
BC 177	



شکل ۵ ـ۶ـ شکل ظاهری و پایه‌های چند ترانزیستور



۴ـ۱ـ۶ـ مولد صدای موزیکال: آی‌سی UM۶۶

مولد صدای موزیکال می‌باشد و با ولتاژ کم کار می‌کند. می‌توان مستقیماً خروجی آی‌سی را به بلندگو وصل نمود. برای تقویت صدا از یک ترانزیستور استفاده شده است. در شکل ۶ـ۶ شکل ظاهری آی‌سی و مدار مولد صدای موزیکال رسم شده است.

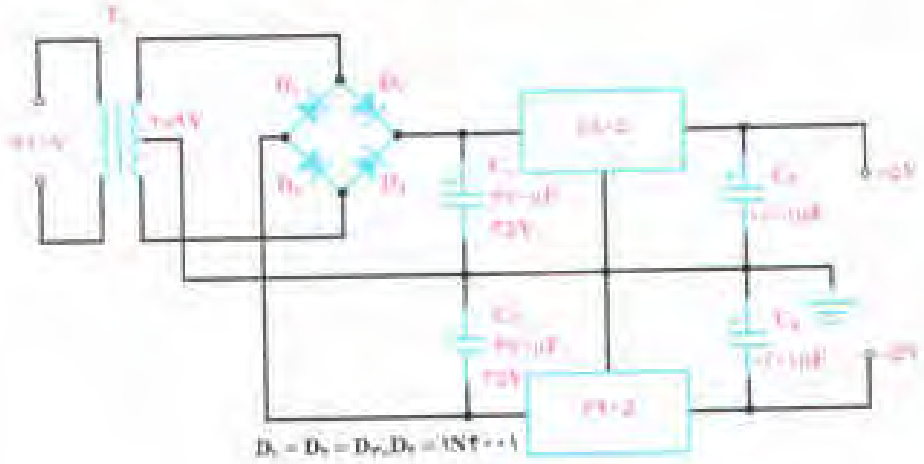
شکل ۶ـ۶ـ شکل ظاهری آی‌سی UM۶۶ و مدار مولد صدای موزیکال

۵ـ۱ـ۶ـ مدار منبع تغذیه‌ی متقارن ۵± ولت:

بعضی از آی‌سی‌ها با تغذیه‌ی متقارن ۷± ولت کار می‌کنند. برای ساختن منبع تغذیه‌ی متقارن می‌توان از دو منبع تغذیه به‌صورت شکل ۷ـ۶ استفاده نمود.

شکل ۸ـ۶ مدار منبع تغذیه‌ی متقارن ۵± ولت را نشان می‌دهد.

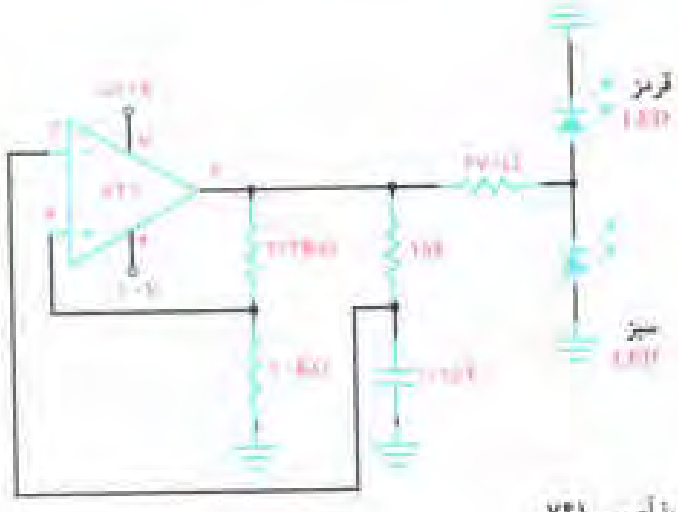
شکل ۷ـ۶ـ بلوک دیاگرام منبع تغذیه متقارن



شکل ۸ـ۶ـ مدار منبع تغذیه‌ی متقارن

۶ـ۱ـ۶ـ چشمک‌زن با آی‌سی ۷۴۱:

مدار چشمک‌زن با آی‌سی ۷۴۱ در شکل ۹ـ۶ رسم شده است.

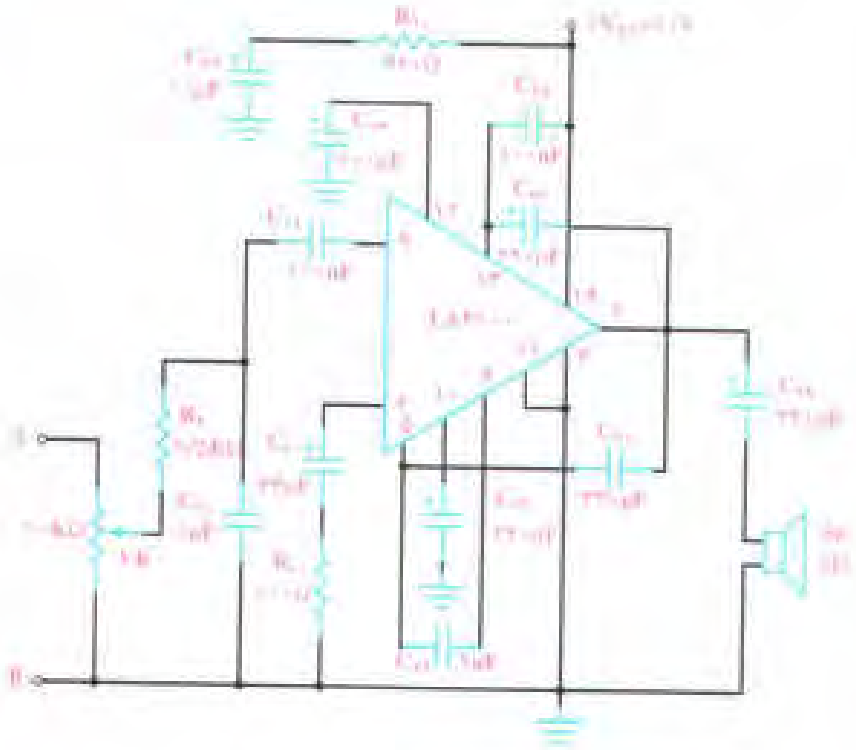


شکل ۹ـ۶ـ مدار چشمک‌زن با آی‌سی ۷۴۱

شکل ظاهری آی‌سی ۷۴۱ به‌صورت شکل ۱۰ـ۶ است. در شکل ۱۱ـ۶ رسم شده است.

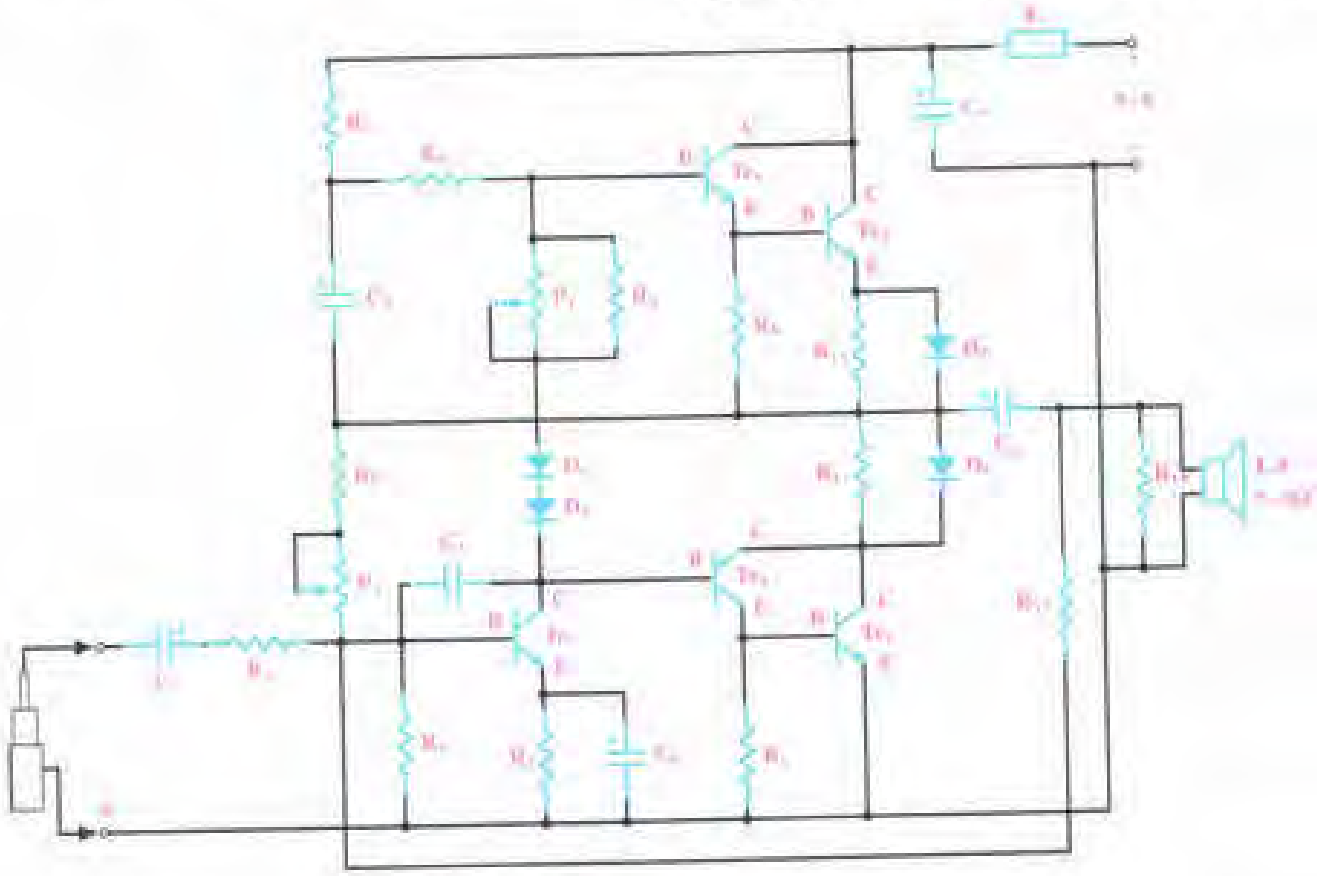
۷ـ۱ـ۶ـ مدار آمپلی‌فایر صوتی با آی‌سی LA۴۱۰۰

شکل ۱۰ـ۶ـ شکل ظاهری آی‌سی ۷۴۱



شکل ۱۱ـ۶ـ مدار آمپلی‌فایر صوتی

۸ـ۱ـ۶ـ آمپلی‌فایر با وات بالا: مدار آمپلی‌فایر صوتی با وات بالا در شکل ۱۲ـ۶ رسم شده است. شکل ظاهری و پایه‌های ترانزیستور قدرت ۲N۳۰۵۵ بصورت شکل ۱۳ـ۶ است.



شکل ۱۲ـ۶ـ آمپلی‌فایر صوتی با وات بالا

$P_1 = ۵۰۰\Omega$ $C۶ = ۱۰\mu F/۱۶V$

$C۱ = ۲/۲\mu F$ $Tr۱ = BC۲۳۷$

$C۲ = ۴۷PF$ $Tr۲ = BC۱۶۰$

$C۳ = ۱۰\mu F$ $Tr۳ = BC۱۴۰$

$C۴ = ۳۳\mu F/۵۰V$ $Tr۴ = ۲N۳۰۵۵$

$C۵ = ۲۲۰۰\mu F/۳۵V$ $Tr۵ = ۲N۳۰۵۵$

$F_1 = ۵A$

$R۱ = ۱/۸K$ $R۷ = ۱/۲K$ $R۱۳ = ۱K$

$R۲ = ۲۲K$ $R۸ = ۵۶۰\Omega$ $D۱ = ۱N۴۱۴۸$

$R۳ = ۱۵۰K$ $R۹ = ۵۶۰\Omega$ $D۲ = ۱N۴۱۴۸$

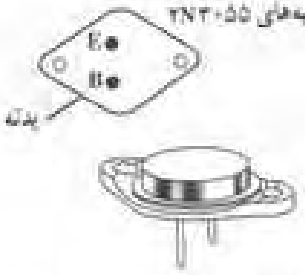
$R۴ = ۲۷۰\Omega$ $R۱۰ = ۱\Omega/۵W$ $D۳ = ۱N۴۰۰۱$

$R۵ = ۳۳۰\Omega$ $R۱۱ = ۱\Omega/۵W$ $D۴ = ۱N۴۰۰۱$

$R۶ = ۴/۷K$ $R۱۲ = ۴۷K$ $P۱ = ۴A$

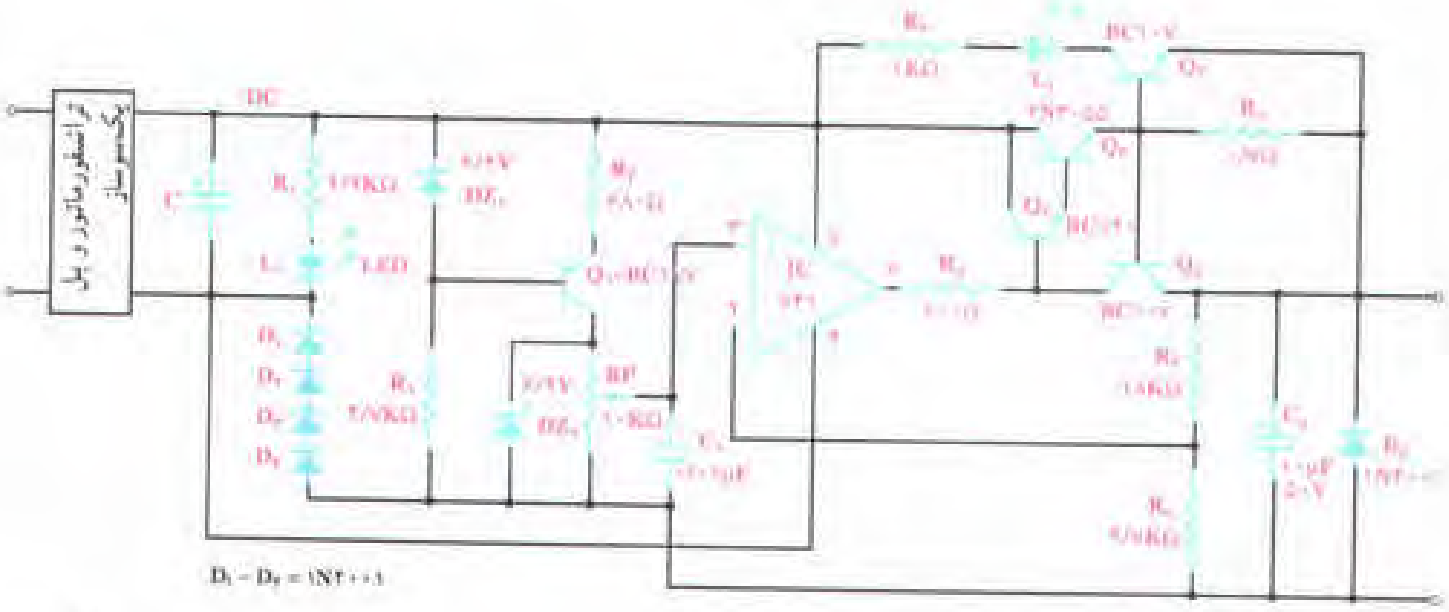
$P۱ = ۵۰۰\Omega$ $C۶ = ۱۰\mu F/۱۶V$

شکل و پایه‌های ۲N۳۰۵۵



۱۳ـ۶ـ شکل ظاهری و پایه‌های ترانزیستور ۲N۳۰۵۵

۹ـ۱ـ۶ـ منبع تغذیه ۳۰ـ ۰ ولت ۱۸: در شکل ۱۴ـ۶ مدار منبع تغذیه ۳۰ـ ۰ ولت ۱۸ رسم شده است. مدار ترانسفورماتور و یکسو ساز تمام موج به‌صورت بلوک دیاگرام نشان داده شده است. ترانس به‌کار رفته در مدار ۲۲۰/۲۴۷ و ۱/۵۸ است.



ترانس

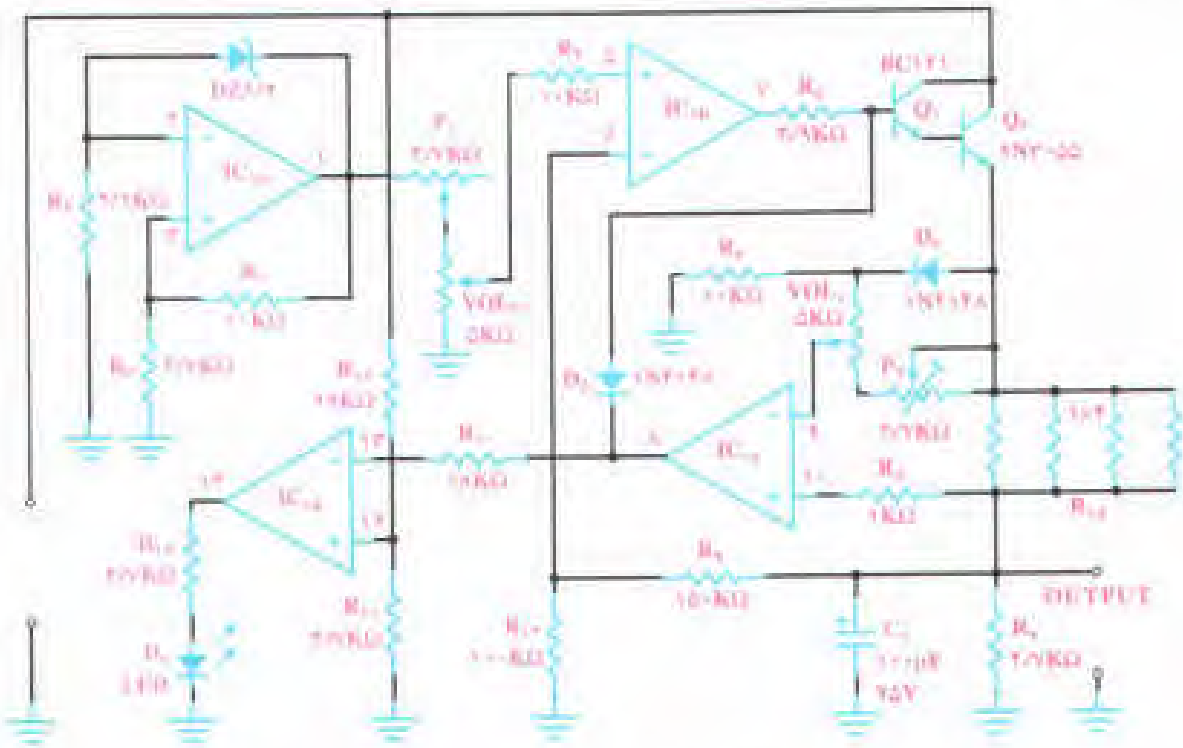
۲۲۰/۲۴۷

C = ۲۲۰۰μF/۵۰V

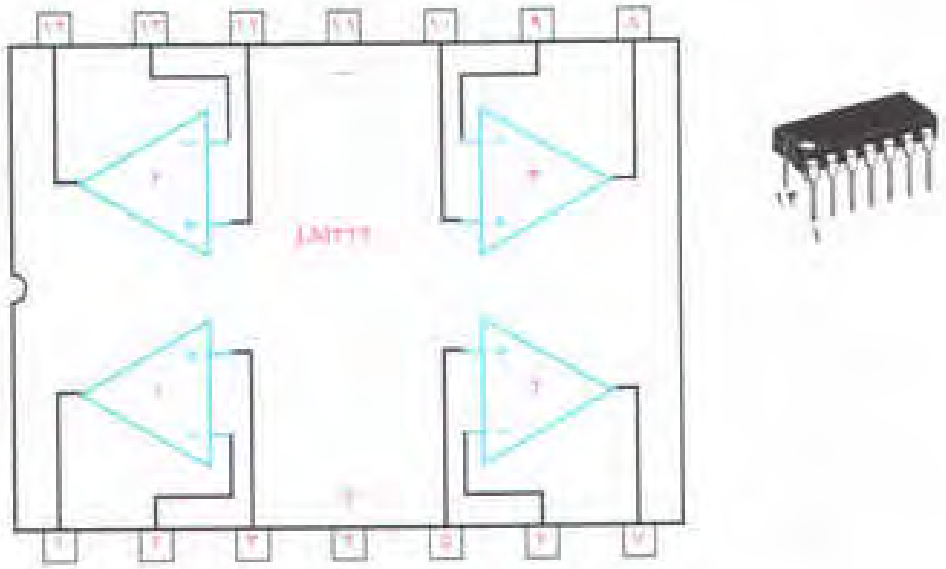
شکل ۱۴ـ۶ـ مدار منبع تغذیه ۳۰ـ ۰ ولت

۱۰ـ۱ـ۶ـ منبع تغذیه ۳۰ـ ۰ ولت ۱۸ با پتانسیومتر کنترل جریان: آی‌سی به‌کار رفته در مدار CA۳۲۴E یا LM۳۲۴ می‌باشند. این آی‌سی دارای ۱۴ پایه است. در شکل ۱۵ـ۶ مدار منبع تغذیه رسم شده است. شکل ۱۶ـ۶ شکل ظاهری و معادل مدار داخلی آی‌سی رسم شده است.

البته در مدار ترانسفورماتور و یکسوساز و صافی رسم نشده است.

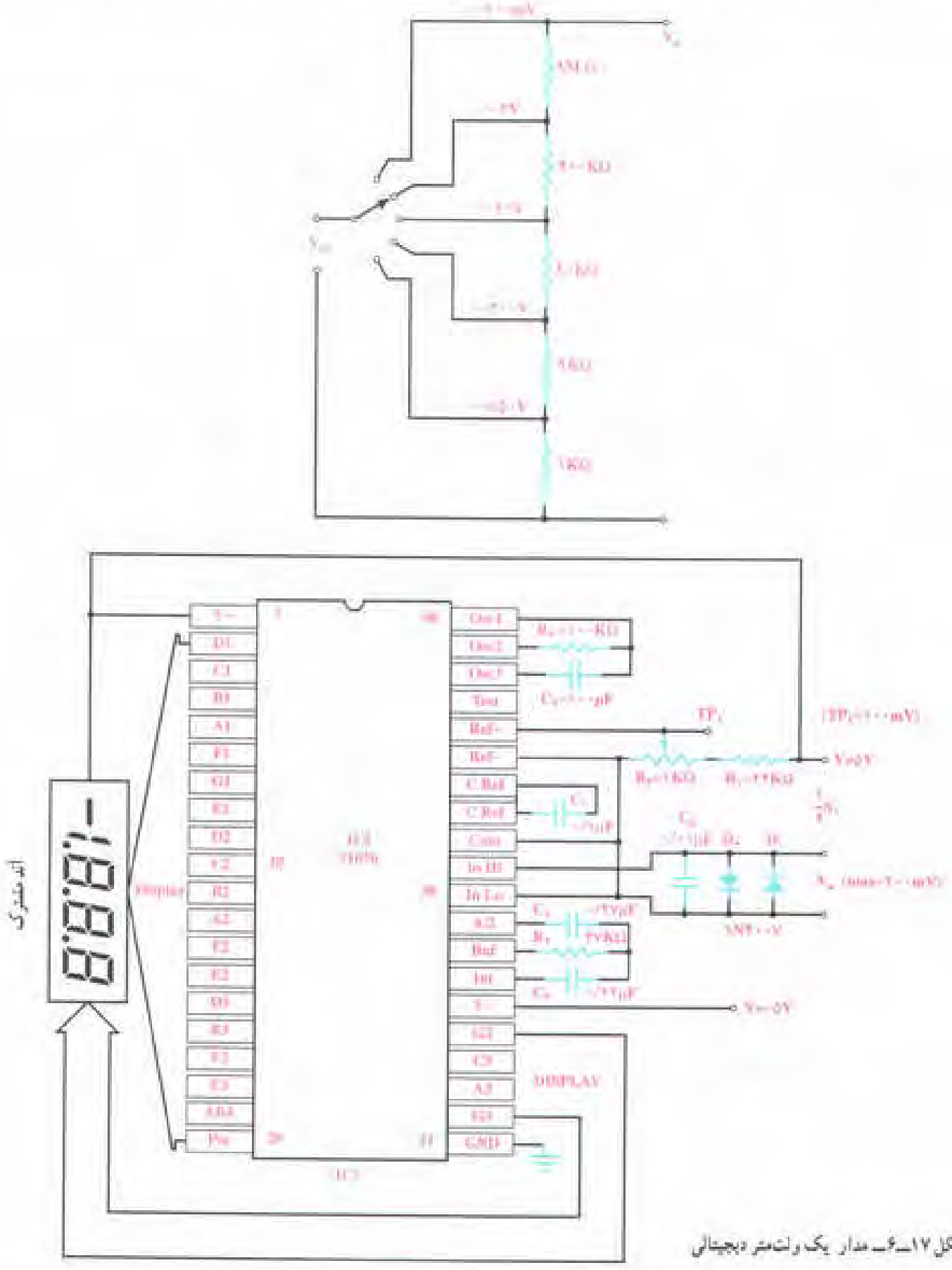


شکل ۱۵ـ۶ـ مدار منبع تغذیه



شکل ۱۶ـ۶ـ شکل ظاهری و معادل مدار داخلی آی‌سی

۱۱ـ۱ـ۶ـ ولت‌متر و آمپرمتر دیجیتالی: مدار شکل ۶ـ۱۷ نقشه‌ی یک ولت‌متر دیجیتالی است. این ولت‌متر می‌تواند حداکثر تا ۲۰۰mV را اندازه بگیرد. برای توسعه‌ی حدود سنجش آن می‌توان از کلید سلکتور و مقاومت به‌صورت زیر استفاده نمود.

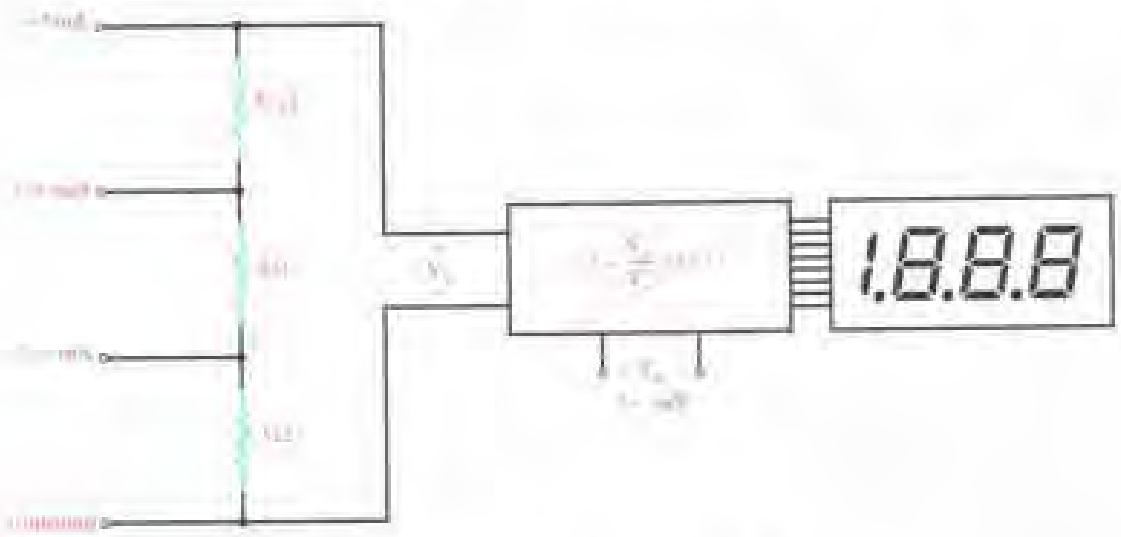


شکل ۶ـ۱۷ـ مدار یک ولت‌متر دیجیتالی

برای تبدیل مدار به آمپرمتر دیجیتالی از کلید سلکتور و مقاومت به‌صورت شکل ۱۸ـ۶ استفاده می‌کنند.

آمپرمترهای دیجیتالی معمولاً به‌صورت رنج اتوماتیک نیستند بلکه با کلید سلکتور باید رنج مناسب را انتخاب نمود.

درضمن چنانچه جریان مورد اندازه‌گیری AC باشد، بعد از کلید سلکتور توسط یک‌سو کننده‌های الکترونیکی ولتاژ افت داده‌شده در دوسر مقاومت‌ها ابتدا یک‌سو و سپس به ولت‌متر اعمال می‌شود.



شکل ۱۸ـ۶ـ یک نمونه آمپرمتر مولتی رنج دیجیتالی

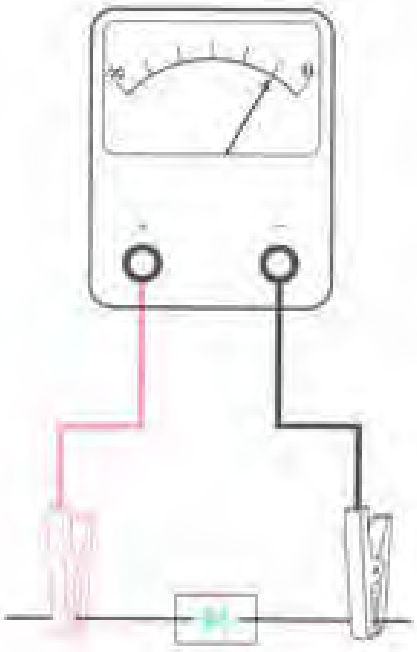
پس از ساختن ولت‌متر باید آن را تنظیم کنید. برای تنظیم، ولتاژ معینی مثلاً ۵۰ میلی‌ولت را به‌ورودی اعمال نموده و پتانسیومتر R۴ را آن‌قدر تغییر دهید تا عدد ۵۰ روی صفحه‌ی نمایش ظاهر شود، در این‌صورت ولت‌متر تنظیم است. هیچ‌وقت نباید با ولت‌متر ساخته شده ولتاژ تغذیه‌ی آی‌سی همان ولت‌متر را اندازه گرفت زیرا با این عمل آی‌سی ولت‌متر خواهد سوخت.

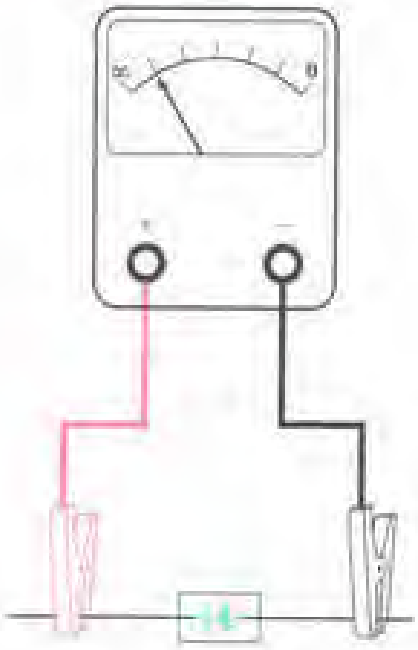
۲ـ۶ـ تعیین پایه‌ها و تشخیص سالم‌بودن دیود و ترانزیستور به‌وسیله‌ی اهم‌متر

برای مونتاژ قطعات باید ابتدا آن‌ها را آزمایش نمود تا به‌سالم‌بودن آن‌ها پی‌برد و سپس قطعه‌ی سالم را مونتاژ نمود، لذا ضروری است چگونگی تعیین پایه‌ها و تشخیص سالم‌بودن دیود و ترانزیستور توسط اهم‌متر عقربه‌ای و دیجیتالی شرح داده شود.

۳ـ۶ـ تشخیص آند و کاتد و سالم‌بودن دیود توسط اهم‌متر

۱ـ۳ـ۶ـ استفاده از اهم متر عقربه‌ای: اگر اهم‌متر عقربه‌ای را به دو سر دیود وصل کنید و اهم آن را اندازه بگیرید سپس اتصال دیود را برعکس کنید و مجدداً اهم آن را اندازه بگیرید در یک حالت اهم‌متر، اهم کم و در حالت دیگر اهم‌متر، اهم زیاد را نشان می‌دهد. واضح است در حالت اهم کم دیود توسط باتری داخلی اهم‌متر در بایاس مستقیم قرار گرفته است و در حالتی که اهم‌متر اهم زیاد را نشان می‌دهد دیود در بایاس معکوس قرار گرفته است. اصطلاحاً گفته می‌شود دیود از یک‌طرف راه می‌دهد و از طرف دیگر راه نمی‌دهد. شکل ۱۹ـ۶ این دو حالت را نشان می‌دهد.





شکل ۱۹ـ۶ـ نحوه‌ی تست دیود با اهم‌متر

در حالتی که اهم‌متر اهم کم را نشان می‌دهد منبت واقعی اهم‌متر به آند دیود و منفی واقعی اهم‌متر به کاتد دیود اتصال دارد. به این ترتیب می‌توان آند و کاتد دیود را تعیین نمود. البته مقدار مقاومتی که اهم‌متر نشان می‌دهد بستگی به انتخاب کلید سلکتور اهم‌متر دارد.

اگر دیود معیوب باشد ممکن است قطع شده باشد در این‌صورت در هر دو حالت اتصال اهم‌متر، اهم‌متر اهم بی‌نهایت را نشان می‌دهد. اگر دیود معیوب اتصال کوتاه شده باشد در این‌حالت در هر دو حالت اتصال اهم‌متر، اهم‌متر اهم صفر را نشان می‌دهد.

۲ـ۳ـ۶ـ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی: اغلب مولتی‌مترهای دیجیتالی دارای وضعیت تست دیود می‌باشند.

وقتی کلید سلکتور مولتی‌متر دیجیتالی در وضعیت تست دیود قرار می‌گیرد، وقتی دیود در بایاس موافق قرار می‌گیرد، مولتی‌متر دیجیتالی ولتاژ بایاس دیود را نشان می‌دهد که این ولتاژ برای دیودهای سیلیکنی حدود ۰/۷ ولت و برای دیودهای از جنس ژرمانیم حدود ۰/۲ ولت است. شکل ۲۰ـ۶ این حالت را نشان می‌دهد.

کاتد آند

شکل ۲۰ـ۶

اگر دیود در بایاس مخالف قرار گیرد، مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده توسط دستگاه را در دو سر دیود نشان می‌دهد.

این ولتاژ ممکن است ۱/۵ تا ۳ ولت باشد. شکل ۲۱ـ۶ این حالت را نشان می‌دهد.

شکل ۲۱ـ۶ـ نحوه‌ی تست دیود با اهم‌متر دیجیتالی

پس در حالتی که مولتی‌متر ولتاژ بایاس موافق دیود را نشان می‌دهد، سیم منفی (سیم مشترک یا Com) روی کاتد و سیم مثبت به آند دیود وصل است.

اگر دیود ناسالم و قطع باشد، در هر دو وضع اتصال مولتی به‌دیود، روی صفحه‌ی دستگاه، ولتاژ باتری داخلی دستگاه نشان داده می‌شود. شکل ۲۲ـ۶ این دو حالت را نشان می‌دهد.

شکل ۲۲ـ۶ـ تست دیود معیوب (قطع)

اگر دیود اتصال کوتاه باشد در هر دو وضع اتصال مولتی‌متر به دیود روی صفحه‌ی دستگاه ولتاژ صفر نشان داده خواهد شد.

شکل ۲۳ـ۶ این حالت را نشان می‌دهد.

شکل ۲۳ـ۶ـ تست دیود (اتصال کوتاه)

۴ـ۶ـ تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور به کمک اهم‌متر

۱ـ۴ـ۶ـ استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای: چون هر ترانزیستور معادل دو دیود می‌باشد می‌توان با استفاده از این خاصیت برای تشخیص بیس استفاده نمود. یک پایه در ترانزیستور وجود دارد که نسبت به دو پایه‌ی دیگر مانند یک دیود عمل می‌کند. یعنی اهم‌متر از یک جهت اهم کم را نشان می‌دهد و با عوض کردن سیم‌های اهم‌متر، مقدار مقاومت نشان داده شده توسط اهم‌متر، زیاد می‌باشد، این پایه بیس ترانزیستور می‌باشد. با مشخص‌شدن بیس نوع ترانزیستور را می‌توان تعیین نمود. حالتی که اهم‌متر اهم کم را نشان می‌داد اگر سیم منفی واقعی اهم‌متر به بیس وصل بود نوع ترانزیستور مثبت (PNP) است. اگر در حالت اهم کم سیم مثبت واقعی اهم‌متر به بیس وصل بود نوع ترانزیستور منفی (NPN) می‌باشد. برای تعیین کلکتور و امیتر ترانزیستور می‌توان مقاومت بین بیس و دو پایه‌ی دیگر را اندازه گرفت. مقاومت بیس کلکتور کمتر از مقاومت بیس امیتر است.

۲ـ۴ـ۶ـ مولتی‌متر دیجیتالی: از مولتی‌متر دیجیتالی در وضعیت تست دیود برای تست ترانزیستور استفاده می‌کنند. مانند حالت تست دیود، وقتی دیود بیس امیتر یا دیود بیس کلکتور در بایاس موافق قرار گیرند ولتاژ بایاس موافق دیود روی صفحه‌ی نمایش نشان داده خواهد شد. در بایاس مخالف ولتاژ بایاس مخالف دیود روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌شود. شکل ۲۴ـ۶ حالت‌های مختلف را نشان داده است.

پیوند بیس کلکتور در بایاس مخالف　پیوند بیس کلکتور در بایاس موافق　پیوند بیس امیتر در بایاس مخالف　پیوند بیس امیتر در بایاس موافق

شکل ۲۴ـ۶

در یک ترانزیستور معیوب اگر اتصال بیس امیتر و یا اتصال بیس کلکتور آن قطع باشد در این‌صورت مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف را نشان می‌دهد. شکل ۲۵ـ۶ این حالت را نشان می‌دهد.

درصورت اتصال کوتاه بودن بیس امیتر یا بیس کلکتور مولتی‌متر ولتاژ صفر را نشان خواهد داد. شکل ۲۶ـ۶ این حالت را نشان می‌دهد.

شکل ۲۵ـ۶ـ تست ترانزیستور معیوب (قطع)

شکل ۲۶ـ۶ـ تست ترانزیستور معیوب (اتصال کوتاه)

منابع و مآخذ

۱ـ مبانی مخابرات و رادیو سال سوم رشته‌ی الکترونیک فنی و حرفه‌ای کد ۴۶۶/۹ تألیف سید محمود صموتی ـ یدالله رضازاده.

۲ـ آزمایشگاه مبانی مخابرات و رادیو رشته‌ی الکترونیک فنی و حرفه‌ای کد ۴۷۲/۱ تألیف سیدمحمود صموتی ـ یدالله رضازاده.

۳ـ رسم فنی سال سوم هنرستان کد ۶۳۷ تألیف حسین نوری ـ حسین دبّاغی

۴ـ کار کارگاهی سال دوم هنرستان کد ۵۱۶/۱ تألیف سیدمحمود صموتی ـ حسن خاور ـ عسگر شفق ـ فرود کمالی.

۵ ـ کارگاه و آزمایشگاه الکترونیک سال سوم هنرستان کد ۶۳۷/۱ تألیف منوچهر برادران جمیلی.

۶ ـ کاتالوگ‌ها و مراجع موجود در صنعت و بازار کتاب.

شابک ۳-۰۸۰۶-۰۵-۹۶۴
ISBN 964-05-0806-3

قیمت در تمام کشور ۳۶۰۰ ریال

۱۳۸۴