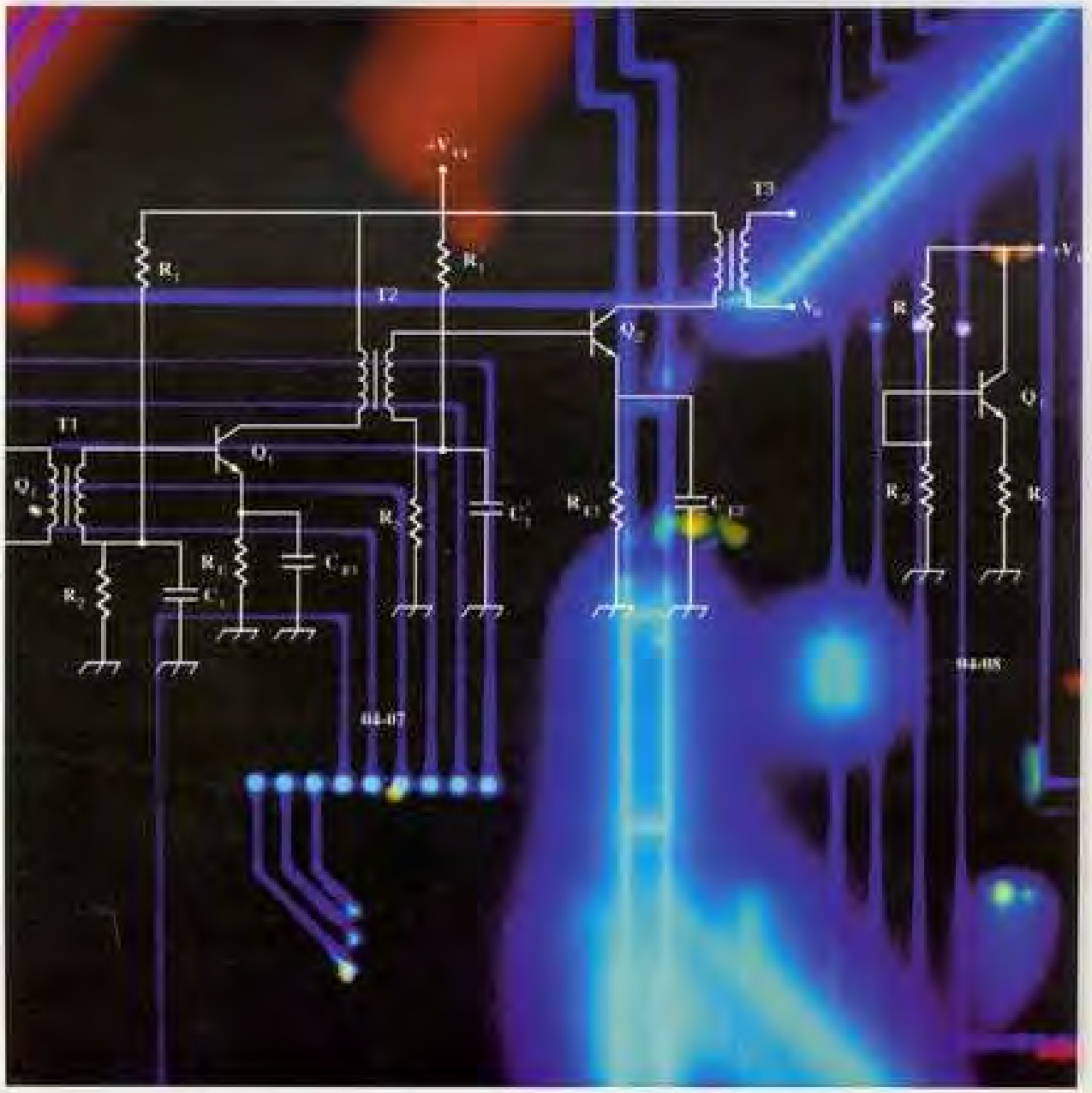
جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تهیه و تحریر شده است

کارگاه الکترونیک عمومی

فنی و حرفه‌ای (رشته‌ی الکترونیک)



نظام جدید آموزش متوسطه

۴۸۸/۷

بسم الله الرحمن الرحیم

کارگاه الکترونیک عمومی

رشته‌ی الکترونیک

زمینه‌ی صنعت

شاخه‌ی آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره‌ی درس ۲۰۹۶

۶۲۱ رضازاده، یدالله
۳۸۱/ کارگاه الکترونیک عمومی/ مؤلفان: یدالله رضازاده، غلامحسین نصری. ـ تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۳.
۰۲۸ ۱۳۸ ص.: مصور. ـ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره‌ی درس ۲۰۹۶)
ک۵۶۳ر متون درسی رشته‌ی الکترونیک، زمینه‌ی صنعت.
۱۳۸۳ برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته‌ی الکترونیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. الکترونیک ـ کارگاه‌ها. الف. نصری، غلامحسین. ب. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته‌ی الکترونیک. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۳

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 فرمایید.

این کتاب براساس جداول هدف ـ محتوا و روش اجرایی برنامه‌ی سالی ـ واحدی تهیه شده و با تأیید کمیسیون تخصصی رشته‌ی الکترونیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی وزارت آموزش و پرورش رسیده است.

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 عمومی ـ ۲۸۸/۷

مؤلفان: مهندس یدالله رضازاده، مهندس غلامحسین نصیری

اعضای کمیسیون تخصصی: مهندس سیدمحمود حسینی، مهندس فتح‌الله نظریان، مهندس علیرضا قاسم‌پیچی، مهندس ناصر ساعتچی، مهندس شهرام نصیری‌سوادکوهی، مهندس جمشید پرویار

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ: اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

رسام: سیروس فرازیاستین

صفحه‌آرا: خدیجه محمدی

طراح جلد: علیرضا رضائی‌نژ

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

تلفن: ۴ ـ ۴۵۱۳۱۶۰، دورنگار: ۴۵۱۳۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹۱۵/۱۶۸۴

چاپخانه: شرکت افست (سهامی عام)

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ چهارم ۱۳۸۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۹-۱-۰۹۰۱-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-0901-9

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 سرّه‌الشریف»

فهرست مطالب

سخنی با همکاران محترم ۱

آزمایش شماره‌ی ۱ــ بررسی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود تیمه هادی ۴
۱ــ۱ــ اطلاعات اولیه ۴
۱ــ۲ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۷
۱ــ۳ــ مراحل آزمایش ۷
۱ــ۴ــ پرسش‌های آزمایش ۱۰

آزمایش شماره‌ی ۲ــ بررسی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود زنر ۱۱
۲ــ۱ــ اطلاعات اولیه ۱۱
۲ــ۲ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۱۳
۲ــ۳ــ مراحل آزمایش ۱۳
۲ــ۴ــ پرسش‌های آزمایش ۱۵

آزمایش شماره‌ی ۳ــ یک سوسازهای نیم‌موج، تمام موج و صافی‌ها ۱۶
۳ــ۱ــ اطلاعات اولیه ۱۶
۳ــ۲ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۱۹
۳ــ۳ــ مراحل آزمایش ۲۰
۳ــ۴ــ پرسش‌های آزمایش ۲۲

آزمایش شماره‌ی ۴ــ منبع تغذیه‌ی متقارن (سه‌سر) و مدارات دو برابر کننده‌ی ولتاژ ۲۳
۴ــ۱ــ اطلاعات اولیه ۲۳
۴ــ۲ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۲۴
۴ــ۳ــ مراحل آزمایش ۲۴
۴ــ۴ــ پرسش‌های آزمایش ۲۷

آزمایش شماره‌ی ۵ــ مدارات برش دهنده و جهش‌دهنده ۲۸
۵ــ۱ــ اطلاعات اولیه ۲۸
۵ــ۲ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۳۰
۵ــ۳ــ مراحل آزمایش ۳۰
۵ــ۴ــ پرسش‌های آزمایش ۳۲

آزمایش شماره‌ی ۶ــ ترانزیستور BJT ۳۳
۶ــ۱ــ اطلاعات اولیه ۳۳
۶ــ۲ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۳۵
۶ــ۳ــ مراحل آزمایش ۳۵
۶ــ۴ــ پرسش‌های آزمایش ۳۵
۶ــ۵ــ اطلاعات اولیه مربوط به منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور ۳۶
۶ــ۶ــ مراحل آزمایش ۳۷

۶ـ۷ـ پرسش‌های آزمایش ۳۸
۶ـ۸ـ رسم مشخصه‌ی ترانزیستور به وسیله‌ی اسیلوسکوپ ۳۹
۶ـ۹ـ مراحل آزمایش ۳۹
۶ـ۱۰ـ آزمایش هدایت ترانزیستور ۳۹
۶ـ۱۱ـ مراحل آزمایش ۳۹
۶ـ۱۲ـ پرسش‌های آزمایش ۴۰
۶ـ۱۳ـ تقویت کننده‌ی امیتر مشترک ۴۰
۶ـ۱۴ـ مراحل آزمایش ۴۰
۶ـ۱۵ـ تقویت کننده‌ی بیس مشترک ۴۱
۶ـ۱۶ـ مراحل آزمایش ۴۲
۶ـ۱۷ـ تقویت کننده‌ی کلکتور مشترک ۴۳
۶ـ۱۸ـ مراحل آزمایش ۴۴
۶ـ۱۹ـ پرسش‌های آزمایش ۴۵

آزمایش شماره‌ی ۷ـ آزمایش ترانزیستور اثر میدان اتصالی (JFET) ۴۶
۷ـ۱ـ اطلاعات اولیه ۴۶
۷ـ۲ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۴۹
۷ـ۳ـ مراحل آزمایش ۵۰
۷ـ۴ـ پرسش‌های آزمایش ۵۳

آزمایش شماره‌ی ۸ـ آزمایش تقویت کننده‌های چند طبقه ۵۵
۸ـ۱ـ اطلاعات اولیه ۵۵
۸ـ۲ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۵۶
۸ـ۳ـ مراحل آزمایش ۵۶
۸ـ۴ـ پرسش‌های آزمایش ۵۷
۸ـ۵ـ آزمایش تقویت کننده‌ی کاسکود (آبشاری) ۵۸
۸ـ۶ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۵۸
۸ـ۷ـ مراحل آزمایش ۵۸
۸ـ۸ـ پرسش‌های آزمایش ۶۰

آزمایش شماره‌ی ۹ـ تقویت کننده‌های قدرت ۶۱
۹ـ۱ـ اطلاعات اولیه ۶۱
۹ـ۲ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۶۲
۹ـ۳ـ مراحل آزمایش ۶۲
۹ـ۴ـ پرسش‌های آزمایش ۶۳
۹ـ۵ـ تقویت کننده با ترانزیستورهای مکمل ۶۳
۹ـ۶ـ مراحل آزمایش ۶۴
۹ـ۷ـ پرسش‌های آزمایش ۶۶

آزمایش شماره‌ی ۱۰ـ تقویت کننده‌ی عملیاتی ۶۷
۱۰ـ۱ـ اطلاعات اولیه در مورد تقویت کننده‌ی تفاضلی ۶۷
۱۰ـ۲ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۶۸
۱۰ـ۳ـ مراحل آزمایش ۶۸
۱۰ـ۴ـ پرسش‌های آزمایش ۷۱
۱۰ـ۵ـ اطلاعات اولیه درباره‌ی تقویت کننده‌ی عملیاتی ۷۲
۱۰ـ۶ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۷۳
۱۰ـ۷ـ مراحل آزمایش ۷۳
۱۰ـ۸ـ پرسش‌های آزمایش ۷۵
۱۰ـ۹ـ مدارهای جمع کننده و مقایسه کننده با Op- Amp ۷۶
۱۰ـ۱۰ـ مراحل آزمایش ۷۷
۱۰ـ۱۱ـ پرسش‌های آزمایش ۷۸
۱۰ـ۱۲ـ اطلاعات اولیه ۷۸
۱۰ـ۱۳ـ آزمایش مدار مشتق‌گیر ۷۹
۱۰ـ۱۴ـ آزمایش مدار انتگرال‌گیر ۸۰
۱۰ـ۱۵ـ پرسش‌های آزمایش ۸۱

آزمایش شماره‌ی ۱۱ـ تنظیم کننده‌های ولتاژ مجتمع سه سر ۸۲
۱۱ـ۱ـ اطلاعات اولیه ۸۲

۲ـ۱۱ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۸۳
۳ـ۱۱ـ مراحل آزمایش ۸۳
۴ـ۱۱ـ پرسش‌های آزمایش ۸۶

آزمایش شماره‌ی ۱۲ـ الکترونیک صنعتی ۸۷
۱ـ۱۲ـ اطلاعات اولیه ۸۷
۲ـ۱۲ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۸۹
۳ـ۱۲ـ مراحل آزمایش ۸۹
۴ـ۱۲ـ پرسش‌های آزمایش ۹۰
۵ـ۱۲ـ اطلاعات اولیه در مورد دیاک و تریاک ۹۱
۶ـ۱۲ـ مراحل آزمایش ۹۲
۷ـ۱۲ـ پرسش‌های آزمایش ۹۳
۸ـ۱۲ـ اطلاعات اولیه درباره‌ی UJT ۹۴
۹ـ۱۲ـ مراحل آزمایش ۹۵
۱۰ـ۱۲ـ پرسش‌های آزمایش ۹۷

آزمایش شماره‌ی ۱۳ـ آشنایی با دروازه‌های منطقی ۹۸
۱ـ۱۳ـ اطلاعات اولیه ۹۸
۲ـ۱۳ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۱۰۰
۳ـ۱۳ـ مراحل آزمایش ۱۰۱
۴ـ۱۳ـ پرسش‌های آزمایش ۱۰۹

آزمایش شماره‌ی ۱۴ـ مدارهای جمع‌گر و تفریق‌گر ۱۱۰
۱ـ۱۴ـ اطلاعات اولیه ۱۱۰
۲ـ۱۴ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۱۱۱
۳ـ۱۴ـ مراحل آزمایش ۱۱۱
۴ـ۱۴ـ پرسش‌های آزمایش ۱۱۵

آزمایش شماره‌ی ۱۵ـ آشنایی با فلیپ‌فلاپ‌ها ۱۱۶
۱ـ۱۵ـ اطلاعات اولیه ۱۱۶
۲ـ۱۵ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۱۱۶
۳ـ۱۵ـ مراحل آزمایش ۱۱۶
۴ـ۱۵ـ پرسش‌های آزمایش ۱۲۳

آزمایش شماره‌ی ۱۶ـ شیفت رجیسترها و شمارنده‌ها ۱۲۴
۱ـ۱۶ـ اطلاعات اولیه ۱۲۴
۲ـ۱۶ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۱۲۵
۳ـ۱۶ـ مراحل آزمایش ۱۲۵
۴ـ۱۶ـ پرسش‌های آزمایش ۱۳۳

آزمایش شماره‌ی ۱۷ـ مدارهای متمرکز کننده (Multiplexer) و پخش کننده (Demultiplexer) ۱۳۴
۱ـ۱۷ـ اطلاعات اولیه ۱۳۴
۲ـ۱۷ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز ۱۳۴
۳ـ۱۷ـ مراحل آزمایش ۱۳۵
۴ـ۱۷ـ پرسش‌های آزمایش ۱۳۷

مراجع ۱۳۸

سخنی با همکاران محترم

تحولات شگرف در رشته‌ی الکترونیک و نیاز کشور به نیروی انسانی متخصص ضرورت بازنگری مستمر در محتوای برنامه‌های درسی را ایجاب می‌کند. این کتاب با هدف اعمال اصلاحات به‌وجود آمده روش اجرایی سالی ـ واحدی ـ با توجه به حاصل تجارب به‌دست آمده از اجرای برنامه‌های درسی و جمع‌بندی پیشنهادهای رسیده از همکاران هنرآموز ـ تدوین گردیده است.

به‌منظور ارتقای کیفی تربیت‌های فارغ‌التحصیلان، کمیسیون تخصصی برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی با افزایش ساعت‌های کارگاهی نیز موافقت نموده است.

محتوای پیشنهادی درسی پس از بررسی در همایش هنرآموزان منتخب رشته‌های الکترونیک و الکتروتکنیک که در تابستان سال ۱۳۷۹ در تهران برگزار شد، بازنگری و اصلاح شده‌است. سرانجام متن کتاب براساس جدول «هدف ـ محتوا»ی مصوب تألیف و تدوین شده است. برای تدوین مطلوب محتوای کتاب و ایجاد علاقه‌مندی در هنرجویان و کسب مهارت نسبی در حیطه‌ی اجرای مستقل، در هر آزمایش مراحل زیر پیش‌بینی شده است:

۱ـ هدف کلی،

۲ـ اهداف رفتاری،

۳ـ تجهیزات و قطعات موردنیاز،

۴ـ مراحل آزمایش،

۵ ـ پرسش‌های مربوط به هر آزمایش.

یادآوری می‌شود، انجام‌دادن آزمایش‌های کتاب و پاسخ هنرجویان به پرسش‌ها برای درک مطالب ضروری است. در تدوین کتاب سعی شده است مطالب جنبه‌ی عملی و کاربردی داشته باشد و دانش و مهارت هنرجو را افزایش دهد.

جدول زمان‌بندی در کتاب نیز به‌منظور هماهنگی بین زمان و محتوا تنظیم شده است که رعایت زمان موردنظر، با توجه به اهداف رفتاری هر فصل، به بهبود فرآیند آموزش و یادگیری منجر خواهد شد.

در پایان از همکاران محترم هنرآموز درخواست می‌شود نظرات و پیشنهادات اصلاحی خود را به‌دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش ارسال فرمایند تا در بازنگری‌های بعدی کتاب ملحوظ شود.

جدول زمان‌بندی کارگاه الکترونیک عمومی

شماره‌ی آزمایش	عنوان آزمایش	زمان انجام آزمایش (ساعت)	
		نظری	عملی
۱	بررسی مشخصه‌ی ولت ـ آمپر دیود نیمه هادی	۱	۷
۲	بررسی مشخصه‌ی ولت ـ آمپر دیود زنر	۱	۷
۳	یکسوسازی و صافی‌ها	۱	۷
۴	منبع تغذیه متقارن و مدارات دوبرابر کننده‌ی ولتاژ	۱	۷
۵	مدارات برش دهنده و جهش دهنده	۱	۷
۶	ترانزیستور BJT	۵	۳۵
۷	ترانزیستور اثر میدانی پیوندی JFET	۱	۷
۸	تقویت‌کننده‌های چندطبقه	۲	۱۴
۹	تقویت کننده‌های قدرت	۲	۱۴
۱۰	تقویت‌کننده‌ی تفاضلی و عملیاتی	۳	۲۱
۱۱	رگولاتورهای ولتاژ	۲	۱۴
۱۲	الکترونیک قدرت	۲	۱۴
۱۳	آشنایی با دروازه‌های منطقی	۲	۱۴
۱۴	مدارهای جمع‌گر (تریگر)	—	—
۱۵	آشنایی با قلب فلاپ‌ها	۲	۱۴
۱۶	تشریح رجیسترها و شمارنده‌ها	۲	۱۴
۱۷	مدارهای متمرکز کننده و پخش‌کننده	۱	۷
	امتحان پایان دوره		۸

هدف کلی

آموزش مفاهیم عملی و مدارهای کاربردی در رشته‌ی الکترونیک

قابل توجه هنرآموزان و هنرجویان عزیز

آزمایش‌های مربوط به دیجیتال را باتوجه به پیشرفت درس دیجیتال در بین سایر آزمایش‌ها انجام دهید تا هماهنگی بین درس دیجیتال و الکترونیک عمومی ۲ و آزمایشگاه صورت پذیرد.

آزمایش شماره‌ی ۱

بررسی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود نیمه‌هادی

هدف کلی آزمایش

هدف از این آزمایش عبارت است از: آشنایی با دیودهای نیمه‌هادی، شناخت علایم ظاهری، تشخیص پایه‌های آند و کاتد دیود، تشخیص جنس دیود، تشخیص سالم یا سوخته بودن دیود و به‌دست آوردن منحنی مشخصه‌ی دیود به‌روش‌های نقطه‌یابی، و استفاده از اسیلوسکوپ.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر پایه‌های آند و کاتد دیود را تعیین کند.

۲ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر سالم یا سوخته بودن دیود را تشخیص دهد.

۳ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر جنس دیود را تعیین کند.

۴ـ به روش نقطه‌یابی، منحنی مشخصه‌ی دیود را در باياس موافق و مخالف رسم کند.

۵ـ با استفاده از مشخصه‌ی دیود مقاومت استاتیک دیود را محاسبه کند.

۶ـ با استفاده از منحنی مشخصه‌ی دیود ولتاژ زانو را برای دیودهای ژرمانیوم و سیلیکون اندازه بگیرد.

۷ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ منحنی مشخصه‌ی دیود را در باياس موافق و مخالف رسم کند.

۸ـ به پرسش‌های مربوط به آزمایش پاسخ دهد.

۱ـ۱ـ اطلاعات اولیه

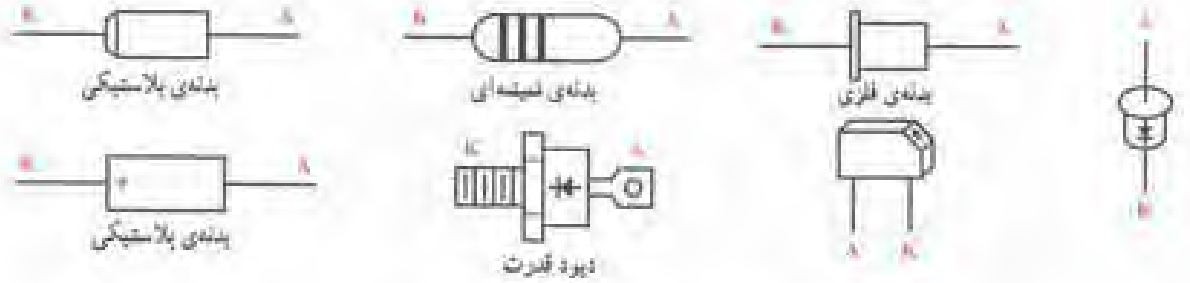
از اتصال دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N یک پیوند PN تشکیل می‌شود. نیمه‌هادی نوع P «قطب مثبت» یا «آنده» و نیمه‌هادی نوع N «قطب منفی» یا «کاتد» نامیده می‌شود.

پس از اتصال دو نیمه‌هادی به‌یکدیگر در محل اتصال سد پتانسیل به‌وجود می‌آید. اندازه‌ی ولتاژ سد پتانسیل برای دیودهای ژرمانیومی برابر ۰/۲ تا ۰/۳ ولت و برای دیودهای سیلیکونی برابر ۰/۶ تا ۰/۷ ولت است.

در شکل ۱ـ۱ ساختمان دیود نیمه‌هادی و نمای فنی آن نشان داده شده است.

شکل ۱ـ۱ـ ساختمان دیود نیمه‌هادی و نمای فنی آن

این دیودها در اشکال و ابعاد مختلف ساخته می‌شوند و معمولاً سازندگان دیود از علایمی برای مشخص کردن پایه‌های دیود استفاده می‌کنند؛ برای مثال شکل دیود را روی بدنه‌ی آن می‌کشند یا اگر دیود به‌صورت استوانه‌ای باشد در یک‌طرف آن یک یا چند نوار رنگی قرار می‌دهند که نشان‌دهنده‌ی کاتد آن است. در شکل ۲ـ۱ چند نمونه از دیود را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲ـ۱ـ شکل ظاهری انواع دیود

۱ـ۱ـ۱ـ نام‌گذاری دیودها: برای نام‌گذاری دیودها از سه استاندارد آمریکایی، اروپایی و ژاپنی استفاده می‌شود. در استاندارد آمریکایی، دیودها با علامت ۱N مشخص می‌شوند که بعد از ۱N شماره‌ی دیود را می‌نویسند؛ مانند ۱N۵۴۰۴، ۱N۹۱۴، ۱N ۴۷۲۲ که گاهی نیز به‌جای نوشتن شماره‌ها بر روی دیود، از نوارهای رنگی استفاده می‌کنند.

در این‌گونه دیودها، عدد حاصل از خواندن این نوارهای رنگی، شماره‌ی دیود را مشخص می‌کند. در ضمن، نوار اول کمی پهن‌تر از دیگر نوارهاست که مشخص‌کننده‌ی کاتد دیود نیز هست. در شکل ۳ـ۱ دیود ۱N ۴۱۴۸ با نوارهای رنگی مشخص شده است.

شکل ۳ـ۱ـ دیود با نوارهای رنگی

در استاندارد اروپایی قبلاً دیودها را با OA نشان می‌دادند، اما در استاندارد جدید از دو حرف و سه‌شماره استفاده می‌کنند؛ مانند: BA۱۳۵ ، BA۱۳۷ و BY۱۲۷ . برای پی‌بردن به معانی این حروف به جدول استاندارد دیودها مراجعه کنید. در استاندارد ژاپنی دیودها را با 1S نشان می‌دهند؛ مانند 1S۱۵۵۵ و 1S۱۸۳۴.

۲ـ۱ـ۱ـ آزمایش دیود با اهم‌متر: می‌دانیم که اگر دیود در جهت مستقیم بایاس شود جریان را از خود عبور می‌دهد، بنابراین، دیود در جهت مستقیم دارای مقاومت اندکی است ولی اگر دیود درجهت معکوس بایاس شود، جریان را از خود عبور نمی‌دهد، بنابراین دیود درجهت معکوس مقاومت بسیار زیادی دارد. معمولاً در اکثر مولتی‌مترهای عقربه‌ای، قطب منفی مولتی‌متر به‌سر مثبت باطری داخلی آن و قطب مثبت مولتی‌متر، به‌سر منفی این باطری متصل است، پس اگر مولتی‌متر را روی درجه‌بندی اهم (ترجیحاً R×۱) قرار دهیم و دوسر آن را ـ مطابق شکل ۴ـ۱ ـ الف ـ به‌دو سر دیود وصل کنیم دیود در جهت مستقیم بایاس می‌شود و مولتی‌متر اهم اندکی نشان می‌دهد؛ بنابراین، سری که به منفی مولتی‌متر متصل است «آند» و دیگری «کاتد» است. امّا اگر دیود مطابق شکل ۴ـ۱ـ ب وصل شده باشد، دیود درجهت معکوس بایاس شده و مقاومت زیادی را نشان می‌دهد؛ پس سری که به منفی مولتی‌متر متصل شده است «کاتد» و سر دیگری «آند» است. در مولتی‌مترهای دیجیتالی قطب مثبت مولتی‌متر به‌قطب مثبت باطری داخلی، و قطب منفی آن نیز به‌قطب منفی این باطری وصل است. در مولتی‌مترهای دیجیتالی قسمتی به‌نام تست دیود وجود دارد که هنگام استفاده از آن برای دیودهای ژرمانیومی ولتاژ ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌ولت و برای دیودهای سیلیکونی ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌ولت را نشان می‌دهد. این ولتاژ همان ولتاژ بایاس موافق دوسر دیود است.

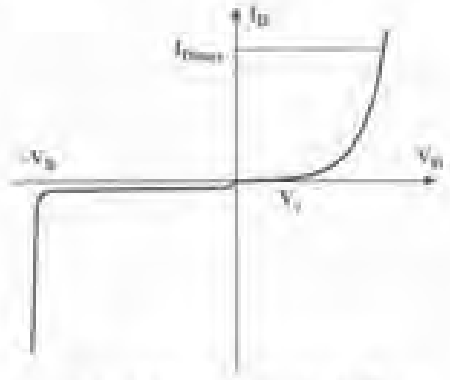
الف ـ عقربه منحرف می‌شود

ب ـ عقربه منحرف نمی‌شود

شکل ۴ـ۱ـ اتصال اهم‌متر عقربه‌ای به دو سر دیود

۳ـ۱ـ۱ـ آزمایش سالم بودن دیود یا اهم‌متر: دیودها وقتی می‌سوزند یا کاملاً اتصال کوتاه می‌شوند یا از داخل قطع می‌شوند. دیود درحالتی که اتصال کوتاه شده باشد، در هر دو جهت مقاومت «کمی» نشان می‌دهد و در حالتی که قطع شده باشد، در هر دو جهت مقاومت «بسیار زیادی» نشان می‌دهد و این نشان دهنده‌ی خرابی دیود است. درحالی که دیود سالم در یک جهت دارای مقاومت کم و در جهت دیگر دارای مقاومت زیاد است. به عبارت دیگر: یک دیود سالم، دیودی است که جریان آند و کاتد آن در یک‌جهت را، دهد و درجهت دیگر را، ندهد.

۴ـ۱ـ۱ـ منحنی مشخصه‌ی استاتیکی دیود: منحنی تغییرات جریان دیود برحسب ولتاژ دوسر آن در گرایش مستقیم و معکوس به «منحنی مشخصه‌ی استاتیکی» یا منحنی «ولت آمپر دیود» معروف است. در شکل ۵ـ۱ منحنی ولت‌آمپر دیود در گرایش مستقیم و معکوس نشان داده شده است. محور قائم «جریان دیود» و محور افقی ولتاژ «دوسر دیود» را نشان می‌دهد. بخشی از منحنی که V_D و I_D مثبت هستند منحنی ولت‌آمپر دیود در گرایش مستقیم و بخشی از آن که V_D و I_D هر دو منفی هستند منحنی ولت‌آمپر دیود در گرایش معکوس است. V_γ ولتاژ زانو، $I_{D_{max}}$ حداکثر جریان مجاز دیود در گرایش مستقیم و V_B ولتاژ شکست دیود در گرایش معکوس است. ولتاژ شکست دیود در گرایش معکوس و حداکثر جریان دیود در گرایش مستقیم دو پارامتر بسیار مهم دیود است؛ برای مثال: دیود ۲۰۰/۱۸ ۲۰۰/۷ یعنی دیودی که در گرایش معکوس، ۲۰۰ ولت را تحمل می‌کند و در گرایش مستقیم می‌توانیم حداکثر یک آمپر جریان از آن بگذرانیم.

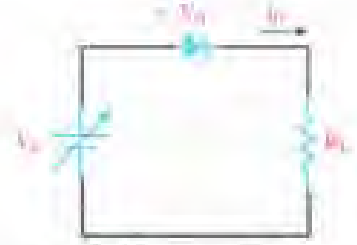


شکل ۵ـ۱ـ مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود

مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود را می‌توان به‌روش نقطه‌یابی یا به‌وسیله‌ی دستگاه‌های اسیلوسکوپ و منحنی‌نگار[1] به دست آورد. در این آزمایش به‌روش‌های نقطه‌یابی و استفاده از اسیلوسکوپ، منحنی مشخصه‌ی دیود را در گرایش مستقیم و معکوس به‌دست می‌آورید.

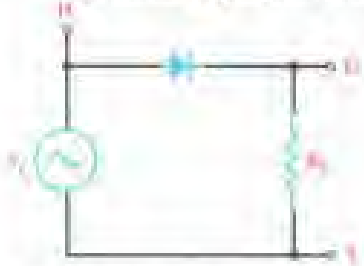
رسم مشخصه‌ی استاتیکی دیود به‌روش نقطه‌یابی: در شکل ۶ـ۱ دیود در گرایش مستقیم بایاس شده است. با تغییر ولتاژ V_S، می‌توان ولتاژ V_D و جریان I_D را اندازه‌گرفت و جدول تغییرات ولتاژ V_D و جریان I_D را به‌دست آورد و یا استفاده از مقادیر جدول منحنی تغییرات جریان دیود برحسب ولتاژ دوسر دیود را درگرایش مستقیم رسم نمود.

در شکل ۶ـ۱ اگر جهت دیود برعکس بسته شود آن‌گاه با تغییر V_S می‌توان جریان و ولتاژ دیود را در بایاس مخالف به‌دست آورد و از آن‌جا مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود را در گرایش معکوس رسم نمود.



شکل ۶ـ۱ـ دیود در گرایش مستقیم

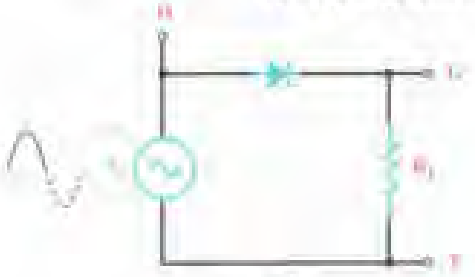
رسم مشخصه‌ی استاتیکی دیود به‌کمک اسیلوسکوپ: برای رسم مشخصه‌ی دیود به‌کمک اسیلوسکوپ می‌توان از مدار شکل ۷ـ۱ استفاده کرد. در این مدار نقطه‌ی H به ورودی افقی و نقطه‌ی V به‌ورودی عمودی و نقطه‌ی G به‌زمین اسیلوسکوپ وصل می‌شود. با قراردادن اسیلوسکوپ در وضعیت XY و تنظیم ولوم‌های آن می‌توان شکل منحنی مشخصه‌ی دیود را روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ مشاهده کرد.



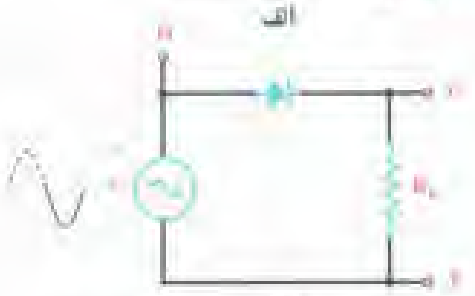
شکل ۷ـ۱ـ اتصال دیود به اسیلوسکوپ

۱ـ Curve tracer

در شکل ۷ـ۱ V_S یک سیگنال سینوسی است. وقتی که سیگنال ورودی نیم‌سیکل مثبت را طی می‌کند H نسبت به G مثبت و دیود در گرایش مستقیم قرار می‌گیرد. هنگامی که سیگنال ورودی، نیم‌سیکل منفی را طی می‌کند H نسبت به G منفی بوده، دیود در گرایش معکوس قرار می‌گیرد. در شکل ۸ـ۱ ـ الف دیود در گرایش مستقیم و در شکل ۸ـ۱ ـ ب دیود در گرایش معکوس قرار دارد.



الف



ب

شکل ۸ـ۱ـ دیود در گرایش مستقیم و معکوس

۲ـ۱ـ قطعات و تجهیزات موردنیاز

ـ اسیلوسکوپ دو کاناله	۱ دستگاه
ـ مولتی‌متر	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه‌ی DC	۱ دستگاه
ـ برد برد	۱ عدد
ـ دیود ژرمانیومی	۱ عدد
ـ دیود سیلیکونی	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W و ۲۲۰Ω	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W و ۱KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W و ۱۰۰KΩ	۱ عدد

۳ـ۱ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۱ـ دو دیود ژرمانیوم و سیلیکون موجود در آزمایشگاه را بوسیله‌ی اهم‌متر امتحان کنید. شکل ظاهری دیودها را رسم کرده، پایه‌های آند و کاتد را روی شکل بنویسید. مقاومت هر دیود را در بایاس موافق و مخالف اندازه‌گیری و در جدول ۱ـ۱ یادداشت نمایید.

جدول ۱ـ۱ـ آزمایش دیود

مشخصات / نوع دیود	شکل ظاهری	مقاومت بایاس موافق	مقاومت بایاس مخالف
دیود ژرمانیوم			
دیود سیلیکون			

۲ـ۳ـ۱ـ مدار شکل ۹ـ۱ را روی برد دیود ببندید (دیود را ۱N۴۰۰۱ انتخاب کنید) ولتاژ منبع تغذیه V_S را آن‌قدر تغییر دهید که V_L برابر با ۱۰V شود. حال ولتاژ دوسر دیود (V_D) را اندازه‌بگیرید و مقدار آن را در جدول ۲ـ۱ درج کنید. در این حالت جریانی را که از دیود عبور می‌کند از رابطه‌ی $i_D = \frac{V_L}{R_L}$ و مقاومت استاتیکی دیود را از رابطه‌ی $R_D = \frac{V_D}{i_D}$ به‌دست آورید. مقادیر i_D و R_D را در جدول ۲ـ۱ درج کنید. با انتخاب $R_L = 1K$ و $R_L = 220\Omega$ جدول را کامل کنید.

شکل ۹ـ۱

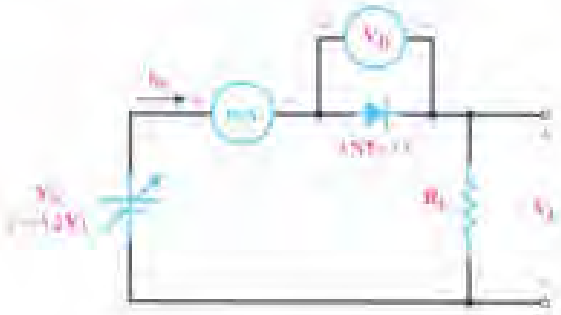
جدول ۲ـ۱

R_D	I_D	V_D	V_L	R_L
			۱۰V	۱۰۰K
			۱۰V	۱K
			۱۰V	۲۲۰Ω

۴ـ۳ـ۱ـ در شکل ۱۰ـ۱ مقاومت R_L را مساوی ۱ کیلواهم انتخاب کنید. ولتاژ V_S را آن‌قدر تغییر دهید که V_L برابر با ۱۰V شود. مقادیر ولتاژ دوسر دیود و جریانی را که از دیود می‌گذرد اندازه بگیرید و در جدول ۳ـ۱ درج نمایید. با انتخاب $R_L = 100K\Omega$ و $R_L = 220\Omega$ آزمایش را تکرار و جدول ۳ـ۱ را کامل کنید.

جدول ۳ـ۱

I_D	V_D	V_L	R_L
		۱۰V	۱KΩ
		۱۰V	۱۰۰KΩ
		۱۰V	۲۲۰Ω



شکل ۱۰ـ۱

۴ـ۳ـ۱ـ در شکل ۱۱ـ۱ در هر مورد ولتاژ V_S را به‌قدری تغییر دهید که ولتاژ V_L به‌مقدار مندرج در جدول ۴ـ۱ برسد، سپس با اندازه‌گیری ولتاژ V_D جریان I_D و مقاومت R_D را محاسبه و جدول را کامل کنید.

جدول ۴ـ۱

R_D	I_D	V_D	V_L[V]
			۰
			۰/۵
			۱
			۲
			۳
			۴
			۸
			۱۰

شکل ۱۱ـ۱

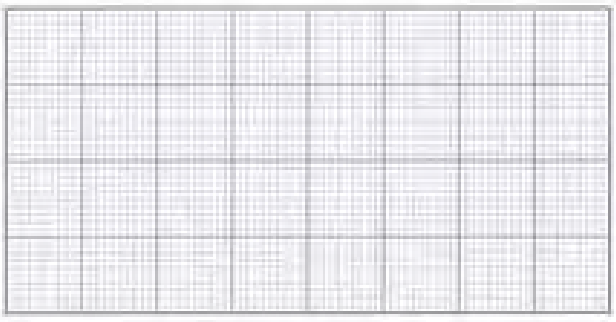
۵ـ۳ـ۱ـ در شکل ۱۱ـ۱ جهت دیود را معکوس کنید تا شکل ۱۲ـ۱ حاصل شود؛ سپس ولتاژ V_S را تغییر دهید تا ولتاژ دوسر دیود طبق جدول ۵ـ۱ تغییر کند. در هر حالت با اندازه‌گیری ولتاژ V_L جریان عبوری از دیود را محاسبه کنید و جدول ۵ـ۱ را کامل نمایید.

جدول ۵ـ۱

V_D - ولت	$-I_D$	V_L ولت
۰		
۱		
۲		
۴		
۷		
۸		
۹		
۱۰		
۱۱		
۱۵		
۲۰		

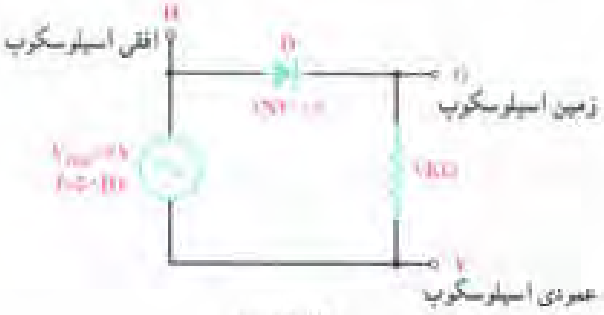
شکل ۱۲ـ۱

۶ـ۳ـ۱ـ با استفاده از جدول‌های ۴ـ۱ و ۵ـ۱ منحنی مشخصه‌ی استاتیکی دیود را رسم کنید (شکل ۱۲ـ۱).

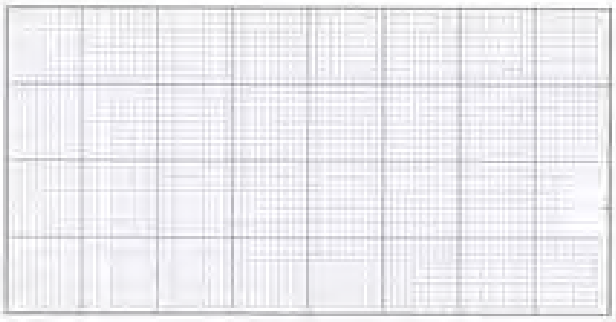


شکل ۱۳ـ۱ـ منحنی مشخصه‌ی استاتیکی دیود

۷ـ۳ـ۱ـ مدار شکل ۱۲ـ۱ را روی بردبرد ببندید و با اتصال نقاط V و H و G به اسیلوسکوپ و تنظیم مناسب ورنیه‌های آن، شکل منحنی مشخصه‌ی دیودهای ژرمانیوم و سیلیکون را روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ مشاهده و با مقیاس مناسب روی کاغذ میلی‌متری شکل ۱۵ـ۱ رسم کنید.



شکل ۱۴ـ۱



شکل ۱۵ـ۱ـ منحنی مشخصه‌ی دیودهای ژرمانیوم و سیلیکون

۴ـ۱ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در آزمایش ۱ـ۳ـ۱ـ مقاومت بایاس موافق برای دو دیود سیلیکون و زرمانیوم کدام بیش‌تر است؟ چرا؟

۲ـ آیا از آزمایش ۱ـ۳ـ۱ می‌توان جنس دیود را تشخیص داد؟ چرا؟

۳ـ آیا از آزمایش ۱ـ۳ـ۱ می‌توان سالم یا معیوب بودن دیود را تشخیص داد؟ چرا؟

۴ـ دیود در ..... شبیه یک مقاومت بزرگ عمل می‌کند.

الف ـ جریان‌های کم　　ب ـ جریان‌های متوسط

ج ـ جریان‌های زیاد　　د ـ ولتاژهای زیاد

۵ ـ کدام یک از عبارت‌های زیر، بخشی از منحنی مشخصه‌ی دیود را که بالاتر از ولتاژ زانو واقع است، دقیق‌تر توصیف می‌کند؟

الف ـ منحنی مشخصه‌ی دیود افقی می‌شود.　　ب ـ ولتاژ به‌سرعت افزایش می‌یابد.

ج ـ جریان به‌سرعت زیاد می‌شود.　　د ـ مقاومت dc به‌سرعت افزایش می‌یابد.

۶ـ در بایاس مستقیم، مقاومت dc افزایش می‌یابد وقتی که :

الف ـ جریان زیاد شود　　ب ـ ولتاژ دیود افزایش یابد

ج ـ نسبت $\frac{V_D}{i_D}$ کاهش پیدا کند　　د ـ نسبت $\frac{i_D}{V_D}$ کم شود

۷ـ باتوجه به منحنی مشخصه‌های شکل ۵ـ۱ ولتاژ زانو یا ولتاژ شروع هدایت (cut in voltage) برای دیودهای زرمانیوم و سیلیکون حدوداً چه‌قدر است؟

۸ ـ در شکل ۳ـ۱ مقاومت‌های استاتیکی و دینامیکی دیود را برای جریان $i_D = 5mA$ محاسبه کنید.

$R_D = \frac{V_D}{i_D} = ...$ استاتیکی

$R_d = \frac{26mV}{i_D} = ...$ دینامیکی

۹ـ منحنی مشخصه‌ی دیود با کدام یک از روش‌های نقطه‌یابی و اسیلوسکوپ دقیق‌تر به‌دست می‌آید؟ چرا؟

۱۰ـ در شکل ۱۲ـ۱ آیا می‌توان ولتاژ V_E را به هر مقدار دل‌خواه افزایش داد؟ چرا؟

آزمایش شماره‌ی ۲

بررسی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود زنر

هدف کلی آزمایش

هدف از این آزمایش عبارت است از: آشنایی با دیود زنر، شناخت علایم ظاهری، تشخیص پایه‌های آند و کاتد دیود، تشخیص جنس دیود، تشخیص سالم یا سوخته بودن دیود و به‌دست آوردن منحنی مشخصه‌ی دیود به دو روش نقطه‌یابی، و استفاده از اسیلوسکوپ.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر پایه‌های آند و کاتد دیود زنر را تعیین کند.

۲ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر سالم یا سوخته بودن دیود زنر را تشخیص دهد.

۳ـ ازطریق مولتی‌متر جنس دیود زنر را تعیین کند.

۴ـ به‌روش نقطه‌یابی، منحنی مشخصه‌ی دیود زنر را در بایاس مخالف رسم کند.

۵ـ با استفاده از مشخصه‌ی دیود زنر مقاومت آن را تعیین کند.

۶ـ با استفاده از مشخصه‌ی دیود زنر ولتاژ شکست آن را تعیین کند.

۷ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ منحنی مشخصه‌ی دیود زنر را در بایاس موافق و مخالف رسم کند.

۸ـ منحنی مشخصه‌ی دیود زنر را با منحنی مشخصه‌ی دیود معمولی مقایسه کند.

۹ـ به‌کمک منحنی مشخصه‌ی ولتاژ زانو را برای دیود زنر تعیین کند.

۱۰ـ به‌پرسش‌های مربوط به آزمایش پاسخ دهد.

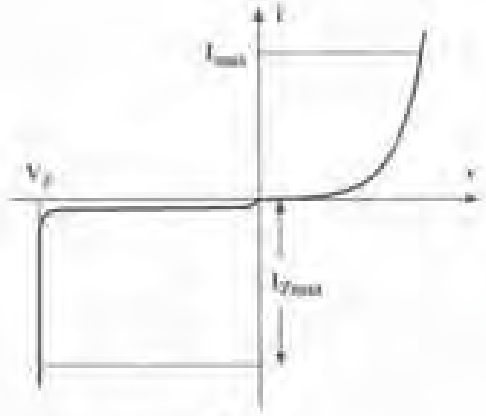
۱ـ۲ـ اطلاعات اوّلیه

دیود زنر در گرایش مستقیم مانند دیود معمولی عمل می‌کند، امّا این دیود در گرایش معکوس ـ حتّی اگر وارد منطقه‌ی شکست شود ـ نمی‌سوزد؛ البته به‌شرطی که جریان در جهت معکوس، از جریان مجاز دیود تجاوز نکند. با دانستن توان قابل‌تحمّل یک دیود زنر و نیز ولتاژ شکست آن می‌توان حداکثر جریانی را که درجهت معکوس از دیود زنر عبور می‌کند به‌دست آورد؛ برای مثال، حداکثر جریان مجاز یک دیود زنر ۹ ولت و ۱ وات برابر است با:

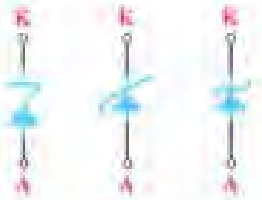
$$I_{Z\max} = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{1}{9} = 0/11A = 110\,mA$$

در شکل ۱ـ۲ الف نمای فنی دیود زنر و در شکل ۱ـ۲ب منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود زنر نشان‌داده‌شده است.

با توجه به منحنی مشخصه‌ی دیود زنر ملاحظه می‌شود که منحنی مشخصه در ناحیه‌ی شکست یک خط تقریباً قائم است، یعنی دیود زنر پس از این‌که وارد ناحیه‌ی شکست خود شد، ولتاژ دوسرش ثابت می‌ماند اما جریانش زیاد می‌شود و این جریان نباید از حد معیّنی بیش‌تر شود. از این خاصیت دیود



ب



الف

شکل ۱ـ۲ـ منحنی فنی و منحنی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود زنر

زنر برای ثابت نگه‌داشتن ولتاژ در رگولاتورهای ولتاژ استفاده می‌کنند.

دیودهای زنر را با ولتاژهای شکست متفاوت می‌سازند؛ مانند:

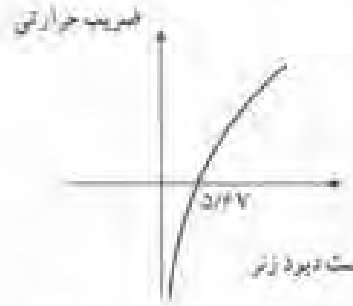
۲/۴۷، ۳۷، ۳/۳۷، ۳/۶۷، ۴/۳۷، ۴/۷۷، ۵/۶۷ و ...

برای متمایز کردن یک دیود زنر از دیودهای معمولی از حرف Z استفاده می‌کنند؛ مانند: BZX۸۶-C۵V۶ که در این حالت، BZ به معنی «دیود زنر از جنس سیلیکون» و X۸۶ «شماره‌ی سریال کارخانه»، حرف C تلرانس به‌میزان ۵٪ و ۵۷۶ به‌معنی «ولتاژ شکست ۵/۶ ولت» است. در این نوع نام‌گذاری گاهی به‌جای حرف C از حرف D بیانگر تلرانس ۱٪ استفاده می‌شود. دیودهای زنر با ولتاژ ۵/۶ ولت دارای ضریب حرارتی صفر، با ولتاژ بیش از ۵/۶ ولت دارای ضریب حرارتی مثبت، با ولتاژ کم‌تر از ۵/۶ ولت دارای ضریب حرارتی منفی‌اند. در شکل ۲ـ۲ منحنی تغییرات ضریب حرارتی با ولتاژ شکست دیود زنر نشان داده شده است.

درصد ضریب حرارتی دیود زنر از این رابطه به‌دست می‌آید:

$$TC\% = \frac{\frac{\Delta V_Z}{V_Z}}{\Delta T} \times 100$$

در این رابطه ΔV تغییرات V_Z در اثر تغییرات دمای ΔT است. ضریب حرارتی با واحد $\frac{1}{\text{درجه‌ی سانتی‌گراد}}$ به‌کار می‌رود.



شکل ۲ـ۲ـ منحنی تغییرات ضریب حرارتی نسبت به ولتاژ شکست

۱ـ۱ـ۲ـ مشخصات دیود زنر از طرف کارخانه‌ی سازنده:

برای مشخص کردن عملکرد دیودهای زنر، پارامترهای مهم این دیودها به‌وسیله‌ی کارخانه‌ی سازنده مشخص می‌شود که بعضی از آن‌ها برای دیود 1N۲۸۱۶ بدین‌قرار است:

V_{ZT} = ۱۸V ولتاژ مرجع نامی (nomina treference-voltage)

تلرانس (Tolerance) ۵٪

ماکزیمم توان تلف شده در ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد تقریباً ۱۵W

جریان نقطه‌ی آزمایش شده

I_{ZT} = ۷۰ mA (Test Current)

r_{ZT} = ۲Ω مقاومت دینامیکی در I_{ZT}

I_{ZK} = ۵mA جریان زانو (knee Current)

r_{ZK} = ۸۰Ω مقاومت دینامیکی زانو

T_{jmax} = ۱۵۰°C ماکزیمم درجه‌ی حرارت پیوند

ضریب حرارتی $T_C = \%V_Z \frac{1}{C^\circ}$

(Temperatur Coefficient)

۲ـ۲ـ قطعات و تجهیزات موردنیاز

ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه
ـ مولتی‌متر	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه DC	۱ دستگاه
ـ برد برد	۱ عدد
ـ دیود ۱N۷۵۳، یا معادل آن	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W و ۱۸۰Ω	۱ عدد

۳ـ۲ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۲ـ دیود زنر ۱N۷۵۳ یا معادل آن را بوسیله‌ی اهم‌متر امتحان کنید. پایه‌های آند و کاتد آن را مشخص نموده مقاومت دیود را در بایاس موافق و مخالف اندازه‌گیری کنید و مقادیر حاصل از این اندازه‌گیری را در جدول ۱ـ۲ درج نمایید.

۲ـ۳ـ۲ـ مدار شکل ۲ـ۳ را روی برد برد ببندید و ولتاژ ورودی را طبق جدول ۲ـ۲ تغییر دهید؛ سپس ولتاژ خروجی را به‌ازای هریک از ولتاژهای ورودی نشان داده شده اندازه‌گیری و در جدول ۲ـ۲ درج کنید.

جدول ۱ـ۲ـ آزمایش دیود زنر

	شکل ظاهری	مقاومت بایاس موافق	مقاومت بایاس مخالف
دیود زنر ۱N۷۵۳ یا معادل آن			

۳ـ۳ـ۲ـ جریان زنر را به‌ازای هریک از ولتاژهای خروجی حاصل محاسبه و در جدول ۲ـ۲ درج کنید:

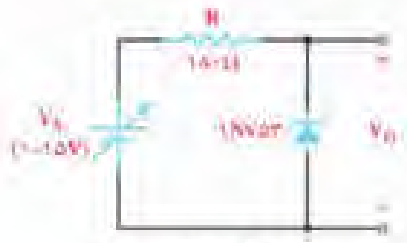
$$I_Z = \frac{V_{in} - V_{out}}{R}$$

۴ـ۳ـ۲ـ با توجه به مقادیر جدول ۲ـ۲ منحنی ولت آمپر دیود زنر را در شکل ۴ـ۲ رسم کنید.

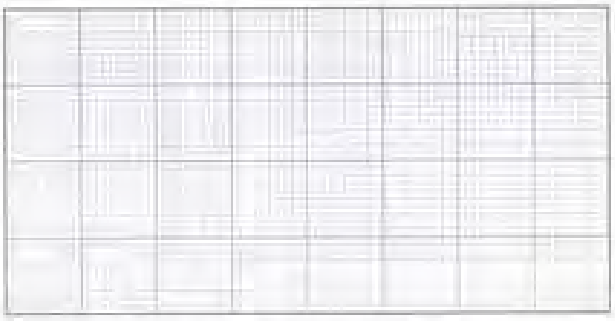
۵ـ۳ـ۲ـ دیود زنر ۱N۷۵۳ دارای این مشخصات است:

جدول ۲ـ۲

V_{in}	V_{out}	I_Z
۰		
۲		
۴		
۶		
۸		
۱۰		
۱۲		
۱۵		



شکل ۴ـ۲



شکل ۴ـ۲ـ منحنی ولت آمپر دیود زنر

$I_{ZT}=۲۰mA$ و $V_Z=۶/۲V\pm٪۱۰$ و $P_{Zmax}=۲۰۰mW$

حداکثر جریان مجاز این دیود چه‌قدر است؟

$I_{Zmax}=$

۶ـ۳ـ۲ـ با توجه به مقادیر جدول ۲ـ۲ مقاومت زنر را بین دو ولتاژ ورودی ۸V و ۱۲V با استفاده از رابطه‌ی $R_Z=\frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$ محاسبه کنید:

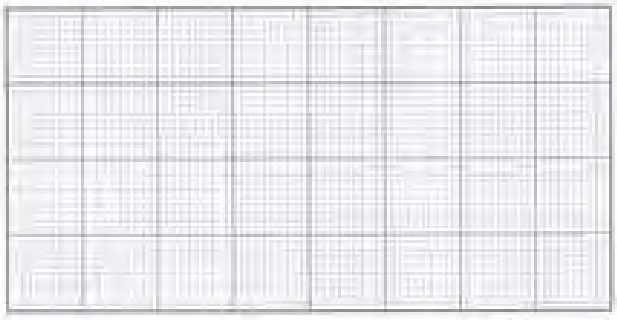
$R_Z=$.....

۷ـ۳ـ۲ـ در مدار شکل ۳ـ۲ ولتاژ ورودی را روی ۱۰V تنظیم کنید و جهت دیود زنر را برعکس کنید. در این حالت ولتاژ خروجی V_{out} را اندازه‌گیری و یادداشت کنید:

$V_{out}=$.....

۸ـ۳ـ۲ـ مدار شکل ۵ـ۲ را روی برد برد ببندید و با اتصال نقاط V و H و G به اسیلوسکوپ و تنظیم مناسب رنج‌های آن، شکل منحنی مشخصه‌ی دیود زنر را روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ مشاهده نموده با مقیاس مناسب روی کاغذ میلی‌متری شکل ۶ـ۲ رسم کنید.

شکل ۵ـ۲



شکل ۶ـ۲ـ منحنی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود زنر

۴ـ۲ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ با توجه به منحنی شکل ۴ـ۲ ولتاژ شکست زنر را تعیین کنید.

۲ـ در شکل ۳ـ۲ جریان زنر و جریانی که از مقاومت ۱۸Ω اهم می‌گذرد:

الف ـ برابرند ب ـ تقریباً برابرند ج ـ بسیار اختلاف دارند

۳ـ در آزمایش ۶ـ۳ـ۲ مقاومت بار R محاسبه شده، نوع دینامیک است یا استاتیک؟ چرا؟

۴ـ با توجه به مشخصات دیود زنر مورد آزمایش، مرحله‌ی شکست دیود وقتی آغاز می‌شود که ولتاژ ورودی تقریباً برابر باشد با:

الف ـ ۴ ولت ب ـ ۶V ج ـ ۸V د ـ ۱۰V

۵ ـ در شکل ۳ـ۲ هرگاه V_{in} کمتر از ۶ ولت باشد ولتاژ خروجی عبارت است از:

الف ـ تقریباً ثابت ب ـ منفی ج ـ برابر با ورودی

۶ـ در شکل ۳ـ۲ وقتی V_{in} بزرگ‌تر از ۸ ولت باشد ولتاژ خروجی عبارت است از:

الف ـ تقریباً ثابت ب ـ منفی ج ـ برابر با ورودی

۷ـ مقاومت محاسبه شده دیود زنر مورد آزمایش نزدیک است به:

الف ـ ۱Ω ب ـ ۲Ω ج ـ ۷Ω د ـ ۲۰Ω

۸ ـ جریان زنر وقتی به‌جریان آزمون تعریف‌شده، در برگه‌ی مشخصات دیود زنر نزدیک است که V_{in} برابر باشد با:

الف ـ ۶V ب ـ ۸V ج ـ ۱۰V د ـ ۱۲V

۹ـ در جدول ۲ـ۲ هرگاه ولتاژ ورودی از ۱۰V به ۱۵V افزایش یابد، تغییر ولتاژ خروجی نزدیک است به:

الف ـ ۰/۰۱V ب ـ ۰/۱V ج ـ ۱V د ـ ۱۰۰μV

۱۰ـ حداکثر جریان مجاز زنر ۱N۷۵۳ نزدیک است به:

الف ـ ۲۰mA ب ـ ۴۰mA ج ـ ۶۰mA د ـ ۹۰mA

۱۱ـ آزمایش دیود سیلیکون معمولی با دیود زنر ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر ـ چه تفاوتی دارد؟

۱۲ـ در مدار شکل ۵ـ۲ اگر جهت دیود زنر معکوس شود منحنی ولت‌آمپر آن روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ چه تغییری می‌کند؟ چرا؟

۱۳ـ در آزمایش ۷ـ۳ـ۲ با توجه به مقدار ولتاژ خروجی، دیود از جنس ژرمانیوم است یا سیلیکون؟

آزمایش شماره‌ی ۳

یک‌سو سازهای نیم‌موج، تمام موج و صافی‌ها

هدف کلی آزمایش

آشنایی با یک‌سو سازهای نیم‌موج و تمام‌موج و بررسی اثر خازن صافی در شکل موج خروجی یک‌سو ساز تمام موج.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ مدار یک‌سو ساز نیم‌موج را ببندد.

۲ـ شکل موج خروجی یک‌سو ساز نیم‌موج را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ رسم کند.

۳ـ ولتاژ dc دوسر بار را در یک‌سو ساز نیم‌موج اندازه بگیرد.

۴ـ پریود سیگنال خروجی دوسر بار را در یک‌سو ساز نیم‌موج اندازه بگیرد.

۵ـ مدار یک‌سو ساز تمام موج با دو دیود را ببندد.

۶ـ شکل موج خروجی یک‌سو ساز تمام‌موج را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ رسم کند.

۷ـ ولتاژ dc دوسر بار را در یک‌سو ساز تمام‌موج دوبل دیود اندازه بگیرد.

۸ـ مدار یک‌سو ساز پل را ببندد.

۹ـ با اسیلوسکوپ، شکل موج دوسر بار در یک‌سو ساز تمام موج پل را رسم کند.

۱۰ـ ولتاژ dc دوسر بار را در یک‌سو ساز تمام‌موج پل اندازه بگیرد.

۱۱ـ مدار یک‌سو ساز پل با خازن صافی را ببندد.

۱۲ـ شکل موج خروجی دوسر بار را در یک‌سو ساز تمام‌موج پل با خازن صافی رسم کند.

۱۳ـ در یک‌سو ساز تمام موج پل با خازن صافی سیگنال ریپل را رسم کند.

۱۴ـ در یک‌سو ساز تمام‌موج پل با خازن صافی ولتاژ ریپل را اندازه بگیرد.

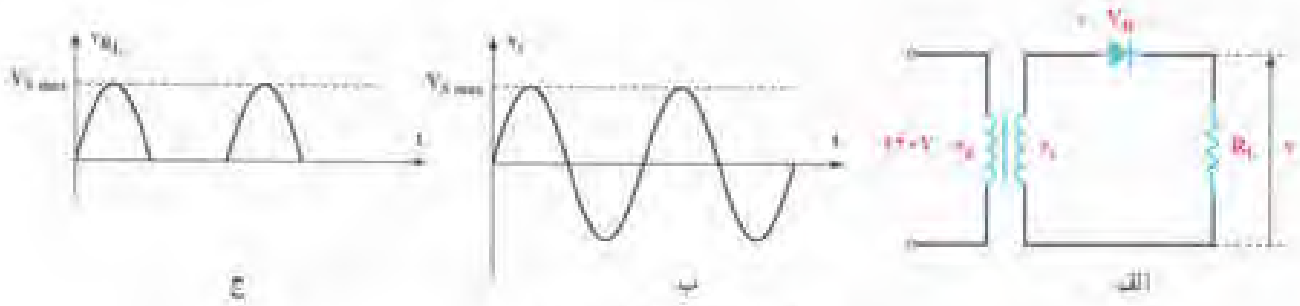
۱۵ـ به پرسش‌های آزمایش پاسخ دهد.

۱ـ۳ـ اطلاعات اوّلیه

برای دست‌یابی به مطالب تئوری مربوط به یک‌سوسازی و صافی‌ها به کتاب «الکترونیک عمومی ۱» مراجعه کنید.

در این بخش به‌گونه‌ای مختصر شکل موج‌ها و روابط ولتاژ و جریان مربوط به مدارات یک‌سوساز را ـ با خازن صافی و بدون خازن صافی ـ بررسی می‌کنیم.

۱ـ۱ـ۳ـ یک‌سو ساز نیم‌موج: در شکل ۱ـ۳ الف مدار یک‌سوساز نیم‌موج با مقاومت بار R نشان داده شده است و در شکل‌های ۱ـ۳ ب و ۱ـ۳ ج به‌ترتیب شکل موج‌های ولتاژ ثانویه ترانس و ولتاژ دوسر بار رسم شده است.



شکل ۱ـ۳ـ مدار یکسو ساز نیم‌موج

اگر مقدار مؤثر ولتاژ ثانویه ترانس مساوی V_S باشد مقدار ماکزیمم آن برابر است با $\sqrt{2}\,V_S$ که با V_{Smax} نشان داده می‌شود. مقدار ماکزیمم ولتاژ دوسر مقاومت بار برابر با $V_{Smax} - V_D$ خواهد بود. اگر دیود ایده‌آل باشد ماکزیمم ولتاژ دوسر بار برابر V_{Smax} است. مقدار متوسط ولتاژ دو سربار و یا ولتاژ dc خروجی برابر است با:

$$V_{dc} = \frac{\sqrt{2}V_S - V_D}{\pi} \simeq \frac{\sqrt{2}V_S}{\pi} \simeq \frac{V_{Smax}}{\pi}$$

در شکل ۱ـ۳ الف اگر به‌جای مقاومت بار R_L یک خازن الکترولیت با ظرفیت زیاد قرار گیرد (حالت پی‌باری) مطابق شکل ۲ـ۳ ولتاژ خروجی تقریباً برابر با V_{Smax} خواهد بود.

در شکل ۳ـ۲ الف مدار یکسو ساز نیم‌موج با خازن

شکل ۲ـ۳

صافی C و مقاومت بار R_L نشان داده شده است. شکل موج ولتاژ خروجی در شکل ۳ـ۳ ب رسم شده است در این حالت، ریپل ولتاژ خروجی با این رابطه محاسبه می‌شود:

$$V_{rip} = \frac{I_{dc}}{f.C}$$

در این رابطه V_{pp} فاصله‌ی ماکزیمم تا می‌نیمم ریپل یا ضربان خروجی، I_{dc} جریان dc عبوری از R_L، f فرکانس سیگنال ورودی و C ظرفیت خازن است.

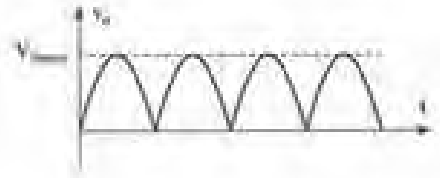
مقدار متوسط ولتاژ خروجی در این حالت تقریباً برابر با $\frac{V_S}{2}$ است.

۲ـ۱ـ۳ـ یکسو ساز تمام‌موج با دو دیود: در شکل

شکل ۳ـ۳

۴ـ۳ الف مدار یکسو ساز تمام موج دوپل دیود با ترانس سر وسط نشان داده شده است. شکل موج ولتاژ دوسربار نیز در شکل ۴ـ۳ ب رسم شده است. در این حالت فرکانس ولتاژ خروجی دو برابر فرکانس سیگنال ورودی است؛ هم‌چنین مقدار ولتاژ متوسط دوسر بار برابر با $\frac{2V_{Smax}}{\pi}$ است.

اگر دیودهای D_1 و D_2 ایده‌آل فرض شوند، آن‌گاه، ماکزیمم

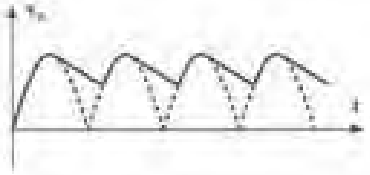


شکل ۴ـ۳

ولتاژ خروجی برابر V_{Smax} خواهد بود.

در این مدار نیز اگر به‌جای مقاومت بار R_L فقط یک خازن الکترولیت قرار گیرد مقدار متوسط ولتاژ خروجی برابر با V_{Smax} است. در عمل، مطابق شکل ۵ـ۳ الف در خروجی یکسو ساز تمام موج، خازن صافی C موازی با مقاومت بار R_L قرار می‌گیرد و شکل موج ولتاژ خروجی آن طبق شکل ۵ـ۳ ب همراه با ریپل خواهد بود.

در شکل ۵ـ۳ این روابط برقرار است:



شکل ۵ـ۳

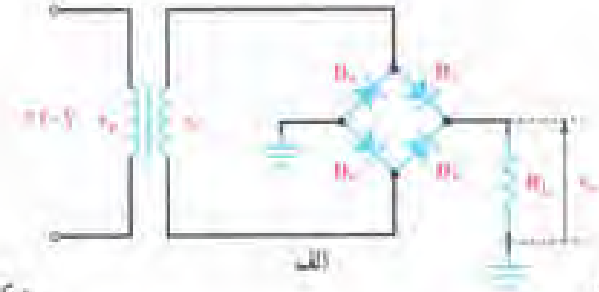
$V_{dc} = V_{Smax} = \sqrt{2}V_S$ بی‌باری

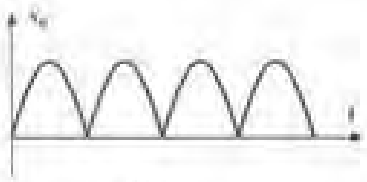
$V_{dc} = V_S$ در حالت با باری

$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L}$ جریان DC خروجی

$V_{rip} = \frac{Idc}{2f.c}$ ولتاژ ریپل خروجی

۳ـ۱ـ۳ـ یکسو ساز تمام‌موج با دیود پل: در شکل ۶ـ۳ الف مدار یکسو ساز تمام‌موج با دیود پل نشان داده شده است. شکل موج ولتاژ دوسر بار در شکل ۶ـ۳ ب رسم شده، که همانند شکل موج ولتاژ دوسر بار یکسو ساز تمام‌موج دوپل دیود است.



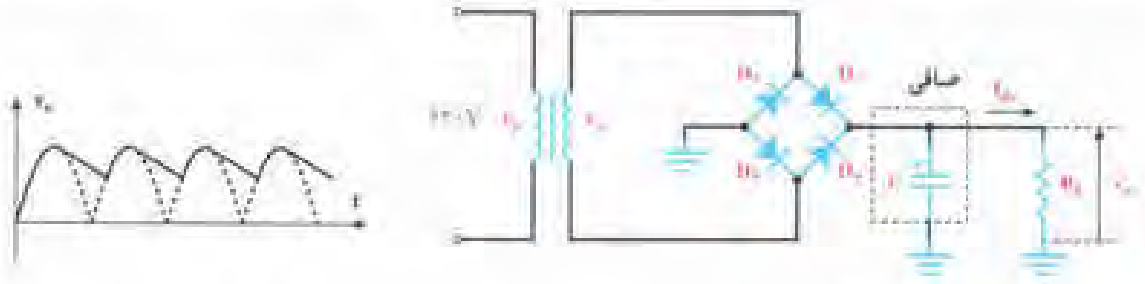


شکل ۶ـ۳

اگر دیودها ایده‌آل فرض شوند ماکزیمم ولتاژ خروجی برابر $V_{S\max}$ است. دراین‌حالت مقدار ولتاژ DC خروجی از رابطه‌ی: $V_{dc}=\frac{2V_{S\max}}{\pi}$ به‌دست می‌آید. در این مدار نیز اگر به‌جای مقاومت بار R_L فقط یک خازن الکترولیت قرارگیرد مقدار ولتاژ DC خروجی برابر $V_{S\max}$ خواهد شد.

درعمل یک‌سو ساز تمام موج پل با خازن صافی و مقاومت بار R_L استفاده می‌شود. مدار این یک‌سو ساز با صافی در شکل ۷ـ۳ الف و شکل موج ولتاژ دوسر بار در شکل ۷ـ۳ ب نشان داده شده است. در این حالت شکل موج دوسر بار دارای ضربان است.

در شکل ۷ـ۳ این روابط برقرار است:



ب الف

شکل ۷ـ۳

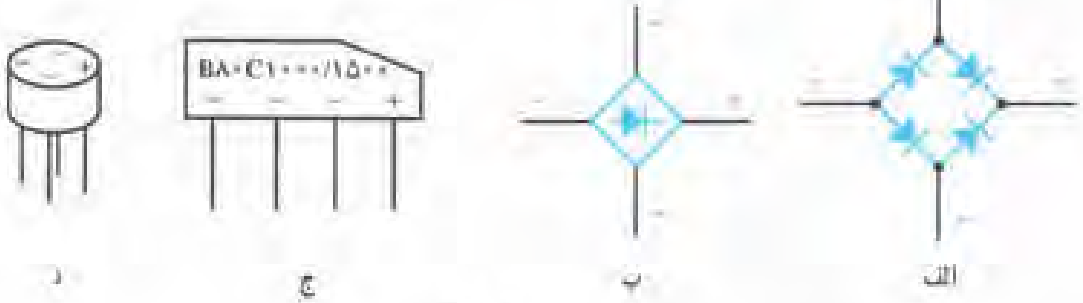
$V_{dc}=V_{S\max}$ ولت بی‌باری خروجی

$V_{dc}=V_S$ در حالت بارداری

$I_{dc}=\frac{V_{dc}}{R_L}$ جریان DC خروجی

$V_{pp}=\frac{Idc}{2fc}$ ولتاژ ریپل

۴ـ۱ـ۳ـ شکل‌های ظاهری و نمای فنی انواع دیود پل: در شکل ۸ ـ۳ نمای فنی و شکل ظاهری انواع دیود پل نشان داده شده است.



د ج ب الف

شکل ۸ـ۳

۲ـ۳ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه	ـ خازن ۲۵V و ۱μF	۱ عدد
ـ مولتی‌متر دیجیتال	۱ دستگاه	ـ خازن ۲۵V و ۴۷۰μF	۱ عدد
ـ برد برد	۱ عدد	ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W و ۲۲۰Ω	۱ عدد
ـ ترانسفورماتور ۲۲۰/۲×۶	۱ عدد	ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W و ۱۰KΩ	۱ عدد
ـ دیود 1N۴۰۰۱	۴ عدد		

۳ـ۳ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۳ـ مدار شکل ۹ـ۳ را روی برد برد ببندید.

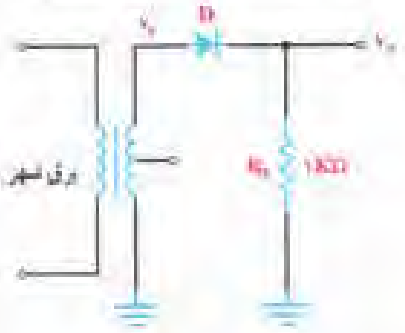
۲ـ۳ـ۳ـ ولتاژ مؤثر دو سر کناری ثانویه ترانس (VS) را به‌کمک مولتی‌متر اندازه گرفته و در جدول ۱ـ۳ درج کنید.

۳ـ۳ـ۳ـ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ دوسر مقاومت بار را مشاهده کنید و مقادیر دوره‌ی تناوب T و ولتاژ ماکزیمم V_p را اندازه گرفته در جدول ۱ـ۳ درج کنید.

۴ـ۳ـ۳ـ ولتاژ dc دو سر مقاومت بار را اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۳ درج کنید.

جدول ۱ـ۳

	V_S
	V_p
	T
	V_{dc}



شکل ۹ـ۳ـ یکسوساز نیم‌موج

۵ـ۳ـ۳ـ مدار یکسو ساز تمام موج شکل ۱۰ـ۳ را روی برد برد ببندید.

۶ـ۳ـ۳ـ ولتاژهای مؤثر ثانویه ترانس نسبت به سر وسط (V_{S_1} و V_{S_2}) را اندازه بگیرید و در جدول ۲ـ۳ درج کنید.

۷ـ۳ـ۳ـ با اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژ دوسر مقاومت بار را مشاهده کنید و مقادیر دوره‌ی تناوب، ولتاژ ماکزیمم و ولتاژ dc دوسر بار را اندازه بگیرید و در جدول ۲ـ۳ درج کنید.

جدول ۲ـ۳

	V_{S_1}
	V_{S_2}
	T
	V_p
	V_{dc}

شکل ۱۰ـ۳ـ یکسوساز تمام موج

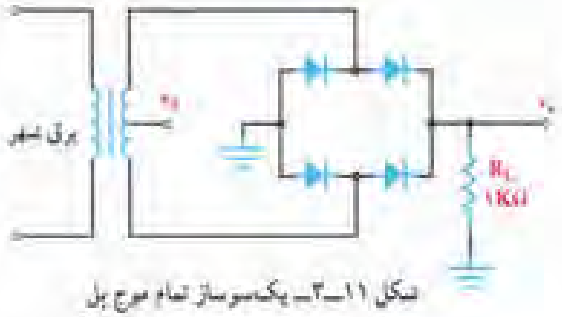
۸ـ۳ـ۳ـ مدار یک‌سو ساز تمام موج پل شکل ۱۱ـ۳ را روی برد برد ببندید.

۹ـ۳ـ۳ـ ولتاژ مؤثر دوسر کناری ثانویه ترانس را اندازه بگیرید و در جدول ۳ـ۳ درج کنید.

۱۰ـ۳ـ۳ـ با اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژ دوسر مقاومت بار را مشاهده کنید و مقادیر دوره‌ی تناوب، ولتاژ ماکزیمم و ولتاژ dc دو سر بار را اندازه بگیرید و در جدول ۳ـ۳ درج نمایید.

جدول ۳ـ۳

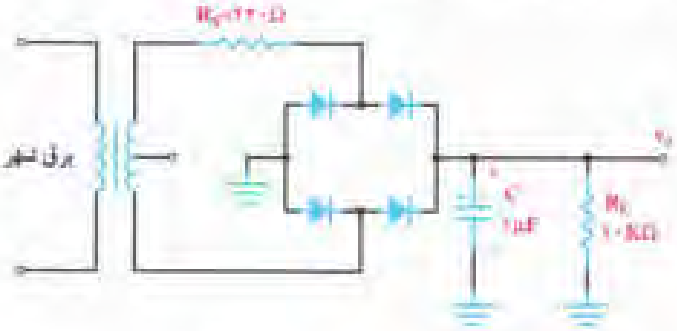
	V_S
	V_p
	T
	V_{dc}



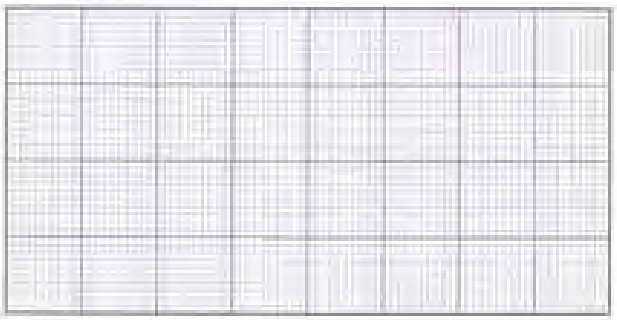
شکل ۱۱ـ۳ـ یکسوساز تمام موج پل

۱۱ـ۳ـ۳ـ مدار شکل ۱۲ـ۳ را روی بردبرد ببندید.

۱۲ـ۳ـ۳ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ دوسر بار را روی کاغذ میلی‌متری شکل ۱۳ـ۳ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۱۲ـ۳ـ یکسوساز تمام موج با خازن صافی



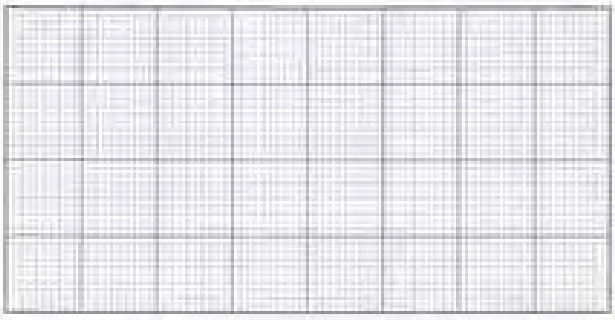
شکل ۱۳ـ۳ـ شکل موج ولتاژ دو سربار

۱۳ـ۳ـ۳ـ ولتاژ dc دو سر بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید: V_{dc}=.....

۱۴ـ۳ـ۳ـ ظرفیت خازن C را ۴۷۰ میکروفاراد انتخاب کنید و مقدار ولتاژ dc دو سر بار را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید: V_{dc}=.....

۱۵ـ۳ـ۳ـ مقاومت R_L را مساوی ۱ کیلواهم و خازن C را مساوی ۴۷۰ میکروفاراد انتخاب کرده مقدار ولتاژ dc دوسر بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید. V_{dc}=.....

۱۶ـ۳ـ۳ـ با انتخاب $R_L=1K\Omega$ و $C=1\mu F$ کلید AC ـ DC ـ GND اسیلوسکوپ روی AC قرار دهید. حساسیت اسیلوسکوپ را تا حدی افزایش دهید که بتوانید سیگنال ریپل را مشاهده کنید. شکل موج مشاهده شده را روی کاغذ میلی‌متری شکل ۱۴ـ۳ رسم کنید و مقدار ولتاژ (V_{pp}) ریپل را روی شکل بنویسید.



شکل ۱۴ـ۳ـ شکل موج ریپل دوسر بار

۲ـ۳ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ برای اندازه‌گیری ولتاژ مؤثر در دو سر ثانویه ترانس در شکل ۹ـ۳ بهترین راه این است که از ..... استفاده کنیم.

الف ـ ولت‌متر AC　　ب ـ اسیلوسکوپ　　ج ـ آمپر متر

۲ـ در یک‌سو ساز تمام‌موج شکل ۹ـ۳ مقداری که برای ولتاژ ماکزیمم دو سر بار به‌دست می‌آید به ..... نزدیک است.

الف ـ ۵۷　　ب ـ ۱۰۷　　ج ـ ۱۷۷　　د ـ ۲۰۷

۳ـ زمان تناوب سیگنال تمام‌موج در شکل ۹ـ۳ به ..... نزدیک است.

الف ـ ۸ ms　　ب ـ ۱۶ ms　　ج ـ ۲۱ ms　　د ـ ۳۰ ms

۴ـ هرگاه از یک‌سو ساز شکل ۱۰ـ۳ استفاده، کنیم ولتاژ dc در دو سر بار به ..... نزدیک است.

الف ـ ۲۷　　ب ـ ۴۷　　ج ـ ۶۷　　د ـ ۱۰۷

۵ـ زمان تناوب سیگنال دو سر بار در شکل ۱۰ـ۳ برابر است با :

الف ـ ۱۰ ms　　ب ـ ۲۰ ms　　ج ـ ۳۰ ms　　د ـ ۴۰ ms

۶ـ ولتاژ ماکزیمم خروجی از یک‌سو ساز پل شکل ۱۱ـ۳ در مقایسه با ولتاژ ماکزیمم خروجی از یک‌سوساز شکل ۱۱ـ۳ در حدود :

الف ـ نصف است　　ب ـ دوبرابر است　　ج ـ همان‌مقدار است

۷ـ در تمام یک‌سو سازهای این آزمایش، ولتاژهای dc اندازه‌گیری شده‌ی مربوط به دو سر مقاومت بار اندکی کمتر از مقادیر نظری است و علت آن :

الف ـ افت ولتاژ دو سر دیودهاست.　　ب ـ کوچک بودن مقاومت بار است.

ج ـ پایین بودن ولتاژ برق شهر است.　　د ـ شکست دیود است.

۸ـ در این آزمایش، مدار یک‌سو سازی که بیش‌ترین ولتاژ dc خروجی را تولید می‌کند عبارت است از :

الف ـ یک‌سو ساز تمام‌موج　　ب ـ یک‌سو ساز دوبل دیود　　ج ـ یک‌سو ساز پل

۹ـ در شکل ۱۲ـ۳ مقاومت R_S چه عملی انجام می‌دهد؟

الف ـ ضربه‌گیر　　ب ـ حذف ریپل خروجی　　ج ـ صافی خروجی

۱۰ـ در شکل ۱۲ـ۳ در تمام حالت ولت dc خروجی افزایش می‌یابد؟

الف ـ افزایش ظرفیت خازن　　ب ـ کاهش مقاومت بار　　ج ـ کاهش فرکانس

۱۱ـ در شکل ۱۲ـ۳ شکل موج خروجی عبارت است از :

الف ـ یک‌سو شده‌ی تمام‌موج　　ب ـ یک‌سو شده‌ی تمام موج.

ج ـ یک‌سو شده‌ی تمام‌موج با ریپل.　　د ـ یک‌سو شده‌ی تمام‌موج با ریپل.

۱۲ـ در آزمایش ۱۶ـ۳ـ۳ چرا باید اسیلوسکوپ را روی AC قرار داد؟

آزمایش شماره‌ی ۴

منبع تغذیه‌ی متقارن (سه‌سر) و مدارات دو برابر کننده‌ی ولتاژ

هدف کلی آزمایش

بررسی مدارات منبع تغذیه‌ی متقارن و دو برابر کننده‌ی ولتاژ

در این آزمایش ولتاژ dc خروجی در حالت بدون بار و با بار اندازه‌گیری شده، با یک‌دیگر مقایسه می‌شوند.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش ازفراگیر انتظار می‌رود :

۱ـ مدار منبع تغذیه‌ی دوبل را ببندد.

۲ـ ولتاژ خروجی منبع تغذیه‌ی متقارن را در دو حالت : بدون بار و با بار اندازه بگیرد.

۳ـ اثر مقاومت بار را روی شکل موج خروجی مدار منبع تغذیه‌ی متقارن به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ بررسی کند.

۴ـ مدار دو برابرکننده‌ی ولتاژ را ببندد.

۵ ـ ولتاژ خروجی مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ را اندازه بگیرد.

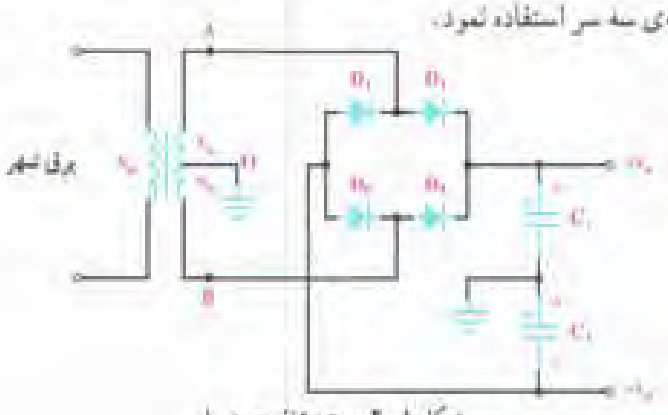
۶ـ شکل موج ولتاژ دو سر خروجی مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ را در حالت با بار به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده کند.

۷ـ به پرسش‌های مربوط به آزمایش پاسخ دهد.

۱ـ ۴ـ اطلاعات اولیه

از مدارات یک‌سوساز با صافی اغلب در منابع تغذیه استفاده می‌کنند، گاهی در مدارات الکترونیک نیاز به ولتاژهای قرینه است، در این‌صورت باید از منابع تغذیه‌ی سه سر استفاده نمود.

۱ـ۱ـ۴ـ منبع تغذیه‌ی متقارن: در شکل ۱ـ۴ مدار یک‌سوساز با صافی‌های خازنی به‌صورت منبع تغذیه‌ی متقارن نشان داده شده است.



شکل ۱ـ۴ـ منبع تغذیه‌ی دوبل

V_{S_1} و V_{S_2} دو سیگنال سینوسی با ۱۸۰ درجه اختلاف‌فاز و دامنه یکسان هستند. اگر پتانسیل A نسبت به O مثبت و پتانسیل B نسبت به O منفی باشد دیودهای D_1 و D_2 هادی و D_3 و D_4 قطع هستند. و دو خازن C_1 و C_2 هریک به اندازه‌ی دامنه ماکزیمم ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور شارژ می‌شوند. و اگر A نسبت به O منفی و B نسبت به O مثبت باشد D_3 و D_4 هادی و D_1 و D_2 قطع می‌شوند. اگر دیودها ایده‌آل فرض شوند ولتاژ دوسر خازن C_1 همدامنه و قرینه ولتاژ دوسر خازن C_2 خواهد شد.

اگر مقاومت بار R_L با خازن‌ها موازی شود ولتاژ خروجی با ریپل توأم شده باعث کاهش ولتاژ dc خروجی می‌شود.

۲ــ۱ــ۴ــ مدارات دو برابرکننده‌ی ولتاژ: مدارات دوبرابر کننده‌ی ولتاژ منابع تغذیه‌ای هستند که ولتاژ خروجی آن‌ها دو برابر ولتاژ ماکزیمم ورودی است.

در شکل ۲ــ۴ مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ نشان‌داده‌شده است.

شکل ۲ــ۴ــ مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ

در نیم‌سیکل مثبت، ولتاژ V_S خازن C_1 به‌وسیله‌ی دیود D_1 تا ولتاژ $V_{S_{max}}$ شارژ می‌شود. در نیم‌سیکل منفی ولتاژ V_S خازن C_1 تا حد $V_{S_{max}}$ به‌وسیله‌ی دیود D_2 شارژ می‌شود. از آن‌جا که C_1 و C_2 به شکل سری متصل شده‌اند، ولتاژ خروجی تقریباً دوبرابر $V_{S_{max}}$ است.

در شکل ۳ــ۴ نمونه‌ای دیگر از مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ نشان داده شده است.

شکل ۳ــ۴ــ مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ

در این مدار خازن C_1 در نیم‌سیکل منفی ولتاژ V_S از طریق دیود D_1 تا $V_{S_{max}}$ پر می‌شود. حال، این ولتاژ dc با ولتاژ Ac ثانویه‌ی ترانس سری شده خازن C_2 را در نیم‌سیکل مثبت V_S تا ولتاژ برابر با مجموع $V_{S_{max}}$ و ولتاژ دوسر خازن C_1 پر می‌کند. به این ترتیب، ولتاژ خروجی تقریباً با دو برابر $V_{S_{max}}$ مساوی خواهد بود.

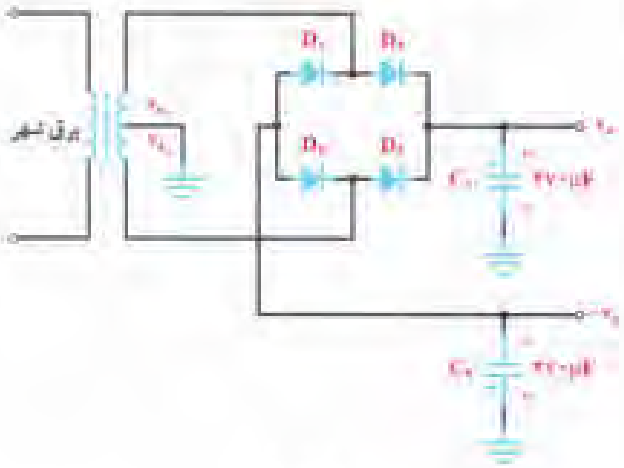
در مدارات دو برابر کننده‌ی ولتاژ، هنگامی که مقاومت بار به خروجی وصل شود، ریپل زیادی در دوسر بار ظاهر می‌شود؛ از این‌رو کاربرد این‌گونه مدارها فقط به شدت جریان‌های کم محدود می‌شود.

۲ــ ۴ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ــ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه
ــ مولتی‌متر دیجیتال	۱ دستگاه
ــ برد برد	۱ عدد
ــ ترانسفورماتور ۲۲۰/۲×۶	۱ عدد
ــ دیود ۱N۴۰۰۱	۴ عدد
ــ خازن ۵۰V ، ۴۷۰μF	۲ عدد
ــ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۴۷۰Ω	۱ عدد

۳ــ ۴ــ مراحل آزمایش

۱ــ۳ــ۴ــ مدار شکل ۲ــ۴ را روی برد برد ببندید.



شکل ۴ــ۴

۲ـ۳ـ۴ـ به‌وسیله‌ی مولتی متر مقادیر مؤثر ولتاژهای V_{S_1} و V_{S_2} را اندازه‌بگیرید و در جدول ۱ـ۴ یادداشت کنید.

۳ـ۳ـ۴ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر مقادیر dc ولتاژ دوسر خازن‌های C_1 و C_2 را نسبت به شاسی اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۴ یادداشت کنید.

جدول ۱ـ۴

	V_{S_1}
	V_{S_2}
	$+V_c$
	$-V_c$

۴ـ۳ـ۴ـ مقاومت $R_L = ۴۷۰\Omega$ را با خازن C_1 موازی کنید.

۵ـ۳ـ۴ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ دوسر R_L را در شکل ۵ـ۴ رسم کنید و مقادیر ولتاژ قله به قله و dc را روی آن بنویسید:

V_{rpp} = ...

V_{rdc} = ...

شکل ۵ـ۴ـ شکل موج ولتاژ دوسربار

۶ـ۳ـ۴ـ مقاومت $R_L = ۴۷۰\Omega$ را از دوسر خازن C_1 قطع و با خازن C_2 موازی کنید.

۷ـ۳ـ۴ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ دوسر خازن C_2 را در شکل ۶ـ۴ رسم کنید و مقادیر ولتاژ قله به قله و dc را روی آن بنویسید:

V_{rpp} = ...

V_{rdc} = ...

شکل ۶ـ۴ـ شکل موج ولتاژ دوسر بار

۸ـ۳ـ۴ـ مدار شکل ۷ـ۴ را روی برد برد ببندید.

۹ـ۳ـ۴ـ به‌وسیله‌ی ولت‌متر dc ولتاژهای V_{C_1} ، V_{C_2} و V_{out} را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید:

V_{C_1} = ...

V_{C_2} = ...

V_{out} = ...

۱۰ـ۳ـ۴ـ یک مقاومت ۴۷۰Ω با خازن C_2 موازی کنید.

۱۱ـ۳ـ۴ـ شکل موج ولتاژ خروجی را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۸ـ۴ رسم کنید. مقادیر ولتاژ dc و ولتاژ قله به قله را اندازه گرفته روی شکل بنویسید.

شکل ۷ـ۴ـ مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ

شکل ۸ـ۴ـ شکل موج ولتاژ خروجی مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ

V_{rdc} = ...

V_{rpp} = ...

۱۲ـ۳ـ۴ـ مدار شکل ۹ـ۴ را روی برد بره ببندید.

۱۳ـ۳ـ۴ـ به‌وسیله‌ی ولت‌متر dc ولتاژهای V_{C_1} و V_{C_2} و V_{out} را اندازه‌بگیرید و یادداشت نمایید :

V_{C_1} = ...

V_{C_2} = ...

V_{out} = ...

۱۴ـ۳ـ۴ـ یک مقاومت ۴۷۰ اهم را با خروجی موازی کنید.

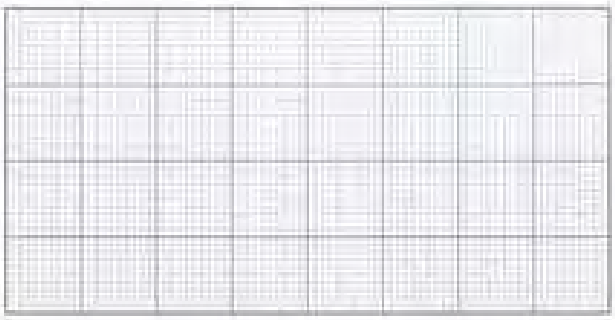
۱۵ـ۳ـ۴ـ شکل موج ولتاژ خروجی را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۱۰ـ۴ رسم کنید. مقادیر ولتاژ dc و ولتاژ قله به قله را اندازه گرفته، روی شکل بنویسید :

$C_1 = C_2 = 470\mu F$

$V_{out\,dc}$ = ...

V_{rpp} = ...

شکل ۹ـ۴ـ مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ



شکل ۱۰ـ۴ـ شکل موج ولتاژ خروجی

۴ــ۴ــ پرسش‌های آزمایش

۱ــ منبع تغذیه‌ی دوبل

الف ــ فقط یک ولتاژ خروجی دارد.

ب ــ فقط یک ولتاژ خروجی مثبت دارد.

ج ــ فقط یک ولتاژ خروجی منفی دارد.

د ــ خروجی‌های مثبت ومنفی دارد.

۲ــ درمدار شکل ۴ــ۴ ولتاژ V_{o} و $-V_{o}$ با ولتاژ ماکزیمم ثانویه ترانس چه رابطه‌ای دارد؟

۳ــ در مدار شکل ۴ــ۴ مقدار ولتاژ $+V_{o}$ با بار R_L بیش‌تر است یا در حالت بی‌باری؟ چرا؟

۴ــ در مدار شکل ۷ــ۴ ولتاژ $V_{C_1} + V_{C_2}$ چه رابطه‌ای با V_{pp} دارد؟

۵ــ در مدار شکل ۹ــ۴ ولتاژ $V_{C_1} + V_{C_2}$ چه رابطه‌ای با V_{pp} دارد؟

۶ــ در مدار شکل ۹ــ۴ ولتاژ dc خروجی در حالت بدون بار چه رابطه‌ای با ولتاژ ماکزیمم ثانویه‌ی ترانس دارد؟

آزمایش شماره‌ی ۵

مدارات برش‌دهنده و جهش‌دهنده

هدف کلی آزمایش

بررسی انواع مدارات برش[1]دهنده‌ی سیگنال به‌صورت محدودکننده‌ی سری، محدود کننده‌ی موازی، محدودکننده‌ی دوطرفه، و مدارات[2] جهش سیگنال.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ـ مدارات محدودکننده‌ی سری و موازی را ببندد.

۲ـ شکل موج ولتاژ خروجی مدارات محدودکننده را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ رسم کند.

۳ـ سطح ولتاژ برش را اندازه بگیرد.

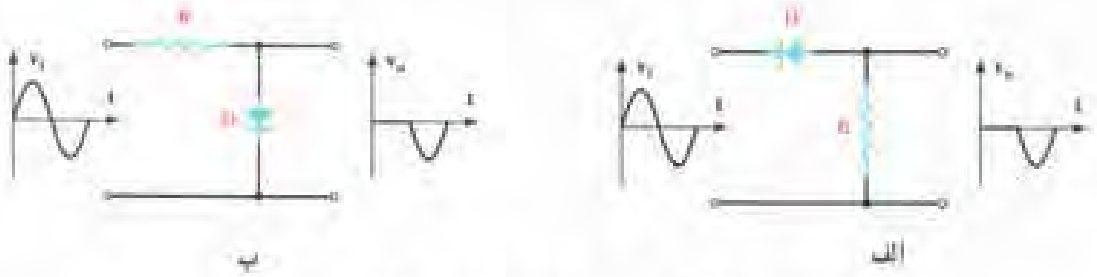
۴ـ مدارات جهش سیگنال را ببندد.

۵ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ خروجی مدارات جهش سیگنال را مشاهده کند.

۶ـ به پرسش‌های مربوط به آزمایش پاسخ دهد.

۱ـ۵ـ اطلاعات اولیه

۱ـ۱ـ۵ـ مدارهای برش‌دهنده : مدارهای برش‌دهنده را برای محدود کردن دامنه‌ی ولتاژ، از بالا یا پایین، یا هردوی آن‌ها به‌کار می‌برند. در این مدارها برای برش سیگنال از دیود و مقاومت استفاده می‌کنند که ممکن است از دیود بایاس شده یا بایاس نشده استفاده شده باشد. مقاومت مورد استفاده در مدارات برش‌دهنده در مقایسه با مقاومت دیود در گرایش مستقیم بسیار بیش‌تر است. مدارهای برش‌دهنده ممکن است محدودکننده‌های مثبت یا منفی باشند، محدودکننده‌ی مثبت، قسمت بالای موج را از حد معینی به بالا می‌برد، درحالی که محدودکننده‌ی منفی، دامنه‌ی منفی موج را از حد معیّنی به بعد حذف می‌کند. علاوه بر این از محدود کننده‌ها می‌توان به‌گونه‌ی سری یا موازی استفاده کرد. در محدودکننده‌ی سری، دیود مطابق شکل ۱ـ۵ الف به‌صورت سری بین ورودی و خروجی قرار می‌گیرد. در یک محدودکننده‌ی موازی، دیود مطابق شکل ۱ـ۵ب به‌صورت موازی با خروجی قرار می‌گیرد.



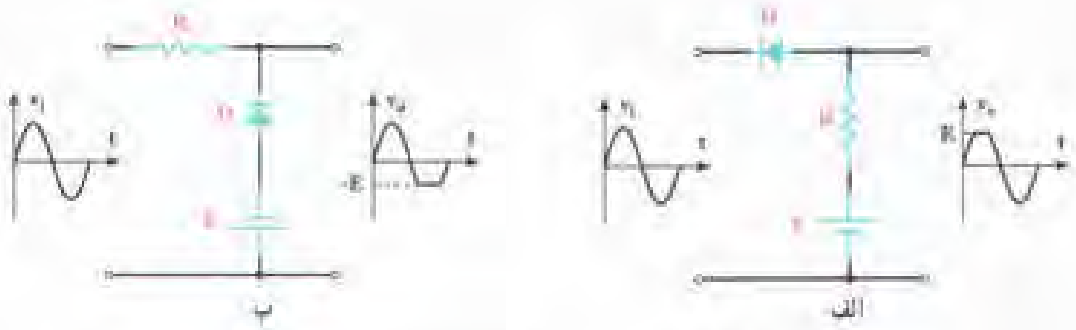
الف ب

شکل ۱ـ۵ـ محدودکننده‌های سری و موازی

۱ـ Clipping Circuits ۲ـ Clamping Circuits

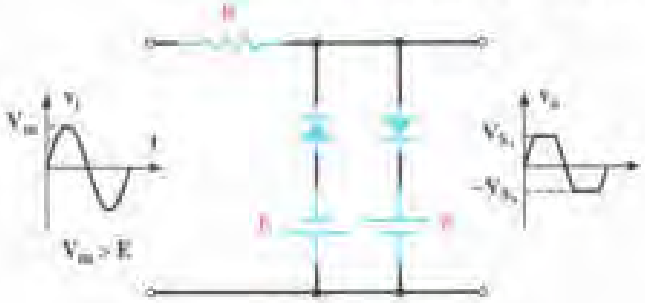
در محدودکننده‌های سری و موازی ممکن است به‌وسیله‌ی باتری دیود را بایاس کنند. در این صورت با توجه به پلاریته‌ی باتری و اتصال دیود مدارهای محدودکننده‌ی متفاوتی حاصل می‌شود.

در شکل ۲ـ۵ الف مدار محدودکننده‌ی سری با دیود بایاس شده و در شکل ۲ـ۵ ب مدار محدودکننده‌ی موازی با دیود بایاس شده، نشان داده شده است.



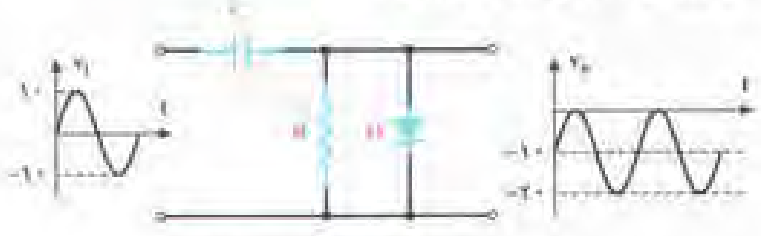
شکل ۲ـ۵ـ مدارهای محدودکننده با دیود بایاس شده

با ترکیب محدودکننده‌های مثبت و منفی، محدودکننده‌ی دوطرفه به‌دست می‌آید. در شکل ۳ـ۵ سیگنال ولتاژ خروجی بین دو ولتاژ $V_{\%}$ و $V_{\%}$ محدود شده است.



شکل ۳ـ۵ـ محدودکننده‌ی دوطرفه

۲ـ۱ـ۵ـ مدارهای جهش‌دهنده سیگنال یا مهارکننده: مدارهای مهارکننده را برای جابه‌جا نمودن موج ولتاژ به بالا یا پایین به‌کار می‌برند و موج را روی هر تراز دل‌خواه مهار می‌کنند. در شکل ۴ـ۵ مدار یک مهارکننده نشان داده شده است که در آن سیگنال ورودی سینوسی با پیک‌تو‌پیک ۲۰ ولت و مؤلفه‌ی DC صفر است. شکل موج خروجی سینوسی با پیک‌تو‌پیک ۲۰ ولت و مؤلفه‌ی DC مساوی ۱۰- ولت است. در مدارات مهارکننده‌ی نیز از باتری برای بایاس دیود می‌توان استفاده نمود.



شکل ۴ـ۵ـ مدار مهارکننده‌ی سیگنال

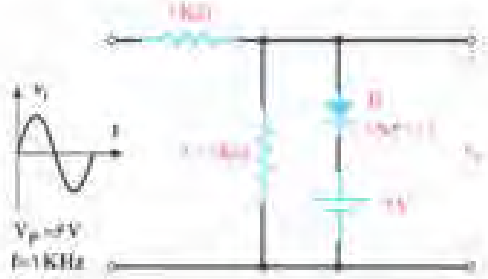
۲ـ۵ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه DC	۱ دستگاه
ـ برد برد	۱ عدد
ـ دیود زنر ۲/۷V	۲ عدد
ـ دیود ۱N۴۰۰۱	۲ عدد
ـ خازن ۲۵V ، ۴۷۰μF	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۱KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۱۰۰KΩ	۱ عدد

۳ـ۵ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۵ـ مدار شکل ۵ـ۵ را روی برد برد ببندید.

۲ـ۳ـ۵ـ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ خروجی را در شکل ۶ـ۵ رسم کنید.



شکل ۵ـ۵

شکل ۶ـ۵

۳ـ۳ـ۵ـ در شکل ۶ـ۵ ولتاژ پرش سیگنال خروجی چند ولت است؟

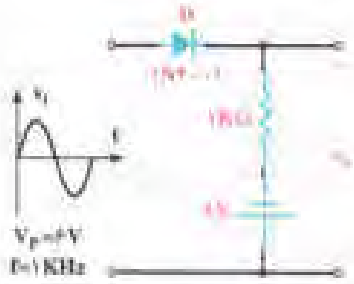
V_C = ...

۴ـ۳ـ۵ـ در شکل ۵ـ۵ جهت دیود را معکوس کرده، شکل موج ولتاژ خروجی را در شکل ۷ـ۵ رسم کنید. ولتاژ پرش را اندازه گرفته یادداشت نمایید:

V_C = ...

شکل ۷ـ۵

۵ـ۳ـ۵ـ مدار شکل ۸ـ۵ را روی برد برد ببندید.



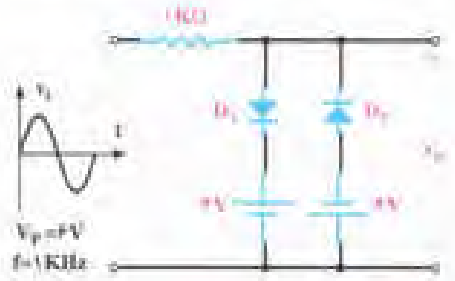
شکل ۸ـ۵

۶ـ۳ـ۵ـ شکل موج ولتاژ خروجی را به وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۹ـ۵ رسم کنید. ولتاژ پرش را اندازه گرفته یادداشت نمایید.

V_C = ...

شکل ۹ـ۵

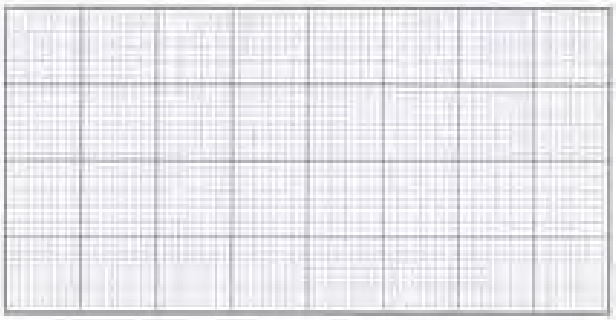
۷ـ۳ـ۵ـ مدار شکل ۱۰ـ۵ را روی برد برد ببندید.



شکل ۱۰ـ۵

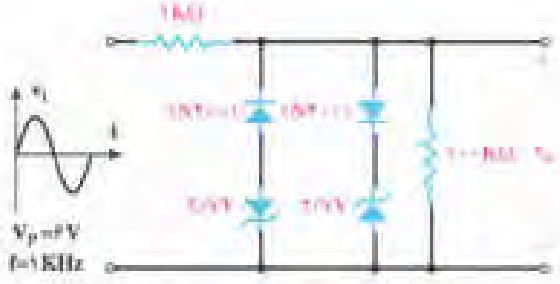
۸ـ۳ـ۵ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ سیگنال ولتاژ خروجی را مشاهده و در شکل ۱۱ـ۵ رسم کنید. ولتاژ قله به قله خروجی V_{pp} را اندازه‌گرفته یادداشت نمایید:

V_{pp} = ...



شکل ۱۱ـ۵

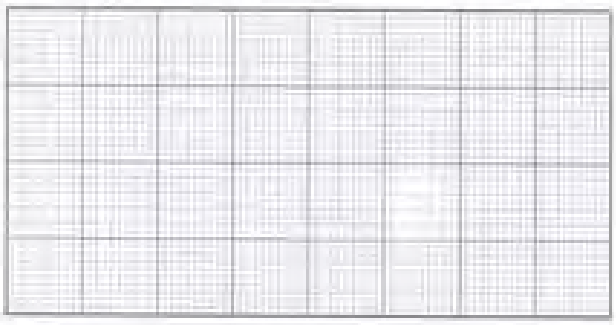
۹ـ۳ـ۵ـ مدار شکل ۱۲ـ۵ را روی برد برد ببندید.



شکل ۱۲ـ۵

۱۰ـ۳ـ۵ـ شکل موج خروجی را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۱۳ـ۵ رسم کنید. ولتاژ پیک‌تو‌پیک خروجی را اندازه گرفته یادداشت نمایید.

V_{opp} = ...

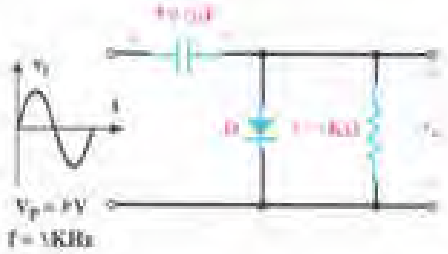


شکل ۱۳ـ۵

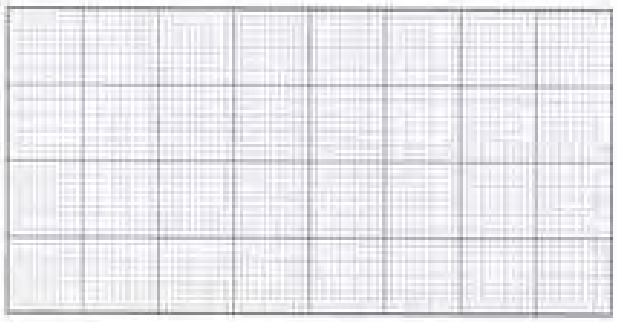
۱۱ـ۳ـ۵ـ مدار شکل ۱۴ـ۵ را روی برد برد ببندید.

۱۲ـ۳ـ۵ـ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ خروجی را مشاهده و در شکل ۱۵ـ۵ رسم کنید. ولتاژ dc خروجی را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

V_{odc} = ...



شکل ۱۴ـ۵



شکل ۱۵ـ۵

۴ــ۵ــ پرسش‌های آزمایش

۱ــ در شکل ۵ــ۵ نوع محدودکننده را ازنظر مثبت، منفی، سری و موازی مشخص کنید.

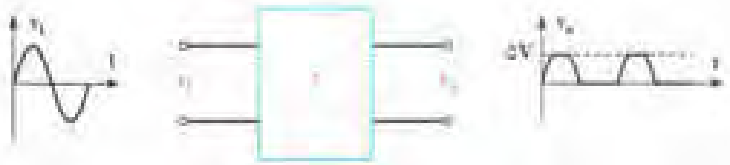
۲ــ در شکل ۸ــ۵ نوع محدودکننده را ازنظر مثبت، منفی، سری و موازی مشخص کنید.

۳ــ در شکل ۱۰ــ۵ سطوح برش سیگنال خروجی چه رابطه‌ای با ولتاژ بایاس دیودها دارد؟

۴ــ در شکل ۱۲ــ۵ سطوح برش سیگنال خروجی چه رابطه‌ای با ولتاژ هدایت و شکست دیودها دارد؟

۵ ــ در شکل ۱۴ــ۵ اگر دیود به‌طور معکوس در مدار قرارگیرد، پلاریته‌ی خازن چه تغییری می‌کند؟

۶ــ در شکل ۱۶ــ۵ مدار مربوط به هریک را رسم کنید.



الف

ب

ج

شکل ۱۶ــ۵

آزمایش شماره‌ی ۶

ترانزیستور BJT

هدف کلی آزمایش

آشنایی با ترانزیستور BJT ، بررسی حالت‌های قطع، اشباع، فعال، تعیین مشخصه‌های ولت آمپر و بررسی تقویت‌کننده‌های امیترمشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر پایه‌های ترانزیستور را مشخص کند.

۲ـ مدار مربوط به رسم منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور را روی بردبرد ببندد.

۳ـ منحنی‌های مشخصه‌ی ورودی و خروجی ترانزیستور را رسم نماید.

۴ـ حالات قطع، فعال و اشباع ترانزیستور را بررسی کند.

۵ـ مدار تقویت‌کننده‌ی امیترمشترک را روی بردبرد ببندد.

۶ـ آزمایش تقویت‌کننده‌ی امیترمشترک را انجام دهد.

۷ـ مدار تقویت‌کننده‌ی بیس مشترک را روی بردبرد ببندد.

۸ـ آزمایش مدار تقویت‌کننده‌ی بیس مشترک را انجام دهد.

۹ـ مدار تقویت کننده‌ی کلکتور مشترک را روی بردبرد ببندد.

۱۰ـ آزمایش تقویت‌کننده‌ی کلکتور مشترک را انجام دهد.

۱۱ـ به پرسش‌های مربوط به آزمایش‌ها پاسخ دهد.

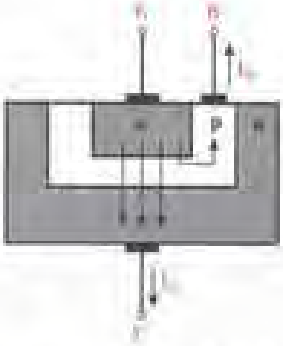
۱ـ۶ـ اطلاعات اولیه

با شناخت خواص نیمه‌هادی‌ها، در سال ۱۹۴۸ ترانزیستور ساخته شد. این اختراع جدید به سرعت در صنعت الکترونیک راه جست و تحولی بزرگ در این امر به‌وجود آورد.

ترانزیستور کار لامپ‌های خلأ را با تلفات قدرت کم‌تر، حجم و وزن کم‌تر و عمر بیش‌تر انجام می‌دهد.

ساختمان ترانزیستور شامل سه کریستال است که یک کریستال در وسط و دو کریستال از نوع مخالف در دوطرف آن قرار گرفته‌اند (شکل ۱ـ۶).

ترانزیستور دارای سه پایه است که عبارت‌اند از :



شکل ۱ـ۶ـ ساختمان ترانزیستور

الف) امیتر (پخش‌کننده) که وظیفه‌اش پخش کردن الکترون‌ها (در NPN) یا حفره‌ها (PNP) در لایه‌ی بیس است.

ب ـ کلکتور (جمع‌کننده) که کار آن جمع کردن الکترون‌ها

با حفره‌های پخش شده به‌وسیله‌ی امیتر در لایه‌ی بیس است.

ج ـ بیس (پایه) که وظیفه‌اش کنترل عمل پخش کردن الکترون‌ها یا حفره‌ها در لایه‌اش است.

عمل کلکتور جمع کردن الکترون‌ها یا حفره‌ها از لایه‌ی بیس است؛ از این‌رو، اتصال بیس کلکتور بزرگ‌تر از اتصال بیس امیتر است.

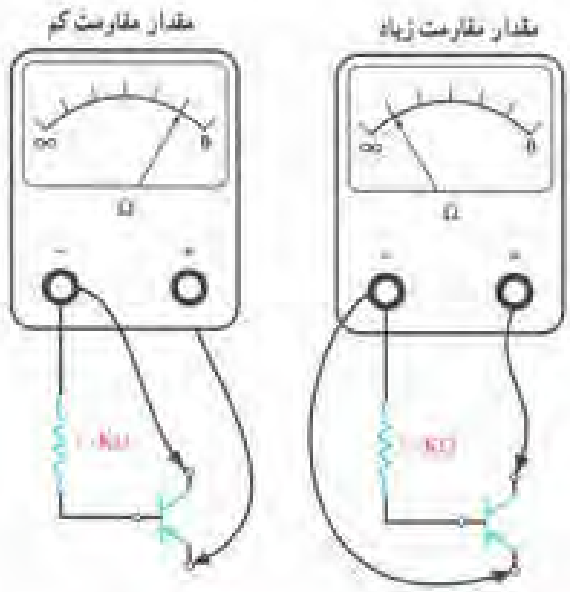
همان‌گونه که گفته شد ترانزیستور از سه کریستال تشکیل شده که در محل پیوند هر کریستال به دیگری یک اتصال به‌وجود می‌آید. هر اتصال شامل پیوند یک کریستال N به کریستال P بوده که مانند یک اتصال دیود است. از همین خاصیت برای تشخیص بیس استفاده می‌کنیم؛ یعنی، تنها پایه‌ای که نسبت به دو پایه‌ی دیگر به وسیله‌ی اهم‌متر مانند دیود عمل کند «بیس» است؛ بنابراین، اهم‌متر از یک جهت مقدار مقاومت کم را نشان داده یا عوض کردن سیم‌های اهم‌متر، مقدار مقاومت زیادی را نشان می‌دهد. مقاومت مابین کلکتور امیتر از هر دو طرف زیاد است (شکل ۲ـ۶).

شکل ۲ـ۶

حال با مشخص بودن بیس ترانزیستور نوع آن را نیز می‌توانیم تعیین کنیم. بدین ترتیب که اگر سیم منفی اهم‌متر به بیس و سیم مثبت به یکی از دو پایه‌ی دیگر متصل باشد و اهم‌متر مقدار مقاومت کمی را نشان دهد ترانزیستور از نوع مثبت (PNP)، و اگر نشان دهنده‌ی مقاومت زیاد باشد و با تعویض سیم‌های اهم‌متر مقاومت کمی را نشان دهد ترانزیستور منفی (NPN) است.

حال با مشخص شدن بیس و نوع ترانزیستور برای تعیین کلکتور و امیتر ترانزیستور بدین‌صورت عمل می‌کنیم که بیس را با یک مقاومت ۱۰KΩ سری کرده، به ترمینال منفی اهم‌متر (برای ترانزیستورهای PNP) متصل می‌کنیم؛ سپس دو سیم اهم‌متر را به دو پایه‌ی دیگر ترانزیستور متصل می‌نماییم و مقدار مقاومت را اندازه‌گیری می‌کنیم و به‌خاطر می‌سپاریم؛ سپس با تعویض سیم‌های اهم‌متر بار دیگر مقدار مقاومت را اندازه‌گیری می‌کنیم و به‌خاطر می‌سپاریم. در این دو اندازه‌گیری متوجه می‌شویم که یک‌بار مقدار مقاومت متوسط یا کم و بار دیگر زیاد است. حالتی که مقدار مقاومت، کم‌تر از حالت دیگر بود به‌خاطر می‌آوریم؛ سیم مثبت امیتر و سیم منفی اهم‌متر کلکتور را مشخص می‌کند. در ترانزیستورهای NPN همین اعمال را با جهت‌های مخالف انجام می‌دهیم. در شکل ۳ـ۶ مراحل تعیین کلکتور امیتر یک ترانزیستور PNP را مشاهده می‌کنید. برای ترانزیستور NPN همین مراحل با جهت‌های مخالف صورت می‌گیرد.

روش ساده‌تری نیز وجود دارد که فقط با اهم‌مترهای دیجیتالی تشخیص‌پذیر است. پیش از این دیدیم که اتصال بیس کلکتور بزرگ‌تر از اتصال بیس امیتر است؛ بنابراین اگر مقدار مقاومت بیس را نسبت به دو پایه‌ی دیگر اندازه بگیریم مشاهده خواهیم کرد که برای مثال یکی از پایه‌ها نسبت به بیس مقاومت ۶۲۰ اهم و دیگری ۶۲۲ اهم را نشان می‌دهد. پایه‌ای که نسبت به بیس مقاومت کم‌تر را نشان می‌دهد «کلکتور» است.



شکل ۳ـ۶ـ تعیین پایه‌های کلکتور و امیتر در ترانزیستور PNP

۲ـ۶ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز*

ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه
ـ سیگنال ژنراتور صوتی	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه DC	۲ دستگاه
ـ مولتی‌متر دیجیتال	۱ دستگاه
ـ مولتی‌متر عقربه‌ای	۱ دستگاه
ـ میلی‌آمپرمتر DC	۱ دستگاه
ـ میکروآمپرمتر DC	۱ دستگاه
ـ ترانزیستور BC ۱۰۷	۱ عدد
ـ دیود ۱N۴۰۰۱	۱ عدد
ـ خازن ۲۵V ، ۴۷μF	۱ عدد
ـ خازن ۲۵V ، ۱۰۰μF	۲ عدد
ـ پتانسیومتر خطی $\frac{1}{2}$W ، ۵KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۱۰۰Ω	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۲۲۰Ω	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۱KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۲/۲KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۴/۷KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۱۰KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۴۷KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۶۸KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۱۰۰KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۱۸۰KΩ	۱ عدد

۳ـ۶ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۶ـ با استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای نوع ترانزیستور (NPN یا PNP) و پایه‌های آن را مشخص کنید. شکل بدنه‌ی ترانزیستور را در جدول ۱ـ۶ ترسیم نمایید. برای نمونه در جدول، ترانزیستور ۲ N ۲۲۱۹ نشان داده شده است.

۲ـ۳ـ۶ـ با استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی (قسمت مربوط به تست دیود) ولتاژ دیودهای بین امیتر و بیس کلکتور را در حالت موافق اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۶ درج نمایید.

۴ـ۶ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در ترانزیستورهای دارای بدنه‌ی فلزی، کدام پایه‌ی ترانزیستور به بدنه‌ی آن اتصال دارد؟

۲ـ آیا با مولتی‌متر می‌توان جنس ترانزیستور را تشخیص داد؟

---

* چون این آزمایش در چند جلسه انجام خواهد شد در هر جلسه تجهیزات مورد نیاز همان بخش از آزمایش که باید انجام شود در اختیار هنرجویان قرار داده شود.

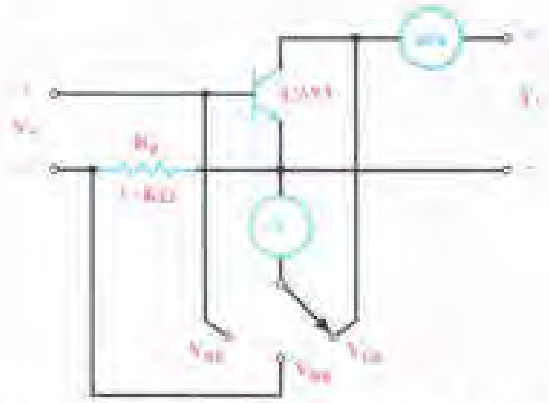
جدول ۱ـ۶

شماره‌ی ترانزیستور	پایه‌های ترانزیستور	شکل بدنه	نوع ترانزیستور	ولتاژ V_{BB} موافق	ولتاژ V_{CB} موافق
مثال ـ 2N2219	۱ـ امیتر ۲ـ بیس ۳ـ کلکتور		NPN		
۱)					
۲)					
۳)					
۴)					
۵)					

۵ـ۶ـ اطلاعات اولیه مربوط به منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور

مهم‌ترین منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور، منحنی مشخصه‌ی خروجی آن است که جریان کلکتور را به‌صورت تابعی از ولتاژ کلکتور ـ امیتر ـ درحالی که جریان بیس ثابت است ـ نشان می‌دهد.

برای به‌دست آوردن منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور مداری مانند شکل ۴ـ۶ می‌بندیم:



شکل ۴ـ۶ـ مدار برای به‌دست آوردن منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور

با تنظیم V_0 جریان پیس را تنظیم می‌کنیم. برای اندازه‌گیری جریان پیس ولتاژ دوسر مقاومت R_B را با ولت‌متر (یا اسیلوسکوپ) اندازه گرفته با دانستن مقاومت، جریان پیس را از این رابطه به‌دست می‌آوریم:

$$I_B = \frac{V_{RB}}{R_B}$$

با همان ولت‌متر هم‌زمان می‌توان ولتاژ کلکتور امیتر و ولتاژ پیس امیتر را نیز اندازه‌گیری کرد.

برای رسم منحنی مشخصه‌های ترانزیستور از طریق نقطه‌یابی ابتدا باید ولتاژ کلکتور امیتر را روی ولتاژ معین، براساس جدول قرار دهیم؛ سپس با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر مقاومت R_B جریان پیس را مطابق جدول از صفر تا ماکزیمم مقدار تغییر داده، هربار جریان کلکتور را از روی میلی‌آمپرمتر بخوانیم.

۶ــ۶ــ مراحل آزمایش

۱ــ۶ــ۶ــ مدار شکل ۲ــ۶ را روی بردبرد ببندید.

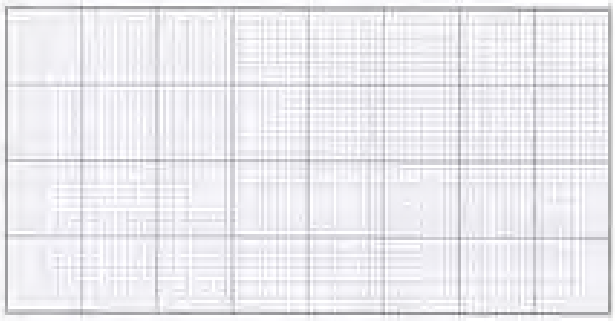
۲ــ۶ــ۶ــ ولتاژ کلکتور امیتر را روی مقادیر مندرج در جدول ۲ــ۶ تنظیم کنید، و به ازای هر مقدار V_{CE}، ولتاژ V_0 را تغییر دهید تا جریان I_B مساوی مقادیر مندرج در جدول ۲ــ۶ شود.

۳ــ۶ــ۶ــ پس از تنظیم ولتاژ کلکتور امیتر و جریان پیس، جریان کلکتور را با میلی‌آمپر اندازه بگیرید و در جدول ۲ــ۶ یادداشت نمایید.

جدول ۲ــ۶

V_{CE} \ I_B	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰ μA
۰									
۰/۵									
۱									
۲									
۴									
۶									
۸									
۱۰									

۴ــ۶ــ۶ــ با توجه به مقادیر جدول ۲ــ۶ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور را در شکل ۵ــ۶ رسم کنید.



شکل ۵ــ۶ــ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

۵ـ۶ـ۶ـ ولتاژ کلکتور امیتر را روی ۶ ولت تنظیم کنید.

۶ـ۶ـ۶ـ به‌وسیله‌ی مولتی‌متر DC ولتاژ V_{BE} را و جریان بیس را طبق مقادیر جدول ۳ـ۶ با تغییر V_{γ} تنظیم کنید. اندازه بگیرید و در جدول ۳ـ۶ درج کنید:

جدول ۳ـ۶

I_B (μA)	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
V_{BE} ولت									

۷ـ۶ـ۶ـ با توجه به مقادیر جدول ۲ـ۶ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور را در شکل ۴ـ۶ رسم کنید.

شکل ۶ـ۶ـ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور

۷ـ۶ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ آیا می‌توانید از روی منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور مورد آزمایش بهره‌ی جریان استاتیکی و دینامیکی را به‌دست آورید؟

بهره‌ی جریان استاتیکی $\beta_{DC} = \frac{IC}{I_B} = \cdots\cdots$

بهره‌ی جریان دینامیکی $\beta_{AC} = \frac{\Delta IC}{\Delta I_B} = \cdots\cdots$

شکل ۷ـ۶ـ منحنی IC برحسب I_B

۲ـ با توجه به جدول ۱ـ۶ منحنی‌ای رسم کنید که محور افقی آن جریان بیس و محور عمودی آن جریان کلکتور باشد در حالی که ولتاژ کلکتور امیتر روی ۶ ولت تنظیم باشد (شکل ۷ـ۶).

۳ـ مقاومت خروجی ترانزیستور را از روی منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور به‌دست آورید:

$$R_O = \left.\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta IC}\right|_{I_B = \text{ثابت}} = \cdots\cdots$$

۴ـ با توجه به منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور توضیح دهید از چه ولتاژ بیس امیتر، ترانزیستور شروع به هدایت می‌کند؟ به این ولتاژ چه می‌گویند؟

۵ـ با توجه به منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور آیا می‌توانید جنس ترانزیستور را مشخص کنید؟

۸ــ۶ــ رسم مشخصه‌ی ترانزیستور به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ

در شکل ۸ــ۶ مدار مربوط به رسم مشخصه‌ی ترانزیستور با استفاده از اسیلوسکوپ نشان داده شده است. در این مدار برای تغییر ولتاژ کلکتور امیتر از یک سیگنال سینوسی نیم‌موج استفاده گردیده است. دیود D عمل یک سوسازی را انجام می‌دهد. تغییر جریان I_B نیز با استفاده از یک منبع تغذیه‌ی DC صورت می‌گیرد. نقاط G ، V و H محل اتصال ورودی عمودی، خط شاسی و افقی اسیلوسکوپ به مدار است.

شکل ۸ــ۶ــ مدار آزمایش رسم مشخصه‌ی ترانزیستور

۹ــ۶ــ مراحل آزمایش

۱ــ۹ــ۶ــ مدار شکل ۸ــ۶ را روی برد برد ببندید.

۲ــ۹ــ۶ــ نقطه‌ی G را به بدنه‌ی اسیلوسکوپ، نقطه‌ی V را به ورودی عمودی و نقطه‌ی H را به ورودی افقی اسیلوسکوپ وصل کنید.

۳ــ۹ــ۶ــ سلکتور $\frac{Volt}{Div}$ عمودی اسیلوسکوپ را روی $\frac{۰/۲Volt}{cm}$ و سلکتور $\frac{Volt}{Div}$ افقی آن را روی $\frac{۲Volt}{cm}$ قرار دهید.

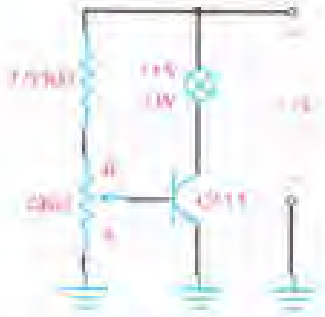
۴ــ۹ــ۶ــ با تنظیم جریان بیس با استفاده از تغییر ولتاژ V_i هربار منحنی روی اسیلوسکوپ را در شکل ۹ــ۶ رسم کنید.

شکل ۹ــ۶ــ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

۵ــ۹ــ۶ــ در صورت موجود بودن دستگاه منحنی‌نگار در هنرستان می‌توان با راهنمایی معلم کارگاه منحنی مشخصه‌های ورودی و خروجی ترانزیستور را با استفاده از این دستگاه و اسیلوسکوپ رسم نمود.

۱۰ــ۶ــ آزمایش هدایت ترانزیستور

در شکل ۱۰ــ۶ مدار آزمایش مربوط به هدایت ترانزیستور نشان داده شده است. در این مدار با استفاده از پتانسیومتر، ولتاژ بیس امیتر و جریان کلکتور ترانزیستور تغییر می‌کند و هرچه سر آزاد پتانسیومتر از A به B نزدیک‌تر شود هدایت ترانزیستور افزایش می‌یابد و نور لامپ بیش‌تر می‌شود. در نقطه‌ی A ترانزیستور قطع و لامپ خاموش می‌شود.



شکل ۱۰ــ۶ــ مدار آزمایش هدایت در ترانزیستور

۱۱ــ۶ــ مراحل آزمایش

۱ــ۱۱ــ۶ــ مدار شکل ۱۰ــ۶ را روی برد برد ببندید.

۲ــ۱۱ــ۶ــ سر وسط پتانسیومتر را روی نقطه‌ی A قرار دهید.

در این حالت ولتاژ بیس امیتر ترانزیستور چه‌قدر است؟

V_{BE} =.....

آیا لامپ روشن است یا خاموش؟ ترانزیستور در چه ناحیه‌ای قرار دارد؟

۳ــ۱۱ــ۶ــ سر وسط پتانسیومتر را از نقطه‌ی A آهسته‌آهسته به نقطه‌ی B نزدیک کنید. در نور لامپ چه تغییری به‌وجود می‌آید؟ ولتاژ بیس امیتر چه تغییری می‌کند؟

۴ــ۱۱ــ۶ــ سر وسط پتانسیومتر را در نقطه‌ی B قرار دهید؟ ترانزیستور در چه ناحیه‌ای قرار می‌گیرد؟ هدایت ترانزیستور را چگونه می‌توان تغییر داد؟

۱۲ــ۶ــ پرسش‌های آزمایش

۱ــ در شکل ۱۰ــ۶ اگر مقاومت ۴/۷ کیلواهم اتصال کوتاه شود چه اشکالی در کار ترانزیستور پیش می‌آید؟

۲ــ آیا لامپ ۱۲ ولت در مدار شکل ۱۰ــ۶ را می‌توان در امیتر ترانزیستور قرار داد؟

۳ــ در شکل ۱۰ــ۶ در چه حالتی لامپ از حداکثر روشنایی برخوردار است؟

۴ــ از حالت‌های قطع و اشباع ترانزیستور چه استفاده‌ای می‌شود؟

۱۳ــ۶ــ تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک

در شکل ۱۱ــ۶ مدار تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک نشان داده شده است.

$V_{CC} = ۱۰V$
$R_۱ = ۴۷K$
$R_۲ = ۱۰K$
$R_C = ۱K$
$R_E = ۲۲۰\Omega$
$R_L = ۲/۲K$
$R_S = ۱۰K$
$C_۱ = ۴۷\mu F$
$C_۲ = ۱۰۰\mu F$
$C_۳ = ۱۰۰\mu F$
$Q = BC۱۰۷$

شکل ۱۱ــ۶ــ مدار تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک

در این تقویت کننده سیگنال ورودی به امیتر اعمال می‌شود و خروجی از کلکتور ترانزیستور گرفته می‌شود.

منبع تغذیه‌ی V_{CC} به‌وسیله‌ی دو مقاومت مقسّم $R_۱$ و $R_۲$ ولتاژ بیس ترانزیستور را تأمین می‌کند. مقاومت‌های R_E و R_C مقاومت‌های بایاس ترانزیستور هستند. برای آن‌که ولتاژ متناوب روی R_E افت نکند، دو سر مقاومت R_E را به‌وسیله‌ی خازن $C_۳$ که خازن «بای‌پاس» نام دارد، برای ولتاژ متناوب اتصال کوتاه می‌کنیم. $C_۱$ و $C_۲$ نیز خازن‌های کوپلاژ هستند که مؤلفه‌های متناوب و مستقیم را از هم جدا می‌نمایند.

در این تقویت‌کننده، هدف از آزمایش عبارت است از اندازه‌گیری بهره‌ی ولتاژ، بهره‌ی جریان، امپدانس ورودی، امپدانس خروجی و اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و ولتاژ خروجی.

۱۴ــ۶ــ مراحل آزمایش

۱ــ۱۴ــ۶ــ مدار شکل ۱۱ــ۶ را روی برد ببندید.

۲ــ۱۴ــ۶ــ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس ۱۰۰۰ هرتز تنظیم کنید.

۳ــ۱۴ــ۶ــ اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید (در این حالت باری به مدار وصل نیست). دامنه‌ی سیگنال ورودی را آن‌قدر تغییر دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی روی $۵V_{pp}$ تنظیم شود.

۴ــ۱۴ــ۶ــ دامنه‌ی سیگنال ورودی را اندازه بگیرید. V_{ipp} و بهره‌ی ولتاژ مدار را محاسبه کنید:

$$A_V = \frac{V_o}{V_{ipp}} = \dots\dots$$

۵ــ۱۴ــ۶ــ مقاومت بار $R_L = ۲/۲K\Omega$ را به خروجی مدار وصل نمایید.

۶ــ۱۴ــ۶ــ با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر بار، I_L را محاسبه کنید:

$$I_L = \frac{V_{RL}}{R_L} = \dots\dots$$

۷ـ۱۴ـ۶ـ ولتاژ دو سر R_S را اندازه بگیرید و I_i را محاسبه کنید.

$$I_i = \frac{V_{Rs}}{R_s} = \cdots\cdots$$

۸ـ۱۴ـ۶ـ بهره‌ی جریان مدار را اندازه بگیرید:

$$A_I = \frac{I_L}{I_i} = \cdots\cdots$$

۹ـ۱۴ـ۶ـ با اندازه‌گیری V_i و I_i مقاومت ورودی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید:

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \cdots\cdots$$

۱۰ـ۱۴ـ۶ـ با اندازه‌گیری ولتاژ خروجی بدون بار V_{ONL} و نیز ولتاژ خروجی با بار V_{OFL} و با استفاده از فرمول زیر مقاومت خروجی، تقویت‌کننده را محاسبه کنید:

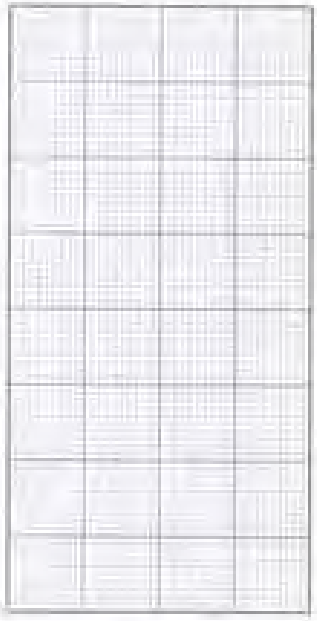
$$R_O = \frac{(V_{ONL} - V_{OFL})}{V_{OFL}} \times R_L$$

۱۱ـ۱۴ـ۶ـ به جای مقاومت بار یک پتانسیومتر ۱۰KΩ در مدار قرار دهید و با تغییر پتانسیومتر ولتاژ دو سر آن را به اندازه‌ی $\frac{V_{ONL}}{2}$ تنظیم نموده سپس با اندازه‌گیری مقاومت پتانسیومتر مقاومت خروجی تقویت‌کننده را دوباره اندازه بگیرید و نتیجه را با حالت قبل مقایسه کنید.

۱۲ـ۱۴ـ۶ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ورودی و خروجی را در شکل ۱۲ـ۶ رسم کنید. اختلاف فاز بین موج خروجی و ورودی را اندازه بگیرید:

(در این حالت مقاومت بار در مدار قرار دارد.) $\varphi = \cdots\cdots$

۱۳ـ۱۴ـ۶ـ نتایج به‌دست‌آمده را در جدول ۴ـ۶ یادداشت کنید.



شکل ۱۲ـ۶

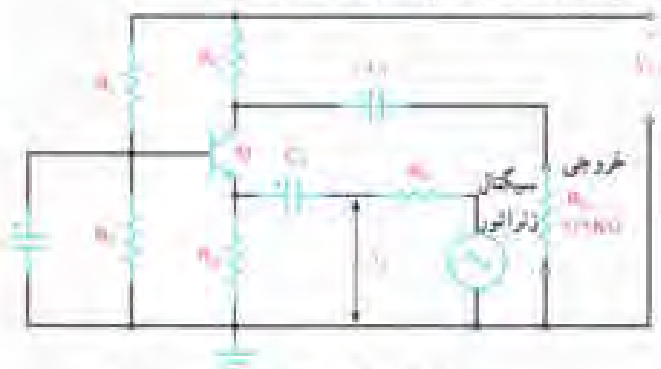
جدول ۴ـ۶

اختلاف فاز φ	مقاومت خروجی R_O	مقاومت ورودی R_i	بهره‌ی جریان A_I	بهره‌ی ولتاژ A_V

۱۵ـ۶ـ تقویت‌کننده‌ی بیس مشترک

در شکل ۱۳ـ۶ مدار تقویت‌کننده‌ی بیس مشترک نشان داده شده است.

$V_{CC} = ۱۰V$
$Q = BC۱۰۷$
$R_1 = ۲۷K$
$R_2 = ۱۰K$
$R_E = ۲۲۰\Omega$
$R_C = ۱K\Omega$
$R_L = ۲/۲K$
$R_S = ۱۰۰\Omega$
$C_1 = ۱۰۰\mu F$
$C_2 = ۴۷\mu F$
$C_3 = ۱۰۰\mu F$



شکل ۱۳ـ۶ـ تقویت‌کننده‌ی بیس مشترک

در این تقویت‌کننده سیگنال ورودی به امیتر داده می‌شود و سیگنال تقویت‌شده از کلکتور ترانزیستور دریافت می‌شود و خازن C_3 بایه‌ی بیس را از نظر ac به زمین بای پاس می‌کند. در این آزمایش هدف کلی عبارت است از بررسی تقویت‌کننده‌ی بیس مشترک از نظر بهره‌ی ولتاژ، بهره‌ی جریان، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی، و اختلاف فاز.

۱۶ــ۶ــ مراحل آزمایش

۱ــ۱۶ــ۶ــ مدار شکل ۱۳ــ۶ را روی برد لُرد ببندید.

۲ــ۱۶ــ۶ــ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس ۱۰۰۰ هرتز تنظیم نمایید.

۳ــ۱۶ــ۶ــ اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید (در این حالت بازی به مدار وصل نیست.) دامنه‌ی سیگنال ورودی را آن‌قدر تغییر دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی روی $V_{o(p-p)} = 5V$ تنظیم شود.

$V_i = \cdots\cdots$

۴ــ۱۶ــ۶ــ دامنه‌ی سیگنال ورودی را اندازه بگیرید. $V_{i(pp)}$ و بهره‌ی ولتاژ مدار را اندازه بگیرید:

$$A_V = \frac{V_o}{V_{i(pp)}} = \cdots\cdots$$

۵ــ۱۶ــ۶ــ مقاومت بار $R_L = 2/2K\Omega$ را به خروجی مدار وصل کنید.

۶ــ۱۶ــ۶ــ با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر بار I_L را محاسبه کنید:

$$I_L = \frac{V_{RL}}{R_L}$$

۷ــ۱۶ــ۶ــ ولتاژ دو سر R_S را اندازه بگیرید و I_i را محاسبه کنید:

$$I_i = \frac{V_{RS}}{R_S}$$

۸ــ۱۶ــ۶ــ بهره‌ی جریان مدار را اندازه بگیرید:

$$A_I = \frac{I_L}{I_i}$$

۹ــ۱۶ــ۶ــ با اندازه‌گیری V_i و جریان ورودی (I_i) مقاومت ورودی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید:

$$R_i = \frac{V_i}{I_i}$$

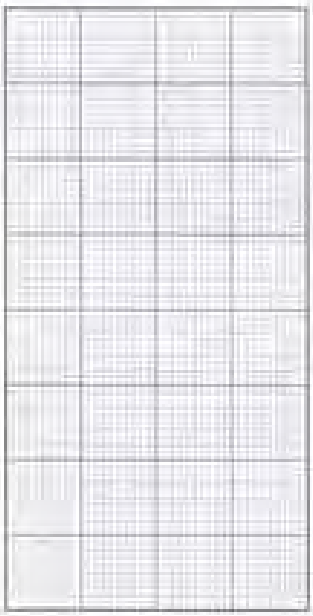
۱۰ــ۱۶ــ۶ــ با اندازه‌گیری ولتاژ خروجی بدون بار و نیز ولتاژ خروجی با بار، و با استفاده از فرمول زیر مقاومت خروجی تقویت‌کننده را محاسبه کنید:

$$R_o = \frac{(V_{o(NL)} - V_{o(FL)})}{V_{o(FL)}} \times R_L = \cdots\cdots$$

۱۱ــ۱۶ــ۶ــ به‌جای مقاومت بار یک پتانسیومتر ۱۰KΩ را در مدار قرار دهید و با تغییر پتانسیومتر ولتاژ دو سر آن را به اندازه‌ی $\frac{V_{o(NL)}}{2}$ تنظیم نموده سپس با اندازه‌گیری مقاومت پتانسیومتر مقاومت خروجی تقویت‌کننده را دوباره اندازه بگیرید و نتیجه را با حالت قبل مقایسه کنید.

۱۲ــ۱۶ــ۶ــ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج خروجی و ورودی را روی کاغذ میلی‌متری شکل ۱۴ــ۶ رسم کنید؛ سپس اختلاف فاز بین موج خروجی و ورودی را اندازه بگیرید. (در این حالت مقاومت بار در مدار قرار دارد.)

$\varphi = \cdots\cdots$



شکل ۱۲ــ۶ــ سیگنال‌های ورودی و خروجی

۱۳ــ۱۶ــ۶ــ نتایج به‌دست‌آمده را در جدول ۵ــ۶ یادداشت کنید.

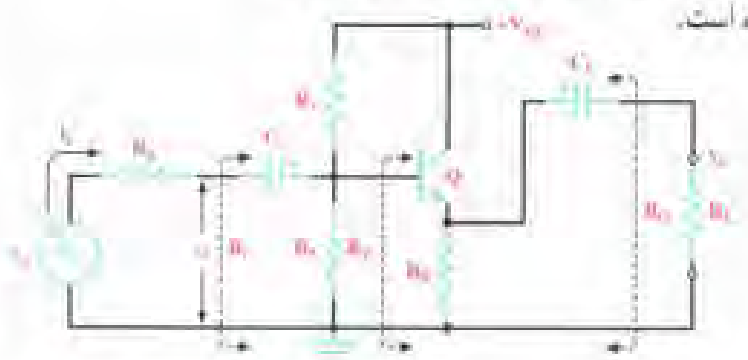
جدول ۵ـ۶

بهره‌ی ولتاژ A_V	بهره‌ی جریان A_I	مقاومت ورودی R_i	مقاومت خروجی R_o	اختلاف فاز ϕ

۱۷ـ۶ـ تقویت‌کننده‌ی کلکتور مشترک

در شکل ۱۵ـ۶ مدار یک تقویت‌کننده‌ی کلکتور مشترک نشان داده شده است.

$V_{CC} = ۱۰V$
$Q = BC۱۰۷$
$R_1 = ۴۸K$
$R_2 = ۱۸۰K$
$R_E = ۱K$
$R_S = ۱۰k$
$C_1 = ۲۲\mu F$
$C_2 = ۱۰۰\mu F$
$R_L = ۲/۲K$



شکل ۱۵ـ۶ـ تقویت‌کننده‌ی کلکتور مشترک

در این تقویت‌کننده سیگنال ورودی به بیس کلکتور اعمال می‌گردد و سیگنال خروجی از امیتر کلکتور دریافت می‌شود؛ یعنی، پایه‌ی کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است و از این رو به این تقویت‌کننده «کلکتور مشترک» گویند.

باید توجّه نمود که منبع تغذیه‌ی DC از نظر ولتاژ متناوب اتّصال کوتاه بوده درنتیجه، کلکتور از نظر ولتاژ متناوب به زمین وصل است. مقاومت‌های R_1 و R_2 تقسیم‌کننده‌ی ولتاژ بوده، ولتاژ بیس را تأمین می‌کنند.

در این آزمایش هدف کلی عبارت است از: بررسی تقویت‌کننده‌ی کلکتور مشترک از نظر بهره‌ی ولتاژ، بهره‌ی جریان، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز.

۱۸ـ۶ـ مراحل آزمایش

۱ـ۱۸ـ۶ـ مدار شکل ۱۵ـ۶ را روی برد برد ببندید.

۲ـ۱۸ـ۶ـ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس ۱۰۰۰ هرتز تنظیم نمایید.

۳ـ۱۸ـ۶ـ اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید (در این حالت باری به مدار وصل نیست) دامنه‌ی سیگنال ورودی را آن‌قدر تغییر دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی روی $۵V_{pp}$ تنظیم شود.

۴ـ۱۸ـ۶ـ دامنه‌ی سیگنال ورودی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید؛ V_{pp} و بهره‌ی ولتاژ مدار را محاسبه کنید:

$$A_V = \frac{V_o}{V_{ipp}} = \dots\dots$$

۵ـ۱۸ـ۶ـ مقاومت بار $R_L = ۲/۲K\Omega$ را به خروجی مدار وصل نمایید.

۶ـ۱۸ـ۶ـ با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر بار، I_L را محاسبه کنید:

$$I_L = \frac{V_{RL}}{R_L} = \dots\dots$$

۷ـ۱۸ـ۶ـ ولتاژ دو سر R_S را اندازه بگیرید؛ سپس I_i را محاسبه کنید:

$$I_i = \frac{V_{RS}}{R_S} = \dots\dots$$

۸ــ۱۸ــ۶ــ بهره‌ی جریان مدار را اندازه بگیرید :

$$A_I = \frac{I_L}{I_i} = \cdots\cdots$$

۹ــ۱۸ــ۶ــ با اندازه‌گیری V_i و جریان ورودی I_i مقاومت ورودی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید :

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \cdots\cdots$$

۱۰ــ۱۸ــ۶ــ با اندازه‌گیری ولتاژ خروجی بدون بار و نیز ولتاژ خروجی با بار، و با استفاده از فرمول زیر، مقاومت خروجی تقویت‌کننده را محاسبه کنید :

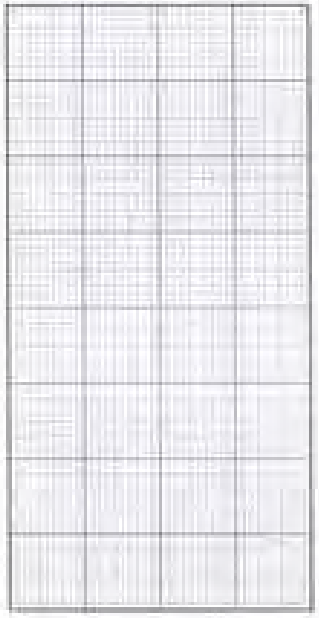
$$R_0 = \frac{(V_{o(NL)} - V_{o(FL)})}{V_{o(FL)}} \times R_L = \cdots\cdots$$

۱۱ــ۱۸ــ۶ــ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ورودی و خروجی را روی کاغذ میلی‌متری زیر هم در شکل ۱۶ــ۶ رسم کنید، سپس اختلاف فاز بین موج خروجی و ورودی را اندازه بگیرید :

$\phi = \cdots\cdots$

(در این حالت مقاومت بار در مدار قرار دارد.)

۱۲ــ۱۸ــ۶ــ نتایج به‌دست‌آمده را در جدول ۶ــ۶ یادداشت کنید.



شکل ۱۶ــ۶ــ سیگنال‌های ورودی و خروجی

جدول ۶ــ۶

اختلاف فاز ϕ	مقاومت خروجی R_0	مقاومت ورودی R_i	بهره‌ی جریان A_I	بهره‌ی ولتاژ A_V

۱۹ـ۶ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در شکل ۱۱ـ۶ اگر خازن C_2 را از مدار خارج کنیم چه تغییری در بهره‌ی ولتاژ پیش می‌آید؟

۲ـ کاربرد تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک را بنویسید.

۳ـ فرمول محاسبه‌ی R_0 را ثابت کنید.

۴ـ در محاسبه‌ی R_0 چرا وقتی ولتاژ دو سر پتانسیومتر نصف مقدار V_{OSC} می‌شود مقاومت پتانسیومتر همان R_0 است؟ اثبات کنید.

۵ـ در جدولی بهره‌ی ولتاژ، بهره‌ی جریان، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی سه نوع تقویت‌کننده‌ی CE و CB و CC را با هم مقایسه کنید.

آزمایش شماره‌ی ۷

آزمایش ترانزیستور اثر میدان اتصالی (JFET)[1]

هدف کلی آزمایش

آشنایی با ترانزیستور JFET، تأمین بایاس، رسم مشخصه‌ی خروجی و استفاده از JFET به عنوان تقویت‌کننده سورس مشترک.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ به کمک مولتی‌متر ترانزیستور JFET را شناسایی کند.

۲ـ به کمک منحنی‌نگار و اسیلوسکوپ مشخصه‌ی خروجی JFET را رسم نماید.

۳ـ مدار تأمین بایاس مقسم ولتاژ را روی برد برد بیندد.

۴ـ نقطه‌ی کار JFET را در مدار تأمین بایاس، مقسم ولتاژ اندازه بگیرد.

۵ـ مدار سلف بایاس JFET را روی برد برد بیندد.

۶ـ نقطه‌ی کار JFET را در مدار سلف بایاس اندازه بگیرد.

۷ـ مدار تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک را روی برد برد بیندد.

۸ـ مقادیر بهره‌ی ولتاژ، امپدانس ورودی و امپدانس خروجی تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک را اندازه بگیرد.

۹ـ اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ اندازه بگیرد.

۱۰ـ به پرسش‌های مربوط به آزمایش پاسخ دهد.

۱ـ۷ـ اطلاعات اولیه

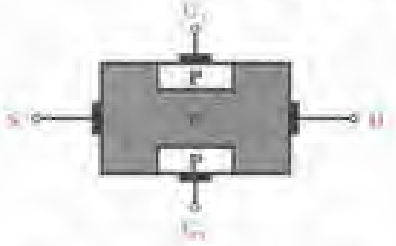
۱ـ۱ـ۷ـ کلیات: ترانزیستورهای JFET که از نظر ساختمان، با ترانزیستورهای معمولی تفاوت دارند در الکترونیک پیش‌تر به دلیل مقاومت ورودی بسیار زیاد، پایداری حرارتی خوب و تولید بازاریت کم، به‌کار می‌روند. این مزایا موجب گردیده تا از آن‌ها در ساخت مدارهای مجتمع استفاده شود. ترانزیستورهای معمولی که به دلیل ساختار فیزیکی آن‌ها دوپیوندی یا BJT[2] نامیده می‌شوند، عناصری کنترل‌شده با جریان هستند؛ یعنی جریان بیس ترانزیستور، جریان کلکتور آن را کنترل می‌کند. برای برقراری جریان در اتصال کلکتور باید جریان بیس به اندازه‌ای برسد که ناحیه‌ی تخلیه‌شده با سد پتانسیل پیوند بیس امیتر کاملاً شکسته شود.

جریان ورودی زیاد باعث می‌شود که مقاومت ورودی ترانزیستورهای BJT نسبتاً کم باشد. ترانزیستورهای اثر میدان، ساختمان ساده‌تری شبیه به ترانزیستورهای دوپیوندی دارند. این قطعات عناصری کنترل‌شده با ولتاژ هستند و در ساختمان آن‌ها فقط از دو نوع نیمه‌هادی استفاده شده است به همین دلیل به ترانزیستورهای «تک‌پیوندی»[3] یا «یک قطبی» نیز مشهورند.

۱ـ Junction Field Effect Transistor ۲ـ Bipolar Junction Transistor ۳ـ Unijunction Transistor

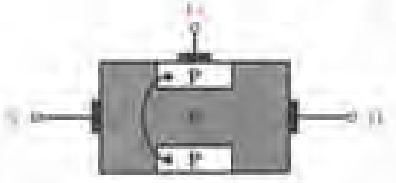
ترانزیستورهای FET بر دو نوع‌اند : یکی «JFET» که قبلاً توضیح داده شد و دیگری «MOSFET[1]» که طرز ساخت آن با نوع JFET فرق می‌کند.

۲ـ۱ـ۷ـ ساختمان ترانزیستورهای JFET: ساختمان داخلی ترانزیستورهای JFET به این ترتیب است که ابتدا یک نیمه‌هادی، برای مثال از نوع N انتخاب می‌نمایند و سپس دو نیمه‌هادی نوع P در امتداد دو طرف به آن متصل می‌کنند (شکل ۱ـ۷). از دو طرف نیمه‌هادی نوع N دو سر بیرون می‌آید که یکی S(Source) و دیگری D (Drain) است ؛ سپس از نیمه‌هادی‌های نوع P که در دو طرف قرار دارند یک سر بیرون می‌آید که به آن‌ها G «Gate» می‌گویند. در نتیجه این ترانزیستور دارای دو گیت G_1 و G_2 است.



شکل ۱ـ۷ـ ساختمان ترانزیستور JFET

ترانزیستورهای FET با دو گیت گاهی به‌صورت مخلوط کننده دو سیگنال به‌کار می‌روند، اما اغلب، سازندگان این ترانزیستورها نیمه‌هادی‌های نوع P را که در دو طرف قرار گرفته‌اند از داخل به یک‌دیگر متصل نموده، یک سر مشترک به‌صورت گیت از آن بیرون می‌آورند. در این صورت، این ترانزیستورها دارای سه‌پایه‌ی S، D و G هستند (شکل ۲ـ۷).



شکل ۲ـ۷

این ترانزیستورها که از اتصال دو نیمه‌هادی مشابه در دو طرف یک نیمه‌هادی اصلی دیگر به‌وجود می‌آیند به ترانزیستورهای «FET اتصالی» یا «پیوندی» معروف‌اند.

ترانزیستورهای JFET دو گونه ساخته می‌شوند. مانند ترانزیستورهای معمولی که از نوع PNP یا NPN بودند در این‌جا نیز می‌توان نیمه‌هادی اصلی را که به آن کانال «Channel» گفته می‌شود از نوع N یا P انتخاب نمود. در این‌صورت نیمه‌هادی دیگر از نوع مخالف خواهد بود. چنان‌چه نیمه‌هادی اصلی از نوع N باشد به ترانزیستور «کانال N» و اگر از نوع P باشد، به آن «کانال P» گفته می‌شود. در شکل ۳ـ۷ شمای فنی ترانزیستورهای JFET کانال N و P نشان داده شده است.

«الف ـ کانال N» «ب ـ کانال P»

شکل ۳ـ۷ـ شمای فنی ترانزیستورهای JFET کانال N و کانال P

اگر بخواهیم ترانزیستورهای JFET را با ترانزیستورهای معمولی مقایسه کنیم می‌توان گفت : درین متناظر کلکتور، سورس متناظر امیتر و گیت متناظر بیس است.

۳ـ۱ـ۷ـ تغذیه‌ی JFET: روش‌های مختلفی برای تغذیه‌ی JFET وجود دارد که عبارت‌اند از : تغذیه با دو منبع ولتاژ مستقل یا بایاسینگ ثابت، بایاس سرخود یا سلف‌بایاس و بایاس تقسیم ولتاژ.

در شکل ۴ـ۷ مدار بایاسینگ مستقل یا بایاسینگ ثابت نشان داده شده است.

شکل ۴ـ۷ـ بایاسینگ مستقل

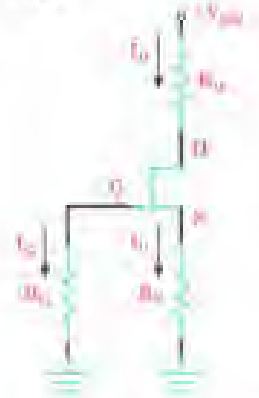
۱ـ Metal - Oxide Semiconductor FET

در این مدار به علت ناچیزبودن جریان گیت می‌توان از آن صرف نظر نمود؛ بنابراین نتیجه می‌شود:

$$V_{GS} + V_{GG} = 0 \Rightarrow V_{GS} = -V_{GG}$$

در شکل ۵ـ۷ مدار تأمین بایاس سرخود یا سلف بایاس برای یک ترانزیستور JFET کانال N نشان داده شده است. چون $I_G = 0$ است؛ بنابراین:

$$V_{GS} + R_S I_D = 0$$
$$V_{GS} = -R_S I_D$$



شکل ۵ـ۷ـ تأمین بایاس سرخود

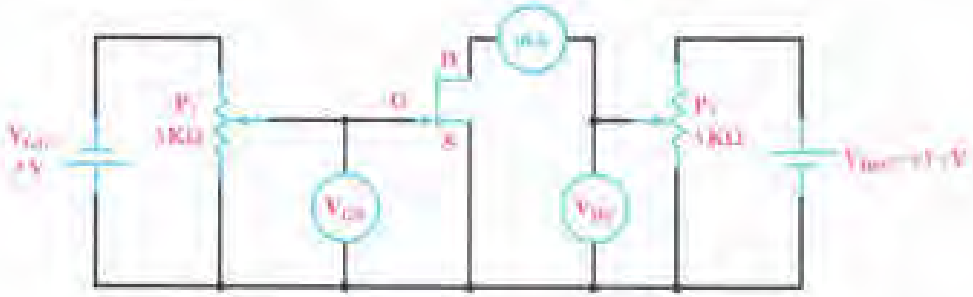
در شکل ۶ـ۷ تغذیه‌ی JFET به روش تقسیم ولتاژ نشان داده شده است. مقاومت‌های R_1 و R_2 به مقاومت‌های تقسیم ولتاژ معروف‌اند.

ولتاژ V_G برابر است با: $\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$ و ولتاژ V_{GS} طبق رابطه‌ی: $V_G = V_{GS} + R_S I_D$ برابر است با:

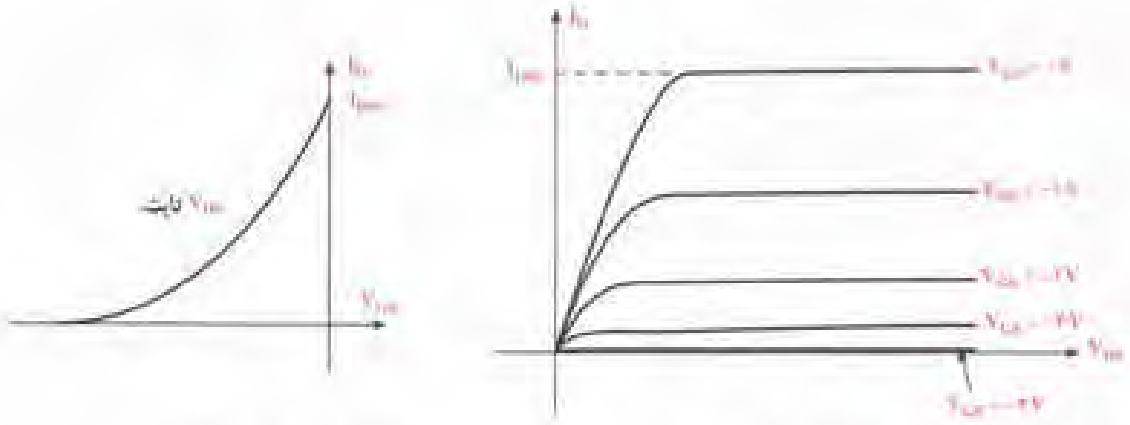
$$V_{GS} = V_G - R_S I_D$$

شکل ۶ـ۷ـ تأمین بایاس تقسیم ولتاژ

۴ـ۱ـ۷ـ منحنی‌های مشخصه‌ی JFET: در شکل ۷ـ۷ تغذیه‌ی ترانزیستور JFET با دو منبع مستقل نشان داده شده است. در ترانزیستور JFET تغییرات جریان درین وابسته به تغییرات دو عامل «V_{DS}» و «V_{GS}» است. برای مشخص کردن میزان این وابستگی به هریک از دو عامل باید یکی از آن دو را ثابت نگه داشته، اثر تغییرات عامل دیگر را بر جریان بررسی نماییم. بدین ترتیب، با تغییر پتانسیومترهای P_1 و P_2 در شکل ۷ـ۷ و تعیین مقادیر مختلف V_{GS}، I_D و V_{DS} می‌توان منحنی تغییرات جریان I_D برحسب V_{DS} را با ثابت نگه‌داشتن V_{GS} رسم کرد. به این منحنی «مشخصه‌ی خروجی JFET» می‌گویند. هم‌چنین ضمن ثابت‌نگه داشتن V_{DS} می‌توان منحنی تغییرات I_D را برحسب V_{GS} رسم نمود که به آن «منحنی مشخصه‌ی انتقالی» می‌گویند. در شکل ۸ـ۷ الف و ب منحنی مشخصه‌ی خروجی و انتقالی JFET رسم شده است.



شکل ۷ـ۷ـ یک نمونه مدار آزمایشی برای به‌دست آوردن مشخصه‌های JFET

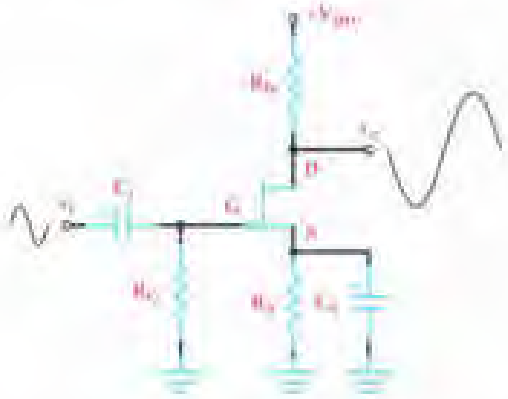


الف ـ مشخصه‌ی خروجی JFET

ب ـ مشخصه‌ی انتقالی JFET

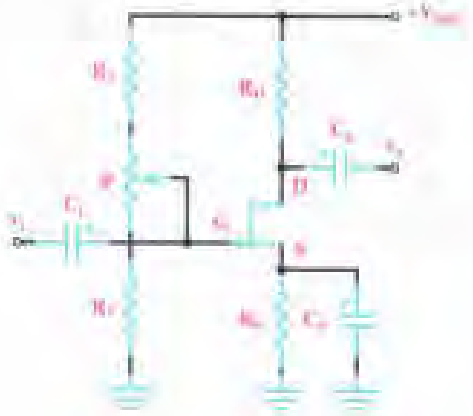
شکل ۸ـ۷ـ منحنی‌های مشخصه‌ی خروجی و انتقالی JFET

۵ـ۱ـ۷ـ تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک: در شکل ۹ـ۷ مدار تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک با ترانزیستور JFET کانال N نشان داده شده است. تأمین بایاس ترانزیستور از نوع تغذیه سرخود است.



شکل ۹ـ۷ـ تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک به‌صورت سلف بایاس

در این تقویت‌کننده بین دو سیگنال V_o و V_i ۱۸۰° اختلاف فاز وجود دارد. بهره‌ی تقریبی ولتاژ این مدار برابر $-g_m R_D$، امپدانس ورودی مدار تقریباً مساوی R_G و امپدانس خروجی آن مساوی R_D است. در مدار تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک می‌توان از تأمین بایاس تقسیم ولتاژ، مطابق شکل ۱۰ـ۷ استفاده کرد. در این مدار از پتانسیومتر P برای تنظیم V_{GS} استفاده می‌شود.



شکل ۱۰ـ۷ـ تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک به‌صورت تقسیم ولتاژ

۲ـ۷ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه
ـ منحنی نگار	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه DC	۱ دستگاه
ـ سیگنال ژنراتور صوتی	۱ دستگاه
ـ مولتی‌متر دیجیتال	۱ دستگاه
ـ بردبرد	۱ عدد
ـ ترانزیستور ۲N۳۸۱۹	۱ عدد
ـ دیود ۱N۴۰۰۱	۱ عدد
ـ خازن ۱۰۰μf، ۲۵V	۳ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ، ۱KΩ	۱ عدد

- مقاومت $\frac{1}{2}W$ ، $2/2K\Omega$ ۱ عدد
- مقاومت $\frac{1}{2}W$ ، $4/7K\Omega$ ۱ عدد
- مقاومت $\frac{1}{2}W$ ، $22\cdot K\Omega$ ۱ عدد
- مقاومت $\frac{1}{2}W$ ، $47\cdot K\Omega$ ۱ عدد

۳ـ۷ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۷ـ به وسیله‌ی مولتی‌متر ترانزیستور JFET را آزمایش کنید و پایه‌های سورس ـ درین و گیت آن‌را مشخص نمایید.

۲ـ۳ـ۷ـ مشخصات ترانزیستور JFET را از کتاب راهنمای ترانزیستور (Semiconductor data book) استخراج کرده و هریک از پایه‌های آن را شناسایی کنید.

۳ـ۳ـ۷ـ به وسیله‌ی منحنی نگار که در آزمایش شماره‌ی۶ با آن آشنا شده‌اید منحنی مشخصه‌ی خروجی JFET را به‌دست آورید و در شکل ۱۱ـ۷ رسم کنید. برای رسیدن به این هدف کلیدهای منحنی نگار را به‌صورت زیر تنظیم نمایید:

الف ـ کلید Selector را روی FET قرار دهید.

ب ـ کلید تعیین نوع کانال را روی N کانال قرار دهید.

ج ـ سلکتور ولتاژ گیت را روی ۰/۲ ولت قرار دهید.

د ـ سلکتور ولتاژ جاروکننده را روی ۳۰ ولت قرار دهید.

هـ ـ کلید تعیین جریان را روی Signal قرار دهید.

و ـ ولوم H-length را تا انتها در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید.

ز ـ کلید انتخاب کانال را تنظیم کنید.

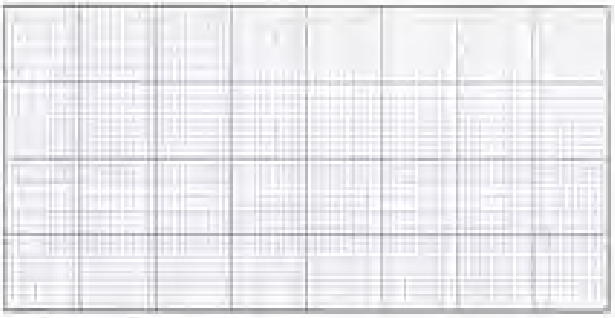
ح ـ ورودی عمودی اسیلوسکوپ را به خروجی قائم منحنی نگار متصل کنید.

ط ـ ورودی افقی اسیلوسکوپ را به خروجی افقی منحنی نگار وصل نمایید.

ی ـ زمین اسیلوسکوپ را به Ground منحنی نگار وصل کنید.

ک ـ اسیلوسکوپ را روی H-in قرار دهید و منحنی نگار را روشن کنید.

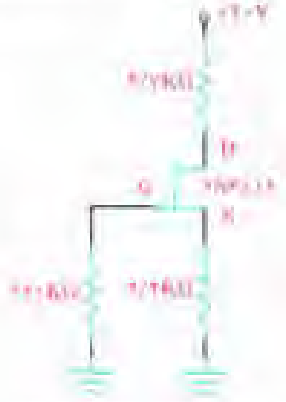
ل ـ منحنی مشخصه‌ی خروجی JFET را که روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ مشاهده می‌کنید با دقت روی کاغذ میلی‌متری شکل ۱۱ـ۷ رسم کنید.



شکل ۱۱ـ۷ـ منحنی مشخصه‌ی خروجی JFET

۴ـ۳ـ۷ـ با استفاده از منحنی مشخصه‌ی خروجی به‌ازای $V_{DS}=15V$ و $V_{GS}=0$ مقدار I_D را محاسبه کنید.

۵ـ۳ـ۷ـ مدار شکل ۱۲ـ۷ را روی برد برد ببندید.



شکل ۱۲ـ۷ـ مدار تغذیه‌ی سرخود

۶ـ۳ـ۷ـ به وسیله‌ی مولتی‌متر DC ولتاژهای V_S، V_D و V_G را نسبت به نقطه‌ی مبنا (شاسی) اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۷ درج نمایید.

۷ـ۳ـ۷ـ با توجه به نتایج آزمایش ۶ـ۳ـ۷ مقادیر I_D و I_G را محاسبه کنید:

$$I_D=\frac{20-V_D}{4/7K}=\cdots\cdots$$

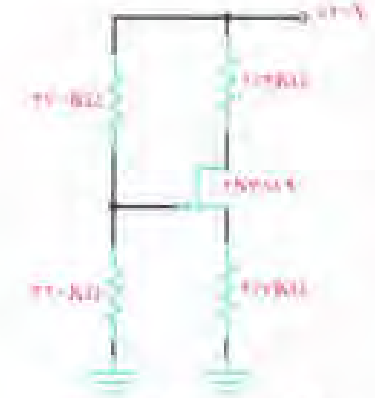
$$I_G=\frac{V_G}{220K}=\cdots\cdots$$

۸ـ۳ـ۷ـ مدار شکل ۱۳ـ۷ را روی برد برد ببندید.

۹ـ۳ـ۷ـ با مولتی‌متر DC ولتاژهای V_S و V_D و V_G را نسبت به شاسی اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۷ درج کنید.

جدول ۱ـ۷

	سلف بایاس	تقسیم ولتاژ
V_D		
V_S		
V_G		



شکل ۱۳ـ۷ـ مدار تقسیم ولتاژ

۱۰ـ۳ـ۷ـ با توجه به نتایج آزمایش ۹ـ۳ـ۷ مقدار I_D را محاسبه کنید:

$$I_D = \frac{۲۰ - V_D}{۲/۲K} = \cdots\cdots$$

۱۱ـ۳ـ۷ـ مدار شکل ۱۴ـ۷ را روی برد بُرد ببندید.

شکل ۱۴ـ۷ـ تقویت‌کننده‌ی سورس مشترک

۱۲ـ۳ـ۷ـ سیگنال ژنراتور را خاموش کنید و مقادیر V_S، V_D و V_G را با مولتی‌متر DC اندازه‌گیری و یادداشت کنید:

V_D =.....

V_S =.....

V_G =.....

۱۳ـ۳ـ۷ـ با توجه به نتایج آزمایش ۱۲ـ۳ـ۷ مشخصات نقطه‌ی کار ترانزیستور را محاسبه کنید:

$$I_{DQ} = \frac{۲۰ - V_D}{۲/۲K} = \cdots\cdots$$

$$V_{DSQ} = V_D - V_S = \cdots\cdots$$

$$V_{GSQ} = V_G - V_S = \cdots\cdots$$

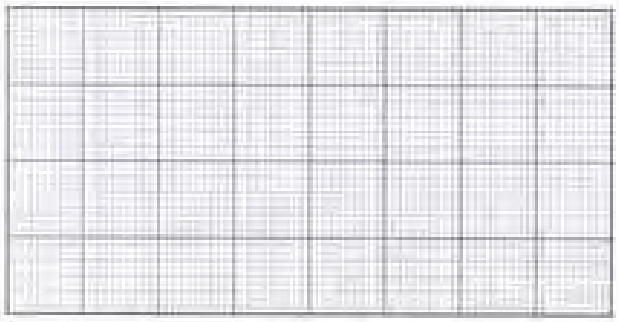
۱۴ـ۳ـ۷ـ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و دامنه‌ی سیگنال سینوسی خروجی آن را به گونه‌ای تنظیم کنید که اعوجاج نداشته باشد.

۱۵ـ۳ـ۷ـ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ مقدار قلّه به قلّه سیگنال را روی گیت و درین اندازه‌گیری و یادداشت کنید:

V_{gpp} =.....

V_{opp} =.....

۱۶ـ۳ـ۷ـ شکل موج خروجی را روی کاغذ میلی‌متری شکل ۱۵ـ۷ با مقیاس مناسب رسم نمایید.



شکل ۱۵ـ۷

۱۷ـ۳ـ۷ـ با توجه به نتایج آزمایش ۱۵ـ۳ـ۷ مقدار بهره‌ی ولتاژ را محاسبه کنید:

$$A_V = \frac{V_{opp}}{V_{gpp}} = \cdots\cdots$$

۱۸ـ۳ـ۷ـ با استفاده از اسیلوسکوپ اختلاف فاز بین ولتاژهای V_{opp} و V_g را اندازه‌گیری کرده و مقدار دقیق آن‌را یادداشت نمایید:

$\varnothing$ =.....

۱۹ـ۳ـ۷ـ خازن C_S را برداشته، آزمایش ۱۵ـ۳ـ۷ را تکرار کنید:

V_{app} =.....

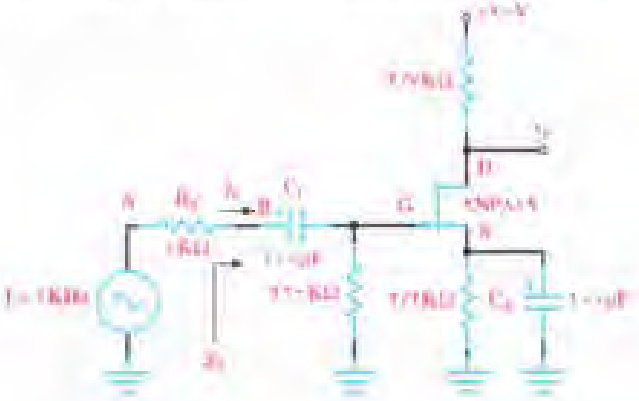
V_{opp} =.....

۲۰ـ۳ـ۷ـ با توجه به نتایج آزمایش ۱۹ـ۳ـ۷ مقدار بهره‌ی ولتاژ را محاسبه کنید:

$$A_V = \frac{V_{opp}}{V_{app}} = \cdots\cdots$$

۲۱ـ۳ـ۷ـ با حذف خازن C_S بهره‌ی ولتاژ زیاد می‌شود یا کم؟ چرا؟

۲۲ـ۳ـ۷ـ خازن C_S را در مدار قرار دهید و مقاومت $R_S = 1K\Omega$ را براساس شکل ۱۶ـ۷ با خازن C_1 سری کنید.



شکل ۱۶ـ۷

۲۳ـ۳ـ۷ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ دامنه قله به قله سیگنال نقاط A و B را نسبت به نقطه‌ی مبنا اندازه گرفته، یادداشت نمایید:

V_{App} =.....

V_{Bpp} =.....

۲۴ـ۳ـ۷ـ با توجه به نتایج آزمایش ۲۳ـ۳ـ۷ جریان عبوری از R_S را محاسبه کنید:

$$I_S = \frac{V_{App} - V_{Bpp}}{R_S} = \cdots\cdots$$

۲۵ـ۳ـ۷ـ با استفاده از رابطه‌ی: $Z_i = \frac{V_B}{I_S}$ مقدار امپدانس ورودی تقویت‌کننده را محاسبه کنید:

Z_i =.....

شکل ۱۷ـ۷

۲۶ـ۳ـ۷ـ مقاومت $R_S = 1K\Omega$ را از ورودی حذف کرده به جای R_L، مطابق شکل ۱۷ـ۷: در خروجی قرار دهید. در این حالت خازن کوپلاژ $C_o = 100\mu F$ در خروجی قرار می‌گیرد.

۲۷ـ۳ـ۷ـ امپدانس خروجی مدار را از محلی که در شکل ۱۷ـ۷ نشان داده شده است اندازه‌گیری کنید.

تذکر: برای اندازه‌گیری امپدانس خروجی مقاومت R_L را برداشته، دامنه‌ی سیگنال خروجی را با اسیلوسکوپ اندازه‌گیری و یادداشت کنید. این ولتاژ را با V_{oNL} =..... نشان می‌دهند؛ سپس مقاومت R_L را در مدار قرار دهید و دامنه‌ی سیگنال خروجی را با اسیلوسکوپ اندازه‌گیری و یادداشت کنید. این ولتاژ را نیز با V_{oFL} =..... نشان می‌دهند.

با استفاده از رابطه‌ی $Z_o = \frac{V_{oNL} - V_{oFL}}{V_{oFL}} \times R_L$ مقدار امپدانس خروجی را محاسبه کنید:

Z_o =.....

۴ـ۷ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ با توجه به مقادیر جدول ۱ـ۷ می‌توان گفت در مدار تأمین بایاس شکل ۱۲ـ۷ دیود گیت سورس دیودی است با:

الف ـ بایاس معکوس ب ـ بایاس مستقیم ج ـ بایاس صفر

۲ـ در شکل ۱۲ـ۷ جریانی که از مقاومت ۲/۲K عبور می‌کند، ولتاژی برای سورس پدید می‌آورد که:

الف ـ منفی است ب ـ مثبت اما کم‌تر از V_G است ج ـ مثبت ولی بزرگ‌تر از V_G است.

۳ـ با توجه به نتایج آزمایش‌ها، آیا مقدار V_{GS} در دو مدار ۱۲ـ۷ و ۱۳ـ۷ یکی است؟ چرا؟

۴ـ با توجه به مقدار A_V در آزمایش ۱۷ـ۳ـ۷ و معلوم‌بودن مقدار R_D در شکل ۱۴ـ۷ مقدار هدایت انتقالی g_m را از رابطه‌ی $A_V = -g_m R_D$ محاسبه کنید.

۵ـ رابطه‌ی: $Z_o = \frac{V_{oNL} - V_{oFL}}{V_{oFL}}$ را برای محاسبه‌ی امپدانس خروجی یک تقویت‌کننده اثبات نمایید.

۶ـ در شکل ۱۸ـ۷ با فرض $I_D = 1mA$ و $I_G = 0$ مقدار ولتاژهای V_{DS} و V_{GS} را محاسبه کنید:

$V_{DS} =$ .....

$V_{GS} =$ .....

شکل ۱۸ـ۷

۷ـ در شکل ۱۹ـ۷ با فرض $V_{BE} = 0/7V$، $V_{GS} = 0$، $I_G = 0$، $\beta = 200$ مقادیر V_{CE}، I_D و V_{DS} را محاسبه کنید:

$V_{CE} =$ .....

$I_D =$ .....

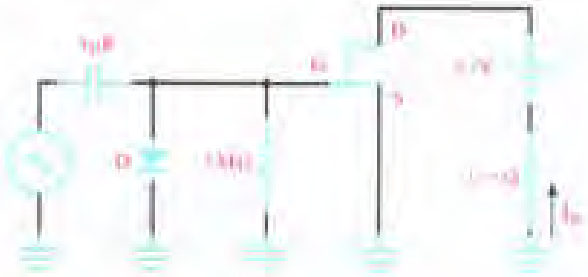
$V_{DS} =$ .....

شکل ۱۹ـ۷

۸ـ از طریق مدار شکل ۲۰ـ۷ می‌توان مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور JFET را روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ مشاهده کرد. چگونگی آن را شرح دهید :

شکل ۲۰ـ۷

۹ـ از طریق مدار شکل ۲۱ـ۷ می‌خواهیم مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور JFET را روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ مشاهده کنیم. محل اتصال مدار به اسیلوسکوپ را در شکل مشخص نمایید.



شکل ۲۱ـ۷

آزمایش تقویت‌کننده‌های چند طبقه

هدف کلی آزمایش

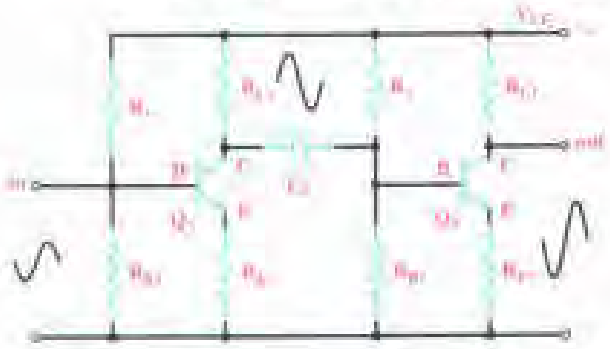
بررسی تقویت‌کننده‌های دو طبقه با کوپلاژ RC، زوج‌دار لینگتون و تقویت‌کننده‌ی کاسکود.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ مدار یک تقویت‌کننده‌ی دوطبقه با کوپلاژ خازنی را ببندد.
۲ـ نقطه‌ی کار ترانزیستورها را در تقویت‌کننده‌ی دو طبقه اندازه بگیرد.
۳ـ بهره‌ی ولتاژ تقویت‌کننده‌ی دو طبقه را اندازه بگیرد.
۴ـ به پرسش‌های مربوط به تقویت‌کننده‌ی دو طبقه پاسخ دهد.
۵ـ مدار تقویت‌کننده‌ی آبشاری را ببندد.
۶ـ نقطه‌ی کار ترانزیستورهای تقویت‌کننده‌ی آبشاری را اندازه بگیرد.
۷ـ بهره‌ی ولتاژ تقویت‌کننده‌ی آبشاری را اندازه بگیرد.
۸ـ امپدانس ورودی تقویت‌کننده‌ی آبشاری را اندازه بگیرد.
۹ـ امپدانس خروجی تقویت‌کننده‌ی آبشاری را اندازه بگیرد.
۱۰ـ به پرسش‌های مربوط به آزمایش تقویت‌کننده‌ی آبشاری پاسخ دهد.

۱ـ۸ـ اطلاعات اولیه

در شکل ۱ـ۸ مدار یک تقویت‌کننده‌ی دو طبقه با کوپلاژ خازنی نشان داده شده است. ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 هر دو به‌صورت امیتر مشترک بسته شده‌اند. منحنی پاسخ فرکانس یک تقویت‌کننده‌ی دو طبقه با کوپلاژ خازنی در مقایسه با کوپلاژ ترانسفورموتوری بهتر است. در این مدار به دلیل ایجاد ۱۸۰ درجه اختلاف فاز در هر طبقه سیگنال خروجی با سیگنال ورودی هم‌فاز می‌شود. برای بررسی دقیق مدار به کتاب «الکترونیک عمومی ۲» مراجعه شود.



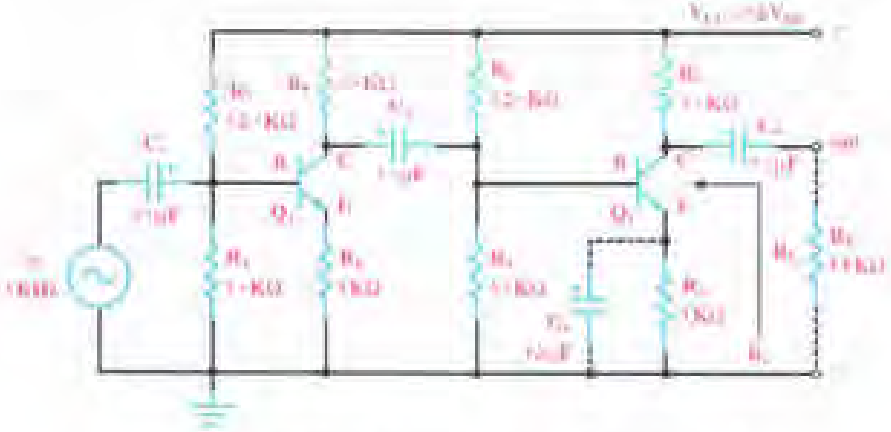
شکل ۱ـ۸ـ یک تقویت‌کننده‌ی دو طبقه با کوپلاژ RC (خازنی)

۲ـ۸ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه DC	۱ دستگاه
ـ سیگنال ژنراتور صوتی	۱ دستگاه
ـ ولتمتر DC	۱ دستگاه
ـ ترانزیستور ۲N۲۲۱۹	۲ عدد
ـ خازن۲۵V، ۱۰μf	۳ عدد
ـ خازن۲۵V، ۲۵μf	۱عدد
ـ مقاومت $1K\Omega$ ، $\frac{1}{2}W$	۲ عدد
ـ مقاومت $10K\Omega$ ، $\frac{1}{2}W$	۴ عدد
ـ مقاومت $150K\Omega$ ، $\frac{1}{2}W$	۲ عدد
ـ مقاومت $22K\Omega$ ، $\frac{1}{2}W$	۱ عدد

۳ـ۸ـ مراحل آزمایش

مدار شکل ۲ـ۸ را روی برد برد ببندید و این آزمایش‌ها را انجام دهید:



شکل ۲ـ۸ـ مدار آزمایش تقویت‌کننده‌ی دو طبقه با کوپلاژ خازنی

۱ـ۳ـ۸ـ منبع تغذیه‌ی ۱۵+ ولت را به مدار وصل کنید. درحالی که سیگنال ژنراتور خاموش است به‌وسیله‌ی ولتمتر DC ولتاژ هریک از پایه‌های ترانزیستور را نسبت به نقطه‌ی مبنا اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۸ درج نمایید.

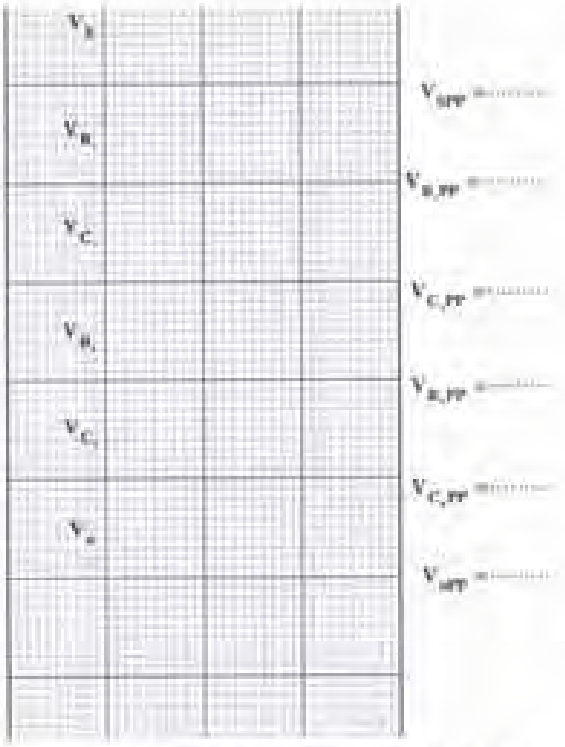
جدول ۱ـ۸

ولتاژ پایه‌ها / ترانزیستور	V_C	V_B	V_E
Q_1			
Q_2			

۲ـ۳ـ۸ـ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج نقاط زیر را مشاهده و در شکل ۳ـ۸ رسم کنید. (دامنه‌ی ورودی را طوری تنظیم کنید که خروجی V_o حداکثر و بدون اعوجاج باشد)

الف ـ V_g ب ـ V_{B_1} ج ـ V_{C_1} د ـ V_{B_2}

هـ ـ V_{C_2} و ـ V_o در هر حالت مقدار دامنه‌ی قله به قله سیگنال را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



شکل ۳ـ۸ـ شکل موج‌های ولتاژ نقاط مختلف مدار

۳ـ۳ـ۸ـ با استفاده از روابط زیر بهره‌ی ولتاژ هر طبقه و بهره‌ی ولتاژ کلی تقویت‌کننده را محاسبه کنید :

$$A_{V_1} = \frac{V_{C_1PP}}{V_{B_1PP}} = \cdots\cdots$$

$$A_{V_2} = \frac{V_{C_2PP}}{V_{B_2PP}} = \cdots\cdots$$

$$A_V = A_{V_1} \times A_{V_2}$$

۴ـ۳ـ۸ـ مقاومت بار R_L را از مدار قطع و به وسیله‌ی اسیلوسکوپ با اندازه‌گیری مقدار قله به قله ولتاژ نقاط آزمایشی مشخص شده، بهره‌ی ولتاژ هر طبقه و بهره‌ی ولتاژ کلی تقویت‌کننده را محاسبه کنید :

V_{BPP} =..... V_{C_1PP} =.....

V_{B_1PP} =..... V_{C_2PP} =.....

V_{oPP} =.....

$$A_{V_1} = \frac{V_{C_1PP}}{V_{B_1PP}} = \cdots\cdots$$

$$A_{V_2} = \frac{V_{C_2PP}}{V_{B_2PP}} = \cdots\cdots$$

$$A_V = A_{V_1} \times A_{V_2}$$

۵ـ۳ـ۸ـ در حالی که R_L قطع است خازن C_4 را از مدار خارج کنید. با اندازه‌گیری ولتاژ قله به قله نقاط آزمایشی زیر بهره‌ی ولتاژ کلی تقویت‌کننده را محاسبه نمایید :

V_{BPP} =.....

V_{C_1PP} =.....

V_{B_1PP} =.....

V_{C_2PP} =.....

V_{oPP} =.....

$$A_{V_1} = \frac{V_{C_1PP}}{V_{B_1PP}} = \cdots\cdots$$

$$A_{V_2} = \frac{V_{C_2PP}}{V_{B_2PP}} = \cdots\cdots$$

$$A_V = A_{V_1} \times A_{V_2}$$

۶ـ۳ـ۸ـ با توجه به نتایج آزمایش‌های قبل با استفاده از رابطه‌ی زیر مقدار امپدانس خروجی تقویت‌کننده را محاسبه کنید :

$$R_o = \frac{(V_{oNL} - V_{oFL})}{V_{oFL}} \times R_L = \cdots\cdots$$

۴ـ۸ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ با توجه به نتایج آزمایش ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در چه کلاسی بایاس شده‌اند؟

۲ـ دامنه‌ی قله به قله ولتاژ خروجی در کدام یک از این دو حالت بیش‌تر است و علت آن چیست؟

الف ـ R_L وصل ب ـ R_L قطع

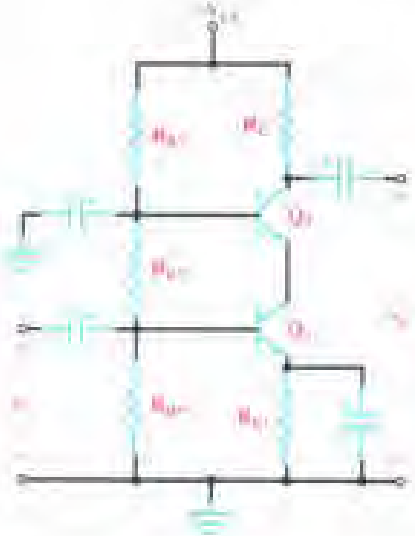
۳ـ دامنه‌ی قله به قله ولتاژ خروجی در کدام یک از این دو حالت بیش‌تر است و علت آن چیست؟

الف ـ خازن C_4 وصل ب ـ خازن C_4 قطع

۴ـ اختلاف فاز بین سیگنال‌های پیس Q_1 و پیس Q_2 چند درجه است؟

۵ـ۸ـ آزمایش تقویت‌کننده‌ی کاسکود (آبشاری)

۱ـ۵ـ۸ـ اطلاعات اولیه: تقویت‌کننده‌ی کاسکود یا آبشاری یک تقویت‌کننده‌ی دو طبقه با کوپلاژ مستقیم است که از دو ترانزیستور تشکیل شده است. در شکل ۴ـ۸ مدار یک تقویت‌کننده‌ی کاسکود نشان داده شده است. در این تقویت‌کننده ترانزیستور Q_1 به‌صورت امیتر مشترک و ترانزیستور Q_2 به‌صورت بیس مشترک به‌کار رفته است. این تقویت‌کننده در فرکانس‌های بالا مشخصه‌ی فرکانس بهتری نسبت به سایر تقویت‌کننده‌ها دارد. برای بررسی دقیق تقویت‌کننده‌ی آبشاری به کتاب «الکترونیک عمومی ۲» مراجعه کنید.



شکل ۴ـ۸ـ تقویت‌کننده‌ی آبشاری

۶ـ۸ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه DC	۱ دستگاه
ـ سیگنال ژنراتور صوتی	۱ دستگاه
ـ ولت‌متر DC	۱ دستگاه
ـ ترانزیستور ۲N۲۲۱۹	۲ عدد
ـ خازن۲۵V، ۱۰μF	۴ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$ W ، ۱/۲KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$ W ، ۳/۳KΩ	۲ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$ W ، ۶/۸KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$ W ، ۸/۲KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$ W ، ۱۰KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$ W ، ۲۲KΩ	۱ عدد

۷ـ۸ـ مراحل آزمایش

مدار شکل ۵ـ۸ را روی برد برد ببندید و آزمایش‌های زیر را انجام دهید:

شکل ۵ـ۸ـ مدار آزمایش تقویت‌کننده‌ی کاسکود

۱ــ۷ــ۸ــ منبع تغذیه‌ی ۱۵+ ولت را به مدار وصل کنید. درحالی‌که سیگنال ژنراتور خاموش است، با ولت متر DC ولتاژ هریک از پایه‌های دو ترانزیستور Q_1 و Q_2 را نسبت به نقطه‌ی مبنا اندازه بگیرید و در جدول ۲ــ۸ درج کنید.

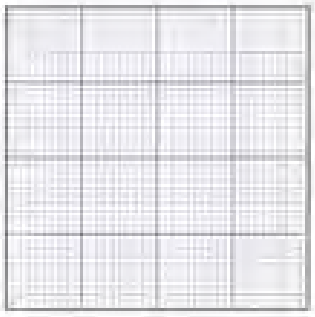
جدول ۲ــ۸

ولتاژ پایه‌ها / ترانزیستور	V_C	V_B	V_E
Q_1			
Q_2			

۲ــ۷ــ۸ــ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و آن‌را روی فرکانس ۱ کیلوهرتز سینوسی تنظیم نمایید.

۳ــ۷ــ۸ــ اسیلوسکوپ را به دو سر مقاومت بار وصل کنید. دامنه‌ی سیگنال V_S را طوری تنظیم کنید که دامنه‌ی ولتاژ خروجی V_o حداکثر و بدون اعوجاج باشد.

۴ــ۷ــ۸ــ سیگنال ولتاژ V_o را مشاهده و در شکل ۶ــ۸ رسم کنید. مقدار دامنه‌ی مقدار قله به قله سیگنال خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید.



V_{opp} = ——

شکل ۶ــ۸ــ شکل موج خروجی مدار

۵ــ۷ــ۸ــ مقاومت بار R_L را قطع کنید و در این حالت دامنه‌ی قله به قله ولتاژ خروجی را اندازه گرفته، یادداشت کنید:

V_{OPP} =.....

۶ــ۷ــ۸ــ با توجه به نتایج آزمایش‌های بالا امپدانس خروجی تقویت‌کننده را با استفاده از این رابطه محاسبه کنید:

$$R_o = \frac{(V_{oNL} - V_{oFL})}{V_{oFL}} \times R_L = \text{.....}$$

۷ــ۷ــ۸ــ بار R_L را وصل کنید و به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ دامنه‌ی قله به قله سیگنال‌های V_{in} و V_S را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید:

V_{inPP} =.....

V_{SPP} =.....

۸ــ۷ــ۸ــ با استفاده از رابطه‌ی $I_S = \frac{V_{SPP} - V_{inPP}}{R_S}$ مقدار جریان I_S را محاسبه کنید:

I_S =.....

۹ــ۷ــ۸ــ با استفاده از رابطه‌ی $R_{in} = \frac{V_{inPP}}{I_S}$ مقدار امپدانس ورودی تقویت‌کننده را محاسبه کنید:

R_{in} =.....

۱۰ــ۷ــ۸ــ با استفاده از مقدار V_{opp} در دو آزمایش ۵ــ۷ــ۸ و ۷ــ۷ــ۸ بهره‌ی ولتاژ تقویت‌کننده را محاسبه کنید:

$$A_V = \frac{V_{oPP}}{V_{inPP}} = \text{.....}$$

۸ــ۸ــ پرسش‌های آزمایش

۱ــ با توجه به مقادیر جدول ۲ــ۸ توضیح دهید هر ترانزیستور در چه کلاسی کار می‌کند؟

۲ــ کار مقاومت R_2 در این تقویت‌کننده چیست؟

۳ــ قطع مقاومت R_4 چه تأثیری در دامنه‌ی قله به قله ولتاژ خروجی تقویت‌کننده دارد؟

آزمایش شماره‌ی ۹

تقویت‌کننده‌های قدرت

هدف کلی آزمایش

بررسی تقویت‌کننده‌های قدرت کلاس A و AB.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ تقویت‌کننده‌ی قدرت کلاس A با بار ترانسفورموتوری را ببندد.

۲ـ راندمان تقویت‌کننده‌ی قدرت کلاس A را اندازه بگیرد.

۳ـ تقویت‌کننده‌ی با ترانزیستورهای مکمّل را ببندد.

۴ـ حالت‌های کلاس B و کلاس AB تقویت‌کننده با ترانزیستورهای مکمّل را بررسی کند.

۵ـ قدرت DC دریافتی از خط تغذیه را اندازه بگیرد.

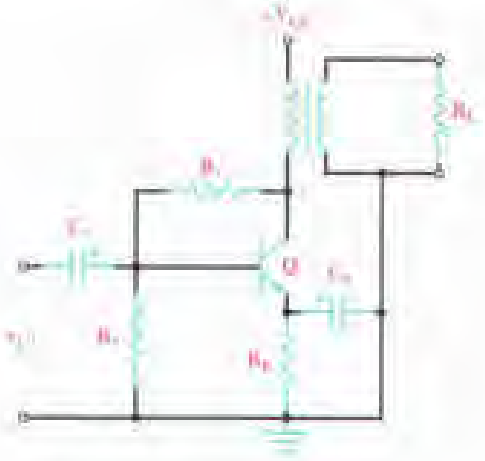
۶ـ قدرت ac اعمال‌شده به بار را اندازه بگیرد.

۷ـ راندمان تقویت‌کننده را اندازه بگیرد.

۸ـ به پرسش‌های آزمایش پاسخ دهد.

۱ـ۹ـ اطلاعات اوّلیه

در شکل ۱ـ۹ مدار تقویت‌کننده‌ی قدرت کلاس A نشان داده شده است.



شکل ۱ـ۹ـ تقویت‌کننده‌ی قدرت کلاس A

در این مدار از ترانزیستور Q به‌صورت امیتر مشترک استفاده شده است. مقاومت‌های R_1 و R_2 تغذیه بیس ترانزیستور را تأمین می‌کنند. علاوه بر این مقاومت R_1 مقداری از سیگنال کلکتور را به بیس برگشت می‌دهد که موجب کاهش میزان اعوجاج سیگنال خروجی می‌شود. مقاومت R_E امیتر را تغذیه می‌کند و خازن C_2 که به آن خازن بای‌پاس امیتر می‌گویند امیتر را در سیگنال AC به زمین وصل می‌کند.

ترانسفورموتور علاوه‌بر انتقال جریان متناوب کلکتور به بار عمل تطبیق امپدانس مدار را نیز ممکن می‌سازد.

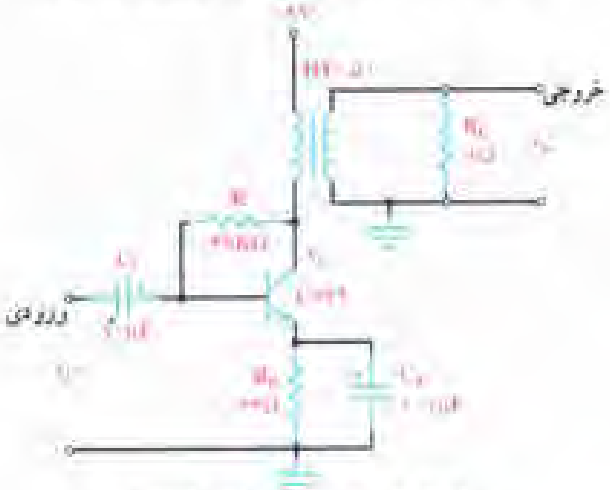
مقاومت بار که برای نمونه می‌تواند یک بلندگو باشد به ثانویه‌ی ترانسفورماتور وصل می‌شود. تقویت‌کننده در کلاس A بایاس شده است.

۲ـ۹ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه DC	۱ دستگاه
ـ مولتی‌متر	۱ دستگاه
ـ سیگنال ژنراتور صوتی	۱ دستگاه
ـ ترانسفورموتور ۵۰ـ HT	۱ عدد
ـ ترانزیستور BC ،۱۰۷	۱ عدد
ـ ترانزیستور C۸۲۹	۱ عدد
ـ ترانزیستور BC۱۷۷	۱ عدد
ـ خازن ۱۰μf ،۲۵V	۱ عدد
ـ خازن ۱۰۰μf ،۲۵V	۱ عدد
ـ خازن ۲۲۰μf ،۲۵V	۱ عدد
ـ مقاومت ۸/۲Ω ،۱W	۱ عدد
ـ مقاومت ۴/۷Ω ،۱W	۲ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ،۳۳Ω	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ،۱KΩ	۳ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ،۴۷KΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ،۴۷KΩ	۱ عدد
ـ دیود ۱N۴۱۴۸	۲ عدد

۳ـ۹ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۹ـ مدار شکل ۲ـ۹ را روی برد برد ببندید.



شکل ۲ـ۹ـ تقویت‌کننده‌ی قدرت کلاس A

۲ـ۳ـ۹ـ ولتاژ تغذیه‌ی مدار (۹ ولت DC) را وصل کنید.

۳ـ۳ـ۹ـ به وسیله‌ی مولتی‌متر DC ولتاژ هریک از پایه‌های ترانزیستور را نسبت به نقطه‌ی مبنا اندازه گرفته و یادداشت نمایید:

V_C =.....

V_B =.....

V_E =.....

۴ـ۳ـ۹ـ یک میلی‌متر آمپر DC با منبع ۹+ ولت سری کنید و در حالی که سیگنال ژنراتور خاموش است جریان مدار را اندازه گرفته یادداشت نمایید:

I_1 =.....

۵ـ۳ـ۹ـ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و فرکانس آن‌را روی ۱ کیلوهرتز تنظیم نمایید.

۶ـ۳ـ۹ـ اسیلوسکوپ را به دو سر بار وصل نموده دامنه‌ی سیگنال ورودی را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که دامنه‌ی سیگنال خروجی به حداکثر مقدار ممکن بدون اعوجاج برسد.

۷ـ۳ـ۹ـ جریان مصرفی مدار را به‌وسیله‌ی میلی‌آمپرمتر DC اندازه بگیرید:

I_2 =.....

۸ـ۳ـ۹ـ با استفاده از رابطه‌ی $P_{CC} = V_{CC} \times I_2$ قدرت دریافتی از منبع تغذیه را محاسبه کنید:

P_{CC} =.....

۹ـ۳ـ۹ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج هریک از نقاط زیر را مشاهده، و در شکل ۳ـ۹ روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید.

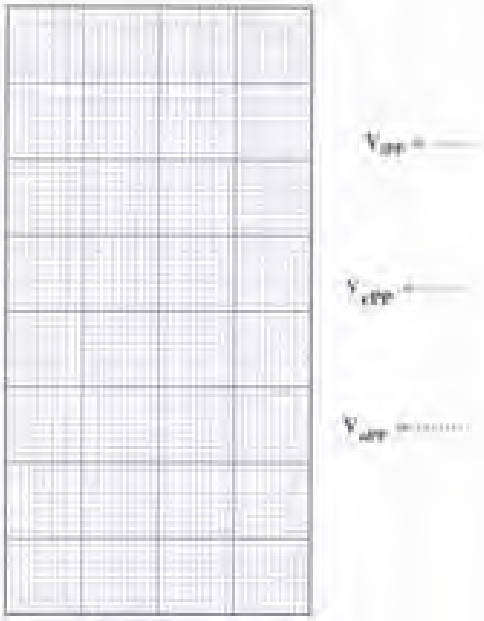
در هر حالت دامنه‌ی قله به قله سیگنال را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید: الف ـ V_i ب ـ V_C ج ـ V_0

۱۰ـ۳ـ۹ـ با استفاده از این رابطه توان منتقل شده به بار R_L را محاسبه کنید:

$$P_o = \frac{(V_{oPP})^2}{AR_L} = \cdots\cdots$$

۱۱ـ۳ـ۹ـ با استفاده از این رابطه راندمان تقویت‌کننده را محاسبه کنید:

$$\eta = \frac{P_o}{P_{cc}} \times ۱۰۰ = \cdots\cdots$$



شکل ۲ـ۹ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی تقویت‌کننده

۴ـ۹ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ آیا جریان مصرفی مدار در دو حالت وصل و قطع سیگنال AC تغییر می‌کند؟ چرا؟

۲ـ با توجه به نتایج به‌دست‌آمده آزمایش ۳ـ۳ـ۹ توضیح دهید ترانزیستور در چه کلاسی کار می‌کند؟

۳ـ آیا راندمان به‌دست‌آمده مناسب است؟

۴ـ با توجه به مقادیر توان‌های اندازه‌گیری شده، توان مصرف‌شده در ترانزیستور چه‌قدر است؟

۵ـ موارد استفاده مدار شکل ۲ـ۹ را بنویسید.

۶ـ آیا با قطع خازن CE نقطه‌ی کار ترانزیستور تغییر می‌کند؟

۷ـ با توجه به نتایج آزمایش ۹ـ۳ـ۹ مقادیر بهره‌ی ولتاژ زیر را محاسبه کنید:

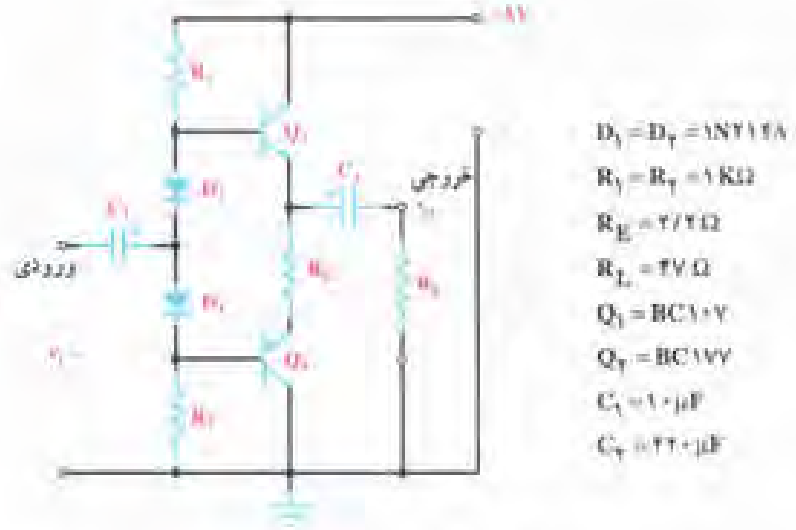
$$A_{V_1} = \frac{V_{oPP}}{V_{CPP}} = \cdots\cdots$$

$$A_{V_2} = \frac{V_{CPP}}{V_{EPP}} = \cdots\cdots$$

۵ـ۹ـ تقویت‌کننده با ترانزیستورهای مکمل[1]

در شکل ۲ـ۹ مدار یک تقویت‌کننده با ترانزیستورهای مکمل دیده می‌شود. در این مدار از دو ترانزیستور NPN و PNP استفاده شده است. مقاومت R_E، پایداری حرارتی مدار را افزایش می‌دهد. دیودهای D_1 و D_2 و مقاومت‌های R_1 و R_2 نقطه‌ی کار ترانزیستورها را در کلاس AB قرار می‌دهند. در نیم‌سیکل مثبت سیگنال ورودی ترانزیستور Q_1 روشن و Q_2 قطع است و خازن C_2 شارژ می‌شود. در نیم‌سیکل منفی سیگنال ورودی ترانزیستور Q_2 روشن و Q_1 قطع است و خازن C_2 از مسیر کلکتور امیتر Q_2 دشارژ می‌شود؛ بنابراین، در هر نیم سیکل یکی از دو ترانزیستور سیگنال ورودی را تقویت می‌کند. در این مدار هر دو ترانزیستور به‌صورت کلکتور مشترک بسته شده‌اند.

۱ـ Complementary



شکل ۴ـ۹ـ تقویت‌کننده با ترانزیستورهای مکمل

۶ـ۹ـ مراحل آزمایش

۱ـ۶ـ۹ـ مدار شکل ۴ـ۹ را روی برد برد ببندید.

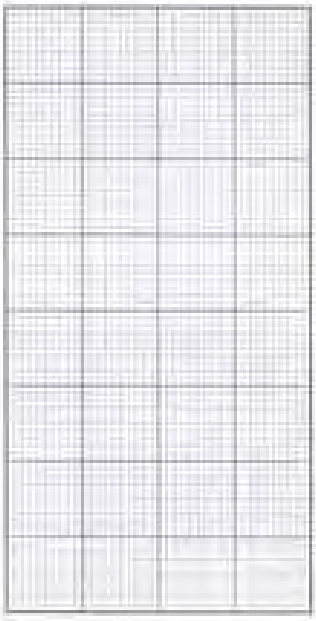
۲ـ۶ـ۹ـ در حالی که سیگنال ورودی قطع است، به‌وسیله‌ی مولتی‌متر DC ولتاژ پایه‌های دو ترانزیستور Q_1 و Q_2 را نسبت به نقطه‌ی مبنا اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۹ یادداشت نمایید.

جدول ۱ـ۹

	V_C	V_B	V_E
Q_1			
Q_2			

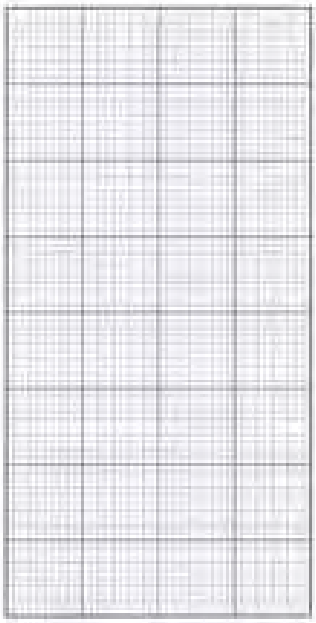
۳ـ۶ـ۹ـ به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز وصل کنید و اسیلوسکوپ را به دو سر مقاومت بار متصل نمایید. دامنه‌ی سیگنال ورودی را به گونه‌ای تنظیم کنید که دامنه‌ی سیگنال خروجی به حداکثر مقدار بدون اعوجاج برسد.

۴ـ۶ـ۹ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج‌های دو سر بار و ورودی مدار را مشاهده و روی کاغذ میلی‌متری در شکل ۵ـ۹ به‌دقت رسم کنید و در هر حالت دامنه‌ی قله به قله سیگنال را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید:



شکل ۵ـ۹ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی

۵ـ۶ـ۹ـ دیودهای D_1 و D_2 را اتصال کوتاه کرده، به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ، شکل موج دو سر بار را مشاهده و در شکل ۶ـ۹ رسم کنید. در این حالت نیز V_{pp} را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید:



V_{opp} = ——

شکل ۶ـ۹ـ سیگنال خروجی مدار

V_{opp} =.....

۶ـ۶ـ۹ـ اتصال کوتاه دیودها را بردارید و یک مقاومت R_S مساوی ۱ کیلو اهم با منبع ورودی سری کنید. $R_S = 1K$

۷ـ۶ـ۹ـ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ دامنه‌ی ولتاژ دو سر مقاومت R_S را اندازه بگیرید و با استفاده از این رابطه جریان ورودی مدار را محاسبه کنید :

$$I_S = \frac{V_{RS}}{R_S} = \text{.....}$$

۸ـ۶ـ۹ـ با توجه به دامنه‌ی ولتاژ خروجی در مرحله‌ی ۲ـ۶ـ۹ و با استفاده از این رابطه جریان بار را محاسبه کنید :

$$I_L = \frac{V_{opp}}{R_L} = \text{.....}$$

۹ـ۶ـ۹ـ مقدار بهره‌ی جریان را از این رابطه محاسبه کنید :

$$A_i = \frac{I_L}{I_S} = \text{.....}$$

۱۰ـ۶ـ۹ـ با سری کردن یک میلی‌آمپر D_C با منبع تغذیه‌ی جریان منبع را در دو حالت زیر اندازه بگیرید و یادداشت نمایید :

I_1 =..... سیگنال ژنراتور خاموش

I_2 =..... سیگنال ژنراتور روشن

۱۱ـ۶ـ۹ـ مقدار متوسط جریانی را که در اثر سیگنال در مدار به‌وجود می‌آید محاسبه کنید :

$$I_S = I_2 - I_1 = \text{.....}$$

۱۲ـ۶ـ۹ـ با استفاده از این رابطه قدرت گرفته شده از منبع تغذیه را محاسبه کنید :

$$P_{CC} = V_{CC} \times I_S = \text{.....}$$

۱۳ـ۶ـ۹ـ با توجه به مقدار V_{opp} در آزمایش ۴ـ۶ـ۹ توان اعمال شده به بار را محاسبه کنید :

$$P_o = \frac{(V_{opp})^2}{8R_L}$$

۱۴ـ۶ـ۹ـ با استفاده از این رابطه راندمان تقویت کننده را محاسبه نمایید :

$$\eta = \frac{P_o}{P_{cc}} \times 100 = \text{.....}$$

۷ـ۹ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ با اتصال کوتاه دیودهای D_1 و D_2 چه تغییری در شکل موج خروجی به‌وجود می‌آید؟

۲ـ آیا راندمان تقویت‌کننده مناسب است؟

۳ـ مزایای این تقویت‌کننده نسبت به تقویت‌کننده‌ی کلاس A چیست؟

۴ـ آیا می‌توان مدار تقویت‌کننده‌ی ترانزیستورهای مکمل را به‌صورت «مدار مجتمع»[1] ساخت؟

۵ـ آیا در این مدار جریان مصرفی در حالت با سیگنال و بدون سیگنال برابر است؟ چرا؟

۱ـ Integrated Circuit (I.C)

آزمایش شماره‌ی ۱۰

تقویت‌کننده‌ی عملیاتی[1]

هدف کلی آزمایش

بررسی تقویت‌کننده‌ی تفاضلی، تقویت‌کننده‌ی عملیاتی و استفاده از تقویت‌کننده‌ی عملیاتی به صورت تقویت‌کننده‌های با ضریب تقویت مثبت و منفی، جمع‌کننده، مقایسه‌کننده و مدارات مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ مدار تقویت‌کننده‌ی تفاضلی را ببندد.

۲ـ نقطه‌ی کار ترانزیستورها را در تقویت‌کننده‌ی تفاضلی اندازه بگیرد.

۳ـ خروجی تقویت‌کننده‌ی تفاضلی را نسبت به ورودی‌های هم‌فاز و با فاز مخالف مشاهده کند.

۴ـ پایه‌های آی سی ۷۴۱ را شناسایی کند.

۵ـ تقویت‌کننده‌ی معکوس‌کننده را با OP-AmP ببندد.

۶ـ بهره‌ی ولتاژ تقویت‌کننده‌ی معکوس‌کننده را اندازه بگیرد.

۷ـ مدارات بافر مثبت و بافر منفی را ببندد.

۸ـ تقویت‌کننده‌ی غیرمعکوس‌کننده را ببندد.

۹ـ بهره‌ی ولتاژ تقویت‌کننده‌ی غیرمعکوس‌کننده را اندازه بگیرد.

۱۰ـ مدار جمع‌کننده را با OP-AmP ببندد.

۱۱ـ مدار مقایسه‌کننده با OP-AmP را ببندد.

۱۲ـ ولتاژ خروجی مقایسه‌کننده را با ولتاژ مبنا مقایسه کند.

۱۳ـ مدارهای مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر را با OP-AmP ببندد.

۱۴ـ شکل موج خروجی مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر را به ازای ورودی‌های سینوسی و مربعی مشاهده کند.

۱۵ـ شکل موج ولتاژ خروجی مدار مشتق‌گیر را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ رسم نماید.

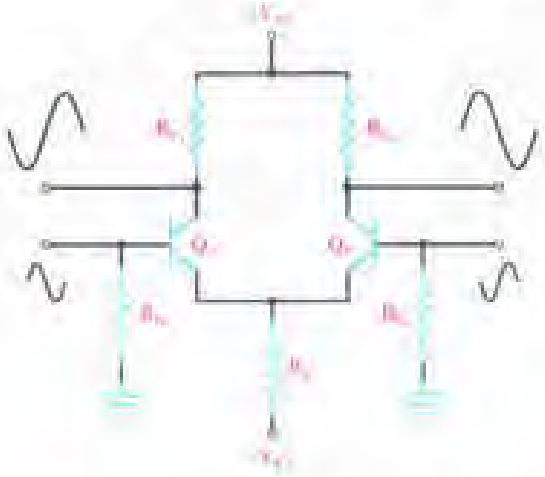
۱۶ـ شکل موج ولتاژ خروجی مدار انتگرال‌گیر را به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ رسم کند.

۱ـ۱۰ـ اطلاعات اوّلیه در مورد تقویت‌کننده‌ی تفاضلی

تقویت‌کننده‌ی تفاضلی دارای دو ترانزیستور کاملاً مشابه است که امیتر آن‌ها مستقیماً به یکدیگر وصل می‌شود. هر دو ترانزیستور سیگنالی را که از اختلاف دو سیگنال پیش حاصل می‌شود تقویت می‌کنند. در شکل ۱ـ۱۰ مدار یک تقویت‌کننده‌ی

۱ـ Operational Amplifier (OP AmP).

تفاضلی با سیگنال‌های ورودی و خروجی نشان داده شده است.



شکل ۱ـ۱۰ـ مدار تقویت‌کننده‌ی تفاضلی

در تقویت‌کننده‌ی تفاضلی قطعات به‌کار رفته برای دو نیمه مدار کاملاً مشابه هستند:

$$Q_1 = Q_2$$

$$Rc_1 = Rc_2$$

$$Rb_1 = Rb_2$$

در تقویت‌کننده‌ی تفاضلی اگر دو موج با دامنه‌های مساوی اما فازهای مختلف هم‌زمان به پیس ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 اعمال شود، دو سیگنال با فازهای مختلف روی دو کلکتور تولید می‌شود.

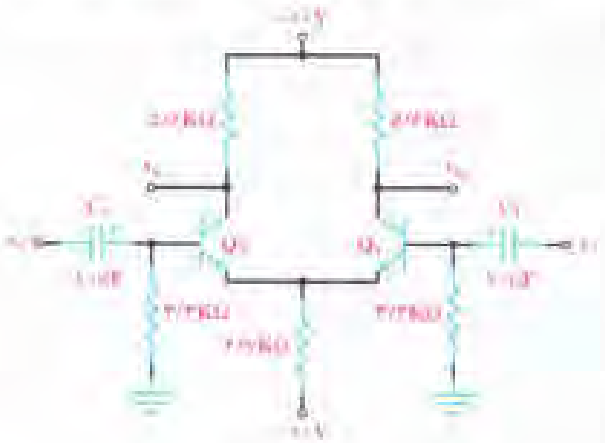
اگر دو سیگنال با فاز و دامنه‌ی مساوی هم‌زمان به دو ورودی تقویت‌کننده‌ی تفاضلی اعمال شود، برای هر دو ترانزیستور پدیده‌های مشابهی رخ خواهد داد که باعث می‌شود خروجی بین کلکتورها بدون تغییر باقی بماند؛ به‌گونه‌ای که هر دو خروجی در یک جهت تغییر کرده یک‌دیگر را خنثی می‌کنند. این کار یکی از مزایای استفاده از تقویت‌کننده‌ی تفاضلی به‌شمار می‌آید، زیرا سیگنال‌های مشترکی که به‌وسیله‌ی بازاریت، تغییرات ولتاژ منبع تغذیه و درجه‌ی حرارت پدید می‌آید و تغییراتشان در هر دو ترانزیستور یکی است، کاملاً حذف می‌شوند.

۲ـ۱۰ـ قطعات و تجهیزات موردنیاز

ـ اسیلوسکوپ دو کاناله	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه‌ی دوبل	۱ دستگاه
ـ مولتی‌متر دیجیتال	۱ دستگاه
ـ سیگنال ژنراتور صوتی	۱ دستگاه
ـ ترانزیستور BC۱۰۷	۳ عدد
ـ خازن ۱۰μF، ۲۵V	۳ عدد
ـ پتانسیومتر خطی $5k\Omega، \frac{1}{4}W$	۱ عدد
ـ مقاومت $390\Omega، \frac{1}{4}W$	۲ عدد
ـ مقاومت $3/3k\Omega، \frac{1}{4}W$	۲ عدد
ـ مقاومت $4/7k\Omega، \frac{1}{4}W$	۲ عدد
ـ مقاومت $5/6k\Omega، \frac{1}{4}W$	۲ عدد
ـ مقاومت $33k\Omega، \frac{1}{4}W$	۲ عدد
ـ مقاومت $39k\Omega، \frac{1}{4}W$	۲ عدد

۳ـ۱۰ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۱۰ـ مدار شکل ۲ـ۱۰ را روی برد برد ببندید.



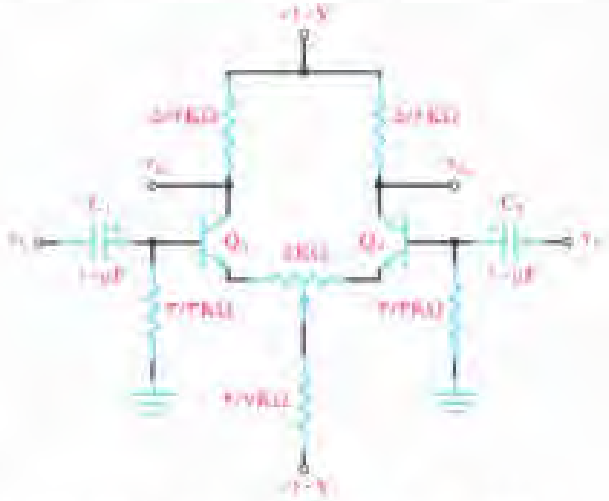
شکل ۲ـ۱۰ـ مدار آزمایش تقویت‌کننده‌ی تفاضلی

۲ـ۳ـ۱۰ـ قبل از وصل سیگنال‌های ورودی به‌وسیله‌ی مولتی‌متر DC ولتاژ پایه‌های دو ترانزیستور Q_1 و Q_2 را نسبت به نقطه‌ی مبنا اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۱۰ درج کنید.

جدول ۱ـ۱۰

	Q_1	Q_2
V_B		
V_C		
V_E		

۳ـ۳ـ۱۰ـ با توجه به مقادیر جدول ۱ـ۱۰ آیا نقطه‌ی کار دو ترانزیستور کاملاً یکسان است؟ در صورت یکسان نبودن نقطه‌ی کار، مطابق شکل ۳ـ۱۰ پتانسیومتر ۵ کیلو را در مسیر امیتر ترانزیستورها قرار دهید و آن را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که ولتاژ کلکتور دو ترانزیستور با یک‌دیگر کاملاً مساوی شوند.



شکل ۳ـ۱۰ـ تقویت‌کننده‌ی تفاضلی با پتانسیومتر متعادل‌کننده

۴ـ۳ـ۱۰ـ در شکل ۳ـ۱۰ در حالت بدون سیگنال‌های V_1 و V_2، به‌وسیله‌ی مولتی‌متر DC، نقطه‌ی کار دو ترانزیستور Q_1 و Q_2 را اندازه بگیرید و در جدول ۲ـ۱۰ درج نمایید.

جدول ۲ـ۱۰

	Q_1	Q_2
V_B		
V_C		
V_E		

۵ـ۳ـ۱۰ـ سیگنال ژنراتور صوتی را روی سیگنال سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز تنظیم کنید.

۶ـ۳ـ۱۰ـ خروجی سیگنال ژنراتور را هم‌زمان به‌ورودی‌های V_1 و V_2 اعمال کنید. در این‌صورت، دو سیگنال هم‌فاز و هم دامنه به ورودی‌های تقویت‌کننده‌ی تفاضلی اعمال شده است.

۷ـ۳ـ۱۰ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ سیگنال‌های V_{o_1} و V_{o_2} را مشاهده کرده در شکل ۴ـ۱۰ الف و ب رسم کنید. (ولوم کنترل دامنه‌ی سیگنال ژنراتور را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که خروجی‌های V_{o_1} و V_{o_2} به حداکثر دامنه‌ی ممکن بدون اعوجاج برسند.) دامنه‌ی قله به قله‌ی V_{o_1} و V_{o_2} را اندازه گرفته یادداشت نمایید.

V_{o_1} =

V_{o_2} =

الف

ب

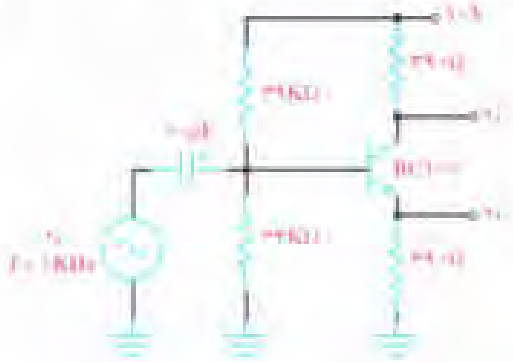
شکل ۴ـ۱۰ـ شکل موج‌های خروجی تقویت‌کننده‌ی تفاضلی

۸ـ۳ـ۱۰ـ با توجه به شکل موج‌های ۲ـ۱۰ اختلاف فاز φ و اختلاف دامنه‌ی V_{O_p} دو سیگنال V_{O_1} و V_{O_2} را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید:

$\varphi =$ .....

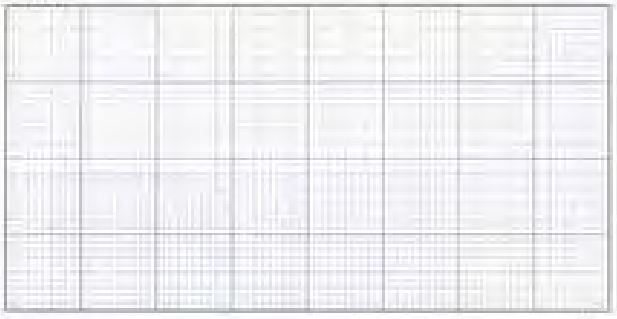
$V_{O_p} = |V_{O_1} - V_{O_2}|$

۹ـ۳ـ۱۰ـ مدار جداکننده‌ی فاز را طبق شکل ۵ـ۱۰ روی برد برد ببندید.



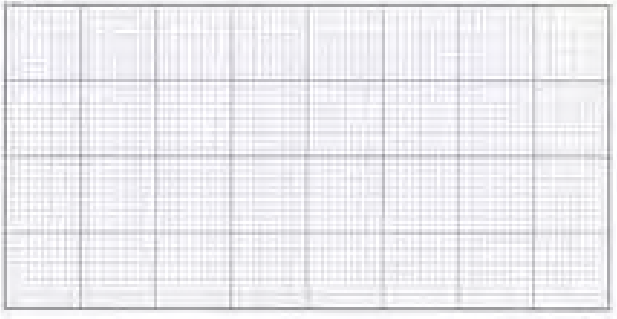
شکل ۵ـ۱۰ـ مدار جداکننده‌ی فاز

$V_{SPP} =$ .....



«الف»

$V_{O_1\,PP} =$ .....



«ج»

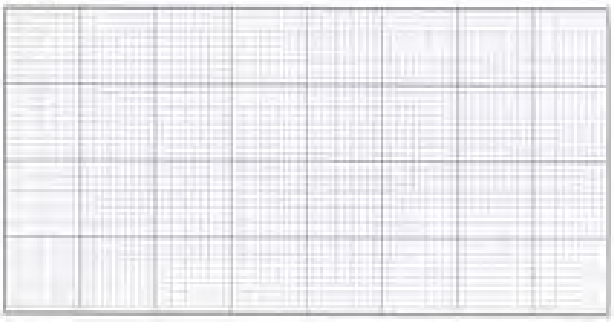
۱۰ـ۳ـ۱۰ـ خروجی‌های V'_1 و V'_2 را به ترتیب به ورودی‌های V_1 و V_2 تقویت‌کننده‌ی تفاضلی وصل کنید.

۱۱ـ۳ـ۱۰ـ دامنه‌ی خروجی سیگنال ژنراتور را طوری تنظیم کنید که دامنه‌ی خروجی‌های V_{O_1} و V_{O_2} به حداکثر مقدار ممکن بدون اعوجاج برسد.

۱۲ـ۳ـ۱۰ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ سیگنال‌های V_1 و V'_1 و V'_2 و V_2 و V_{O_1} و V_{O_2} را مشاهده و در شکل ۶ـ۱۰ رسم کنید. دامنه‌ی قله به قله‌ی هر سیگنال را اندازه گرفته یادداشت نمایید:

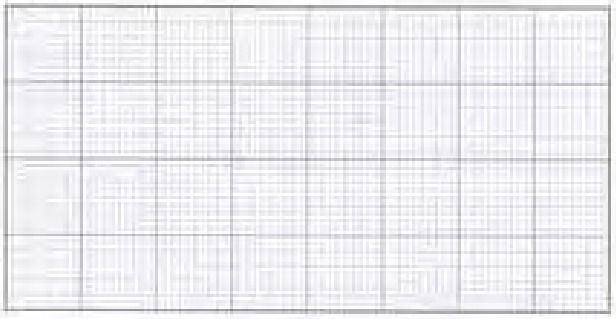
۱۳ـ۳ـ۱۰ـ در شکل ۶ـ۱۰ اختلاف فاز دو سیگنال «ج» و «هـ» چند درجه است؟ $\varphi =$ .....

$V'_{1PP} =$ .....



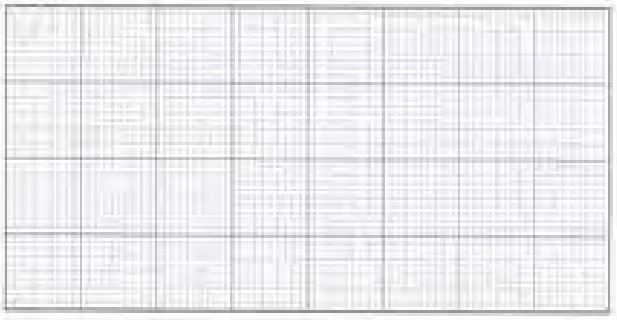
«ب»

$V_{O_1\,PP} =$ .....



«د»

$V_{O_2\,PP} =$ .....



«هـ»

شکل ۶ـ۱۰ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی تقویت‌کننده‌ی تفاضلی

۴ـ۱۰ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ تقویت‌کننده‌ی تفاضلی وقتی به حالت تعادل درمی‌آید که :

الف ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی مساوی باشند.

ب ـ اختلاف پتانسیل بین کلکتورهای ترانزیستورها «صفر» باشد.

ج ـ اختلاف فازی بین ورودی و خروجی وجود نداشته باشد.

د ـ پتانسیومتر متعادل‌کننده داشته باشد.

۲ـ تقویت‌کننده‌ی تفاضلی می‌تواند ..... را تقویت کند.

الف ـ اختلاف بین سیگنال‌های ورودی

ب ـ اختلاف سیگنال‌های ورودی و زمین

ج ـ اختلاف بین سیگنال‌های ورودی و ولتاژ مبنا

د ـ هر سه مورد الف، ب و ج درست است.

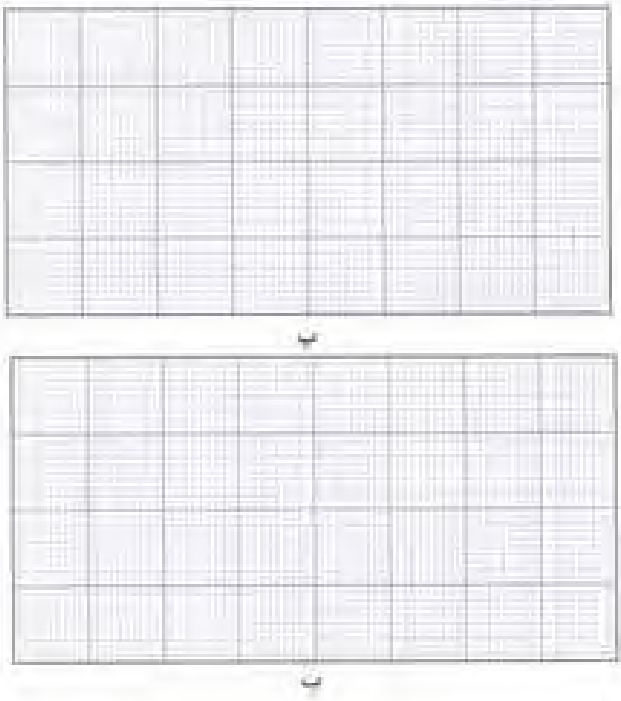
۳ـ معمولاً به‌وسیله‌ی ..... می‌توان تقویت‌کننده‌ی تفاضلی را متعادل کرد.

الف ـ یک مقاومت متغیر　　ب ـ یک سیم‌پیچ متغیر

ج ـ یک خازن متغیر　　د ـ یک مقاومت ثابت

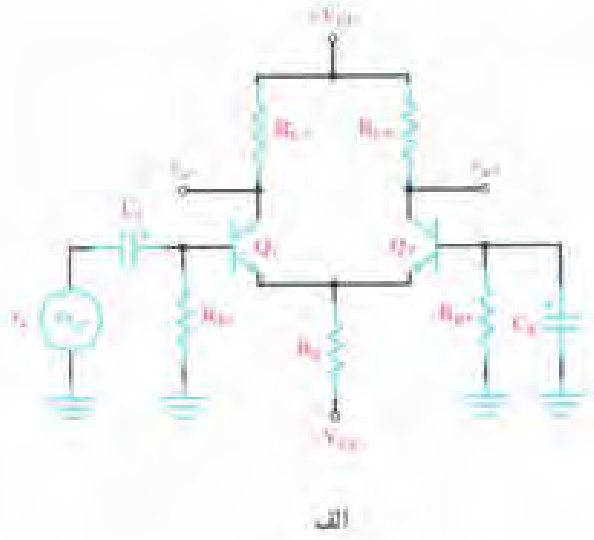
۴ـ به غیر از مدار جداکننده‌ی فاز، از چه مدارهایی می‌توان برای تولید دو سیگنال هم دامنه و با فاز مخالف استفاده نمود؟ مدار مورد نظر را رسم کنید.

۵ ـ در تقویت‌کننده‌ی شکل ۷ـ۱۰ـالف هر ترانزیستور در چه حالتی (CE، CB، CC) به‌کار رفته است؟ با توجه به سیگنال ورودی، شکل موج‌های «V_{o_1} و V_{o_2}» را روی شکل‌های ۷ـ۱۰ـ ب و پ رسم کنید. و $R_{C_1} = R_{C_2}$ و $R_{B_1} = R_{B_2}$ و $Q_1 = Q_2$ خازن‌ها را اتصال کوتاه در نظر بگیرید.



ب

پ

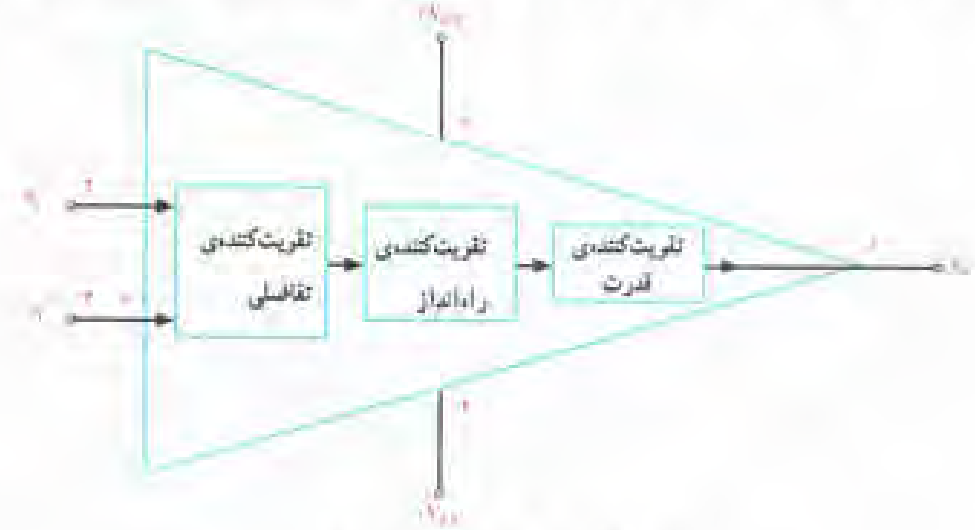


الف

شکل ۷ـ۱۰

۵ــ۱۰ــ اطلاعات اوّلیه درباره‌ی تقویت‌کننده‌ی عملیاتی

تقویت‌کننده‌ی عملیاتی دارای دو یا چند طبقه تقویت تفاضلی است که خروجی‌های هر طبقه به ورودی‌های طبقه‌ی دیگر متصل شده است و در انتها یک تقویت‌کننده‌ی جریان که معمولاً یک مدار کامپلی متشاری است، جریان خروجی تقویت‌کننده‌ی تفاضلی آخر را تقویت می‌کند. خروجی تقویت‌کننده‌ی عملیاتی، خروجی مدار تقویت جریان و ورودی‌های آن، ورودی‌های اوّلین تقویت‌کننده‌ی تفاضلی است؛ بنابراین، تقویت‌کننده‌ی عملیاتی دارای دو ورودی و یک خروجی است. در شکل ۸ــ۱۰ بلوک دیاگرام مدار داخلی «OP – AmP» و پایه‌های ورودی، خروجی و تغذیه‌ی آن نشان داده شده است.



شکل ۸ــ۱۰ــ تقویت‌کننده‌ی عملیاتی

یک ورودی تقویت‌کننده‌ی عملیاتی که با علامت منفی مشخص شده است «ورودی معکوس‌کننده» نام دارد و اگر سیگنالی به آن داده شود تقویت شده‌ی آن با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز در خروجی دیده می‌شود. ورودی دیگر که با علامت مثبت مشخص شده است «ورودی غیرمعکوس‌کننده» نام دارد که اگر سیگنالی به آن اعمال شود، تقویت شده‌ی آن بدون اختلاف فاز در خروجی دیده می‌شود. یک تقویت‌کننده‌ی عملیاتی ایده‌آل دارای این مشخصات است:

الف ــ مقاومت ورودی بی‌نهایت : $R_i = \infty$

ب ــ مقاومت خروجی صفر : $R_o = 0$

ج ــ ضریب تقویت ولتاژ بی‌نهایت : $A_v = \infty$

د ــ ضریب تقویت جریان بی‌نهایت : $A_i = \infty$

البته در عمل چنین تقویت‌کننده‌ای وجود ندارد امّا سازندگان این عناصر سعی می‌کنند مشخصات فنی تولیدات آن‌ها به مشخصات عناصر ایده‌آل نزدیک باشد.

تقویت‌کننده‌های عملیاتی به صورت مدارات مجتمع یک‌پارچه عرضه می‌شوند که یکی از معمولی‌ترین آن‌ها با شماره‌ی ۷۴۱ به بازار عرضه می‌شود و دارای این مشخصات است:

$A_v = 5 \times 10^5$

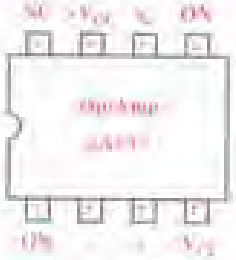
$A_v = 2 \times 10^5$

$R_i = 2M\Omega$

$R_o = 50\Omega$

ماکزیمم جریان خروجی این تقویت‌کننده‌ی عملیاتی ۲۵mA است.

در شکل ۹ــ۱۰ پایه‌های این تقویت‌کننده‌ی عملیاتی ۸ پایه را مشاهده می‌کنید.

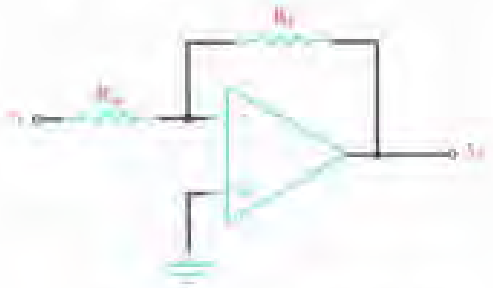


شکل ۹ــ۱۰

پایه‌های ۵ و ۱ ورودی‌های «offset» یا «offset Null» و پایه‌ی ۸ آن از درون به مدار اتصالی ندارد و فقط برای رعایت تقارن نصب شده است.

۱ــ ۵ ــ ۱۰ــ تقویت‌کننده‌ی عملیاتی با ضریب تقویت منفی: درشکل ۱۰ــ۱۰ مدار یک تقویت‌کننده‌ی عملیاتی با ضریب تقویت منفی نشان داده شده است. با توجه به ایده‌آل بودن OP – AmP می‌توان نتیجه گرفت:

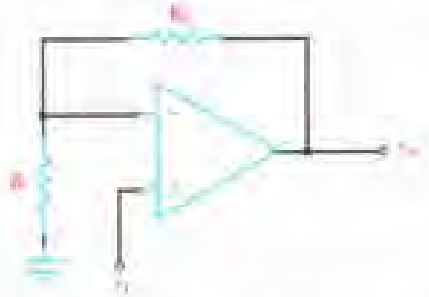
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_{in}}$$



شکل ۱۰ــ۱۰ــ تقویت‌کننده‌ی معکوس‌کننده

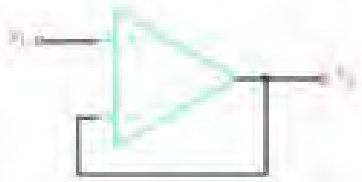
اگر $R_f = R_{in}$ باشد، تقویت‌کننده به بافر منفی تبدیل می‌شود در این‌صورت: $A_v = -1$

۲ــ۵ــ ۱۰ــ تقویت‌کننده‌ی عملیاتی با ضریب تقویت مثبت: در شکل ۱۱ــ۱۰ مدار یک تقویت‌کننده‌ی عملیاتی با ضریب تقویت مثبت نشان داده شده است. با توجه به ایده‌آل بودن



شکل ۱۱ــ۱۰ــ تقویت‌کننده‌ی OP – AmP غیرمعکوس‌کننده

OP – AmP می‌توان بهره‌ی ولتاژ را از رابطه‌ی $\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$ به‌دست آورد: اگر $R_f = 0$ و $R_i = \infty$ باشند بافر مثبت به‌دست می‌آید. در شکل ۱۲ــ۱۰ مدار بافر مثبت نشان داده شده است.



شکل ۱۲ــ۱۰ــ بافر مثبت

۶ــ ۱۰ــ قطعات و تجهیزات موردنیاز

ــ اسیلوسکوپ دو کاناله	۱ دستگاه
ــ منبع تغذیه‌ی دوبل	۱ دستگاه
ــ مولتی‌متر دیجیتال	۱ دستگاه
ــ سیگنال ژنراتور صوتی	۱ دستگاه
ــ تقویت‌کننده‌ی عملیاتی ۷۴۱	۱ عدد
ــ مقاومت $10k\Omega, \frac{1}{2}W$	۱ عدد
ــ مقاومت $22k\Omega, \frac{1}{2}W$	۱ عدد
ــ مقاومت $27k\Omega, \frac{1}{2}W$	۱ عدد
ــ مقاومت $100k\Omega, \frac{1}{2}W$	۱ عدد
ــ پتانسیومتر خطی $50k\Omega, \frac{1}{2}W$	۲ عدد
ــ مقاومت $1k\Omega, \frac{1}{2}W$	۱ عدد
ــ دیودنورده‌نده (LED)	۱ عدد
ــ مقاومت $1M\Omega, \frac{1}{2}W$	۱ عدد
ــ خازن $0/1\mu F, 25V$	۱ عدد

۷ــ ۱۰ــ مراحل آزمایش

۱ــ۷ــ ۱۰ــ تقویت‌کننده‌ی OP-AmP با ضریب تقویت منفی:

الف) مدار شکل ۱۳ــ۱۰ را روی برد برد ببندید. در حالت بدون سیگنال به‌وسیله‌ی مولتی‌متر DC ولتاژ پایه‌های آی سی را

نسبت به تماسی اندازه‌گیری و یادداشت نمایید.

شکل ۱۴ـ۱۰ـ تقویت‌کنندهٔ منفی OP - AmP

ب ـ به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز وصل کنید. مقاومت R_f را مطابق جدول ۳ـ۱۰ تغییر دهید و هر بار دامنه‌ی قله به قله (پیک تو پیک)[1] و اختلاف فاز ولتاژهای V_o و V_i را اندازه گرفته در جدول ۳ـ۱۰ درج کنید:

جدول ۳ـ۱۰

R_f	۱۰K	۲۲K	۴۷K	۱۰۰K
V_o				
V_i				
$A_v = \frac{V_o}{V_i}$				
φ				

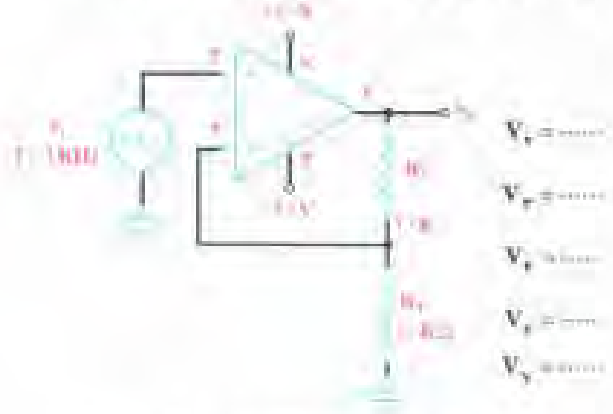
ج ـ با توجه به مقادیر V_o و V_i در جدول ۳ـ۱۰ مقدار بهره‌ی ولتاژ را محاسبه و جدول را کامل کنید.

د ـ با توجه به مقادیر V_o و V_i در کدام حالت تقویت‌کننده به بافر منفی تبدیل می‌شود؟ در این حالت A_v چه‌قدر است؟

$A_v =$ .....

۲ـ۷ـ۱۰ـ آزمایش OP - AmP با ضریب تقویت مثبت:

الف ـ مدار شکل ۱۴ـ۱۰ را روی برد برد ببندید. قبل از وصل سیگنال ورودی ولتاژ DC هر یک از پایه‌های آی سی را به‌وسیله‌ی مولتی‌متر DC اندازه‌گیری و یادداشت نمایید:



شکل ۱۴ـ۱۰ـ OP - AmP با ضریب تقویت مثبت

ب ـ مقاومت R_1 را مطابق جدول ۴ـ۱۰ تغییر دهید. هر بار دامنه‌ی قله به قله و اختلاف فاز ولتاژهای V_o و V_i را اندازه گرفته در جدول ۴ـ۱۰ درج کنید.

جدول ۴ـ۱۰

R_1	۱۰K	۲۲K	۴۷K	۱۰۰K
V_o				
V_i				
$A_v = \frac{V_o}{V_i}$				
φ				

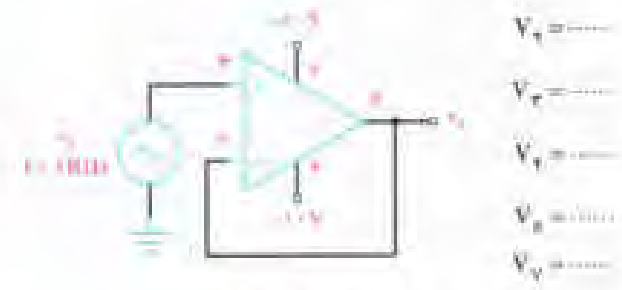
ج ـ با توجه به مقادیر V_o و V_i در جدول ۴ـ۱۰ مقدار بهره‌ی ولتاژ $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ را محاسبه و جدول آن را کامل کنید.

۳ـ۷ـ۱۰ـ آزمایش بافر مثبت:

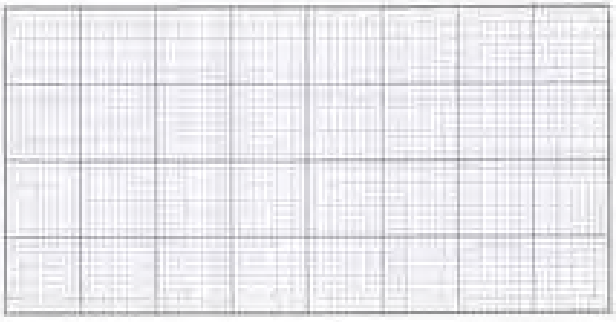
الف ـ مدار شکل ۱۵ـ۱۰ را روی برد برد ببندید. قبل از وصل سیگنال ورودی به وسیله‌ی مولتی‌متر، ولتاژ DC هر یک از پایه‌های آی سی را اندازه‌گیری و یادداشت نمایید.

۱ـ پیک تو پیک سیگنال خروجی در حالت بدون اعوجاج اندازه‌گیری شود.

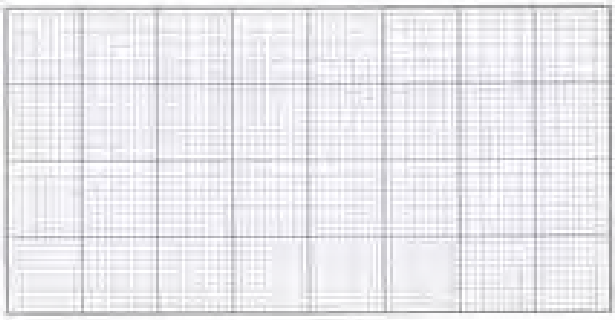
ب ــ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ سیگنال‌های V_o و V_i را در حالت خروجی ماکزیمم و بدون اعوجاج در شکل ۱۶ــ۱۰ رسم کنید. دامنه‌ی قله به قله و اختلاف فاز V_o و V_i را اندازه گرفته یادداشت نمایید.



شکل ۱۵ــ۱۰ــ بافر مثبت



«الف»



«ب»

شکل ۱۶ــ۱۰

۸ــ۱۰ــ پرسش‌های آزمایش

۱ــ در شکل ۱۳ــ۱۰ بهره‌ی نظری ولتاژ چه‌قدراست؟

۲ــ موارد کاربرد مدار شکل ۱۳ــ۱۰ را بنویسید.

۳ــ در شکل ۱۴ــ۱۰ مقدار بهره‌ی نظری ولتاژ چه‌قدراست؟

۴ــ در شکل ۱۴ــ۱۰ آیا ولتاژ دو سر R_1 با ولتاژ ورودی، برابر است؟

۵ــ موارد کاربرد شکل ۱۴ــ۱۰ را بنویسید.

۶ــ چگونه می‌توان مدار شکل ۱۴ــ۱۰ را به بافر مثبت تبدیل کرد؟

۷ــ در شکل ۱۳ــ۱۰ اگر پایه‌ی ۳ «آی سی» با یک مقاومت ۱۰ کیلو به شاسی وصل شود بهره‌ی ولتاژ چه تغییری می‌کند؟

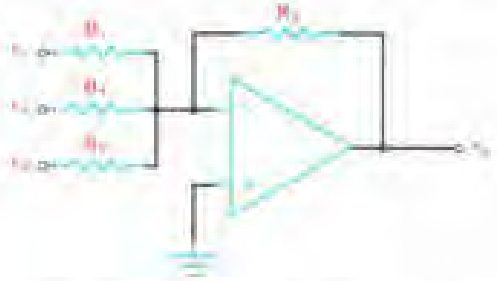
۸ــ در شکل ۱۴ــ۱۰ اگر یک مقاومت ۱۰کیلو با منبع ورودی سری شود، بهره‌ی ولتاژ چه تغییری می‌کند؟

۹ــ در شکل ۹ــ۱۰ از پایه‌های «۱ و ۵» آی سی چه استفاده‌ای می‌شود؟

۹ـ۱۰ـ مدارهای جمع‌کننده و مقایسه‌کننده با OP – AmP

۱ـ۹ـ۱۰ـ اطلاعات اولیه (جمع‌کننده با OP – AmP):

به‌وسیله‌ی تقویت‌کننده‌ی عملیاتی می‌توان عمل جمع چند سیگنال را انجام داد. در شکل ۱۷ـ۱۰ مدار یک جمع‌کننده با استفاده از تقویت‌کننده‌ی عملیاتی نشان داده شده است.



شکل ۱۷ـ۱۰ـ مدار جمع‌کننده با استفاده از OP – AmP

اگر OP – AmP ایده‌آل در نظر گرفته شده است، ولتاژ خروجی از این رابطه به‌دست می‌آید:

$$V_o = -R_f\left(\frac{V_1}{R_1}+\frac{V_2}{R_2}+\frac{V_3}{R_3}\right)$$

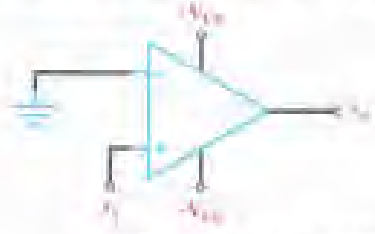
که اگر $R_1 = R_2 = R_3 = R$ باشند، V_o برابر می‌شود با:

$$V_o = -\frac{R_f}{R}(V_1 + V_2 + V_3)$$

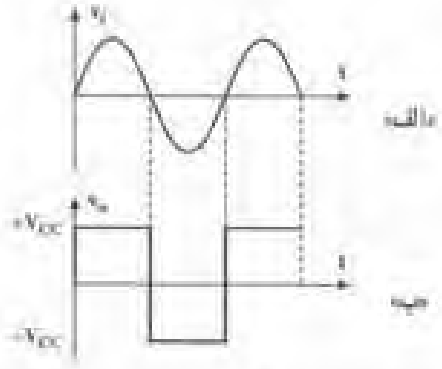
۲ـ۹ـ۱۰ـ اطلاعات اولیه (مقایسه‌کننده با OP – AmP):

در شکل ۱۸ـ۱۰ نمونه‌ای از مدار مقایسه‌کننده نشان داده شده است.

چون ورودی منفی OP – AmP به ولتاژ صفر اتصال دارد دامنه‌ی سیگنال V_1 با ورودی صفر مقایسه شده تنها سیگنال مثبت سیگنال، ورودی OP – AmP را به اشباع مثبت و نیم‌سیکل منفی آن را به اشباع منفی می‌برد. سیگنال‌های ورودی و خروجی OP – AmP در شکل ۱۹ـ۱۰ـ الف و ب نشان داده شده است.



شکل ۱۸ـ۱۰ـ مدار مقایسه‌کننده

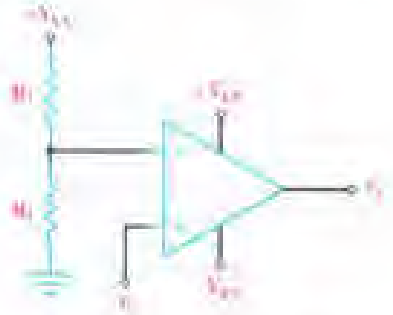


شکل ۱۹ـ۱۰ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی مقایسه‌کننده

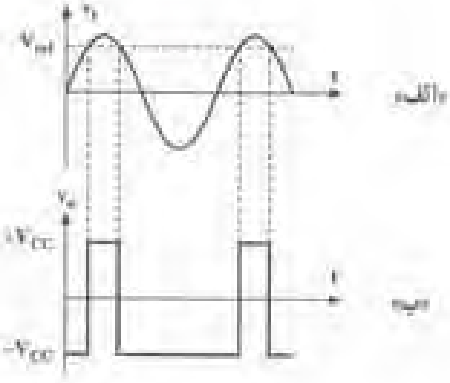
در شکل ۲۰ـ۱۰ نمونه‌ی دیگری ازمدارات مقایسه‌کننده نشان داده شده است که ولتاژ مرجع آن برابر است با:

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(+V_{CC})$$

سیگنال‌های ورودی و خروجی در شکل ۲۱ـ۱۰ـ الف و ب نشان داده شده است.



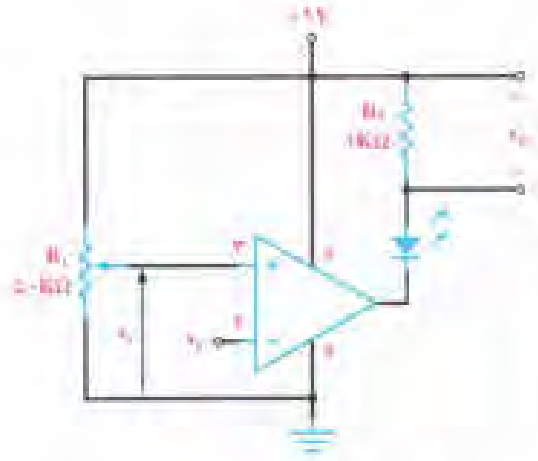
شکل ۲۰ـ۱۰ـ مدار مقایسه‌کننده



شکل ۲۱ـ۱۰ـ موج‌های ورودی و خروجی مقایسه‌کننده

۱۰ــ۱۰ــ مراحل آزمایش

۱ــ۱۰ــ۱۰ــ مدار شکل ۲۲ــ۱۰ را روی برد ببندید.



شکل ۲۲ــ۱۰ــ مدار مقایسه‌کننده

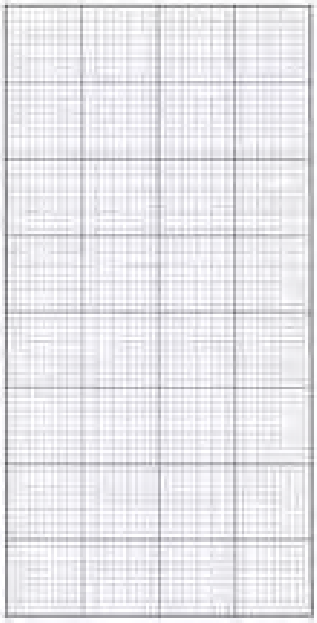
۲ــ۱۰ــ۱۰ــ به ورودی منفی OP – AmP یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز وصل کنید. دامنه‌ی قله به قله‌ی سیگنال ورودی را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.

۳ــ۱۰ــ۱۰ــ با تغییر پتانسیومتر R_1 ولتاژ مرجع V_r را روی مقادیر مندرج در جدول ۵ــ۱۰ تنظیم کنید و در هر مرحله به‌وسیله‌ی ولت‌متر DC ولتاژ V_0 را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید:

جدول ۵ــ۱۰

V_r ولت	۰	۲	۳	۴	۶	۷	۹
V_0							

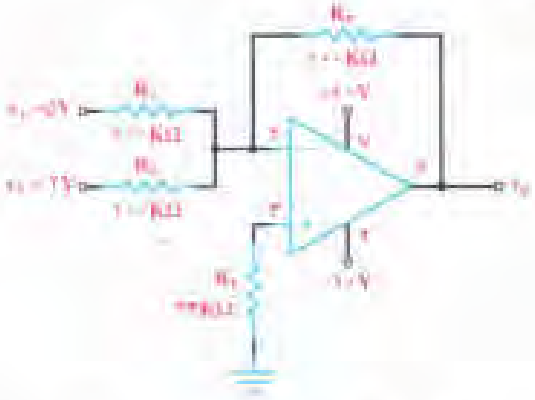
۴ــ۱۰ــ۱۰ــ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ سیگنال‌های V_0 و V_i را مشاهده و در شکل ۲۳ــ۱۰ با حفظ رابطه‌ی زمانی رسم کنید ($V_r = 2V$).



شکل ۲۳ــ۱۰ــ سیگنال‌های V_0 و V_i در مدار مقایسه‌کننده

۵ــ۱۰ــ۱۰ــ با توجه به شکل موج‌های ۲۳ــ۱۰ زمان هدایت و قطع دیود LED را مشخص نمایید.

۶ــ۱۰ــ۱۰ــ مدار شکل ۲۴ــ۱۰ را روی برد ببندید.



شکل ۲۴ــ۱۰ــ جمع‌کننده با OP – AmP

۷ــ۱۰ــ۱۰ــ با توجه به مدار شکل ۲۲ــ۱۰ به‌وسیله‌ی دو پتانسیومتر ۵۰ کیلو اهم ولتاژهای $V_1 = 5V$ و $V_2 = 2V$ را از منبع تغذیه‌ی $+V_{CC} = +10V$ تهیه کرده، به‌ورودی مدار وصل کنید.

۸ــ۱۰ــ۱۰ــ به‌وسیله‌ی مولتی متر DC ولتاژ خروجی مدار را اندازه گرفته، یادداشت نمایید :

$V_{0} =$ .....

۹ــ۱۰ــ۱۰ــ ولتاژهای ورودی به صورت $V_{1} = 3V$ و $V_{2} = 4V$ را انتخاب کنید. در این حالت، ولتاژ DC خروجی را اندازه گرفته یادداشت نمایید :

$V_{0} =$ .....

۱۱ــ۱۰ــ پرسش‌های آزمایش

۱ــ از مدار مقایسه کننده چه استفاده‌ای می‌شود؟

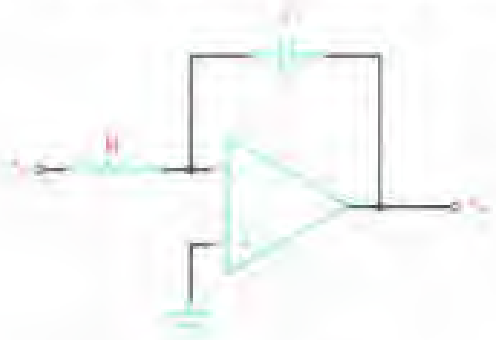
۲ــ از مدار جمع کننده چه استفاده‌ای می‌شود؟

۳ــ چگونه می‌توان یک مدار جمع کننده با دو ورودی را به مدار تفریق کننده تبدیل نمود؟ با رسم شکل شرح دهید.

۴ــ در شکل ۲۴ــ۱۰ رابطه‌ی V_{0} با ورودی‌های V_{1} و V_{2} را بنویسید.

۱۲ــ۱۰ــ اطلاعات اوّلیه

مدارهای مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر، در شکل ۲۵ــ۱۰ یک مدار انتگرال‌گیر با OP – AmP نشان داده شده است.



شکل ۲۵ــ۱۰ــ مدار انتگرال‌گیر

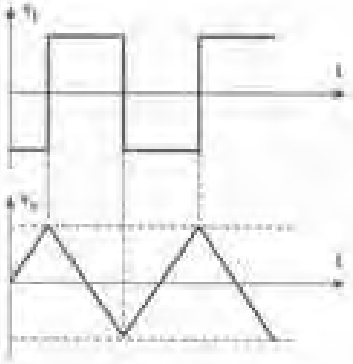
در این مدار در صورت ایده‌آل بودن OP – AmP می‌توان V_{0} را برحسب V_{1} و RC به‌صورت:

$V_{0} = -\frac{1}{RC}\int V_{1}dt$ به‌دست آورد.

اگر $C = 1\mu F$ و $R = 1M\Omega$ فرض شود $V_{0} = -\int V_{1}dt$

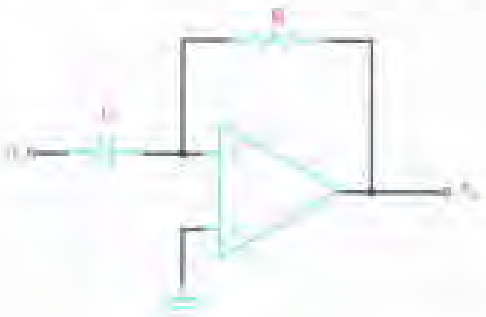
زیرا : $-\frac{1}{RC} = \frac{-1}{10^{-6} \times 10^{6}} = -1$

اگر به ورودی مدار یک موج مربعی اعمال شود سیگنال خروجی یک موج مثلثی است. در شکل ۲۶ــ۱۰ سیگنال‌های ورودی و خروجی مدار نشان داده شده است.



شکل ۲۶ــ۱۰ــ سیگنال‌های ورودی و خروجی انتگرال‌گیر

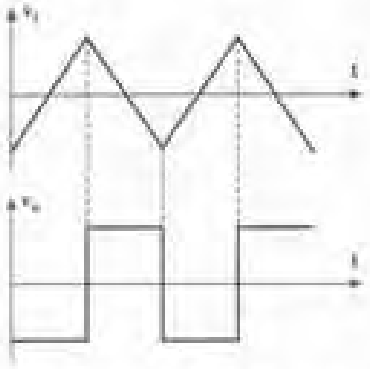
در شکل ۲۵ــ۱۰ اگر جای خازن با مقاومت عوض شود مطابق شکل ۲۷ــ۱۰ مدار مشتق‌گیر به‌دست می‌آید :



شکل ۲۷ــ۱۰ــ مدار مشتق‌گیر

در این مدار در صورت ایده‌آل بودن OP – AmP ولتاژ خروجی از رابطه‌ی $V_o = -RC\frac{dV_i}{dt}$ به‌دست می‌آید.

با وصل یک سیگنال مثلثی به ورودی مدار می‌توان مطابق شکل ۲۸ـ۱۰ یک سیگنال مربعی از خروجی آن دریافت نمود.



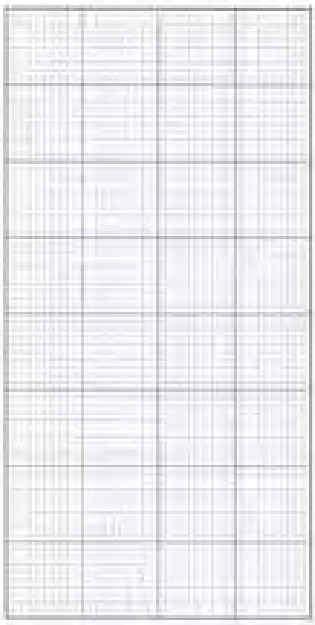
شکل ۲۸ـ۱۰ـ سیگنال‌های خروجی و ورودی مدار مشتق‌گیر

۱۳ـ۱۰ـ آزمایش مدار مشتق‌گیر

۱ـ۱۳ـ۱۰ـ مدار شکل ۲۹ـ۱۰ را روی بستر برد ببندید.

شکل ۲۹ـ۱۰ـ مدار مشتق‌گیر

۲ـ۱۳ـ۱۰ـ دامنه‌ی ولتاژ ورودی را روی ۱ ولت و فرکانس آن را روی ۱ کیلوهرتز سینوسی تنظیم کنید. شکل موج‌های ورودی و خروجی مدار را با حفظ رابطه‌ی زمانی در شکل ۳۰ـ۱۰ رسم کنید. دامنه‌ی هر یک را اندازه گرفته یادداشت نمایید:

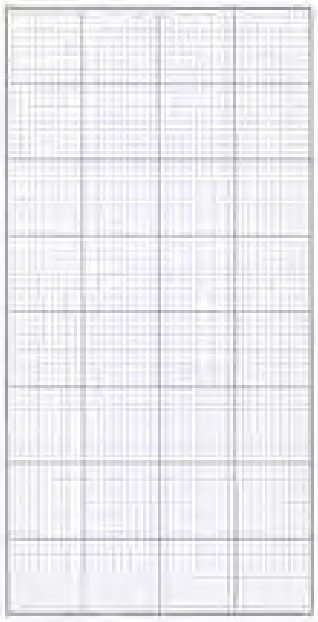


$V_i p = \cdots\cdots$

$V_o p = \cdots\cdots$

شکل ۳۰ـ۱۰ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی مشتق‌گیر

۳ـ۱۳ـ۱۰ـ آزمایش ۲ـ۱۳ـ۱۰ را با ورودی مثلثی تکرار کنید و شکل موج‌های ورودی و خروجی را با حفظ رابطه‌ی زمانی در شکل ۳۱ـ۱۰ رسم کنید. دامنه‌ی هر یک را اندازه گرفته یادداشت نمایید.



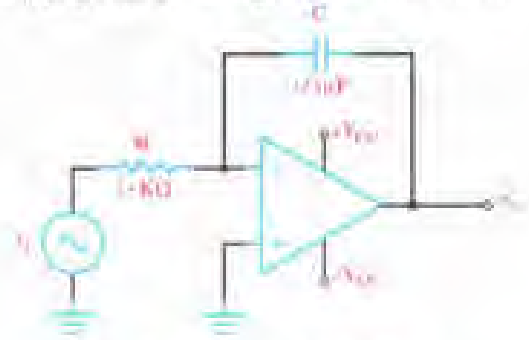
$V_i p = \cdots\cdots$

$V_o p = \cdots\cdots$

شکل ۳۱ـ۱۰ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی مشتق‌گیر

۱۴ـ۱۰ـ آزمایش مدار انتگرال‌گیر

۱ـ۱۴ـ۱۰ـ مدار شکل ۲۲ـ۱۰ را روی برد برد ببندید.



شکل ۲۲ـ۱۰ـ مدار انتگرال‌گیر

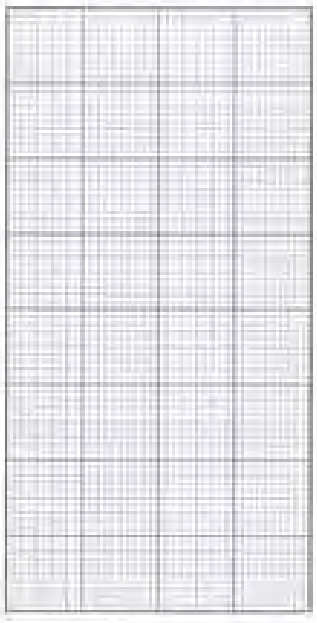
۲ـ۱۴ـ۱۰ـ وقتی که $V_i = ۰$ است به‌وسیله‌ی مولتی‌متر ولتاژ DC خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید:

$V_o =$.....

۳ـ۱۴ـ۱۰ـ آیا OP – AmP در ناحیه‌ی فعال است؟ چرا؟

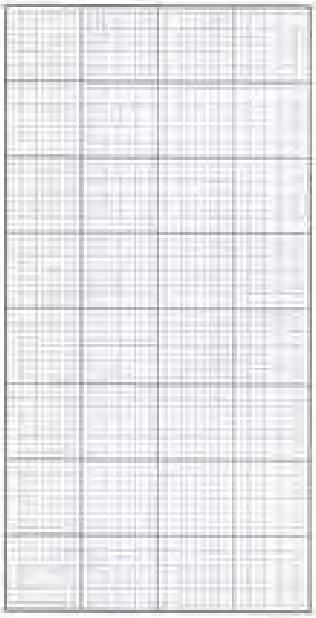
۴ـ۱۴ـ۱۰ـ یک مقاومت ۱ مگا اهم را با خازن موازی کرده سیگنال سینوسی ورودی را روی فرکانس ۱ کیلوهرتز و دامنه‌ی ۱ ولت تنظیم کنید.

۵ـ۱۴ـ۱۰ـ شکل موج های ورودی و خروجی را با حفظ رابطه‌ی زمانی در شکل ۳۳ـ۱۰ رسم کنید؛ سپس دامنه‌ی هر یک را اندازه گرفته یادداشت نمایید:



شکل ۳۳ـ۱۰ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی انتگرال‌گیر

۶ـ۱۴ـ۱۰ـ آزمایش ۵ـ۱۴ـ۱۰ را با ورودی مربعی تکرار کنید و شکل موج‌های ورودی و خروجی را با حفظ رابطه‌ی زمانی در شکل ۳۴ـ۱۰ رسم کنید. دامنه‌ی هر یک را اندازه گرفته یادداشت نمایید.



شکل ۳۴ـ۱۰ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی انتگرال‌گیر

۱۵ـ۱۰ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در شکل ۳۰ـ۱۰ اختلاف فاز بین V_0 و V_1 چند درجه است؟

۲ـ در شکل ۲۹ـ۱۰ اگر دامنه‌ی سیگنال ورودی دو برابر شود دامنه‌ی سیگنال خروجی چه تغییری می‌کند؟

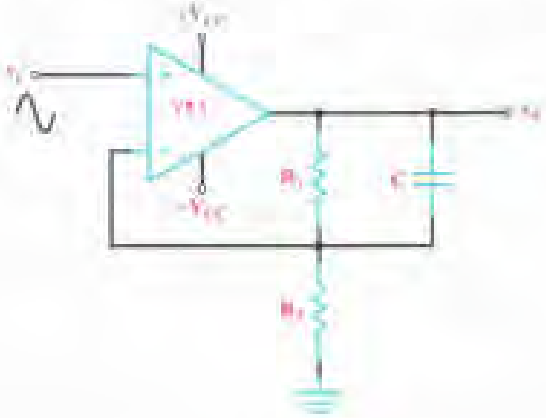
۳ـ در شکل ۳۳ـ۱۰ اختلاف فاز بین V_0 و V_1 چند درجه است؟

۴ـ در شکل ۳۴ـ۱۰ اگر یک مقاومت ۱ مگا اهم با خازن موازی شود چه اثری روی شکل موج خروجی دارد؟

۵ـ در شکل ۲۹ـ۱۰ فرکانس قطع فیلتر چه‌قدر است؟

۶ـ در شکل ۳۲ـ۱۰ فرکانس قطع فیلتر چه‌قدر است؟

۷ـ در شکل ۳۵ـ۱۰ مدار یک فیلتر اکتیو با OP – Amp نشان داده شده است. این فیلتر از نوع بالاگذر است یا پایین‌گذر؟ این مدار مشتق‌گیر است یا انتگرال‌گیر؟ فرکانس قطع فیلتر از چه رابطه‌ای به‌دست می‌آید؟



شکل ۳۵ـ۱۰

آزمایش شماره‌ی ۱۱

تنظیم کننده‌های ولتاژ مجتمع سه سر[1]

هدف کلی آزمایش

آشنایی با تنظیم کننده‌های ولتاژ که به صورت مدارات مجتمع سه‌سر استفاده می‌شوند.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ــ مدار رگولاتور ولتاژ را با آی سی ۷۸۰۵ AN بیندد.

۲ــ سطح ولتاژ خروجی رگولاتور را در حالت بی‌باری اندازه بگیرد.

۳ــ سطح ولتاژ خروجی را با بار اندازه بگیرد.

۴ــ مدار رگولاتور قابل تنظیم با آی‌سی ۳۱۷ L_{pq} را ببندد.

۵ ــ مقادیر حداقل و حداکثر ولتاژ خروجی رگولاتور را اندازه بگیرد.

۶ ــ مدار رگولاتور قابل تنظیم با آی سی ۳۳۷ L_{pq} را ببندد.

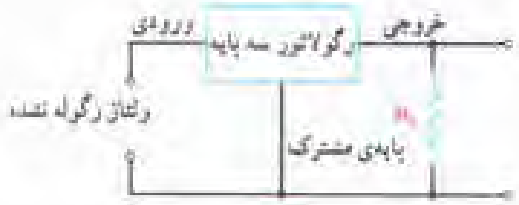
۷ــ مقادیر حداقل و حداکثر ولتاژ خروجی رگولاتور با آی سی ۳۳۷ L_{pq} را اندازه بگیرد.

۸ ــ به پرسش‌های مربوط به آزمایش پاسخ دهد.

۱ــ۱۱ــ اطلاعات اوّلیه

امروزه به ابعاد فیزیکی و بهای عناصر الکترونیکی بسیار اهمیت می‌دهند. رگولاتور سه پایه در واقع یک مدار مجتمع است که رگولاتور ولتاژ درون آن طراحی، محاسبه و ساخته شده است و مشخصات الکتریکی و فیزیکی آن را می‌توان از کتاب‌های مخصوص به کارخانه‌ی سازنده به دست آورد.

اکثر رگولاتورهای سه پایه مطابق شکل ۱ــ۱۱ به مدار متصل می‌شوند. ولتاژ رگوله نشده به پایه‌ی ورودی رگولاتور متصل می‌شود و از پایه‌ی خروجی ولتاژ رگوله شده، گرفته می‌شود. سیم مشترک نیز به بدنه متصل می‌شود. در این رگولاتورها باید دامنه‌ی ولتاژ ورودی از دامنه‌ی ولتاژ رگوله شده بیش‌تر باشد.



شکل ۱ــ۱۱ــ مدار رگولاتور سه‌پایه

اکثر رگولاتورهای سه پایه از نوع مثبت هستند، یعنی قطب مثبت ولتاژ غیر رگوله به ورودی رگولاتور وارد می‌شود و ولتاژ تثبیت شده با قطبیت مثبت از رگولاتور خارج می‌شود و منفی نیز به پایه‌ی مشترک متصل می‌شود، اما گاهی نیز از رگولاتورهای منفی استفاده می‌شود.

در رگولاتورهای سه پایه‌ی منفی بر عکس رگولاتورهای مثبت، قطب منفی ولتاژ غیر رگوله به آن‌ها وارد می‌شود و منفی

1ــ Voltage Regulators

ولتاژ تثبیت شده از آن‌ها خارج می‌شود؛ همچنین پایه‌ی مشترک نیز به مثبت متصل می‌گردد. بیش‌ترین کاربرد رگولاتورهای منفی برای تولید ولتاژ قرینه‌ی رگولاتورهای مثبت است.

رگولاتورهای سه پایه با ولتاژهای مختلف در جریان‌های مختلف، ساخته می‌شوند که چند نمونه از آن‌ها را بررسی می‌کنیم:

الف) رگولاتور ANV۷۸۰۵ یک رگولاتور ۵ ولتی مثبت با جریان یک آمپر است.

ب) LM۳۰۹ به دو صورت «۵ـ TO» با حداکثر جریان ۴۰۰ میلی آمپر و «۳ـ TO» با حداکثر جریان یک آمپر با ولتاژ ۵+ ولت عرضه می‌شود.

ج) LM۳۱۷ تنظیم کننده‌ی ولتاژ مثبتی است که سه پایه دارد و می‌تواند جریان بار ۱/۵A را برای ولتاژهای خروجی ۱/۲۵ تا ۳۷ ولت تأمین کند.

د) LM۳۲۰ یک رگولاتور ۵- ولتی با جریان‌دهی ماکزیمم ۱/۵ آمپر است.

هـ) RC۴۱۹۵ یک رگولاتور ۵ پایه با ولتاژ قرینه‌ی ۱۵± ولت و جریان‌دهی خروجی ۰/۱۵ آمپر است.

در شکل ۲ـ۱۱ شکل ظاهری چند نمونه رگولاتور سه پایه نشان داده شده است.

TO ـ ۲۲۰ TO ـ ۵ TO ـ ۳

شکل ۲ـ۱۱ـ چند نمونه رگولاتور سه پایه‌ی متداول

۲ـ۱۱ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ـ منبع تغذیه‌ی DC	۱ دستگاه
ـ مولتی متر دیجیتال	۱ دستگاه
ـ آی سی A_{μ} ۷۸۰۵	۱ عدد
ـ آی سی L_{M} ۳۱۷	۱ عدد
ـ آی سی L_{M} ۳۳۷	۱ عدد
ـ خازن ۱۰μF، ۲۵V	۲ عدد
ـ پتانسیومتر خطی $\frac{1}{2}$W، ۵kΩ	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W، ۱۸Ω	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W، ۱۰Ω	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W، ۱۵۰Ω	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W، ۱۸۰Ω	۱ عدد

۳ـ۱۱ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۱۱ـ آزمایش رگولاتور A_{μ} ۷۸۰۵

الف ـ مدار شکل ۳ـ۱۱ را روی بردبرد ببندید.

شکل ۳ـ۱۱ـ رگولاتور با آی‌سی ANV۷۸۰۵

ب ـ منبع تغذیه‌ی V_i را روی مقادیری میزان کنید که در جدول ۱ـ۱۱ نشان داده شده است ولتاژهای خروجی تنظیم کننده را با مولتی‌متر دیجیتالی اندازه بگیرید و در جدول ۱ـ۱۱ درج کنید.

جدول ۱ـ۱۱

V_{in} ولت	۱	۵	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
V_{out}								

ج ـ در شکل ۳ـ۱۱ ولتاژ ورودی را روی ۱۵ ولت تنظیم کنید و مقدار R_L را مطابق جدول ۲ـ۱۱ تغییر دهید. در هر حالت، ولتاژ خروجی را اندازه گرفته در جدول ۲ـ۱۱ درج نمایید.

جدول ۲ـ۱۱

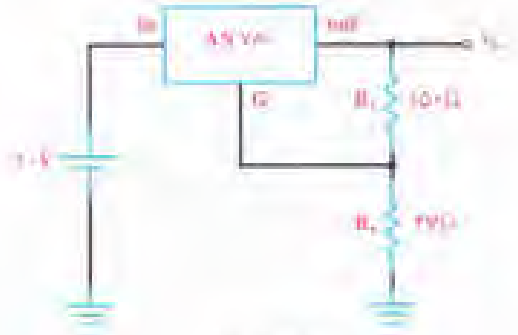
اهم R_L	۴۷	۱۰۰	۱۸۰
V_{out}			

د ـ با توجه به مقادیر ولتاژ خروجی اندازه گرفته شده درحالت «ج» مقدار جریان خروجی را محاسبه کرده در جدول ۳ـ۱۱ درج کنید.

جدول ۳ـ۱۱

I_{OUT}	R_L
	۴۷Ω
	۱۰۰Ω
	۱۸۰Ω

هـ ـ مدار شکل ۴ـ۱۱ را روی پردیرد ببندید.



شکل ۴ـ۱۱

ز ـ به وسیله‌ی مولتی‌متر دیجیتالی ولتاژ V_{OUT} را اندازه بگیرید و یادداشت کنید:

V_{OUT} =....

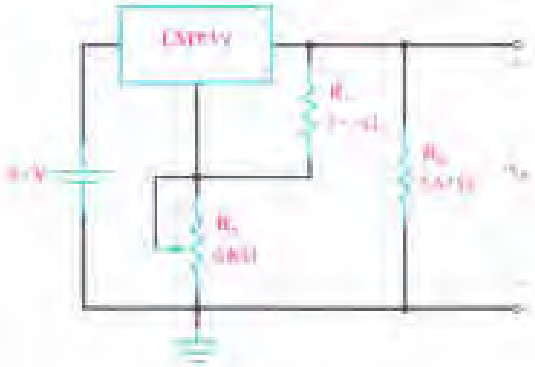
ز ـ مقاومت R_L را یکبار ۱۰۰ اهم و بار دیگر ۱۸۰ اهم انتخاب کنید و در هر حالت ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید:

$R_L = ۱۰۰\Omega \Rightarrow V_{OUT}$ =....

$R_L = ۱۸۰\Omega \Rightarrow V_{OUT}$ =....

۲ـ۳ـ۱۱ـ آزمایش رگولاتور LM۳۱۷:

الف ـ مدار شکل ۵ـ۱۱ را روی برد برد بیندید.



شکل ۵ـ۱۱ـ رگولاتور LM۳۱۷

ب ـ با تغییر ولوم ۵ کیلو اهم مقادیر حداکثر و حداقل ولتاژ خروجی را با مولتی‌متر DC اندازه گرفته یادداشت نمایید:

V_{OUT} max =....

V_{OUT} max =....

ج ـ به‌جای R_L مقاومت ۴۷Ω قرار دهید و آزمایش مرحله‌ی «ب» را تکرار کنید:

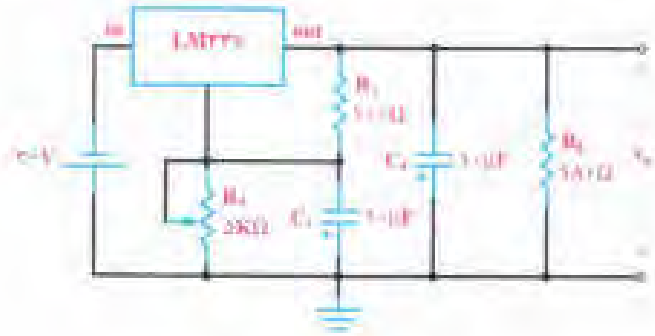
V_{OUT} max =....

V_{OUT} max =....

د ــ در مدار شکل ۵ــ۱۱ رابطه‌ی ولتاژ خروجی با مقاومت‌های R_1 و R_2 و ولتاژ تثبیت شده چیست؟

۳ــ۳ــ۱۱ ــ آزمایش با رگولاتور LM۳۳۷:

الف ــ مدار شکل ۶ــ۱۱ را روی برد برد ببندید.



شکل ۶ــ۱۱ــ رگولاتور LM۳۳۷

ب ــ با تغییر ولوم ۵ کیلو اهم مقادیر حداقل و حداکثر ولتاژ خروجی را به وسیله‌ی مولتی‌متر DC اندازه گرفته یادداشت نمایید:

V_{OUT} max =....

V_{OUT} max =....

ج ــ به جای R_L مقاومت ۴۷Ω قرار دهید و آزمایش مرحله‌ی «ب» را تکرار کنید.

V_{OUT} max =....

V_{OUT} max =....

۴ـ۱۱ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در آزمایش ۱ـ۳ـ۱۱ مرحله‌ی «ب» کم‌ترین ولتاژ ورودی که به ازای آن تنظیم کننده به کار می‌افتد چه‌قدر است؟

$V_{i\ min}$ =.....

۲ـ در شکل ۲ـ۱۱ اگر پایه‌ی مشترک G به شاسی اتصال کوتاه شود ولتاژ خروجی چه تغییری می‌کند؟ دلیل این امر را توضیح دهید.

۳ـ در شکل ۵ـ۱۱ اگر سر آزاد ولوم به شاسی نزدیک شود ولتاژ خروجی زیاد می‌شود یا کم؟ چرا؟

۴ـ در شکل ۶ـ۱۱ نقش هر یک از خازن های C_1 و C_2 را توضیح دهید.

۵ـ در شکل ۶ـ۱۱ اگر سرآزاد ولوم به شاسی نزدیک شود ولتاژ خروجی زیاد می‌شود یا کم؟ چرا؟

آزمایش شماره‌ی ۱۲

الکترونیک صنعتی

هدف کلی آزمایش

این آزمایش مربوط به یک‌سوساز قابل کنترل سیلیکانی (SCR) و تریاک (TriAc) است که اغلب در مدارهای کنترل قدرت به کار می‌روند. همچنین آزمایش ترانزیستور تک پیوندی (UJT) و دیاک (DiAc) که در مدارهای فرمان تریستوری کاربرد دارند.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ــ پایه‌های SCR را به وسیله‌ی اهم‌متر آزمایش و بررسی کند.
۲ــ مدار آتش[1] SCR را ببندد.
۳ــ نحوه‌ی روشن کردن SCR را مشاهده کند.
۴ــ تریاک را با اهم‌متر آزمایش کند.
۵ــ مدارات روشن کننده‌ی دیاک و تریاک را ببندد.
۶ــ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ ولتاژ آتش دیاک و تریاک را اندازه بگیرد.
۷ــ به وسیله‌ی اهم‌متر پایه‌های UJT را تشخیص دهد.
۸ــ مدار نوسان‌ساز با UJT را ببندد.
۹ــ شکل موج‌های خروجی نوسان‌ساز UJT را به وسیله اسیلوسکوپ مشاهده کند.
۱۰ــ مدار یک دیمر را به وسیله‌ی دیاک و تریاک ببندد.
۱۱ــ زاویه‌ی آتش تریاک را به وسیله‌ی اسیلوسکوپ اندازه بگیرد.
۱۲ــ به پرسش‌های آزمایش پاسخ دهد.

۱ــ۱۲ــ اطلاعات اوّلیه

برای دست‌یابی به مطالب تئوری مربوط به الکترونیک صنعتی به کتاب «الکترونیک عمومی ۲» مراجعه کنید. در این قسمت به گونه‌ای مختصر عناصر SCR ــ دیاک ــ تریاک و UJT را بررسی می‌کنیم.

۱ــ۱ــ۱۲ــ یک‌سوساز قابل کنترل سیلیکانی (SCR): در شکل ۱ــ۱۲ــ الف ساختمان SCR و در شکل ۱ــ۱۲ــ ب سمبل مداری SCR نشان داده شده است.

الف ــ ساختمان «SCR» ب ــ سمبل مداری «SCR»

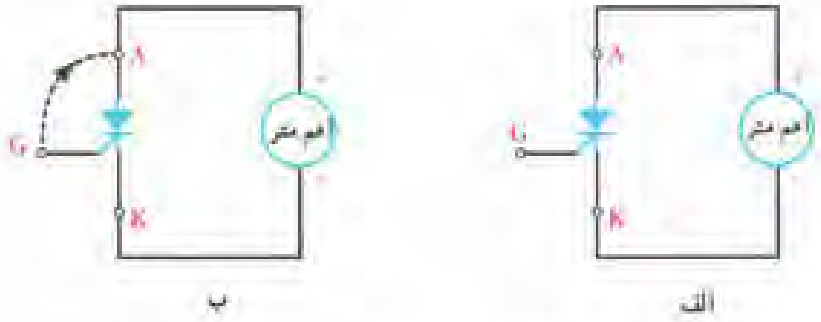
شکل ۱ــ۱۲ــ ساختمان و سمبل مداری SCR

۱ــ Trigger

همان‌گونه که در ساختمان داخلی SCR دیده می‌شود، بین دو پایه‌ی گیت و کاتد یک اتصال PN وجود دارد، مشابه یک دیود، که آند دیود پایه‌ی گیت و کاتد دیود همان پایه‌ی کاتد تریستور است. هم‌چنین بین دو پایه‌ی آند و کاتد سه اتصال دیودی وجود دارد که از چهار لایه‌ی PNPN به وجود می‌آید. پایه‌ی آند به کریستال P اتصال دارد.

۲ـ۱ـ۱۲ـ تشخیص پایه‌های SCR به‌وسیله‌ی اهم‌متر: با توجه به ساختمان داخلی SCR، به‌وسیله‌ی اهم‌متر پایه‌های گیت و کاتد را می‌توان تشخیص داد که در نتیجه پایه‌ی سوم نیز مشخص می‌شود، اما این روش دو اشکال دارد. نخست آن که با این روش به سالم بودن اتصال‌های بین گیت و آند نمی‌توان پی‌برد و دیگر آن که در بعضی از تریستورها، بین گیت و کاتد دیودی برای محافظت اتصال PN قرار می‌دهند که این دیود به شکل موازی و معکوس با دیود بین گیت و کاتد است. در نتیجه، اگر گیت و کاتد این نوع تریستورها را به اهم‌متر متصل کنیم از هر دو طرف راه می‌دهد ! بدین ترتیب، نمی‌توان گیت و کاتد را از هم تشخیص داد.

۳ـ۱ـ۱۲ـ تشخیص صحت SCR با اهم‌متر: سیم مثبت اهم‌متر را به آند و سیم منفی آن را به کاتد SCR وصل کنید. اهم‌متر باید مقدار مقاومت بی‌نهایت را نشان دهد در همین حالت، گیت را به آند متصل کنید که در نتیجه، اهم‌متر مقاومت کمی را نشان می‌دهد. حال، گیت را از آند جدا کنید ؛ اهم‌متر باید هم‌چنان مقدار مقاومت کم را نشان دهد. در شکل ۲ـ۱۲ـ الف اهم‌متر بی‌نهایت را نشان می‌دهد، اما اهم‌متر در شکل ۲ـ۱۲ـ ب نشان دهنده‌ی اهم کم است این روش برای تریستورهای با قدرت کم، ماکزیمم تا ۸ آمپر مؤثر است.



شکل ۲ـ۱۲ـ آزمایش صحت SCR

در شکل ۳ـ۱۲ حالت‌های مختلف اتصال اهم‌متر به آند و کاتد در دو حالت قطع و وصل کلید نشان داده شده است. هم‌چنین مقدار اهم خوانده شده بین آند و کاتد در جدول آمده است.

شکل ۳ـ۱۲ـ آزمایش SCR با اهم‌متر

۲ـ۱۲ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

ـ اسیلوسکوپ	۱ دستگاه
ـ منبع تغذیه	۱ دستگاه
ـ مولتی متر دیجیتال	۱ دستگاه
ـ برد برد	۱ عدد
ـ تریستور C ۱۰۶	۱ عدد
ـ دیاک ۱N ۵۷۵۸	۱ عدد
ـ تریاک SC۱۴۶B	۱ عدد
ـ ترانزیستور UJT ۲N۲۶۴۶	۱ عدد
ـ ترانسفورماتور ۲۲۰/۶	۱ عدد
ـ لامپ مینیاتوری ۶V	۱ عدد
ـ لامپ ۲۲۰V،۶۰W	۱ عدد
ـ خازن ۰/۰۱μF،۲۵V	۱ عدد
ـ خازن ۰/۱μF،۱۰۰V	۱ عدد
ـ پتانسیومتر خطی $\frac{1}{2}$W ،۵۰۰kΩ	۱ عدد
ـ مقاومت ۱۰۰Ω،۱W	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ،۱/۵kΩ	۱ عدد
ـ مقاومت ۱ kΩ،۱W	۱ عدد
ـ مقاومت ۲/۲ kΩ،۱W	۱ عدد
ـ مقاومت ۱۰kΩ،۱W	۱ عدد
ـ مقاومت $\frac{1}{2}$W ،۲۲ kΩ	۱ عدد

۳ـ۱۲ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۱۲ـ به وسیله‌ی مولتی‌متر پایه‌های تریستور C۱۰۶ را مشخص کنید. شکل ظاهری تریستور را رسم کنید و نام پایه‌های آن را روی شکل بنویسید (شکل ۴ـ۱۲).

شکل ۴ـ۱۲ـ شکل ظاهری تریستور C۱۰۶

۲ـ۳ـ۱۲ـ روشن و خاموش کردن تریستور:

الف ـ مدار شکل ۵ـ۱۲ را روی برد برد ببندید.

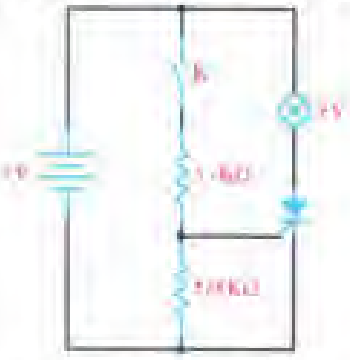
ب ـ در حالی که کلید K قطع است تغذیه‌ی ۶ ولت DC را روشن کنید. آیا لامپ روشن می‌شود یا خاموش می‌ماند؟ توضیح دهید در این حالت تریستور روشن است یا خاموش؟

ج ـ کلید K را در یک لحظه وصل، سپس قطع کنید. توضیح دهید چه اتفاقی رخ می‌دهد؟

د ـ در حالت «ج» ولتاژ ۶ ولت DC را به تدریج کم کنید تا به صفر ولت برسد. در نور لامپ چه تغییری حاصل می‌شود؟ آیا با کم کردن ولتاژ DC، تریستور روشن باقی می‌ماند؟

هـ ـ ولتاژ DC را از صفر ولت به تدریج افزایش دهید تا دوباره به ۶ ولت برسد آیا لامپ روشن است یا خاموش؟ برای تریستور چه اتفاقی افتاده است؟

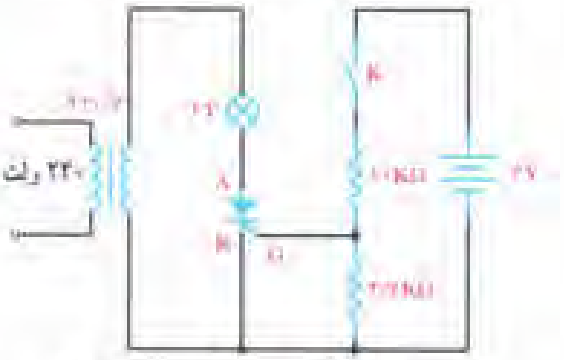
و ـ دوباره کلید K را برای لحظه‌ای وصل و قطع کنید. حال با یک سیم برای لحظه‌ای آند و گاند را به یکدیگر اتصال کوتاه کنید. توضیح دهید پس از قطع سیم چه اتفاقی رخ می‌دهد؟



شکل ۵ـ۱۲ـ روشن کردن تریستور

۳ـ۳ـ۱۲ـ تریستور در جریان متناوب:

الف ـ مدار شکل ۶ ـ۱۲ را روی برد بُرد ببندید.



شکل ۶ـ۱۲ـ تریستور در جریان متناوب ۶ ولت

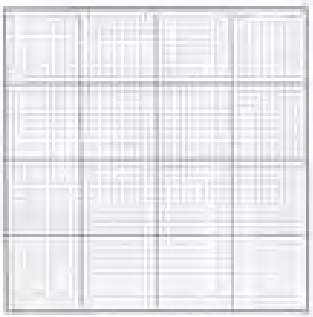
ب ـ در حالی‌که کلید K قطع است ولتاژ ۶ ولت DC و ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر را وصل کنید. آیا در این‌حالت لامپ روشن می‌شود؟ چرا؟

ج ـ کلید K را وصل کنید و شکل موج V_{AK} تریستور را به وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۷ـ۱۲ رسم کنید.

شکل ۷ـ۱۲ـ شکل موج ولتاژ V_{AK}

د ـ کلید K را وصل کنید در این حالت لامپ روشن است یا خاموش؟

هـ ـ در حالی‌که کلید K وصل است شکل موج ولتاژ دو سر تریستور (V_{AK}) را به وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۸ـ۱۲ رسم کنید.



شکل ۸ـ۱۲ـ شکل موج ولتاژ V_{AK}

و ـ با توجه به شکل ۸ـ۱۲ زاویه‌ی آتش تریستور را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید : θ=.....

ز ـ ولتاژ ۶ ولت DC را به تدریج کاهش دهید و اثر آن‌را بر روی زاویه‌ی آتش تریستور بنویسید.

۴ـ۱۲ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ تریستور چند لایه‌ی نیمه هادی دارد؟

الف ـ یک لایه　　ب ـ دو لایه　　ج ـ سه لایه　　د ـ چهار لایه

۲ـ تریستور دارای چند پیوند PN است؟

الف ـ یک پیوند　　ب ـ دو پیوند　　ج ـ سه پیوند　　د ـ چهار پیوند

۳ـ حداقل جریانی که تریستور را در حال هدایت نگه می‌دارد ... نامیده می‌شود.

الف ـ جریان آند　　ب ـ جریان نگه‌دارنده　　ج ـ جریان حداقل

۴ـ کدام یک از این جملات کاملاً صحیح است؟

الف ـ به وسیله‌ی ولتاژ تحریک گیت می‌توان تریستور را به حالت هدایت و قطع برد.

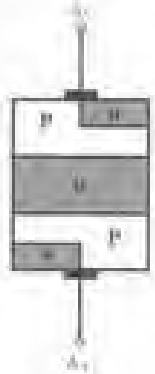
ب ـ تریستور به وسیله‌ی ولتاژ آند به کار می‌افتد و به‌وسیله‌ی ولتاژ گیت خاموش می‌شود.

ج ـ تریستور به وسیله‌ی ولتاژ گیت تحریک می‌شود و با برداشتن ولتاژ آند از کار می‌افتد.

د ـ تریستور به وسیله‌ی ولتاژ آند روشن و با برداشتن ولتاژ گیت خاموش می‌شود.

۵ـ۱۲ـ اطلاعات اولیه در مورد دیاک و تریاک

۱ـ۵ـ۱۲ـ دیاک: یک دیود جریان متناوب است که دارای دو پایه است که با هم هیچ فرقی ندارند. در شکل ۹ـ۱۲ ساختمان دیاک نشان داده شده است.



شکل ۹ـ۱۲ـ ساختمان دیاک

با اهم‌متر به هیچ‌وجه نمی‌توان دیاک را امتحان کرد، زیرا اهم‌متر از هر دو طرف مقاومت بی‌نهایت را نشان می‌دهد.

در شکل ۱۰ـ۱۲ـ الف و ب نمای فنی دیاک نشان داده شده است.

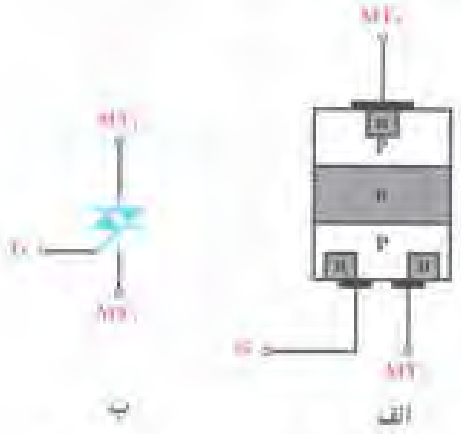
شکل ۱۰ـ۱۲

وقتی که ولتاژ دو سر دیاک در جهت مثبت یا در جهت منفی به مقدار مشخصی (۳۰ تا ۴۰ ولت) برسد، دیاک سریعاً هدایت کرده، ولتاژ دو سرش کم شده جریان آن نیز به سرعت افزایش می‌یابد. هنگامی که دیاک هادی می‌شود نشان دهنده‌ی مقاومت منفی در مدار است. از همین خاصیت دیاک در مدارات «تریگر»[1] استفاده می‌شود.

دیاک‌ها از نظر شکل ظاهری نظیر دیودهای استوانه‌ای هستند. دو مشخصه‌ی مهم دیاک ولتاژ شکست و جریان شکست زمان آن است؛ برای مثال، دیاک ۱N۵۷۵۸ دارای ولتاژ شکست ۳۲V ± ۴V و جریان شکست زمان ۰/۴mA است.

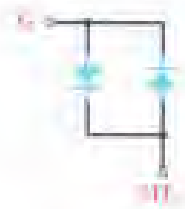
۲ـ۵ـ۱۲ـ تریاک (Triac): عیب بزرگ ترینستور آن است که جریان را فقط در یک جهت کنترل می‌کند و در جهت دیگر عایق است. با این وجود، این عیب در تریاک برطرف شده است.

تریاک یک کلید دو طرفه‌ی نیمه‌هادی و دارای سه‌پایه است. هم‌چنین تریاک قادر به کنترل جریان در هر دو جهت است؛ از این‌رو، دارای آند و کاتد نیست. پایه‌های تریاک را با MT، (MainTerminal)MT، و G نشان می‌دهند. در شکل ۱۱ـ۱۲ـ الف ساختمان تریاک و در شکل ۱۱ـ۱۲ـ ب نمای فنی تریاک نشان داده شده است.



شکل ۱۱ـ۱۲ـ ساختمان و نمای فنی تریاک

۳ـ۵ـ۱۲ـ تشخیص پایه‌های تریاک با اهم‌متر: در تریاک پایه‌ی گیت نسبت به پایه‌ی MT، از هر دو طرف مقاومت کمی را با اهم‌متر نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱۲ـ۱۲ بین این دو پایه دو دیود موازی و معکوس قرار دارد.



شکل ۱۲ـ۱۲

۱ـ روش‌های مختلف روشن کردن ترینستور و تریاک را تریگر می‌نامند.

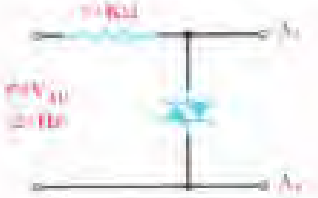
پایه‌ی MT_1 نسبت به پایه‌ی MT_2 و پایه‌ی گیت نسبت به پایه‌ی MT_2 از هر دو طرف با اهم‌متر مقاومت بی‌نهایت را نشان می‌دهد؛ بنابراین، تنها پایه‌ای که می‌توان به وسیله‌ی اهم‌متر تشخیص داد، MT_2 است که نسبت به دو پایه‌ی دیگر عایق است، به عبارت دیگر، دو پایه‌ی گیت و MT_1 را نمی‌توان با اهم‌متر تشخیص داد.

۶ـ۱۲ـ مراحل آزمایش

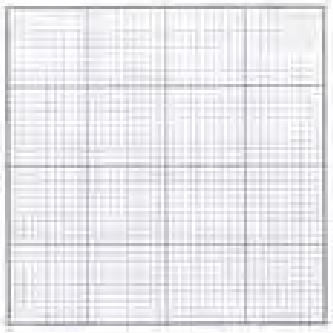
۱ـ۶ـ۱۲ـ آزمایش دیاک:

الف ـ مدار شکل ۱۳ـ۱۲ را روی برد برد ببندید.

ب ـ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ دو سر دیاک را در شکل ۱۴ـ۱۲ رسم کنید.



شکل ۱۳ـ۱۲ـ مدار آزمایش دیاک



شکل ۱۴ـ۱۲ـ شکل موج ولتاژ دو سر دیاک

ج ـ با توجه به شکل ۱۴ـ۱۲ ولتاژ شکست دیاک را اندازه‌گیری و یادداشت نمایید:

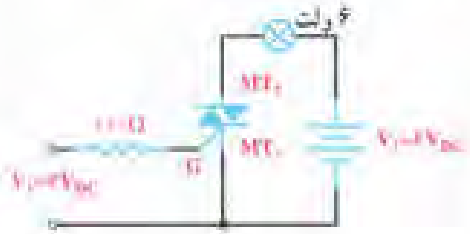
Vb =.....

د ـ آیا ولتاژ شکست دیاک در هر دو جهت یکسان است؟

۲ـ۶ـ۱۲ـ آزمایش تریاک(روش‌های مختلف تریگر کردن):

الف ـ مدار شکل ۱۵ـ۱۲ را روی برد برد ببندید.

ب ـ پلاریته‌ی ولتاژهای V_1 و V_2 را مطابق جدول ۱ـ۱۲ تغییر دهید و در هر حالت وضعیت لامپ را از نظر روشن یا خاموش بودن در جدول بنویسید.



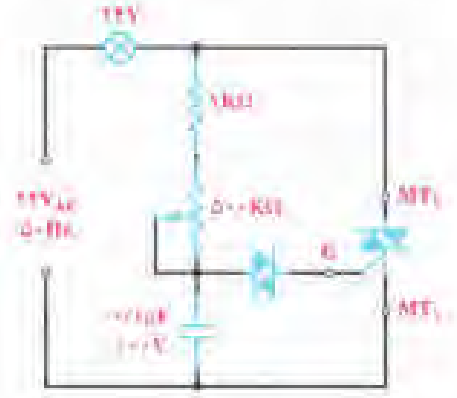
شکل ۱۵ـ۱۲ـ آزمایش تریگر تریاک

جدول ۱ـ۱۲

پلاریته		منفی MT_1 مثبت MT_2	مثبت MT_1 منفی MT_2
مثبت MT_1 منفی G			
منفی MT_1 مثبت G			

۳ـ۶ـ۱۲ـ آزمایش دیمر با دیاک و تریاک:

الف ـ مدار شکل ۱۶ـ۱۲ را روی برد برد ببندید.

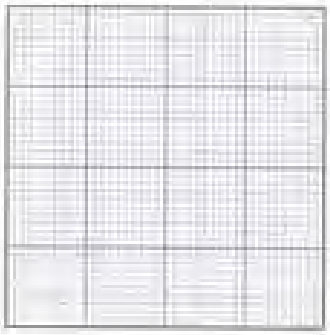


شکل ۱۶ـ۱۲ـ مدار دیمر

ب ـ پراب اسیلوسکوپ را روی ضریب ۱۰ قرار دهید!!

ج ـ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ بین MT_2 و MT_1 را نسبت به زمان در شکل ۱۷ـ۱۲ رسم کنید.

د ـ با توجه به شکل ۱۷ـ۱۲ زاویه‌ی آتش تریاک را اندازه بگیرید.



شکل ۱۷ـ۱۲ـ شکل موج ولتاژ دو سر تریاک

۷ـ۱۲ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در یک تریاک چند پیوند دیودی بین گیت و MT_1 قرار دارد؟

الف ـ یک پیوند　　ب ـ دو پیوند　　ج ـ سه پیوند　　د ـ چهار پیوند

۲ـ کدام یک از عبارات نشان دهنده‌ی مشابهت بین دیاک و تریاک است؟

الف ـ هر دو دارای سه پایه هستند.

ب ـ هر دو دارای چهار لایه‌ی نیمه‌هادی هستند.

ج ـ هر دو نیاز به تحریک گیت دارند.

د ـ هر دوی آن‌ها دو جهته هستند.

۳ـ کدام یک از این عبارات درباره‌ی دیاک درست نیست؟

الف ـ از خود مقاومت منفی نشان می‌دهد.

ب ـ ولتاژ شکست آن در دو جهت متقارن است.

ج ـ برای تحریک تریاک به‌کار می‌رود.

د ـ دارای چهار حالت تحریک است.

۴ـ هرگاه ولتاژ از حد شکست موافق در یک تریاک فراتر رود یکی از این پدیده‌های درون آن رخ می‌دهد.

الف ـ هدایت، حالت پیوسته دارد و به سرعت افزایش می‌یابد.

ب ـ هدایت، حالت کاهش دارد و به‌سرعت کم می‌شود.

ج ـ هدایت تغییر نمی‌کند.

د ـ هیچ‌کدام

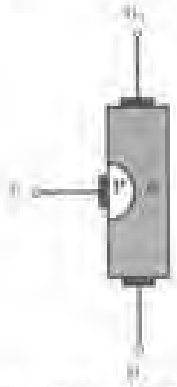
۵ـ تریاک دارای چند حالت تحریک است؟

الف ـ یک　　ب ـ دو　　ج ـ چهار　　د ـ هشت

۶ـ آیا در شکل ۱۶ـ۱۲ به جای دیاک می‌توان از یک لامپ نئون که ولتاژ هدایت آن با ولتاژ شکست دیاک برابر است استفاده کرد؟ چرا؟

۸ـ۱۲ـ اطلاعات اولیه درباره‌ی UJT

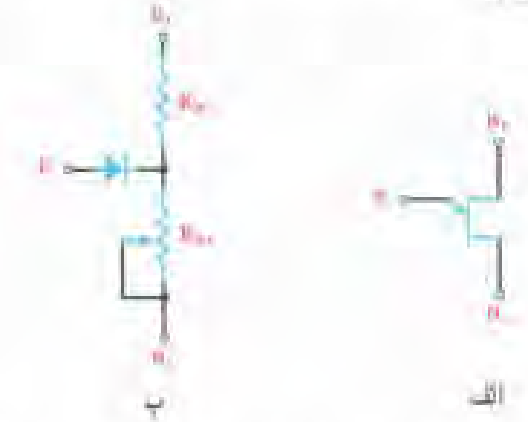
ترانزیستور تک پیوندی که به اختصار «UJT» نامیده می‌شود دارای یک پیوند PN است. ساختمان UJT ظاهراً شبیه به دیود است اما کاملاً با دیود تفاوت دارد؛ بدین صورت که ترانزیستور UJT از میله‌ای از ماده‌ی نوع N و از جنس سیلیکون تشکیل شده است و مقاومت دو طرف این میله اهمی است. در شکل ۱۸ـ۱۲ ساختمان ترانزیستور UJT نشان داده شده است. به دو سر میله‌ی N پین‌های B_1 و B_2 اتصال دارند. سیمی از جنس آلومینیم روی قطعه‌ی سیلیکون نزدیک به B_2 جوش خورده، هنگام اتصال این تیغه‌ی سیلیکونی، آلیاژی به‌وجود می‌آید که از نوع P است و به آن «امیتر ترانزیستور» می‌گویند.



شکل ۱۸ـ۱۲ـ ساختمان UJT

۱ـ۸ـ۱۲ـ تشخیص پایه‌های UGT به وسیله‌ی اهم‌متر:

در شکل ۱۹ـ۱۲ـ الف شمای فنی UJT و در شکل ۱۹ـ۱۲ـ ب مدار معادل UJT با دیود و دو مقاومت نشان داده شده است.

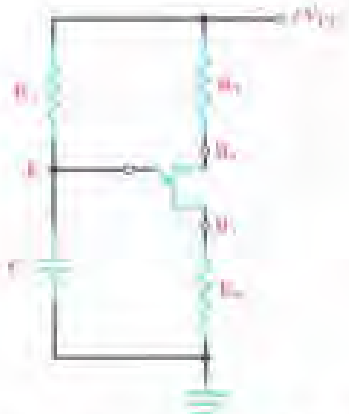


شکل ۱۹ـ۱۲ـ شمای فنی و مدار معادل دیودی ترانزیستور UJT

پایه‌ی امیتر نسبت به پین‌ها مانند دیود عمل می‌کند، یعنی، اگر سیم منفی اهم‌متر به امیتر و سیم مثبت آن به هر کدام از پین‌ها متصل شود، مقدار مقاومت زیاد نشان داده می‌شود و اگر سیم‌های اهم‌متر را تعویض کنیم و سیم مثبت اهم‌متر را به امیتر و سیم منفی را به یکی از پین‌ها متصل کنیم مقدار مقاومت کم نشان داده می‌شود؛ بنابراین، پایه‌ای که نسبت به دو پایه‌ی دیگر مانند دیود عمل کند امیتر UJT است. در این اندازه‌گیری متوجه می‌شویم که یکی از پایه‌ها نسبت به امیتر در بایاس موافق، مقاومت کم‌تری نسبت به پایه‌ی دیگر نشان می‌دهد. این پایه همان پایه‌ی پین دو بوده و پایه‌ی دیگر که مقاومت بیش‌تری دارد پین یک است، دو پین نسبت به یک‌دیگر مانند مقاومت عمل می‌کنند و از هر دو طرف مقاومتی بین ۵ تا ۱۰ کیلو اهم نشان داده می‌شود. این مقاومت را «مقاومت داخلی پین» (Interbase Resistance) می‌نامند و با «R_{BB}» نمایش می‌دهند که به شماره‌ی UJT بستگی دارد.

۲ـ۸ـ۱۲ـ ترانزیستور UJT به عنوان نوسان‌ساز موج دندانه‌اره‌ای:

ساده‌ترین مدار نوسان‌ساز دندانه‌اره‌ای با استفاده از UJT است که به آن «نوسان‌ساز لخت» (Relaxation oscillator) نیز می‌گویند. در شکل ۲۰ـ۱۲ مدار نوسان‌ساز لخت نشان داده شده است.



شکل ۲۰ـ۱۲ـ مدار نوسان‌ساز لخت با UJT

شارژ خازن از طریق R_1 و خط تغذیه صورت می‌گیرد که در طول مدت شارژ، ترانزیستور خاموش است. وقتی که ولتاژ دو سر خازن به حدّ معینی رسید ترانزیستور هادی

می‌شود و دشارژ خازن از طریق EB_1 و مقاومت R_2 انجام می‌گیرد.

با تکرار شارژ و دشارژ خازن می‌توان از هر پایه‌ی UJT نسبت به شاسی یک شکل موج دریافت نمود.

از سیگنال خروجی UJT می‌توان برای ژیگر نمودن ترياک استفاده کرد. فرکانس نوسانات UJT به مقادیر R_1 و C و ولتاژ V_{CC} بستگی دارد.

۹ـ۱۲ـ مراحل آزمایش

۱ـ۹ـ۱۲ـ اندازه‌گیری مقاومت بین پایه‌های B_2 ، B_1 و E ترانزیستور UJT :

الف ـ به کمک مولتی‌متر پایه‌های B_2 و B_1 و E ترانزیستور ۲N۲۶۹۶ را شناسایی کنید. شکل ظاهری ترانزیستور را در شکل ۲۱ـ۱۲ رسم نموده نام پایه‌های UJT را روی شکل مشخص کنید.

شکل ۲۱ـ۱۲ـ شکل ظاهری UJT

ب ـ مقاومت بین B_1 و B_2 را در حالتی که امیتر باز است به‌وسیله‌ی مولتی‌متر اندازه گرفته یادداشت نمایید :

R_{BBO} = ...

ج ـ اتصال‌های اهم‌متر را معکوس کرده مجدداً R_{BBO} را اندازه‌گیری و یادداشت کنید :

R_{BBO} = ...

د ـ مقاومت موافق بین امیتر و B_1 را اندازه گرفته و یادداشت نمایید :

R_{EB_1} = ...

هـ ـ اتصال‌های اهم‌متر را معکوس کرده مجدداً مقاومت اهمی بین امیتر و B_1 را اندازه‌گیری و یادداشت کنید :

R_{EB_1} = ...

و ـ مقاومت موافق بین امیتر و B_2 را اندازه‌گیری و یادداشت نمایید.

R_{EB_2} = ...

ز ـ اتصال‌های اهم‌متر را معکوس کرده مجدداً مقاومت اهمی بین امیتر و B_2 را اندازه‌گیری و یادداشت نمایید :

R_{EB_2} = ...

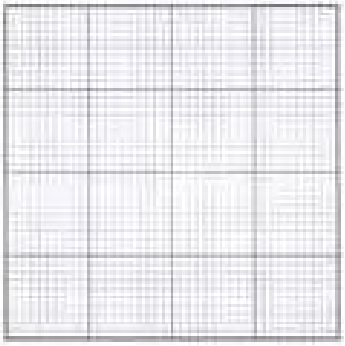
۲ـ۹ـ۱۲ـ آزمایش نوسان‌ساز UJT

الف ـ مدار شکل ۲۲ـ۱۲ را روی برد بندید.

شکل ۲۲ـ۱۲ـ نوسان‌ساز UJT

ب ـ به‌وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژ هریک از پایه‌های E ، B_1 و B_2 را نسبت به شاسی مشاهده و به دقت رسم کنید. شکل (۲۳ـ۱۲ الف ـ ب ـ ج)

ج ـ با استفاده از شکل موج‌های رسم شده در مرحله‌ی ب مقادیر ولتاژ، فرکانس و دامنه‌ی قله به قله‌ی هریک را اندازه بگیرید و روی شکل یادداشت نمایید :

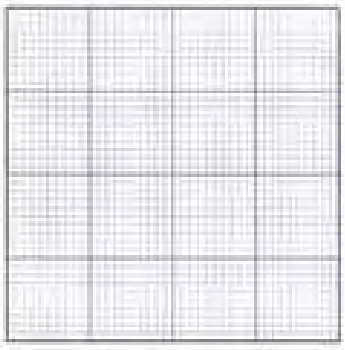


Vpp = ...

T = ...

F = ...

الف ــ شکل موج پایه‌ی امیتر

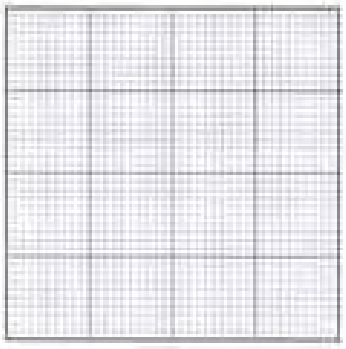


Vpp = ...

T = ...

F = ...

ب ــ شکل موج پایه‌ی B_1



Vpp = ...

T = ...

F = ...

ج ــ شکل موج پایه‌ی B_2

شکل ۲۳ــ۱۲ــ شکل موج‌های خروجی نوسان‌ساز UJT

۱۰ـ۱۲ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ آیا مقدار مقاومت R_{BBO} در UJT به نحوه‌ی اتصال اهم‌متر به دو پایه‌ی B_1 و B_2 بستگی دارد؟ چرا؟

۲ـ با توجه به شکل موج ۲۳ـ۱۲ـ الف ولتاژ آنتی امپتر چند ولت است؟

۳ـ نوسان‌ساز UJT جزء کدام دسته از نوسان‌سازهاست؟

۴ـ آیا مقدار مقاومت R_2 در شکل ۲۴ـ۱۲ تأثیری در فرکانس نوسان‌ساز دارد؟

۵ـ اگر بخواهیم از ترکیب شکل ۲۴ـ۱۲ به‌جای ترانزیستور UJT استفاده کنیم اولاً پایه‌های E و B_1 و B_2 آن را مشخص کنید، ثانیاً طرز کار آن را شرح دهید.

شکل ۲۴ـ۱۲ـ مدار معادل UJT

آشنایی با دروازه‌های منطقی

هدف کلی آزمایش

بررسی دروازه‌های منطقی پایه که اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سیستم‌های منطقی هستند.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ــ دروازه‌های منطقی AND ، OR و NOT را بشناسد.

۲ــ ظرفیت ورودی دروازه‌های AND و OR را بتواند افزایش دهد.

۳ــ اتحادهای منطقی اساسی را به‌وسیله‌ی دروازه‌های منطقی AND،OR و NOT انجام دهد.

۴ــ دروازه‌های ترکیبی NAND ، NOR و X - OR را بشناسد.

۵ ــ دروازه‌های منطقی پایه را به‌وسیله‌ی دروازه‌های NAND و NOR بسازد.

۶ــ توابع ساده‌ی منطقی را در فرم NAND - NAND انجام دهد.

۱ــ ۱۳ــ اطلاعات اولیه

کامپیوتر دیجیتال، ترکیبی از یک سلسله مدارهای الکترونیکی است که بین دوحالت تعریف شده‌ی منطقی (۰ و ۱) کار می‌کند. مدارهای کامپیوتر نیز مانند همه‌ی سیستم‌های منطقی، تابع قوانین جبر بول هستند.

جبر بول نوعی دستگاه ریاضی است که براساس متغیرهایی بنا شده است که دارای دو حالت ممکن هستند. بسیاری از مسائل را می‌توان با متغیرهای دوحالته توصیف کرد؛ برای مثال، «هوا بارانی است» یا «هوا بارانی نیست». «لامپ روشن است» یا «لامپ خاموش است». در اکثر حالت‌ها یک وضعیت ضد وضعیت دیگر است. تئوری منطقی نیز مربوط به متغیرهایی است که دوحالت ممکن دارند؛ بدین ترتیب که موضوع را می‌توان با استفاده از یکی از حالت‌های درست یا غلط تعریف کرد. ارتباط بین این دو حالت تابع قوانینی است و این قوانین را دانشمند انگلیسی به نام «جورج بول» براساس یک قاعده‌ی ریاضی بیان کرده است و به همین دلیل این سیستم به نام جبر بول شهرت یافته است.

در جبر بول دو حالت یک متغیر را با دو رقم «۰» و «۱» نشان می‌دهند.

متغیرهای بول را می‌توان با حروف A ، B و ... نمایش داد؛ برای نمونه، اگر یک متغیر را با حرف A نشان دهیم، A می‌تواند مساوی «۰» یا مساوی «۱» باشد. در جبر بول عملیات ممکن بین متغیرها، ظاهراً به‌وسیله‌ی قوانین ساده‌ای نظم داده می‌شوند. این متغیرها در جبر بول فقط دارای دو مقدار «۰» و «۱» هستند؛ از این‌رو، تعداد حالات ممکن در عملیات جبری محدود است و می‌توان آن‌ها را در جدولی که به آن «جدول صحت» می‌گویند، خلاصه کرد.

در این بخش با مدارهای منطقی نسبتاً ساده آشنا خواهید شد. در هر مورد باید جدول صحت مدار را به‌دست آورید. برای انجام آزمایش‌های این بخش، علاوه بر چند آی‌سی، به تجهیزات خاصّی نیاز دارید که عبارت‌اند از:

الف ــ تجهیزات عمومی مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها:

ــ یک تخته‌ی نصب آی‌سی (Bread Board) و سایر قطعات مدار.

ـ چند کلید مینیاتوری سه‌پایه برای ایجاد حالت‌های مختلف ورودی.

(اگر آزمایش‌ها را با دقت انجام دهید می‌توانید از این کلیدها صرف‌نظر کنید.)

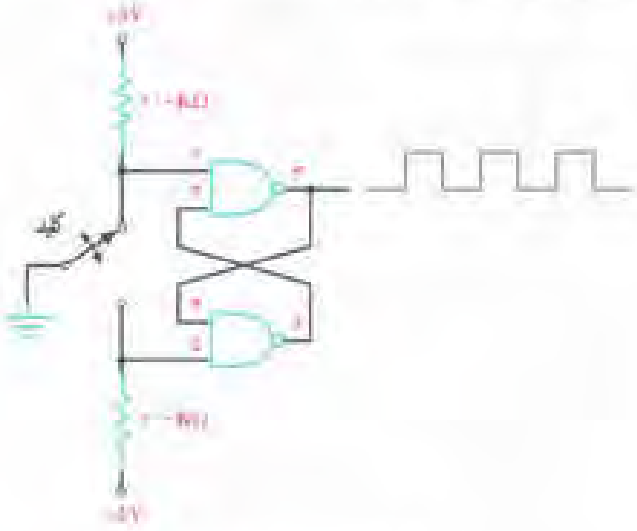
ـ یک منبع تغذیه‌ی DC با ولتاژ ثابت ۵ ولت.

(اگر این منبع تغذیه را در دسترس ندارید می‌توانید آن را مطابق شکل ۱ـ۱۳ بسازید.)

شکل ۱ـ۱۳ـ منبع تغذیه‌ی ثابت ۵ V

ـ مدار مولد موج مربعی که از آن به عنوان پالسر (Pulser) برای آزمایش فلیپ فلاپ‌ها و شمارنده‌ها استفاده خواهید کرد.

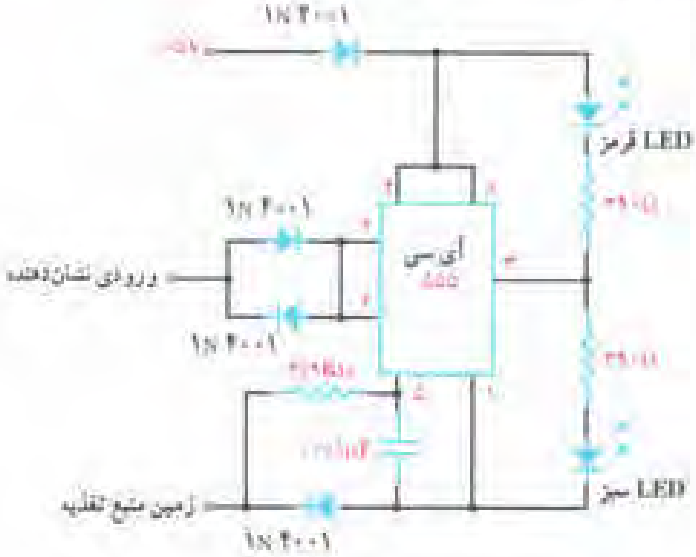
(این مدار را می‌توانید با استفاده از یک آی‌سی ۷۴۰۰، مطابق شکل ۲ـ۱۳ بسازید.)



شکل ۲ـ۱۳ـ مدار پالسر

ـ نشان‌دهنده‌ی وضعیت مدار (Logic Probe).

(برای ساختن Logic Probe می‌توانید از مدار شکل ۳ـ۱۳ استفاده کنید.)



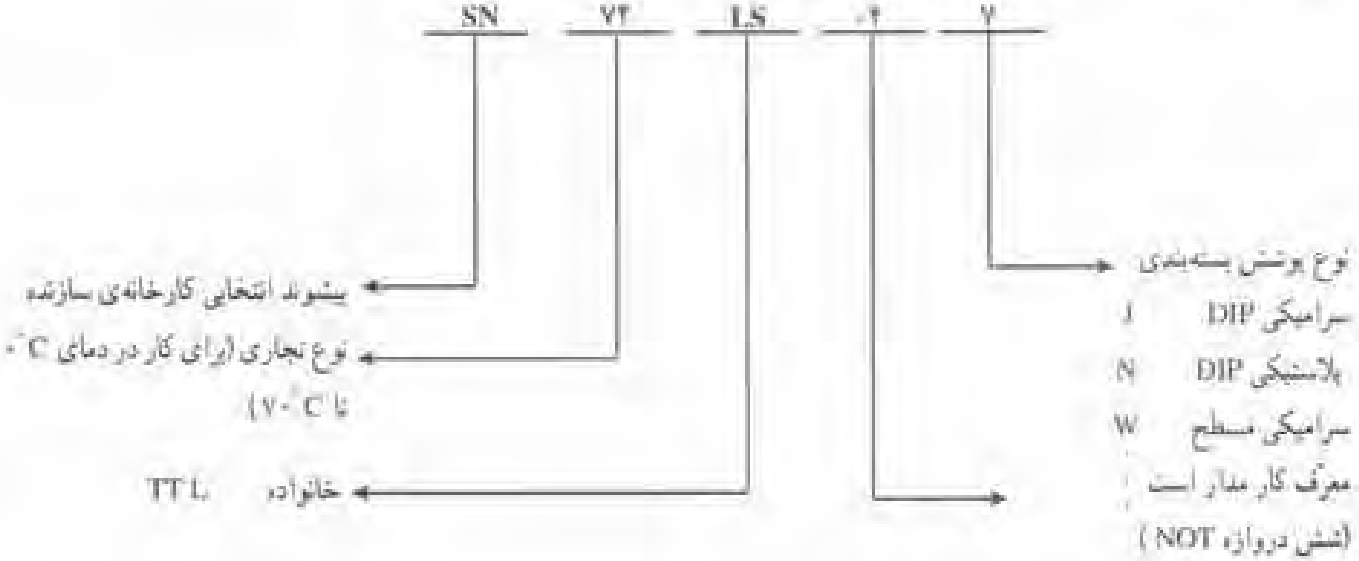
شکل ۳ـ۱۳ـ مدار Logic Probe

هرگاه سیم ورودی نشان‌دهنده را به نقطه‌ی موردنظر وصل کنید، اگر وضعیت منطقی آن نقطه در حالت «۱» باشد، لامپ قرمز روشن می‌شود و اگر این نقطه درحالت منطقی «۰» باشد لامپ سبز روشن می‌شود و چنانچه ورودی نشان‌دهنده را درست وصل نکرده باشید یا مدار اشکال داشته باشد، هر دو لامپ روشن خواهد شد.

اگر می‌خواهید از این مدار استفاده کنید در اولین جلسه‌ی آزمایشگاه آن را کاملاً تمیز و منظم در گوشه‌ی سمت راست

پردیُرد ببندید و تا انجام کلیه‌ی آزمایشها آن را باز نکنید*.

ب ــ آی‌سی‌های مورد نیاز: کلیه‌ی آی‌سی‌هایی که برای آزمایش‌ها از آن‌ها استفاده خواهید کرد از نوع TTL معمولی انتخاب شده‌اند. این آی‌سی‌ها به «سری ۷۴» مشهورند، زیرا دو رقم سمت چپ شماره‌ی سریال همه‌ی آن‌ها با ۷۴ شروع می‌شود.



ممکن است بعد از این دو رقم یک تا سه حرف آمده باشند و پس از این حروف نیز دو یا سه رقم دیگر و سرانجام یک یا دو حرف بعد از آن درج شده باشد که هریک از آن‌ها مفهوم خاصّی دارد. در مثال زیر این مفاهیم بیان شده است.

۷۴۰۴	نوع استاندارد	بدون حروف
۷۴H۰۴	نوع سریع	H (High-Speed)
۷۴L۰۴	کم‌مصرف	L (Low Power)
۷۴S۰۴	نوع شاتکی	S (Schottky)
۷۴LS۰۴	کم‌مصرف شاتکی	LS (Low Power Schottky)
۷۴AS۰۴	شاتکی اصلاح شده	AS (Advanced Schottky)
۷۴ALS۰۴	کم‌مصرف شاتکی اصلاح شده	ALS (Advanced Low Power Schottky)

۲ــ ۱۳ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

۱ــ آی سی ۷۴۰۰	۱ عدد	۵ــ آی سی ۷۴۲۲	۱ عدد
۲ــ آی سی ۷۴۰۲	۱ عدد	۶ــ آی سی ۷۴۸۶	۱ عدد
۳ــ آی سی ۷۴۰۴	۱ عدد	۷ــ دیود نوردهنده‌ی قرمز	۲ عدد
۴ــ آی سی ۷۴۰۸	۱ عدد	۸ــ مقاومت ۱۵۰ اهم، $\frac{1}{4}$ وات	۲ عدد

* اگر آزمایشگاه هنرستان شما مجهز به دستگاه آموزشی مدارهای منطقی باشد کلیه‌ی تجهیزات مورد نیاز روی آن نصب شده است و نیازی به ساختن این مدارها نخواهید داشت.

۳ــ ۱۳ــ مراحل آزمایش

۱ــ ۳ــ ۱۳ــ آشنایی با دروازه‌ی AND : AND

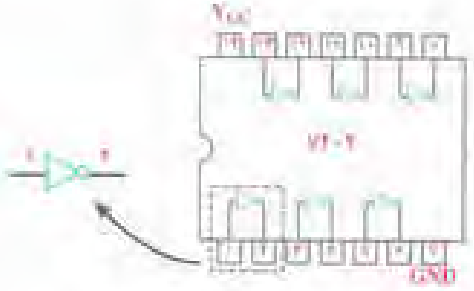
عمل منطقی‌ای است که دو یا چند متغیر بول را دربر می‌گیرد.

خروجی دروازه‌ی AND فقط هنگامی «۱» می‌شود که همه‌ی ورودی‌های آن «۱» باشند. در حالات دیگر خروجی آن «۰» خواهد بود. دروازه‌ی AND اساسی دو ورودی دارد. تعداد ورودی‌های دروازه‌ی AND را می‌توان با سری کردن چند دروازه‌ی دو ورودی به ۳ ، ۴ یا بیش‌تر افزایش داد.

الف ــ ترانه‌ی ۷۴۰۸: این ترانه یک آی‌سی ۱۴ پایه است که دارای چهار دروازه‌ی AND اساسی مطابق شکل ۴ــ۱۳ است.

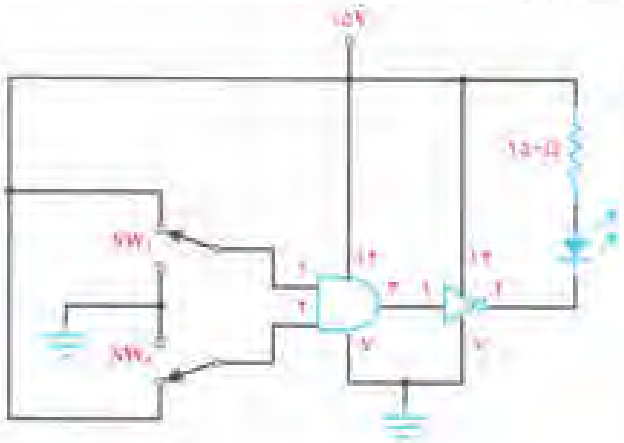
شکل ۴ــ۱۳ــ ساختار ترانه‌ی ۷۴۰۸

آی‌سی ۷۴۰۲ نیز یک آی‌سی ۱۴ پایه شامل ۶ دروازه‌ی NOT مطابق شکل ۵ــ۱۳ است.



شکل ۵ــ۱۳ــ ساختار ترانه‌ی ۷۴۰۲

به وسیله‌ی ترانه‌های ۷۴۰۸ و ۷۴۰۲ مدار شکل را ببندید و با قطع و وصل کلیدهای SW_1 و SW_2 وضعیت خاموش یا روشن لامپ LED را مشاهده نموده سپس جدول ۱ــ۱۳ را کامل کنید.



شکل ۶ــ۱۳ــ آزمایش دروازه‌ی AND با دو ورودی

جدول ۱ــ۱۳

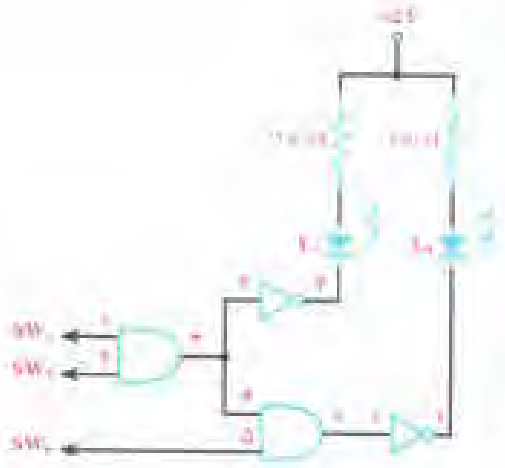
خروجی	ورودی‌ها	
$F = L_1$	$A = SW_1$	$B = SW_2$
خاموش	قطع	قطع
	وصل	قطع
	قطع	وصل
	وصل	وصل

۰ = لامپ خاموش ۰ = کلید قطع

۱ = لامپ روشن ۱ = کلید وصل

B	A	F
۰	۰	۰
۰	۱	
۱	۰	
۱	۱	

ب ــ توسعه‌ی دروازه‌ی AND : مداری مطابق شکل ۷ــ۱۳ ببندید و با تغییر وضعیت کلیدهای SW_1 و SW_2 و SW_3 حالت‌های خاموش یا روشن لامپ‌های L_1 و L_2 را مشاهده و نتیجه‌ی مشاهدات خود را در جدول ۲ــ۱۳ یادداشت کنید :



۷ـ۱۳ـ توسعه‌ی دروازه‌ی AND

جدول ۲ـ۱۳

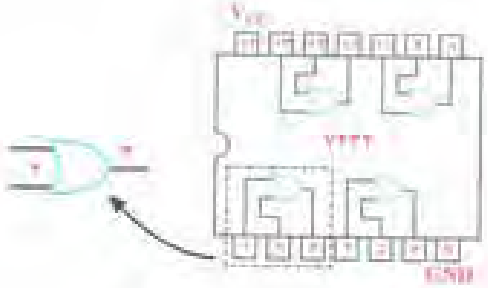
وضعیت ورودی‌ها			حالت خروجی‌ها	
$SW_3 = C$	$SW_2 = B$	$SW_1 = A$	$L_1 = AB$	$L_{1,2} = ABC$
۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۱		
۰	۱	۰		
۰	۱	۱		
۱	۰	۰		
۱	۰	۱		
۱	۱	۰		
۱	۱	۱		

۰ = کلید قطع
۱ = کلید وصل
۰ = لامپ خاموش
۱ = لامپ روشن

۲ـ۳ـ۱۳ـ آشنایی با دروازه‌ی OR : OR نیز عمل منطقی اساسی است که دو یا چند متغیر را دربر می‌گیرد.

خروجی یک دروازه‌ی OR هنگامی «۱» می‌شود که حداقل یکی از ورودی‌های آن «۱» باشد یا خروجی آن فقط زمانی «۰» می‌شود که همه‌ی ورودی‌های آن «۰» باشند. دروازه‌ی OR اساسی دو ورودی دارد. می‌توان با سری کردن چند دروازه‌ی دو ورودی دروازه‌هایی با ۳، ۴ و ... ورودی ساخت.

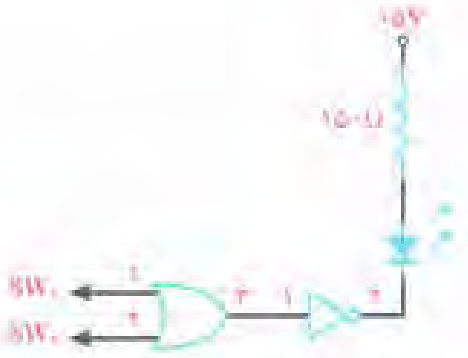
الف ـ ترانه‌ی ۷۴۳۲ یک آی سی ۱۴ پایه و شامل چهار دروازه‌ی OR اساسی، مطابق شکل ۸ـ۱۳ است.



شکل ۸ ـ۱۳ـ ساختار ترانه‌ی ۷۴۳۲

آی سی را روی بردبرد مطابق شکل ۹ـ۱۳ ببندید و با قطع و وصل کلیدهای SW_1 و SW_2 وضعیت روشن یا خاموش لامپ LED را مشاهده کنید.

سپس جدول ۳ـ۱۳ را تکمیل کنید.



شکل ۹ـ۱۳ـ آزمایش دروازه‌ی OR دو ورودی

جدول ۳ـ۱۳

خروجی	ورودی‌ها	
F	A	B
	۰	۰
	۱	۰
	۰	۱
	۱	۱

حالت خروجی	وضعیت ورودی‌ها	
$F = L_1$	$SW_1 = A$	$SW_2 = B$
خاموش	قطع	قطع
	وصل	قطع
	قطع	وصل
	وصل	وصل

ب ـ با استفاده از دروازه‌های AND و OR می‌توان بسیاری از عبارات منطقی را در شکل روابط بول بیان کرد. برای مثال، این عبارت را درنظر بگیرید:

«اگر خسرو بتواند از پدر یا مادرش اجازه بگیرد و اردشیر یا بهمن با اتومبیل به سراغ او بیایند، به کنار دریا می‌رود.»

این عبارت را می‌توان در شکل یک تابع بول بیان کرد.

متغیرهای این تابع را چنین تعریف می‌کنیم:

ـ خسرو به کنار دریا می‌رود ← F

ـ پدرش به او اجازه می‌دهد ← A

یا

ـ مادرش به او اجازه می‌دهد ← B

ـ اردشیر با اتومبیل به سراغ او می‌آید ← C

یا

ـ بهمن با اتومبیل به سراغ او می‌آید ← D

حال عبارت فوق را به این صورت بیان می‌کنیم:

$$F = (A + B).(C + D)$$

مدار تابع فوق به شکل ۱۰ـ۱۳ خواهد بود.

مدار را روی برد برد ببندید و جدول ۴ـ۱۳ را کامل کنید.

شکل ۱۰ـ۱۳ـ اجرای یک تابع حاصل‌ضرب مجموع‌ها

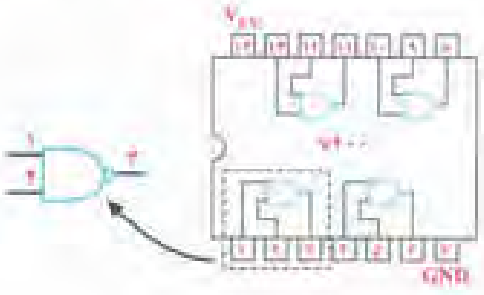
جدول ۲ـ۱۳

ورودی‌های مدار				خروجی‌های مدار		
A	B	C	D	$f_1=(A+B)$	$f_2=(C+D)$	$f=(A+B)(C+D)$

شرط این که خسرو به کنار دریا برود چیست؟

۳ـ۳ـ۱۳ـ آشنایی با دروازه‌ی NAND : می‌توان هر تابع منطقی را با استفاده از دروازه‌های AND ، OR و NOT اجرا کرد.

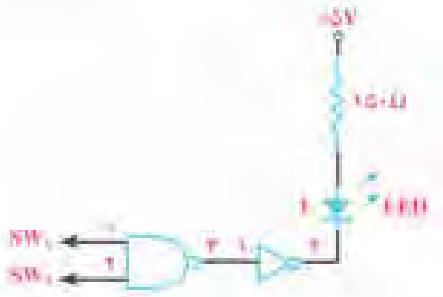
استفاده از تراشه‌های مختلف مدار را از نظر اندازه بیش از اندازه بزرگ و از نظر هزینه تمام‌شده گران می‌سازد.



شکل ۱۱ـ۱۳ـ الف ـ ساختار تراشه‌ی ۷۴۰۰

دروازه‌ی NAND یک دروازه‌ی کامل منطقی است، یعنی فقط با به‌کار بردن دروازه‌ی NAND می‌توان هر تابع منطقی را اجرا کرد.

الف ـ تراشه‌ی ۷۴۰۰: این تراشه یک آی سی ۱۴ پایه با چهار دروازه‌ی NAND دو ورودی مطابق شکل زیراست. (شکل ۱۱ـ۱۳ـ الف)



شکل ۱۱ـ۱۳ـ ب

آی سی را مطابق شکل ۱۲ـ۱۳ روی بردبرد ببندید و با قطع و وصل کلیدهای SW_1 و SW_0 وضعیت روشنایی LED را مشاهده نموده سپس جدول ۵ـ۱۳ را کامل کنید.

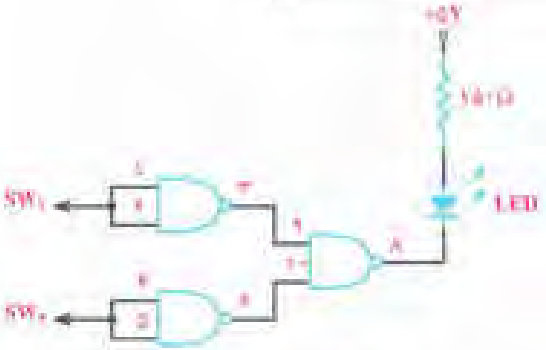
جدول ۵ـ۱۳

وضعیت ورودی‌ها		وضعیت خروجی
$SW_1 = A$	$SW_2 = B$	$LED = F$

کلید قطع = ۰
کلید وصل = ۱
لامپ خاموش = ۰
لامپ روشن = ۱

ب ــ تحقیق در مورد قضیه‌ی دمورگان:

۱ــ با استفاده از سه دروازه‌ی NAND مدار شکل ۱۲ــ۱۳ را ببندید و جدول ۶ــ۱۳ را کامل کنید.



شکل ۱۲ــ۱۳ــ بررسی قضیه‌ی دمورگان

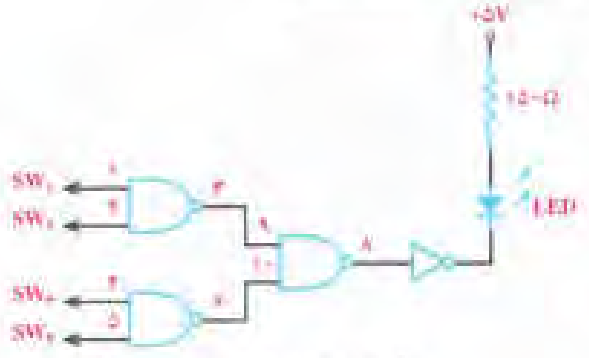
جدول ۶ــ۱۳

وضعیت ورودی‌ها		وضعیت خروجی
$SW_1 = A$	$SW_2 = B$	$LED = F$

کلید قطع = ۰
کلید وصل = ۱
لامپ خاموش = ۰
لامپ روشن = ۱

با مدار شکل ۱۲ــ۱۳ کدام عمل منطقی را می‌توان اجرا نمود؟

۲ــ مدار شکل ۱۳ــ۱۳ را با استفاده از آی‌سی ۷۴۰۰ روی بردبرد ببندید و با تغییر وضعیت کلیدهای SW_1 تا SW_4 جدول ۷ــ۱۳ را کامل کنید.



شکل ۱۳ــ۱۳ــ بررسی قضیه‌ی دمورگان

جدول ۷ـ۱۳

وضعیت خروجی	وضعیت ورودی‌ها			
LED = F	SW_1 B	SW_2 C	SW_3 D	SW_4 A

کلید قطع = ۰
کلید وصل = ۱
لامپ خاموش = ۰
لامپ روشن = ۱

تابع منطقی خروجی مدار شکل ۱۲ـ۱۳ را بنویسید.

۴ـ۳ـ۱۳ـ آشنایی با دروازه‌ی NOR : دروازه‌ی NOR نیز یک دروازه‌ی منطقی کامل است. یعنی به تنهایی می‌تواند برای اجرای هر تابع منطقی به کار رود.

الف ـ تراشه‌ی ۷۴۰۲: این تراشه یک آی‌سی ۱۴ پایه است که داخل آن چهار دروازه‌ی NOR دو ورودی، مطابق شکل ۱۴ـ۱۳ جای گرفته است.

شکل ۱۴ـ۱۳ـ ساختار تراشه‌ی ۷۴۰۲

آی‌سی را روی برد بورد نصب کنید و به کمک یکی از دروازه‌های داخل آن مدار شکل ۱۵ـ۱۳ را ببندید و جدول صحت ۸ـ۱۳ را کامل کنید.

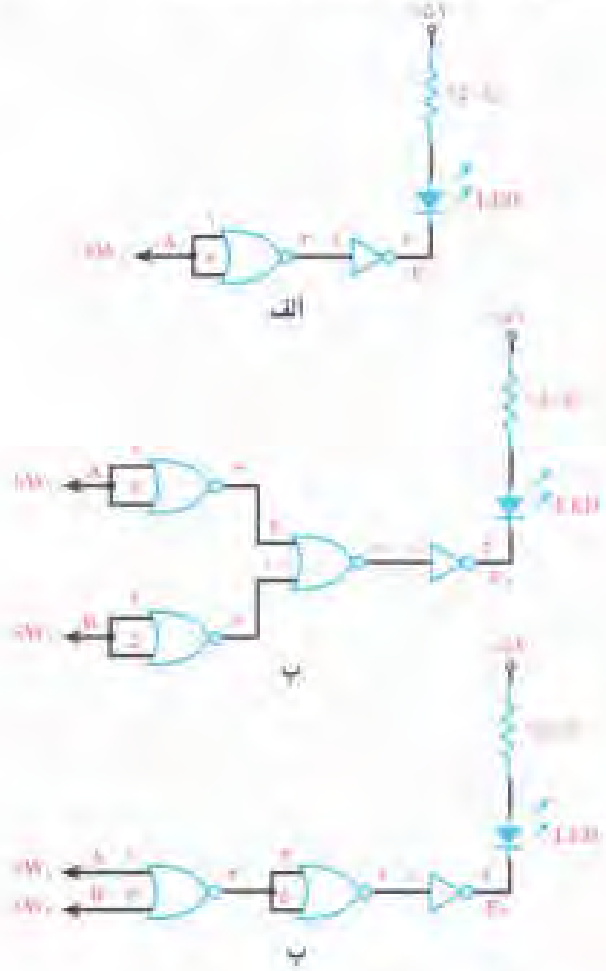
شکل ۱۵ـ۱۳ـ آزمایش دروازه‌ی NOR

جدول ۸ـ۱۳

وضعیت خروجی	وضعیت ورودی‌ها	
LED = F	SW_2 = B	SW_1 = A

کلید قطع = ۰
کلید وصل = ۱
لامپ خاموش = ۰
لامپ روشن = ۱

ب ــ تحقیق در مورد قضیه‌ی دمورگان: با ترانه‌ی ۷۴۰۲ هریک از مدارهای شکل ۱۶ــ۱۳ را ببندید و با انجام آزمایش جدول صحت هریک را به‌دست آورید.



شکل ۱۶ــ۱۳ــ روش ساختن دروازه‌های منطقی پایه به‌وسیله‌ی دروازه‌ی NOR

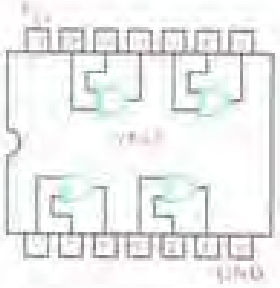
رابطه‌ی بولی هریک از توابع F_1، F_2 و F_3 را بنویسید.

ــ آیا می‌توانید این توابع را با دروازه‌ی NAND نیز اجرا کنید؟

۵ــ۳ــ۱۳ــ آشنایی با دروازه‌ی Exclusive OR یا XOR: در اغلب مدارهای محاسباتی، مدارهای مقایسه‌گر و مدارهای تشخیص خطا تابعی به فرم $A\bar{B} + \bar{A}B$ ظاهر می‌شود. این تابع را «یای انحصاری A و B» می‌نامند. یعنی تابع $F = A\bar{B} + \bar{A}B$، هنگامی «۱» می‌شود که منحصراً یکی از دو متغیر A یا B در حالت «۱» باشد.

الف ــ ترانه‌ی ۷۴۸۶: این ترانه یک آی‌سی ۱۴ پایه است که مطابق شکل ۱۷ــ۱۳ داخل آن چهار دروازه‌ی EX.OR گنجانده شده است.

آی سی را روی بردبرد نصب کنید و مدار شکل ۱۸ــ۱۳ را ببندید و جدول صحت ۹ــ۱۳ را کامل کنید.



شکل ۱۷ــ۴ــ ساختار دروازه‌ی X-OR

شکل ۱۸ــ۱۳ــ آزمایش دروازه‌ی X-OR

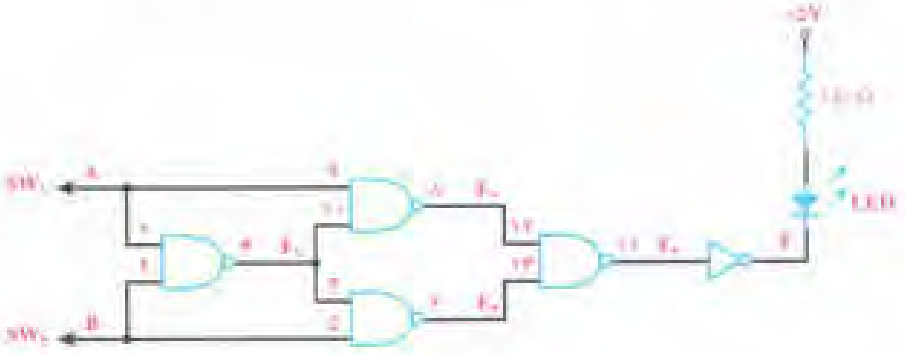
جدول ۹ــ۱۳

وضعیت خروجی	وضعیت ورودی‌ها	
LED = F	$SW_2 = B$	$SW_1 = A$

پ ــ اجرای تابع XOR با استفاده از دروازه‌ی NAND : با آی‌سی ۷۴۰۰ مدار شکل ۱۹ــ۱۳ را روی بردبرد

ببندید و با تغییر وضعیت کلیدها وضعیت روشنایی لامپ را مشاهده کنید؛ سپس جدول صحت ۱۰ـ۱۳ را کامل کنید.

هریک از خروجی‌های F_1، F_2، F_3، F_4 و F را برحسب متغیرهای A و B بیان کنید.



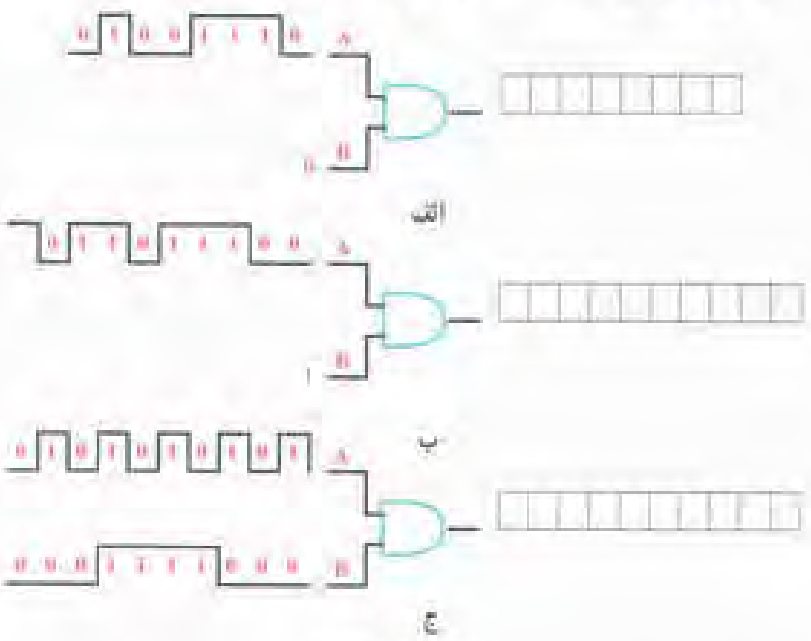
شکل ۱۱ـ۱۳ـ اجرای تابع XOR با دروازه‌ی NAND

جدول ۱۰ـ۱۳

وضعیت ورودی‌ها		وضعیت خروجی
$SW_1 = A$	$SW_2 = B$	$LED = F$

۴ـ۱۳ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ شکل موج خروجی دروازه AND را در هریک ازحالت‌های زیر رسم کنید :



شکل ۲۰ـ۱۴

۲ـ با چند دروازه‌ی AND دو ورودی می‌توانیم یک دروازه‌ی AND چهار ورودی بسازیم؟

۳ـ یکی از سه ورودی یک دروازه‌ی NOR در حالت «۱» منطقی و وضعیت ورودی‌های دیگر آن نامشخص است. خروجی این دروازه در کدام حالت زیر است؟

الف ـ حالت منطقی «۰» ب ـ حالت منطقی «۱» ج ـ حالت آن را نمی‌توان حدس زد.

۴ـ در یک هواپیما چهار سیستم مهم کار گذاشته شده است که عملیات هریک از آن‌ها مستقل از دیگری است. برای اطمینان از عملکرد درست کلیه‌ی سیستم‌ها یک لامپ خطر در کابین خلبان کار گذاشته شده است. کار این لامپ اعلام خطر کردن وضعیت اضطراری است. این چهار حالت خطرناک این‌گونه تعریف شده است :

الف ـ سیستم‌های A و B از کار بازایستند.

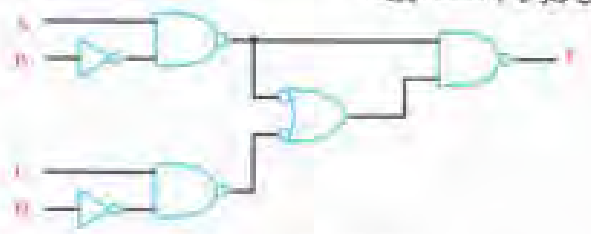
ب ـ سیستم‌های A ، D و C از کار باز ایستند.

ج ـ سیستم‌های B ، C و D از کار بازایستند.

د ـ سیستم‌های A و D از کار باز ایستند.

تابع اعلام خطر F را برحسب متغیرهای A ، B ، C و D بیان کنید.

۵ـ تابع منطقی مدار شکل زیر را به‌دست آورید :



شکل ۲۱ـ۱۴

برای هنرآموز

مدارهای جمعگر و تفریقگر

هدف کلی آزمایش

بررسی چگونگی عمل جمع یا تفریق دوعدد باینری.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ مدار یک تیم جمعگر را با دروازه‌های NAND بسازد.

۲ـ تمام جمعگر یک بیتی را با دروازه‌های X - OR ، NAND و NOT اجرا کند.

۳ـ ترانه‌ی ۷۴۸۳ را بشناسد.

۴ـ دو عدد باینری چهاربیتی را با استفاده از ترانه‌ی ۷۴۸۳ با هم جمع کند.

۵ـ دو عدد باینری چهاربیتی را با یک ترانه‌ی ۷۴۸۳ و یک ترانه‌ی ۷۴۸۶ با هم جمع یا از هم کم کند.

۱ـ۱۴ـ اطلاعات اولیه

واحد محاسبه‌گر عنصر اساسیِ دستگاه کامپیوتر است. در این واحد اصولاً دو عمل جمع و تفریق صورت می‌گیرد. برای این کار از جمعگرهای اساسی استفاده می‌کنند.

در شکل زیر روش جمع کردن دو عدد باینری نشان داده شده است. جمع باینری از همان اصول جمع در سیستم ده‌دهی تبعیت می‌کند، اما در سیستم باینری فقط دو رقم «۰» و «۱» داریم، بنابراین وقتی مجموع دو رقم از «۱» بیش‌تر شود، یک رقم نقلی «۱» به ستون بعدی منتقل می شود.

همان‌گونه که در سیستم ده‌دهی وقتی مجموع دو رقم از ۹ بیش‌تر شود «ده بر یک» به ستون بعدی منتقل می‌شود.

$$\begin{array}{rl} & \overbrace{C_n}^{} \quad \overbrace{C_{n-1}}^{} \quad \overbrace{C_k}^{} \quad \overbrace{C_2}^{} \quad \overbrace{C_1}^{} \quad \overbrace{C_0}^{} \\ (\text{عدد A}) & a_{n-1} \quad a_k \cdots a_2 \; a_1 \; a_0 \\ + (\text{عدد B}) & \underline{b_{n-1} \cdots b_k \cdots b_2 \; b_1 \; b_0} \\ & S_n \cdots S_k \cdots S_2 \; S_1 \; S_0 \end{array}$$

برای اجرای عمل جمع یادشده باید n طبقه جمعگر یک رقمی را پشت سرهم ببندیم به‌گونه‌ای که رقم نقلی خروجی هر طبقه به ورودی رقم نقلی طبقه‌ی بعدی منتقل شود.

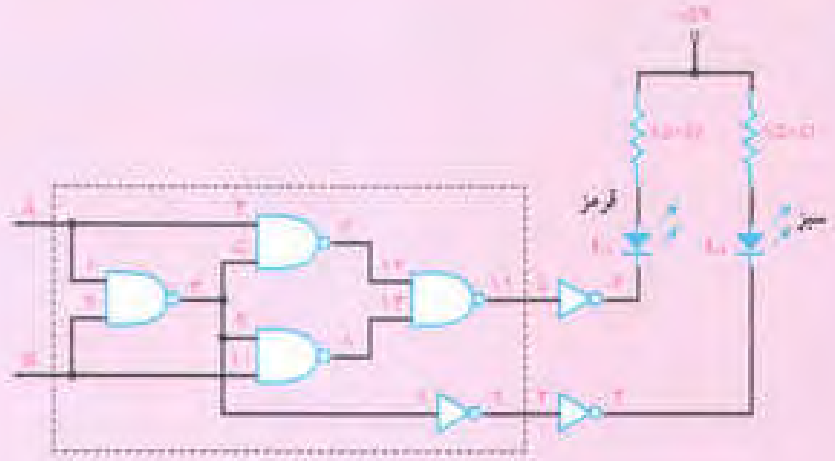
برای عطالعه

۲ـ۱۴ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

۱ـ آی‌سی ۷۴۰۰	۱ عدد
۲ـ آی سی ۷۴۰۴	۱ عدد
۳ـ آی سی۷۴۸۳	۱ عدد
۴ـ آی سی ۷۴۸۶	۱ عدد
۵ـ لامپ LED قرمز	۴ عدد
۶ـ لامپ LED سبز	۱ عدد
۷ـ مقاومت ۱۵۰ اهم، $\frac{1}{4}$ وات	۵ عدد

۳ـ۱۴ـ مراحل آزمایش

۱ـ ۳ـ۱۴ـ مدار نیم‌جمع‌گر: با استفاده از دو آی‌سی ۷۴۰۰ و ۷۴۰۴ مدار شکل زیر را روی بردبرد ببندید و با تغییر وضعیت کلیدهای SW_1 و SW_2 وضعیت روشنایی لامپ‌های L_1 و L_2 را مشاهده کنید، سپس جدول صحت ۱ـ۱۴ را کامل کنید.



شکل ۱ـ۱۴ـ مدار نیم جمع‌گر

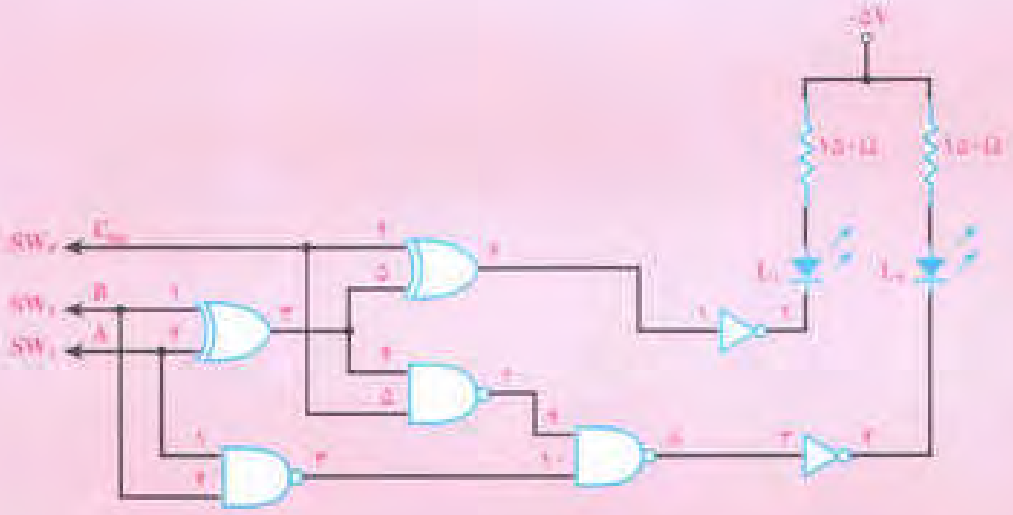
جدول ۱ـ۱۴

وضعیت ورودی‌ها		وضعیت خروجی	
$SW_1 = A$	$SW_2 = B$	$L_1 = S$	$L_2 = C$

کلید قطع = ۰
کلید وصل = ۱
لامپ خاموش = ۰
لامپ روشن = ۱

برای علاقه

۲ـ۳ـ۱۴ـ مدار تمام جمعگر یک رقمی: با استفاده از دو ترانه‌ی ۷۴۸۶ و ۷۴۰۰ و یک ترانه‌ی ۷۴۰۲ مدار شکل زیر را ببندید و با تغییر وضعیت کلیدها وضعیت روشنایی لامپ‌ها را مشاهده کنید؛ سپس جدول صحت ۲ـ۱۴ را کامل کنید.



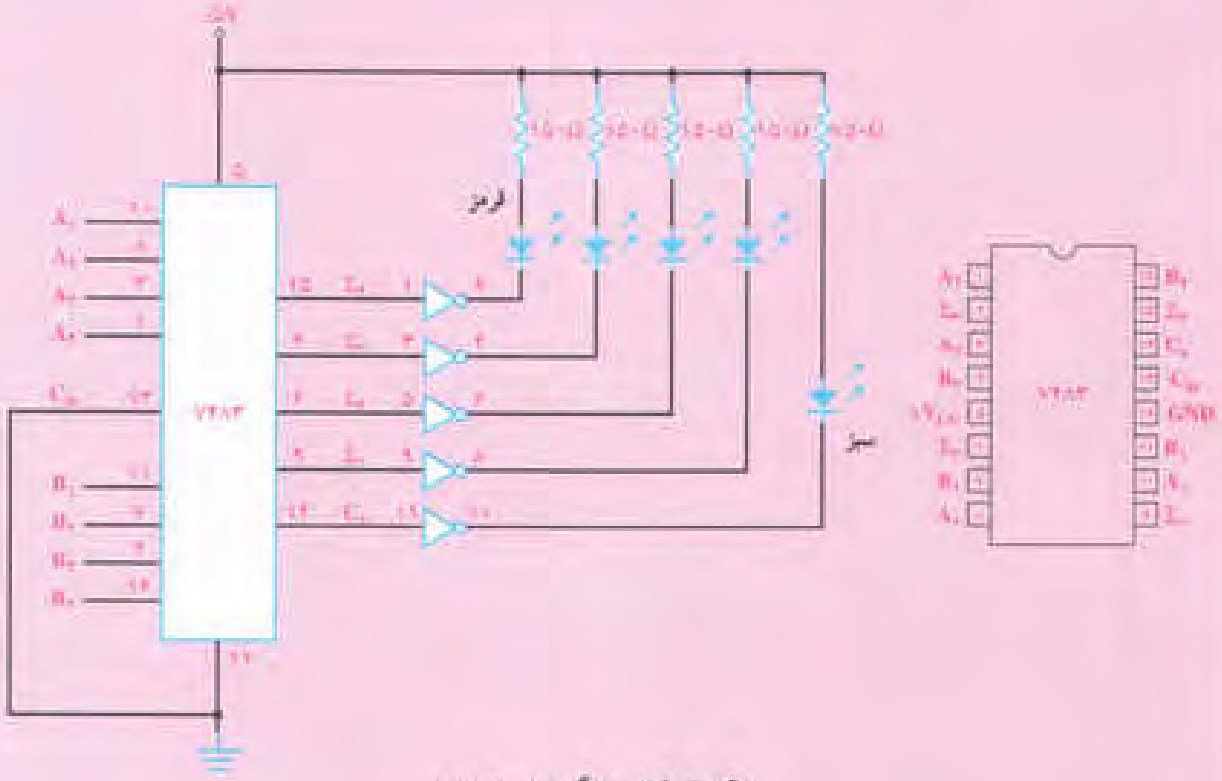
شکل ۲ـ۱۴ـ مدار تمام جمعگر یک بیتی

جدول ۲ـ۱۴

وضعیت ورودی‌ها			وضعیت خروجی‌ها	
SW_1 A	SW_2 B	SW_3 C_{in}	$L_1 = S$	$L_2 = C_{out}$

برای مطالعه

۳ـ۳ـ۱۴ـ ترانه‌ی ۷۴۸۳: این تراشه یک جمعگر باینری چهار بیتی است این جمعگر دارای دو ورودی چهاربیتی $A_4A_3A_2A_1$ برای عدد A ، چهار ورودی $B_4B_3B_2B_1$ برای عدد B ، ورودی C_0 ، چهار خروجی Σ_1 Σ_2 Σ_3 Σ_4 برای حاصل جمع و یک خروجی C_4 برای رقم نقلی نهایی است. آی‌سی را روی بردبرد ببندید و با انتخاب مقادیر مختلف برای دوعدد باینری چهاربیتی $A = A_4A_3A_2A_1$ و $B = B_4B_3B_2B_1$ وضعیت خروجی‌های جمعگر را مشاهده کرده سپس جدول صحت ۳ـ۱۴ را کامل کنید :



شکل ۳ـ۱۴ـ جمعگر باینری چهاربیتی

جدول ۳ـ۱۴

وضعیت ورودی‌ها								وضعیت خروجی‌ها				
A_4	A_3	A_2	A_1	B_4	B_3	B_2	B_1	C_0	Σ_4	Σ_3	Σ_2	Σ_1
۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱					
۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱					
۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰					
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱					

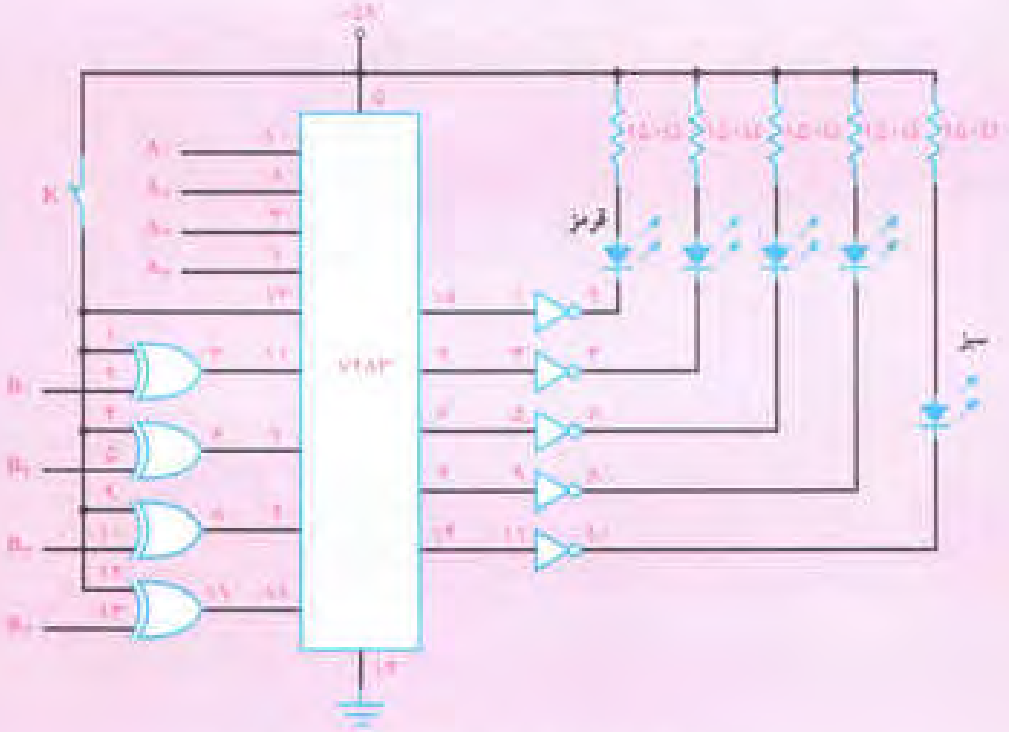
برای علاقه‌مند

۴ـ۳ـ۱۴ـ تفریق را معمولاً با جمع و به روش متمم حقیقی انجام می‌دهند.

مدار شکل ۴ـ۱۴ را با استفاده از دو آی سی ۷۴۸۳ و ۷۴۸۶ و یک ترانه‌ی ۷۴۰۲ روی برد برد ببندید و با ایجاد وضعیت ورودی انتخاب شده، وضعیت روشنایی لامپ‌ها را مشاهده و جدول صحّت ۴ـ۱۴ را کامل کنید.

خط مشترک دروازه‌های X ،OR را از نقطه‌ی K از ۵V+ قطع و به زمین متصل کنید و دوباره جدول فوق را تکمیل کنید.

از این آزمایش و آزمایش مرحله‌ی قبل چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



شکل ۴ـ۱۴ـ انجام عمل تفریق به کمک جمعگر باینری ۷۴۸۳

جدول ۴ـ۱۴

وضعیت ورودی‌ها								وضعیت خروجی‌ها			
A_0	A_2	A_2	A_1	B_2	B_2	B_2	B_1	Σ_2	Σ_2	Σ_2	Σ_1
۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱				
۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰				
۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱				
۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰				

برای مطالعه

۴ـ۱۴ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در مدار شکل ۴ـ۱۴ چرا باید پایه‌ی شماره‌ی ⑬ آی‌سی ۷۴۸۳ را به خط کنترل (کلید K) وصل کنیم؟

۲ـ اگر بخواهیم تمام حالت های مدار شکل ۴ـ۱۴ را در یک جدول نشان دهیم این جدول چند سطر خواهد داشت؟

۳ـ اگر در مدار شکل ۴ـ۱۴ پایه‌ی شماره‌ی ⑫ را به زمین وصل نکنیم در نتیجه‌ی جمع چه تغییری حاصل می‌شود؟

آزمایش شماره‌ی ۱۵

آشنایی با فلیپ فلاپ‌ها

هدف کلی آزمایش

بررسی رفتار انواع فلیپ فلاپ‌ها

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ــ RS-FF را با دروازه‌ی NAND ببندد و جدول صحّت آن‌را به‌دست آورد.

۲ــ RS-FF ساعتی را با دروازه‌های NAND و AND ببندد و اثر کنترلی ساعت را درک کند.

۳ــ JK-MS-FF را با دروازه‌ی NAND بسازد.

۴ــ JK-MS-FF را به D-FF یا T-FF تبدیل کند.

۵ــ ترانه‌ی ۷۴۷۶ را بشناسد.

۱ــ ۱۵ ــ اطلاعات اوّلیه

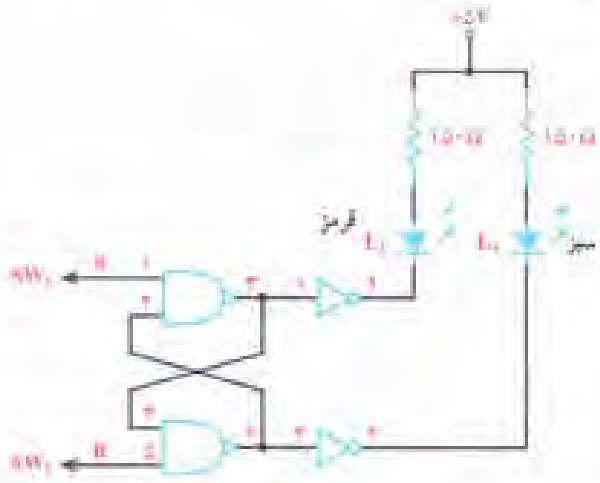
فلیپ فلاپ‌ها ساده‌ترین مدارهای ترتیبی هستند که از آن‌ها به‌منظور سطوح حافظه برای ذخیره و نگه‌داری اطلاعات استفاده می‌کنیم. با چند فلیپ فلاپ می‌توان یک رجیستر یا یک شمارنده ساخت. علاوه بر این، برای تقسیم فرکانس، آشکار سازی فاز و نظایر آن باید از فلیپ فلاپ‌ها استفاده کرد.

۲ــ ۱۵ ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

۱ــ آی‌سی ۷۴۰۰	۲ عدد
۲ــ آی‌سی ۷۴۰۴	۲ عدد
۳ــ آی سی ۷۴۱۰	۱ عدد
۴ــ آی‌سی ۷۴۱۱	۱ عدد
۵ــ آی‌سی ۷۴۷۶	۱ عدد
۶ــ LED قرمز	۲ عدد
۷ــ LED سبز	۲ عدد
۸ــ مقاومت ۱۵۰ اهم، $\frac{1}{4}$ وات	۴ عدد

۳ــ ۱۵ــ مراحل آزمایش

۱ــ۳ــ ۱۵ــ با استفاده از آی‌سی ۷۴۰۰ مدار شکل زیر را روی بردبرد ببندید و با تغییر وضعیت کلیدها، حالت خاموش یا روشن لامپ‌ها را مشاهده، سپس جدول صحّت ۱ــ ۱۵ را کامل کنید.

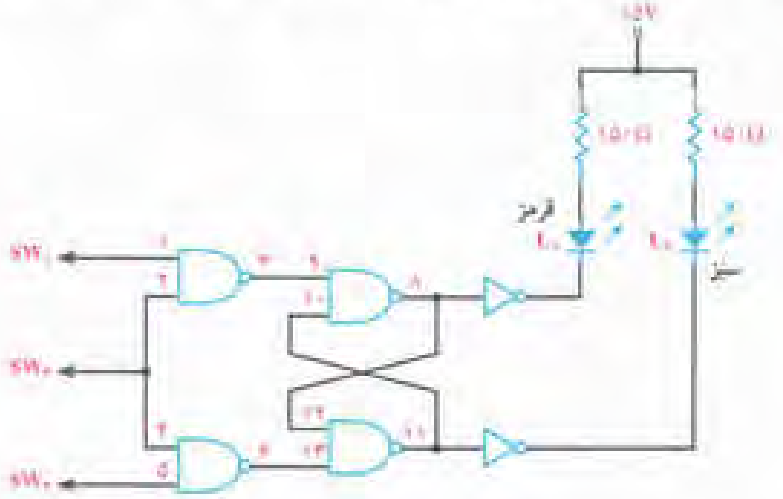


شکل ۱ــ ۱۵ــ مدار آزمایش RS-FF

جدول ۱ـ ۱۵

وضعیت ورودی‌ها		وضعیت قبلی خروجی‌ها		وضعیت خروجی‌ها بعد از تغییر وضعیت	
$SW_1 = S$	$SW_2 = R$	L_1	L_2	L_1	L_2

۲ـ۳ـ ۱۵ـ مدار RS-FF را مطابق شکل زیر اصلاح کنید و دوباره جدول صحت ۲ـ ۱۵ را کامل کنید.



شکل ۲ـ ۱۵ـ مدار RS-FF ساختی

جدول ۲ـ ۱۵

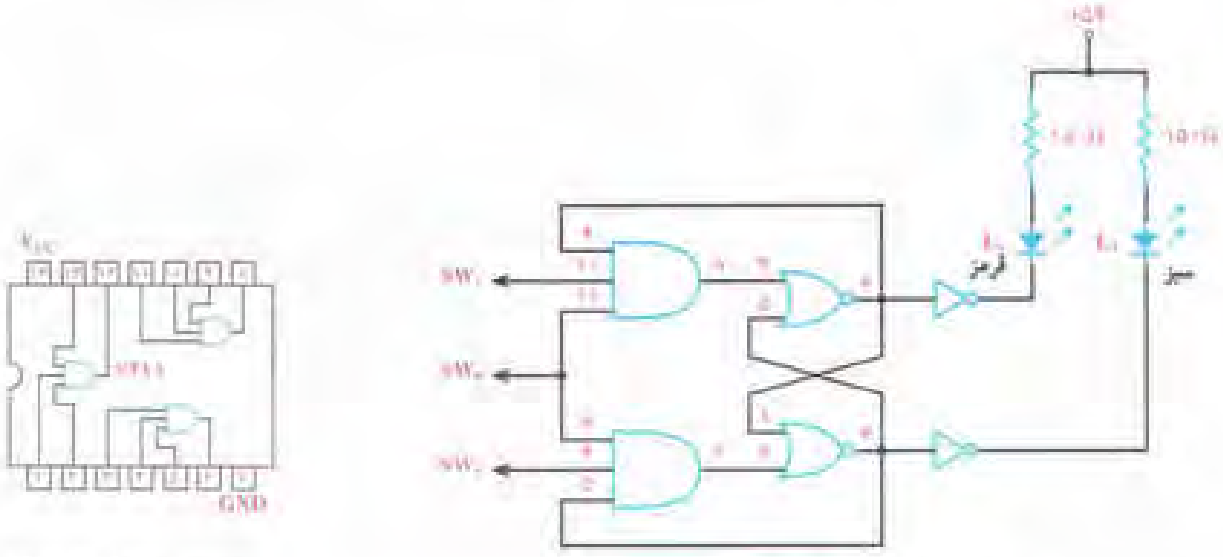
وضعیت ورودی‌ها			وضعیت قبلی خروجی‌ها		وضعیت خروجی‌ها بعد از تغییر وضعیت	
SW_3	SW_2	SW_1	L_1	L_2	L_1	L_2
۰	۰	۰				
۰	۰	۱				
۰	۱	۰				
۰	۱	۱				
۱	۰	۰				
۱	۰	۱				
۱	۱	۰				
۱	۱	۱				

ـ از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

ـ آیا حالت غیرمجاز مدار شکل ۱ـ۱۵ برطرف شده است؟

ـ مدار شکل ۲ـ۱۵ بر مدار شکل ۱ـ۱۵ چه برتری‌ای دارد؟

۳ـ۳ـ۱۵ـ آشنایی با JK-FF: با استفاده از آی‌سی‌های ۷۴۰۴، ۷۴۱۱ و ۷۴۰۲ مدار شکل زیر را روی بردبرد ببندید.



الف ـ مدار آزمایش JK-FF

ب ـ ساختار تراشه‌ی ۷۴۱۱

شکل ۳ـ۱۵ـ مدار JK-FF با دروازه‌های NOR و AND

با تغییر وضعیت کلیدها وضعیت روشنایی لامپ‌های $L_{۰}$ و $L_{۱}$ را مشاهده نموده سپس جدول صحت ۳ـ۱۵ را کامل کنید.

جدول ۳ـ۱۵

وضعیت ورودی‌ها			وضعیت قبلی خروجی‌ها		وضعیت خروجی‌ها بعد از تغییر وضعیت	
$SW_{۰}$	$SW_{۱}$	$SW_{۲}$	$L_{۰}$	$L_{۱}$	$L_{۰}$	$L_{۱}$

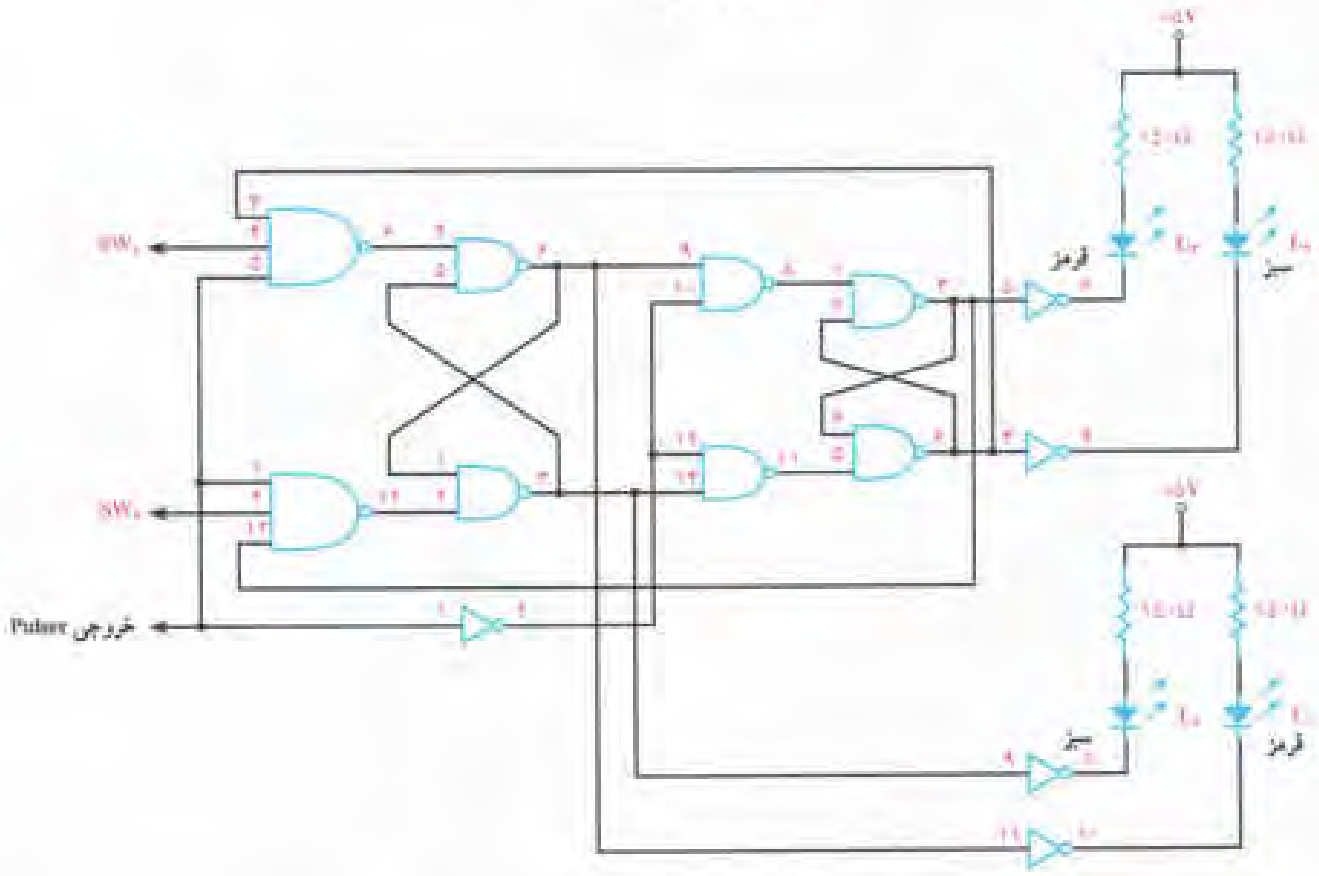
ـ وضعیت روشنایی لامپ‌های L_1 و L_2 را درحالتی که هرسه کلید SW_1، SW_2 و SW_3 در حالت منطقی «۱» است به‌دقّت مشاهده کنید.

آیا در شدت نور آن‌ها نسبت به حالت‌هایی که حداقل یکی از کلیدها در حالت منطقی «۰» باشد تغییری مشاهده می‌کنید؟ علّت آن چیست؟

۴ـ۳ـ۱۵ـ آشنایی با T-FF ، D-FF ، JK-MS-FF :

الف ـ با استفاده از آی‌سی‌های ۷۴۱۰ و ۷۴۰۰ مدار شکل زیر را روی بردبرد ببندید. با ایجاد حالت‌های مختلف برای کلیدهای SW_1 و SW_2 و تغییر وضعیت کلید پالسر وضعیت روشنایی لامپ‌های L_1، L_2، L_3 و L_4 را مشاهده نمایید؛ سپس جدول صحّت ۴ـ ۱۵ را کامل* کنید:

«ساختار تراشه‌ی ۷۴۱۰»



شکل ۴ـ ۱۵ـ مدار آزمایش JK-MS-FF

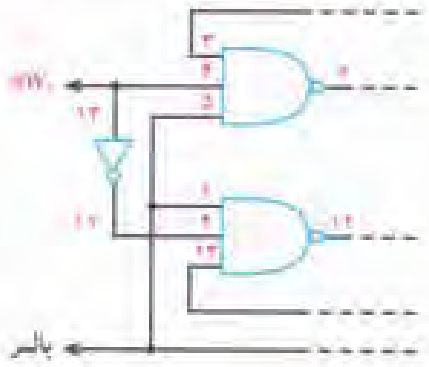
* در این آزمایش باید ابتدا برای کلیدهای SW_1 و SW_2 یک وضعیت معین ایجاد کنید؛ سپس کلید Pulser را یک‌بار تغییر داده به‌وضعیت اولیه‌ی آن برگردانید و بعد از این تغییر وضعیت روشنایی لامپ‌ها را مشاهده کنید.

جدول ۴ــ ۱۵

وضعیت ورودی‌ها		وضعیت اولیه‌ی خروجی‌ها				وضعیت خروجی‌ها بعد از پالس ساعت			
SW_1	SW_2	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}

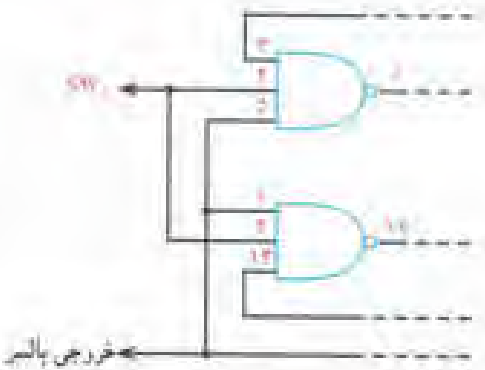
چگونگی انتقال وضعیت L_{11} و L_{12} را به L_{13} و L_{14} در اثر فرمان پالس به‌دقت دنبال کنید و نتیجه‌ی مشاهدات خود را بنویسید.

ب ــ اینک ورودی مدار را مانند شکل زیر تغییر دهید: سپس با تغییر وضعیت SW_1 وضعیت روشنایی L_{13} و L_{14} پس از هر فرمان پالس را مشاهده و نتیجه‌ی مشاهدات خود را بنویسید.



شکل ۵ ــ ۱۵

ب ــ اکنون ورودی‌های مدار شکل ۴ــ۱۵ را مانند شکل ۶ــ۱۵ تغییر دهید و دوباره پس از ایجاد حالت‌های مختلف برای کلید SW_1 ــ هربار با فشردن و رهاکردن کلید پالس ــ وضعیت روشنایی L_{13} و L_{14} را مشاهده کنید و نتیجه‌ی مشاهدات خود را بنویسید.

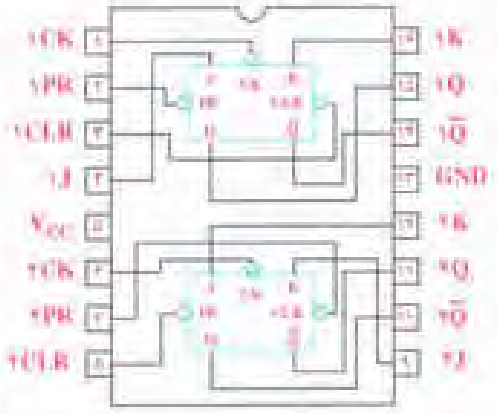


شکل ۶ــ ۱۵

۵ ــ۳ــ ۱۵ــ آشنایی با تراشه‌ی ۷۶ LS ۷۴: با فلیپ‌فلاپ JK-MS، در میان فلیپ فلاپ‌ها دارای بیش‌ترین کاربرد است. آی‌سی ۷۴LS۷۶ یک تراشه‌ی ۱۶ پایه است که داخل آن دو عدد فلیپ‌فلاپ JK-MS جاسازی شده است. جدول صحت و نمای داخلی این آی‌سی در شکل صفحه‌ی بعد نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید این فلیپ‌فلاپ با لبه‌ی پایین‌رونده‌ی ساعت عمل می‌کند. با استفاده از این آی‌سی آزمایش‌های زیر را انجام دهید.

INPUTS					OUTPUTS	
PRESET	CLEAR	CLOCK	J	K	Q	$\overline{Q}$
L	H	X	X	X	H	L
H	L	X	X	X	L	H
L	L	X	X	X	H*	H*
H	H	↓	L	L	Q	$\overline{Q}$
H	H	↓	H	L	H	L
H	H	↓	L	H	L	H
H	H	↓	H	H	TOGGLE	
H	H	H	X	X	Q	$\overline{Q}$

ب



الف

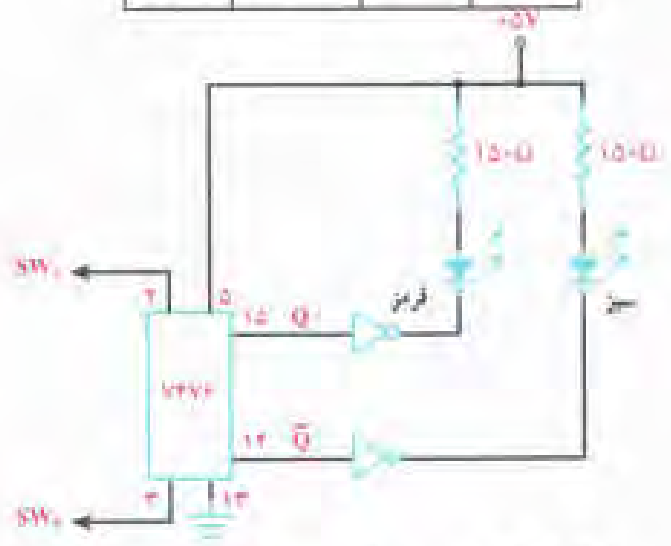
شکل ۷ــ ۱۵ــ ساختار داخلی (الف) و جدول عملکرد(ب) ترانشه‌ی ۷۴LS۷۶

الف ــ بررسی عملکرد ورودی‌های Preset و Clear:

مداری مطابق شکل زیر ببندید و با تغییر وضعیت کلیدهای SW_1 و SW_2 وضعیت روشنایی لامپ‌های L_1 و L_2 را مشاهده، سپس جدول صحت ۵ ــ ۱۵ را کامل کنید.

جدول ۵ ــ ۱۵

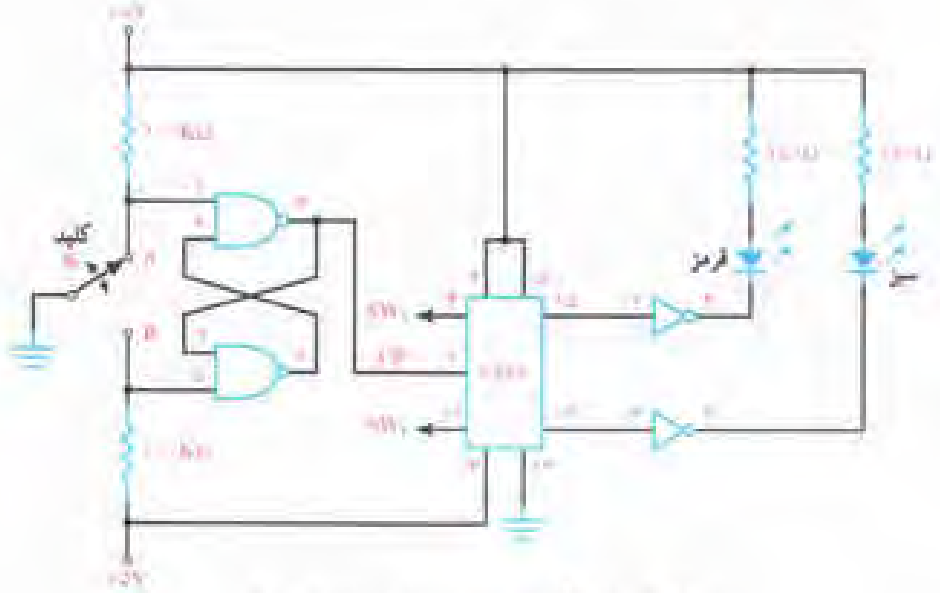
SW_1	SW_2	Q	$\overline{Q}$
۰	۰		
۰	۱		
۱	۰		
۱	۱		



شکل ۸ ــ ۱۵ــ بررسی عملکرد ورودی‌های Preset و Clear

ــ چرا نمی‌توانیم هم‌زمان کلیدهای SW_1 و SW_2 را در حالت منطقی «۰» قرار دهیم.

ب ــ بررسی عملکرد ورودی‌های اصلی فلیپ‌فلاپ: مطابق شکل ۹ــ۱۵ پایه‌های شماره‌ی ۲ و ۳ آی‌سی را به ۵V+ و پایه‌های ۴ و ۱۶ را به‌ترتیب به کلیدهای SW_1 و SW_2 وصل کنید؛ سپس پایه‌ی شماره‌ی ۱ آی‌سی را به خروجی مدار پالسر وصل کنید.



شکل ۹ــ ۱۵ــ آزمایش بررسی رفتار ورودی‌های اصلی

کلید K را طوری انتخاب کنید که در حالت عادی در وضعیت A بماند.

ــ بدون تغییر دادن وضعیت کلید K کلیدهای SW_1 و SW_2 را تغییر دهید و وضعیت روشنایی لامپ‌ها را مشاهده کنید.

ــ نتیجه‌ی مشاهدات خود را بنویسید.

اینک پس از ایجاد هر حالت برای کلیدهای SW_1 و SW_2 کلید K را یک‌بار بزنید و در هر مورد وضعیت روشنایی لامپ‌های L_1 و L_2 را مشاهده کنید؛ سپس جدول صحت ۶ــ ۱۵ را کامل کنید.

پردانست خود را از جدول زیر در یک سطر بیان کنید.

جدول ۶ــ ۱۵

وضعیت ورودی‌ها			وضعیت خروجی‌ها قبل از تغییر وضعیت		وضعیت خروجی‌ها بعد از تغییر وضعیت	
$SW_1 = J$	$SW_2 = K$	کلید K = CP	$L_1 = Q$	$L_2 = \overline{Q}$	$L_1 = Q$	$L_2 = \overline{Q}$
۰	۰	۱				
۰	۱	۱				
۱	۰	۱				
۱	۱	۱				
۰	۰	⎍				
۰	۱	⎍				
۱	۰	⎍				
۱	۱	⎍				

۴ـ۱۵ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ یک سلول حافظه‌ی ایده‌آل باید دارای چه مشخصاتی باشد.

۲ـ چرا در عمل از JK-FF معمولی استفاده نمی‌کنند و به‌جای آن از JK-MS-FF یا JK-FF عامل با لبه‌ی پالس ساعت استفاده می‌شود.

۳ـ اگر همزمان ورودی‌های Preset و Clear آی‌سی ۷۴۷۶ را به زمین وصل کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

۴ـ کاربری ویژه‌ی D-FF در چیست؟

آزمایش شماره‌ی ۱۶

شیفت رجیسترها و شمارنده‌ها

هدف کلی آزمایش

بررسی چگونگی ثبت و انتقال اطلاعات در شیفت رجیسترها و مدارات شمارنده.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ به وسیله‌ی فلیپ‌فلاپ‌هایی که ورودی‌های Preset و Clear آن‌ها در دسترس باشد، رجیستر PI/PO را بسازد.

۲ـ تراشه‌ی ۷۴۱۶۵ را بشناسد.

۳ـ انتقال اطلاعات سری را درک کند.

۴ـ تراشه‌ی ۷۴۱۹۴ را بشناسد.

۵ـ با تراشه‌ی ۷۴۱۹۴ یک شیفت رجیستر چپگرد ـ راستگرد بسازد.

۶ـ با استفاده از JK-MS-FF مدار یک شمارنده‌ی بایری را ببندد.

۷ـ مدار یک شمارنده‌ی دهدهی را ببندد.

۸ـ تراشه‌ی ۷۴۲۹۳ را بشناسد.

۱ـ۱۶ـ اطلاعات اولیه

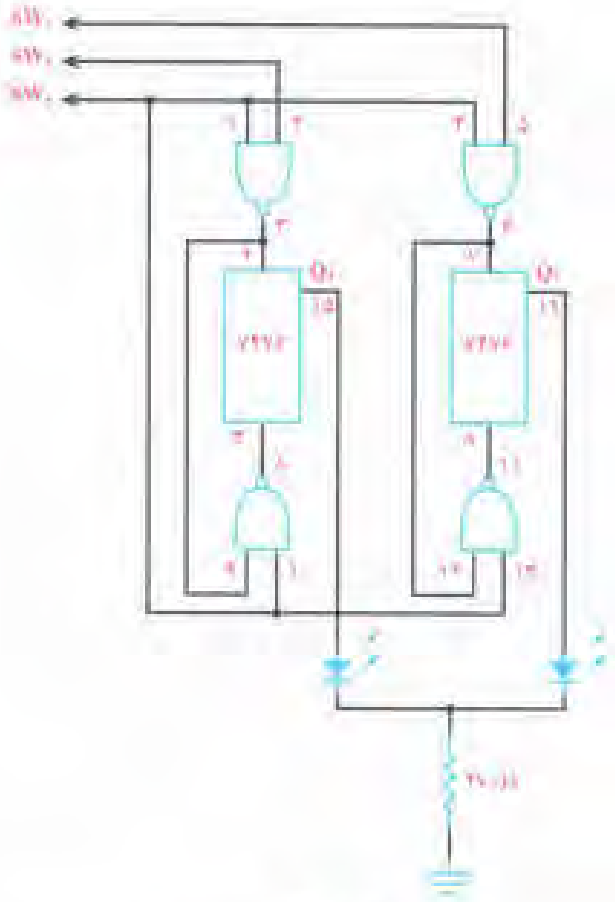
شیفت رجیسترها برای حفظ اطلاعات به‌کار می‌روند. علاوه بر این، می‌توان از آن‌ها برای انتقال اطلاعات نیز استفاده کرد. شیفت رجیسترها به‌علت کاربرد وسیعی که در سیستم‌های دیجیتالی دارند با قابلیت‌های متفاوت و تنوّع زیاد در بازار یافت می‌شوند. در جدول ۱ـ۱۶ مشخصات چند تراشه‌ی صنعتی آمده‌است:

جدول ۱ـ۱۶

شماره‌ی قطعه	مشخصات عمومی قطعه
۷۴۱۹۱۸	شیفت رجیستر ۸ بیتی از نوع ورودی سری ـ خروجی سری
۷۴۱۹۶	شیفت رجیستر ۵ بیتی با ورودی‌های موازی آسنکرون، ورودی سری، خروجی سری، خروجی‌های موازی و خط Reset مشترک
۷۴۱۶۴	شیفت رجیستر ۸ بیتی با ورودی سری ـ خروجی سری یا موازی و خط Reset مشترک.
۷۴۱۶۵	شیفت رجیستر ۸ بیتی با ورودی سری یا موازی ـ خروجی سری.
۷۴۱۷۹	شیفت رجیستر ۴ بیتی با ورودی سری ـ خروجی سری یا موازی و ورودی‌های موازی سنکرون
۷۴۱۹۴	شیفت رجیستر ۴ بیتی چپگرد ـ راستگرد با ورودی سری ـ خروجی سری یا موازی و ورودی‌های موازی سنکرون

۲ـ۱۶ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

۱ـ آی‌سی ۷۴۰۰	۲ عدد
۲ـ آی‌سی ۷۴۷۶	۲ عدد
۳ـ آی‌سی ۷۴۱۶۵	۱ عدد
۴ـ آی سی ۷۴۱۹۲	۲ عدد
۵ ـ آی‌سی ۷۴۲۹۳	۱ عدد
۶ ـ آی‌سی ۷۴۴۷	۱ عدد
۷ـ نشان دهنده‌ی هفت قسمتی آند مشترک TIL ۳۱۲	۱ عدد
۸ ـ LED قرمز	۸ عدد
۹ـ مقاومت ۵۶۰Ω، $\frac{۱}{۴}$ وات	۱ عدد
۱۰ـ مقاومت ۲۷۰Ω، $\frac{۱}{۴}$ وات	۱ عدد
۱۱ـ مقاومت ۳۳۰Ω، $\frac{۱}{۴}$ وات	۸ عدد
۱۲ـ مقاومت ۱۰KΩ، $\frac{۱}{۴}$ وات	۱ عدد



شکل ۱ـ۱۶

۳ـ۱۶ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۱۶ـ رجیستر PI/PO استکرون: با استفاده از یک آی‌سی ۷۴۷۶ و یک آی‌سی ۷۴۰۰ مدار شکل زیر را روی بردبرد ببندید.

توجه کنید که در هنگام بستن مدار باید پایه‌ی شماره‌ی ۱۳ آی‌سی ۷۴۷۶ و پایه‌ی شماره‌ی ۷ آی‌سی ۷۴۰۰ را به‌زمین، هم‌چنین پایه‌ی شماره‌ی ۵ آی‌سی ۷۴۷۶ و پایه‌ی شماره‌ی ۱۴ آی‌سی ۷۴۰۰ را به ۵V+ وصل کنید.

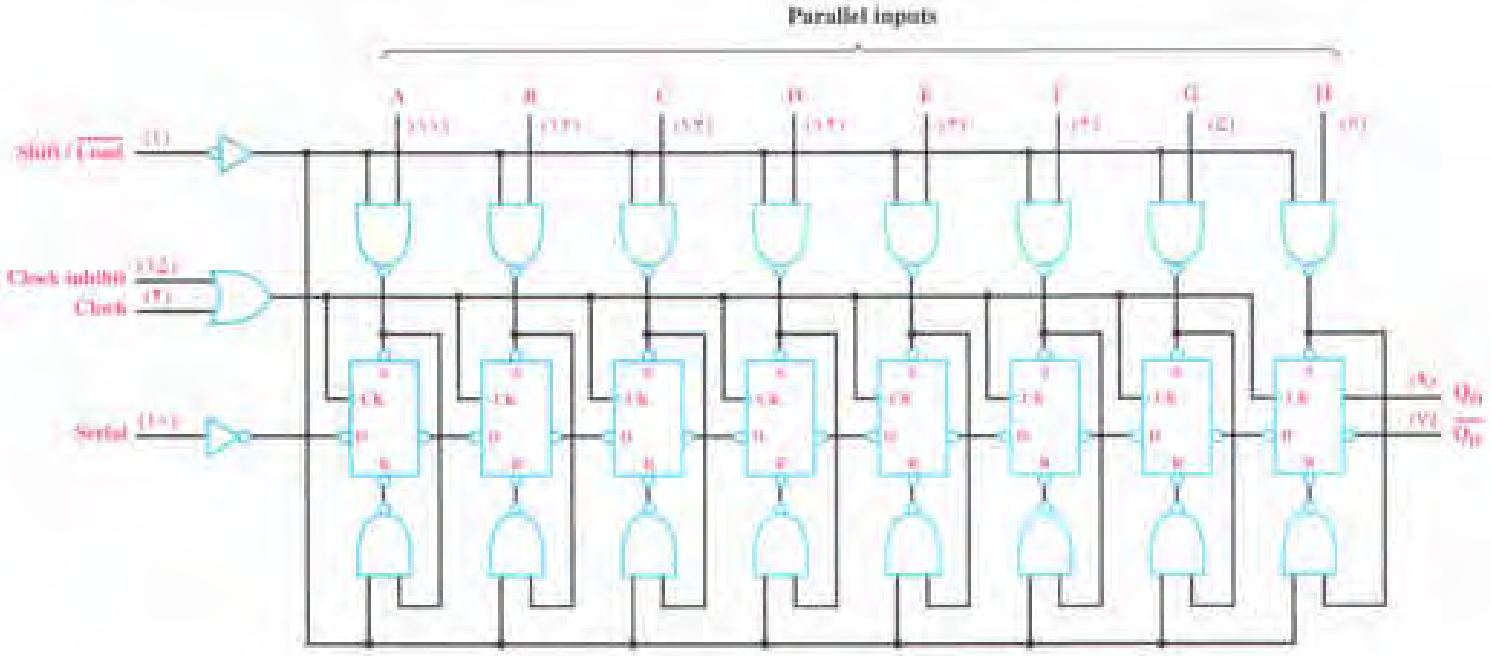
اینک با تغییر وضعیت کلیدهای SW_1، SW_2 و SW_3 جدول ۲ـ۱۶ را کامل کنید:

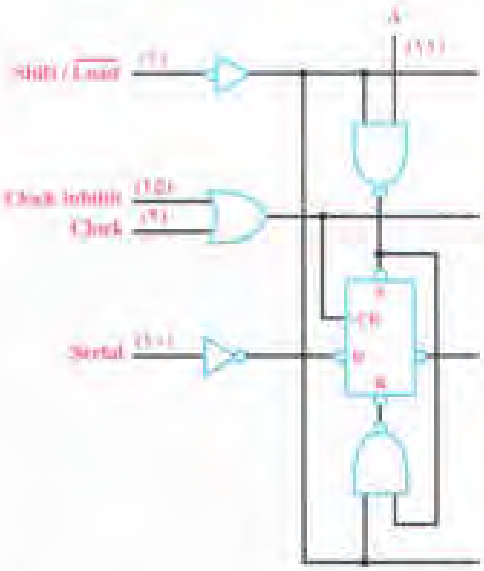
جدول ۲ـ۱۶

وضعیت خروجی‌ها		وضعیت کلیدهای لغت		وضعیت کلید SW_3
Q_1	Q_2	SW_2	SW_1	(فرمان بارگذاری)
		۰	۰	۰
		۰	۱	۰
		۱	۰	۰
		۱	۱	۰
		۰	۰	۱
		۰	۱	۱
		۱	۰	۱
		۱	۱	۱

پس از هر بار که لغت جدیدی در رجیستر وارد می‌کنید کلید SW را زمین و اثر زمین شدن این کلید را بر محتویات فلیپ‌فلاپ‌ها بررسی کنید.

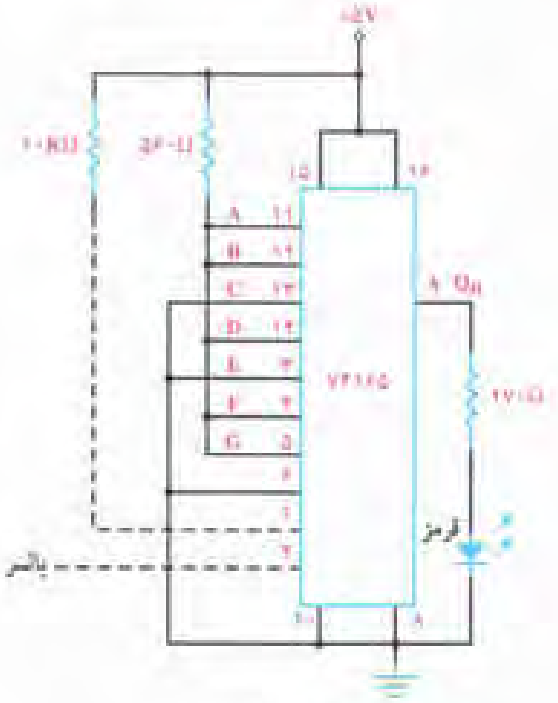
۲ـ۳ـ۱۶ـ انتقال اطلاعات به‌صورت سری: آی‌سی ۷۴۱۶۵ یک شیفت رجیستر با ورودی سری ـ خروجی سری است که قابلیت ثبت یک کلمه‌ی هشت بیتی به‌صورت موازی را نیز داراست*. این تراشه را مطابق شکل ۲ـ۱۶ روی بردبرد ببندید.





Inputs					Internal outputs		Output
Shift/ Load	Clock ihlhit	Clock	Serial	Parallel A ..... H	Q_A	Q_B	Q_H
L	X	X	X	a ..... h	a	b	h
H	L	L	X	X	Q_{AO}	Q_{BO}	Q_{HO}
H	L	↑	H	X	H	Q_{An}	Q_{Gn}
H	L	↑	L	X	L	Q_{An}	Q_{Gn}
H	H	X	X	X	Q_{AO}	Q_{BO}	Q_{HO}

شکل ۳ـ۱۶ـ مدار داخلی تراشه‌ی ۷۴۱۶۵



شکل ۲ـ۱۶

اکنون پایه‌ی شماره‌ی ① آی‌سی را برای یک لحظه به زمین وصل کنید (در این حالت کلمه‌ی ۱۱۰۱۰۱۱۰ وارد رجیستر می‌شود)؛ سپس این پایه را به‌وسیله‌ی مقاومت ۱۰KΩ به +۵V وصل کنید. در این حالت باید LED خاموش باشد.

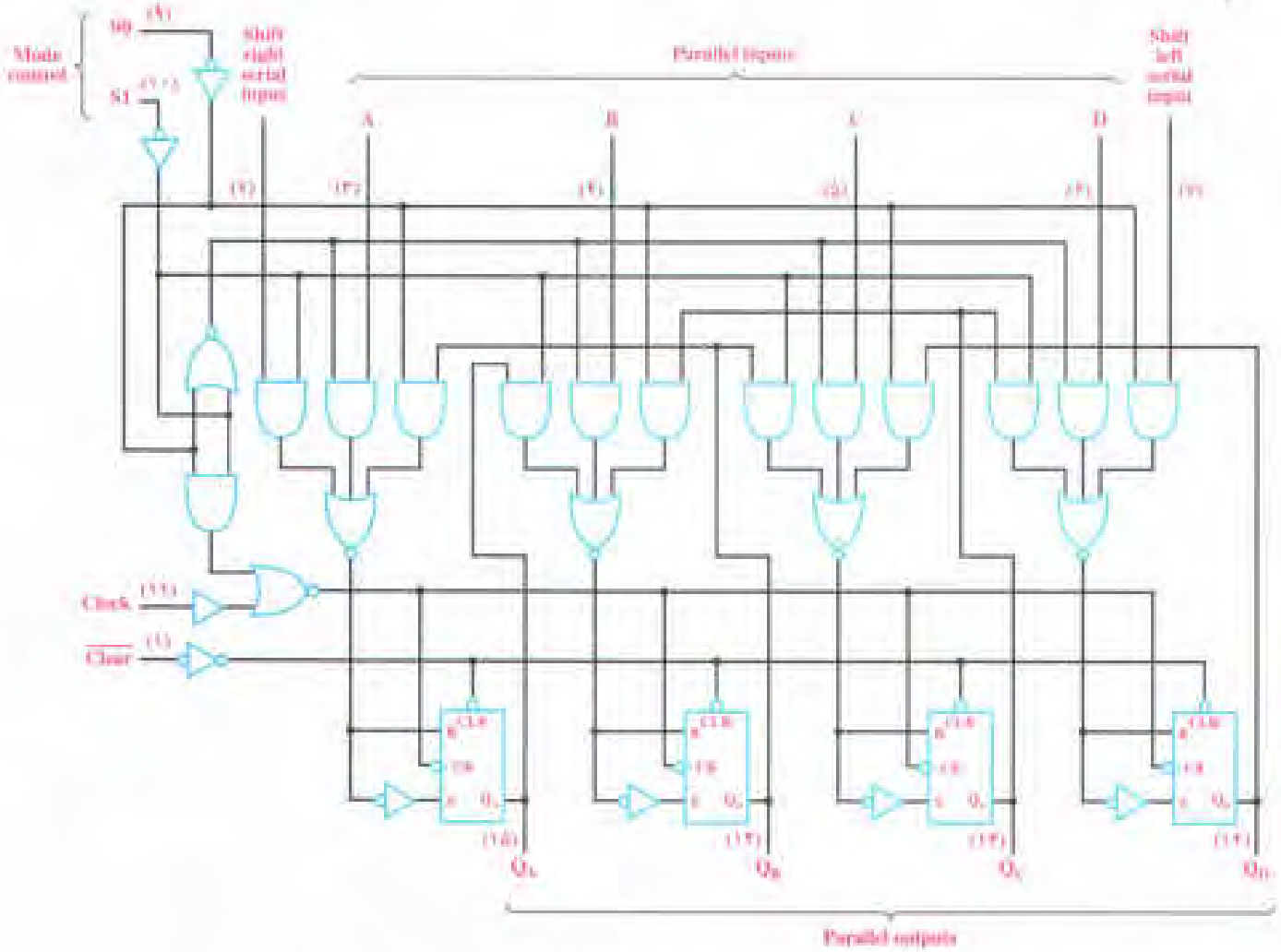
حال پایه‌ی شماره‌ی ② آی‌سی را به‌خروجی مدار پالسر وصل کنید. پس از هر قطع و وصل کلید پالسر وضعیت «خاموش ـ روشن» LED را مشاهده کنید و جدول ۳ـ۱۶ را کامل کنید.

جدول ۳ـ۱۶

							خاموش
							۰

۳ـ۳ـ۱۶ـ شیفت رجیستر چپگرد/راستگرد: آی‌سی ۷۴۱۹۴ یک شیفت رجیستر چهاربیتی چپگرد ـ راستگرد با قابلیت ثبت موازی است*. دو آی‌سی ۷۴۱۹۴ را مطابق شکل ۴ـ۱۶ روی بردبرد نصب کنید.

*

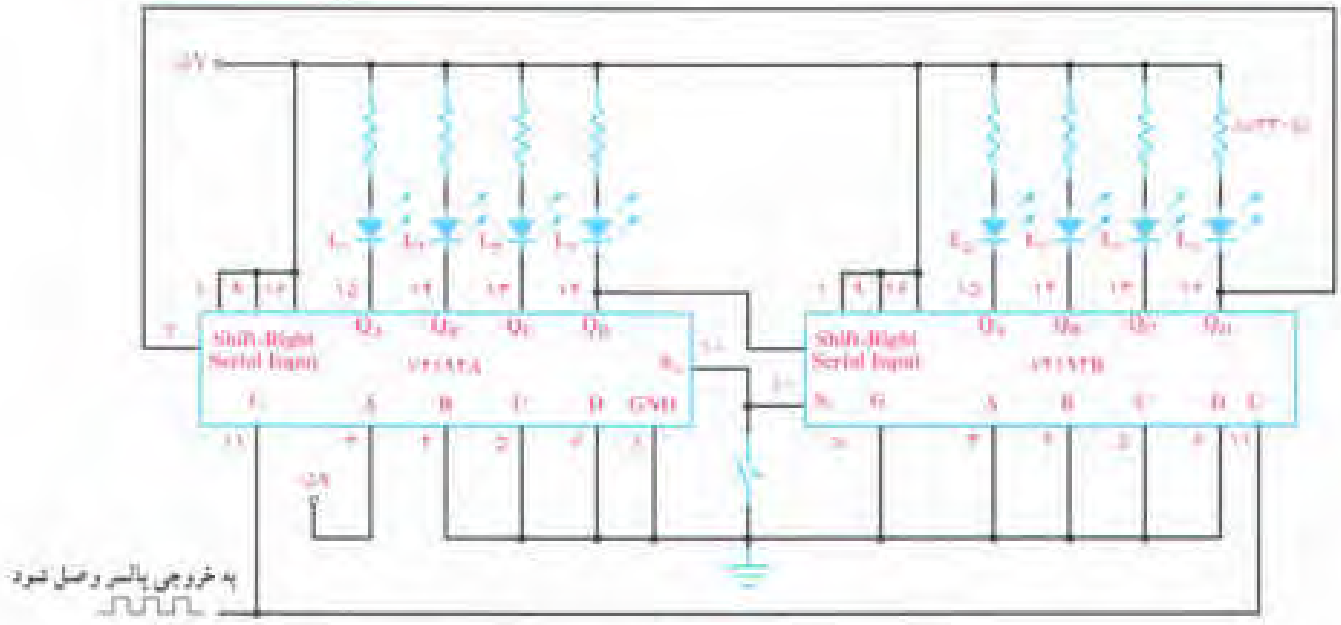


Inputs				Internal signals (i=A,B,C,D) S_i	Mode
Clear	S0	S1	Clock		
L	X	X	X	X	Asynchronous clear
H	L	L	X	X	Clock inhibit (data hold)
H	L	H	↑	Q_{i+1}	Shift left
H	H	L	↑	Q_{i-1}	Shift right
H	H	H	↑	i	Parallel load

شکل ۵ـ۱۶ـ مدار داخلی ترانه‌ی ۷۴۱۹۴

پس از بستن مدار پایه‌های شماره‌ی ⑩ هر دو آی‌سی را به‌هم وصل کرده برای یک لحظه به ۵V+ و سپس برای همیشه به زمین وصل کنید. (با این کار $L_{۱۰}$ روشن می‌شود.)

آن‌گاه پایه‌های شماره‌ی ⑪ هر دو آی‌سی را به‌خروجی پالسر وصل کنید و یا قطع و وصل کلید پالسر وضعیت روشنایی لامپ‌های $L_{۱۰}$ تا $L_{۱}$ را مشاهده کنید. سرانجام با توجّه به مشاهدات خود جدول صحّت ۴ـ۱۶ را کامل کنید.



شکل ۴ـ۱۶

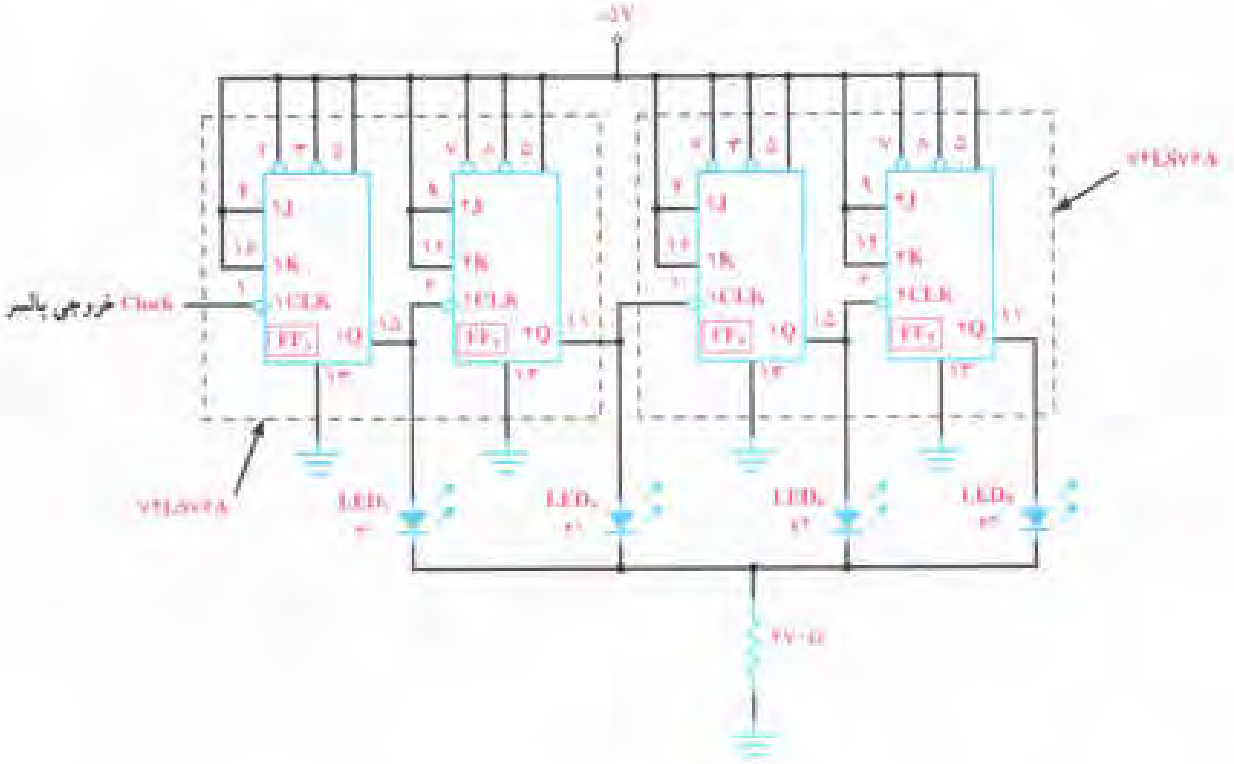
جدول ۴ـ۱۶

	$L_{۱۰}$	$L_{۹}$	$L_{۸}$	$L_{۷}$	$L_{۶}$	$L_{۵}$	$L_{۴}$	$L_{۳}$
⊓	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
⊓								
⊓								
⊓								
⊓								
⊓								
⊓								
⊓								
⊓								

ـ شیفت رجیستر از کدام نوع است؟ (SISO - SIPO - PISO - PIPO)

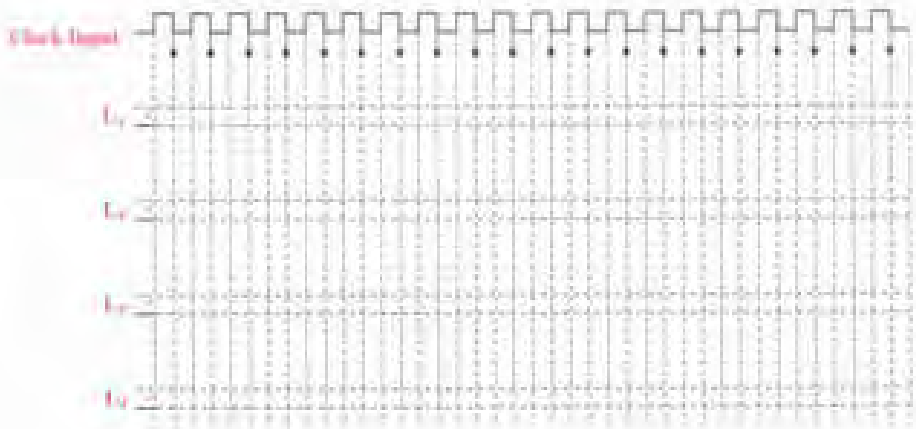
ـ انتقال در کدام جهت است؟

۴ـ۳ـ۱۶ـ شمارنده‌ی بایناری چهاربیتی: دراّی‌سی ۷۴۷۶ را مطابق شکل زیر روی بردبرد نصب نموده سپس با قطع و وصل کلید پالسر جدول صحت ۵ـ۱۶ را کامل کنید.



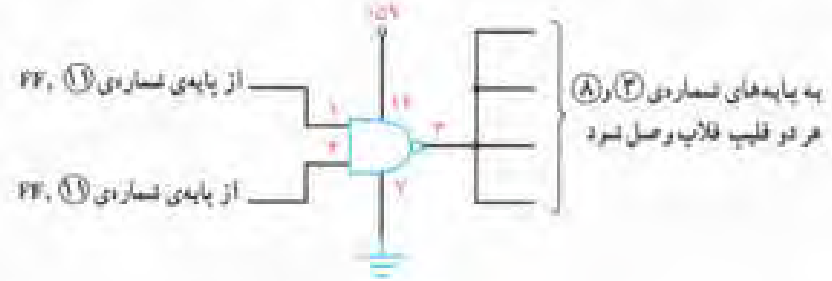
شکل ۶ـ۱۶ـ شمارنده‌ی بایناری

جدول ۵ـ۱۶



توجه کنید که باید ابتدا کلیه‌ی LEDها خاموش باشند؛ در غیر این‌صورت، پایه‌های شماره‌ی ③ و ⑧ هر دو آی‌سی را برای یک لحظه به‌زمین وصل کنید تا این LEDها خاموش شوند؛ سپس برای همیشه این پایه‌ها را به +۵V وصل کنید.

ـ اکنون پایه‌های شماره‌ی ③ و ⑧ هر دو آی‌سی را از +۵V باز کنید و به‌خروجی یک دروازه‌ی NAND که از پایه‌های شماره‌ی ⑪ هر دو فلیپ فلاپ فرمان می‌گیرد وصل نموده، و دوباره ترتیب شمارش مدار را بررسی کنید.



شکل ۷ـ۱۶

برای علاقه

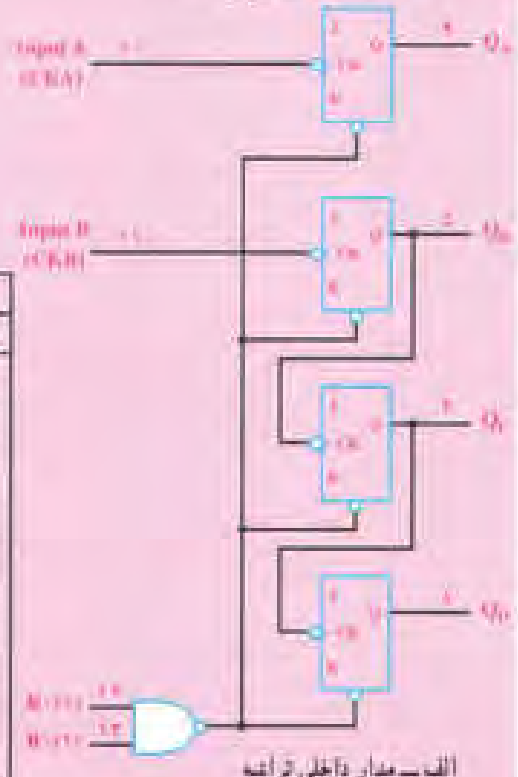
۵ـ۳ـ۱۶ـ شمارنده‌ی دهدهی دورقمی (۰ تا ۹۹): با استفاده از یک آی‌سی ۷۴۲۹۳*، یک آی‌سی ۷۴۴۷ و یک نشان‌دهنده‌ی هفت‌قسمتی مدار شکل ۸ـ۱۶ را روی بردبرد ببندید و ترتیب شمارش آن‌را مشاهده کنید.

* مشخصات شمارنده‌ی ۷۴۲۹۳

RESET/COUNT TABLE

RESET INPUTS		OUTPUT			
$R_{0(1)}$	$R_{0(2)}$	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
H	H	L	L	L	L
L	L	COUNT			
X	L	COUNT			

COUNT	OUTPUT			
	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H
10	H	L	H	L
11	H	L	H	H
12	H	H	L	L
13	H	H	L	H
14	H	H	H	L
15	H	H	H	H



الف ـ مدار داخلی تراشه

ج ـ نمای بالا و شماره‌ی پایه‌ها

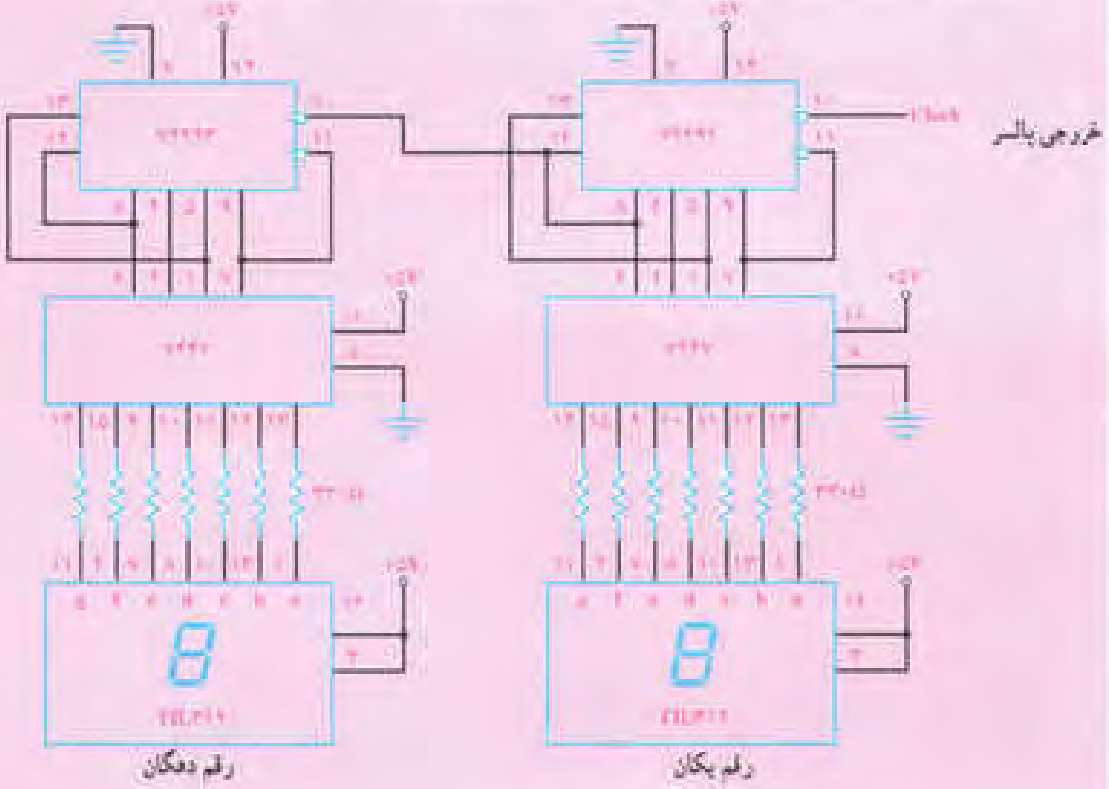
ب ـ جدول صحت شمارنده

شکل ۱۰ـ۱۶

برای مطالعه

شکل ۸ـ۱۶

ـ با یکی از گروه‌های دیگری که این مدار را آزمایش کرده‌اند دو بردبرد را کنار هم بگذارید و پایه‌ی شمارنده‌ی ⑧ آی‌سی ۷۴۲۹۳ یکی از دو مدار را به پایه‌ی شماره‌ی ① آی‌سی ۷۴۲۹۳ مدار دیگر وصل کنید و بار دیگر ترتیب شمارش مدار حاصل را تا هنگامی که یک دور کامل بشمارد دنبال کنید.



شکل ۹ـ۱۶

۴ـ۱۶ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در مدار شکل ۱ـ۱۶ مقاومت ۲۷۰Ω چه نقشی دارد؟

۲ـ چرا در مدار شکل ۲ـ۱۶ پایه‌ی شماره‌ی ① با یک مقاومت ۱۰KΩ به ولتاژ تغذیه وصل شده است، در حالی که پایه‌های ۸ تا G با یک مقاومت ۵۶۰Ω به ولتاژ تغذیه وصل شده است. اگر این پایه‌ها را نیز با یک مقاومت ۱۰KΩ به ولتاژ تغذیه وصل می‌کردیم چه حالتی رخ می‌داد؟

۳ـ چرا در شکل ۴ـ۱۶ در آغاز کار باید پایه‌های شماره‌ی ⑨ را برای زمانی کوتاه به ولتاژ تغذیه وصل کنیم؟

۴ـ اگر بخواهیم شمارنده‌ی شکل ۶ـ۱۶ فقط اعداد ۰ تا ۱۱ را بشمارد آن‌را چگونه باید اصلاح کنیم؟ شکل مدار اصلاح شده را بکشید.

آزمایش شماره‌ی ۱۷

مدارهای متمرکزکننده (Multiplexer) و پخش کننده (Demultiplexer)

هدف کلی آزمایش

بررسی مدارهای مالتی پلکسر و دمالتی پلکسر.

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش از فراگیر انتظار می‌رود:

۱ـ ترانه‌های ۷۴۱۵۱ و ۷۴۱۳۸ را بشناسد.

۲ـ مفهوم انتقال اطلاعات به‌صورت سری با استفاده از مالتی پلکسر را درک کند.

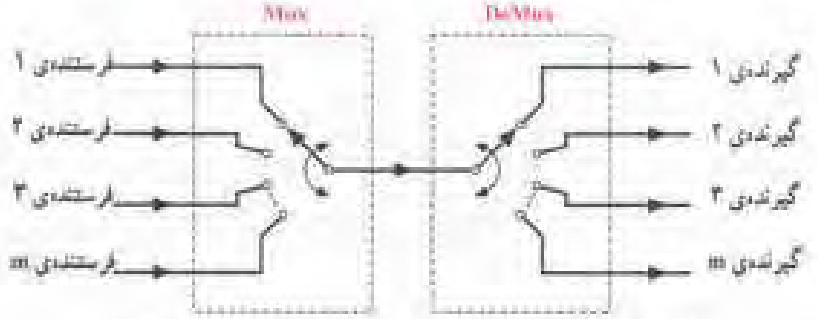
۳ـ مفهوم برگرداندن اطلاعات از شکل سری به‌صورت موازی توسط دمالتی‌پلکسر را درک کند.

۴ـ با ترانه‌های ۷۴۱۵۱ و ۷۴۱۳۸ یک سیستم ارسال و دریافت بسازد.

۱ـ۱۷ـ اطلاعات اولیه

مالتی پلکسر و دمالتی پلکسر از مدارهای ترکیبی پرمصرفی هستند که برای انتقال اطلاعات دیجیتالی به‌کار می‌روند. عمل اساسی مالتی پلکسر گزینش یکی از چند خط ورودی و اتصال آن به خط انتقال است. به‌عبارت دیگر، مالتی پلکسر مانند یک کلید چند وضعیتی عمل می‌کند. عمل دمالتی پلکسر درست خلاف عمل مالتی پلکسر است؛ یعنی، اطلاعاتی را که پشت سرهم دریافت می‌کند از یک‌دیگر تفکیک کرده به مقصدهای آن‌ها ارسال می‌کند.

معمولاً عمل هم‌زمان کردن مالتی‌پلکسر و دمالتی‌پلکسر را یک شمارنده انجام می‌دهد که به‌طور موازی آن‌ها را آدرس‌دهی می‌کند.



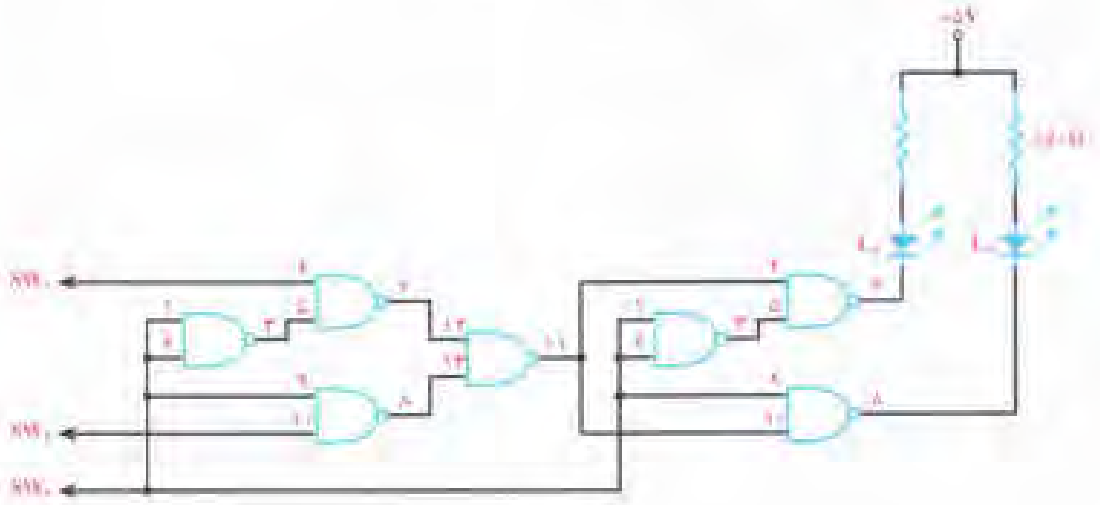
شکل ۱ـ۱۷ـ رسم سیستم ارسال و دریافت با استفاده از Mux و DeMux

۲ـ۱۷ـ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

۱ـ آی‌سی ۷۴۰۰	۲ عدد	۵ ـ LED قرمز	۸ عدد
۲ـ آی‌سی ۷۴۱۳۸	۱ عدد	۶ـ مقاومت ۱KΩ، $\frac{۱}{۴}$ وات	۸ عدد
۳ـ آی‌سی ۷۴۱۵۱	۱ عدد	۷ـ مقاومت ۳۳۰Ω، $\frac{۱}{۴}$ وات	۱ عدد
۴ـ آی سی ۷۴۲۹۳	۱ عدد	۸ ـ مقاومت ۱۵۰Ω، $\frac{۱}{۴}$ وات	۲ عدد

۳ـ۱۷ـ مراحل آزمایش

۱ـ۳ـ۱۷ـ با استفاده از دو آی‌سی ۷۴۰۰ مداری مطابق شکل ۲ـ۱۷ ببندید.



شکل ۲ـ۱۷

ـ کلید SW_2 را به ولتاژ صفر ولت (زمین مدار) وصل کنید و با تغییر وضعیت کلیدهای SW_1 و SW_3 وضعیت روشنایی L_{D1} و L_{D2} را مشاهده کنید.

تغییر وضعیت SW_3 چه‌اثری برروشنایی این دو لامپ می‌گذارد؟

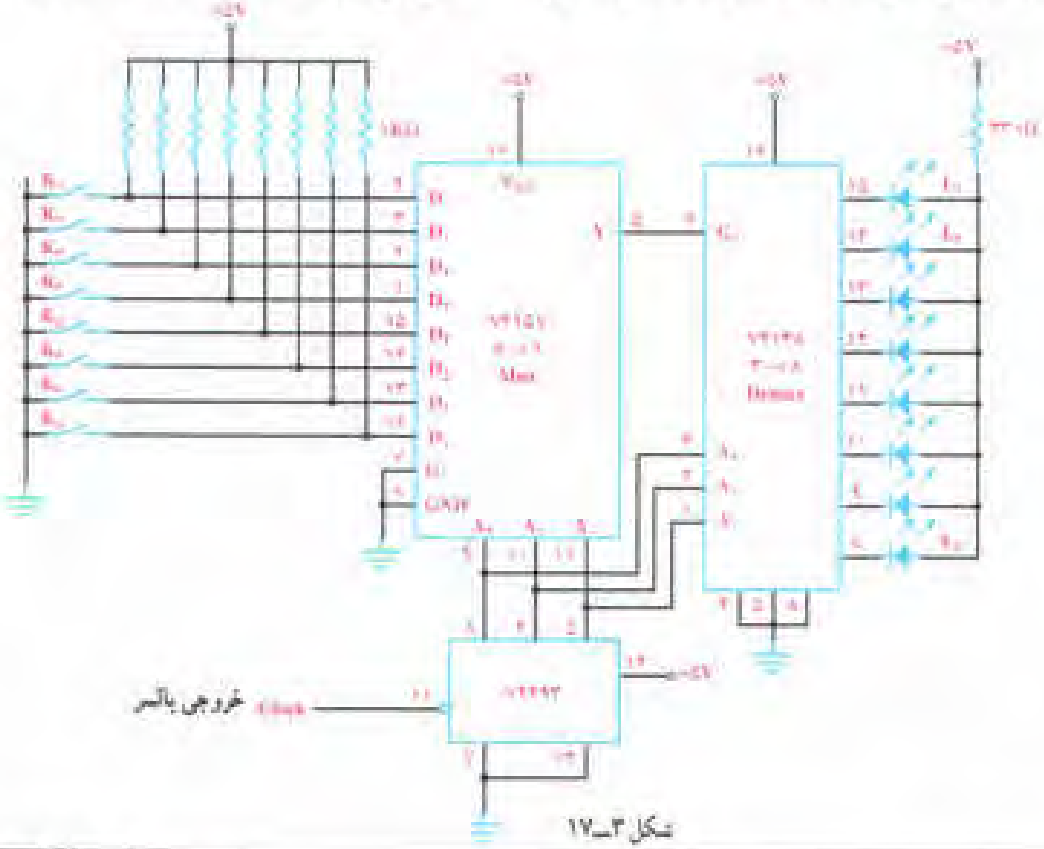
ـ اکنون کلید SW_2 را به ۵V+ وصل کنید و دوباره با تغییر وضعیت کلیدهای SW_1 و SW_3 وضعیت روشنایی لامپ‌های L_{D1} و L_{D2} را مشاهده نمایید.

تغییر وضعیت کلید SW_1 چه‌اثری بر روشنایی لامپ‌ها می‌گذارد[1].

۲ـ۳ـ۱۷ـ برای کنترل در و پنجره‌های یک ساختمان، مداری مطابق شکل زیر طرح کرده‌ایم. در این مدار هریک از کلیدهای K_1 تا K_4 روی یک در یا پنجره نصب شده است تا اگر آن پنجره یا در باز شود کلید نصب شده روی آن نیز باز شود. با باز شدن هریک از درها یا هر یک از پنجره‌ها لامپ متناظر با آن روشن می‌شود.

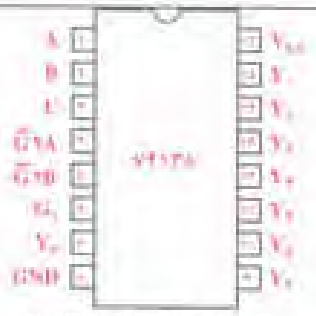
۱ـ بهتر است برای آسیب ندیدن قطعه از جریان اضافی هریک از کلیدهای SW_1 و SW_3 را ازطریق مقاومت ۱KΩ به ۵V+ وصل کنید.

مدار را با ترانه‌های ۷۴۱۵۱، ۷۴۱۳۸* و ۷۴۲۹۳ روی بردبرد ببندید و با بازکردن هریک از کلیدها وضعیت روشنایی لامپ‌ها را مشاهده کنید. در این مدار شمارنده‌ی ۷۴۲۹۳ برای آدرس‌دهی هم‌زمان Mux و DeMux به‌کار رفته است.

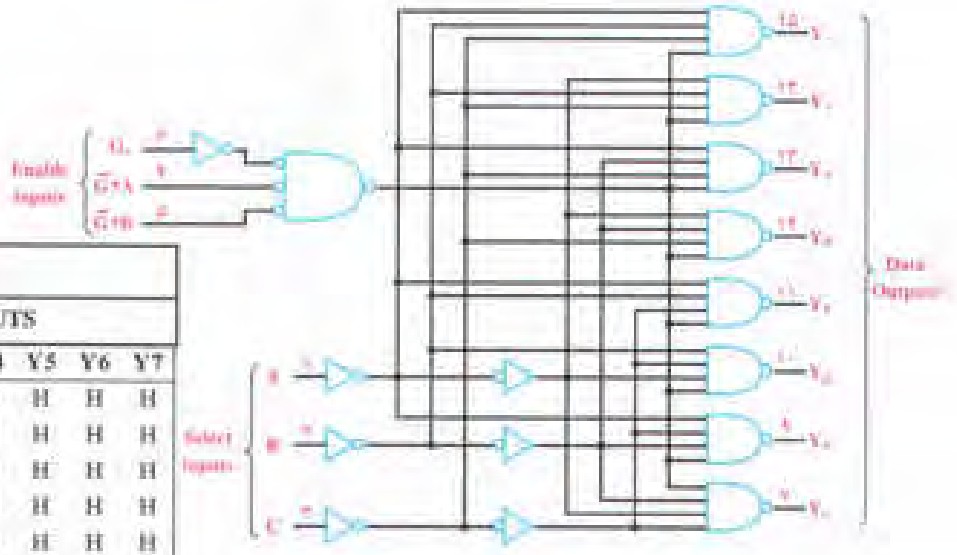


شکل ۴ـ۱۷

* مشخصات آی‌سی ۷۴۱۳۸



ج ـ نمای بالا و شماره‌ی پایه‌ها



الف ـ مدارات داخلی قطعه

INPUTS											
ENABLE		SELECT			OUTPUTS						
G1	$\overline{G2}$	C	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

ب ـ جدول صحت

۴ـ۱۷ـ پرسش‌های آزمایش

۱ـ در شکل ۲ـ۱۷ بخش‌های Mux و DeMux را با خط‌چین مشخص کنید.

۲ـ اگر در شکل ۳ـ۱۷ همه‌ی کلیدها باز باشند آیا همه‌ی دیودها هم‌زمان روشن می‌شوند؟

۳ـ اگر در شکل ۳ـ۱۷ شمارنده‌ی ۷۴۲۹۳ به‌علتی ازکار بیفتد، سیستم در چه وضعیتی قرار می‌گیرد؟

مراجع

۱ـ الکترونیک عملی ، روبرت بویل اشتاد ـ لوئیس نشلسکی

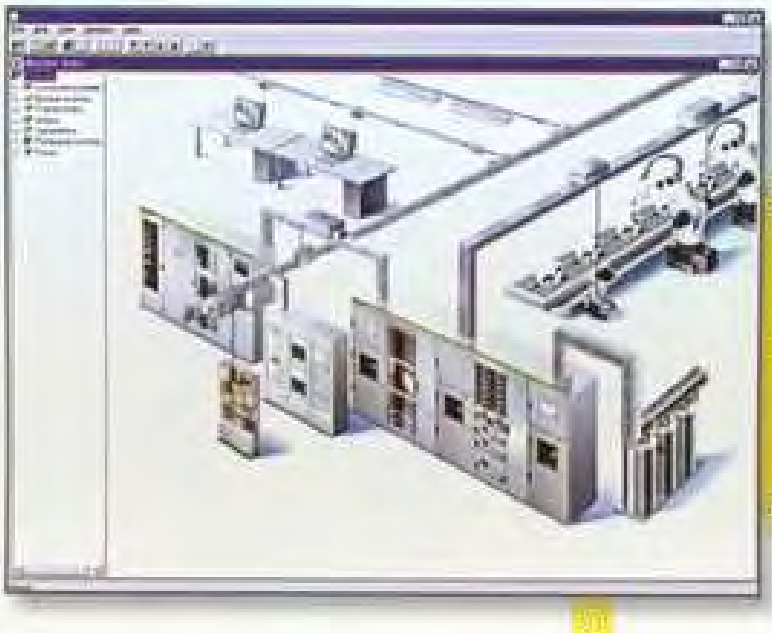
۲ـ کارگاه و آزمایشگاه الکترونیک، بهرام خلج

۳ـ آزمایشگاه الکترونیک عمومی، شهرام تصیری سوادکوهی

۴ـ جزوه آزمایشگاه دیجیتال، فرخ مهراد

۵ـ جزوه دستور کار آزمایشگاه دیجیتال، شرکت HP

۶ـ الکترونیک عملی، شرکت BUCK ، ترجمه مهندس سیدمحمود صمونی و ...



شابک ۹-۱۰۱-۵-۰۰۴۶
ISBN 964-05-0901-9

۱۳۸۳

قیمت در تمام کشور ۴۸۰۰ ریال