

فصل ۱

یادآوری دیود و ترانزیستور و آشنایی با تقویت کننده ترانزیستوری



هدف‌های فصل

نگرشی	مهارتی	دانشی
۱- شناخت ترانزیستور به عنوان قطعه کلیدی ابزارهای الکترونیکی در عصر حاضر ۲- شناخت برخی از کاربردهای عملی ترانزیستور ۳- برانگیختن حس کنجکاوی دانش‌آموزان در یافتن اثری از کاربرد ترانزیستور در مدارات و قطعات الکترونیکی پرکاربرد ۴- کمک به درک مزیت‌های ترانزیستور نسبت به دیگر ابزارهای الکترونیکی از قبیل لامپ خلأ و رله	۱- توانایی تحلیل منحنی‌های مشخصه ترانزیستور ۲- توانایی یافتن نقطه کار مناسب روی خط با DC ترانزیستور برای استفاده از ترانزیستور در نواحی کار مختلف	۱- آشنایی با تاریخچه ترانزیستور ۲- استفاده از دانستنی‌های مرتبط با دیود در درک مفاهیم مرتبط با ترانزیستور ۳- یادگیری مفهوم بایاس ترانزیستور ۴- آشنایی با آرایش‌های مختلف ترانزیستور ۵- آشنایی با عملیات کلید زنی و تقویت‌کنندگی به‌عنوان دو کاربرد اساسی ترانزیستور

سرفصل‌ها و عناوین اصلی

- یادآوری در مورد دیود
- مروری بر ساختمان و طرز کار ترانزیستور BJT
- تقسیم‌بندی ترانزیستورها بر اساس پارامترهای آن
- روش‌های مختلف بایاس کردن ترانزیستور
- منحنی‌های مشخصه ترانزیستور
- بررسی تقویت سیگنال الکتریکی از روی منحنی‌های مشخصه ترانزیستور
- عمل کلید زنی (سوئیچینگ) ترانزیستور

برای سایر فصول، سرفصل‌ها و عناوین اصلی در لوح فشرده آمده است.

مفاهیم اساسی فصل

- بایاس ترانزیستور : اعمال ولتاژ به پایه‌های ترانزیستور برای استفاده از آن در نواحی کار مختلف
- منحنی مشخصه‌های ترانزیستور : نمودار رفتار ولتاژ یا جریان یکی از پیوندهای ترانزیستور بر حسب ولتاژ یا جریان دیگر پیوندها
- نقطه کار : مقدار DC جریان‌های بیس و کلکتور و ولتاژ پیوندهای بیس - امیتر و کلکتور - امیتر
- خط بار DC ترانزیستور : خطی که از پیوند نقاط کار مختلف ایجاد می‌شود
- ترانزیستور به عنوان سوئیچ : عملکرد ترانزیستور در ناحیه اشباع یا قطع
- چگونگی تقویت سیگنال توسط ترانزیستور : خصوصیات فیزیکی و شرایط لازم برای عملکرد ترانزیستور به عنوان تقویت کننده

مفاهیم اساسی سایر فصول در لوح فشرده ضمیمه آمده است.

مراحل پیشنهادی برای تدریس

همکاران محترم می‌توانند روند پیشنهادی زیر را برای تدریس این فصل در نظر داشته باشند اما این بدین معنی نیست که روند ارائه شده بهترین راهکار ممکن است و معلمان عزیز می‌توانند بر اساس سلیقه و تشخیص خود مراحل تدریس‌شان را تنظیم کنند.

۱- مروری بر مفاهیم کلی دیود. از آنجا که دانش‌آموزان برای درک برخی از مفاهیم اصلی فصل از قبیل بایاس ترانزیستور و منحنی مشخصه‌های ترانزیستور بایستی یک دید کلی در مورد دیود داشته باشند، مرور برخی از مفاهیم اصلی دیود می‌تواند مفید باشد. در این بخش سعی شده که برخی از مفاهیم اصلی دیود به‌طور مختصر مرور شود اما همکاران در صورت نیاز برای کسب اطلاعات

کامل تر می‌توانند به کتاب الکترونیک عمومی ۱ مراجعه کنند.

۲- بیان تاریخچه ترانزیستور

۳- معرفی مختصر ترانزیستور.

۴- بیان کاربردهای اساسی ترانزیستور و توصیف چگونگی عملکرد آن در هر یک از کاربردها (اشاره به کاربرد سوئیچینگ و کنترلی آن با استفاده از مدل شیر آب و اشاره به بحث تقویت‌کنندگی آن و توضیح ساده این مسئله در بحث تقویت‌سیگنال). در بحث تقویت‌کنندگی بایستی ابتدا به نقش منبع تغذیه در کلکتور در تقویت‌جریان بیس - امیتر اشاره کرد و گفت که برای تقویت‌جریان بایستی پیوند بیس - کلکتور به طور معکوس بایاس شود و توضیحات در مورد بایاسینگ را به بخش بایاس موکول کرد. سپس در مورد چگونگی برقراری جریان در مدار توضیح داد و این مسئله را با مشخصات فیزیکی ترانزیستور مرتبط کرد. می‌توان توضیحات اضافی در مورد تقویت‌کنندگی و وابستگی آن به مقدار ولتاژ یا جریان بیس را به بخش بررسی نواحی کار و منحنی‌های مشخصه ترانزیستور موکول کرد.

۵- تعریف بایاس ترانزیستور و توضیح چگونگی اعمال ولتاژها به پایه‌های ترانزیستور با توجه به ساختار و پیوندهای ترانزیستور و تبیین نقش مقاومت‌ها در بایاسینگ.

● همکاران عزیز می‌توانند مراحل بعدی تدریس خود را بر اساس سرفصل‌های ارائه شده در کتاب پایه‌ریزی کنند.

دانستنی‌ها و پیش‌نیازهای مورد نیاز برای آسان شدن یادگیری مطالب فصل

- آشنایی با مشخصات فیزیکی پیوند pn
- تسلط بر منحنی مشخصه ولت - آمپر دیود و روابط جریان و ولتاژ دیود
- مثال‌های عملی و ساده از کاربرد ترانزیستور در مدارات الکترونیکی

دانستنی‌ها و پیش‌نیازهای مورد نیاز برای آسان شدن یادگیری مطالب فصل در لوح فشرده آمده است.

مهارت‌های اصلی معرفی شده در فصل که یادگیری آن‌ها برای دانش‌آموزان ضروری است

- تشخیص بایاسینگ مستقیم و معکوس ترانزیستور
- محاسبه ولتاژ پیوندهای ترانزیستور در انواع بایاس‌ها
- تشخیص ناحیه کار ترانزیستور از روی مقدار و علامت پیوندهای ترانزیستور
- محاسبه نقطه کار و خط بار DC
- چگونگی عملکرد ترانزیستور به‌عنوان یک سوئیچ یا تقویت‌کننده

مهارت‌های اصلی معرفی شده در فصل که یادگیری آن‌ها برای دانش‌آموزان ضروری است برای سایر فصول در لوح فشرده آمده است.

نحوه ارزشیابی و مقدار زمان اختصاص داده شده به هر قسمت از فصل

همکاران محترم می‌توانند با توجه به وضعیت درسی دانش‌آموزان در میزان زمان در نظر گرفته شده برای هر قسمت یا روش ارزشیابی، به صلاحدید خود تجدیدنظر کنند. همچنین زمان‌بندی اجرای درس با توجه به سطح کلاس و بودجه‌بندی ارائه شده در کتاب الکترونیک عمومی ۲ صورت می‌گیرد.

سرفصل مطالب	هدف‌ها در قلمرو دانش، مهارت و نگرش	محتوا و فعالیت‌های یادگیری	روش‌های پیشنهادی برای ارزشیابی	ابزارهای اندازه‌گیری پیشنهادی	زمان پیشنهادی برای تدریس (ساعت)	توضیحات
یادآوری در مورد دیود	مروری بر مفاهیم مرتبط با دیود که برای تحلیل رفتار ترانزیستور مورد نیاز است.	مطالعه، بحث	مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۱	طرح سؤالات تشریحی در مورد مفاهیم صلی و ساختار دیود تعیین وضعیت دیود در یک مدار دیودی در قالب سؤالات محاسباتی
مروری بر ساختمان و طرز کار ترانزیستور BJT	یادآوری مشخصات صلی ترانزیستور استفاده از مفاهیم مرتبط با دیود در درک رفتار ترانزیستور آشنایی با چند خانواده از ترانزیستورها	مطالعه، بحث	مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۲	طرح سؤالات تشریحی در مورد مفاهیم صلی و ساختار ترانزیستور تعیین ولتاژ و جریان‌های مختلف در یک مدار ترانزیستوری در قالب سؤالات محاسباتی
منحنی‌های مشخصه ترانزیستور	توانایی تحلیل منحنی‌های مشخصه ترانزیستور آشنایی با مقاومت دیود بیس - میتر در حالت DC و در هنگام عمل سیگنال به ترانزیستور آشنایی با مفهوم قابلیت هدیت انتقالی ترانزیستور و نحوه محاسبه آن	مطالعه، بحث، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	تشریحی، محاسباتی، چندگزینه‌ای	۵	سؤال در مورد روابط بین جریان و ولتاژ پیوندهای مختلف ترانزیستور در منحنی مشخصه‌های ذکر شده در کتاب به صورت تشریحی. تعیین ناحیه کار ترانزیستور در قالب سؤالات محاسباتی. تأثیر فزیش یا کاهش جریان‌ها و ولتاژهای پیوندهای مختلف بر روند منحنی‌های ذکر شده و سؤال در مورد علامت و مقدار ولتاژ پیوندهای مختلف در نواحی کار ممکن به صورت سؤالات چندگزینه‌ای. طرح سؤالات تشریحی در مورد تأثیر ولتاژ عملی ورودی بر جریان بیس - میتر. محاسبه مقاومت‌های استاتیک و دینامیک. تعریف این مفهوم و تأثیر پارامترهای مختلف و درجه حرارت ترانزیستور در اندازه آن با استفاده از سؤالات تشریحی. محاسبه مقدار این کمیت به زی پارامترهای مختلف.
بررسی تقویت سیگنال لکتریکی ز روی منحنی‌های مشخصه ترانزیستور	آشنایی با شرایط لازم برای عملکرد ترانزیستور به عنوان تقویت کننده و کاربردهای آن به عنوان تقویت کننده	حل تمرین، مطالعه، بحث، پژوهش	تکوینی، مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۳	رزیابی مهارت دانش‌آموزان در باره چگونگی تقویت سیگنال و ملزومات مداری آن توسط ترانزیستور در قالب سؤالات تشریحی. محاسبه مقدار تقویت ولتاژ متناوب عمل شده به ورودی ترانزیستور به زی ولتاژ و جریانهای DC که از ترانزیستور در اختیار هستند.
عمل کلید زنی ترانزیستور	آشنایی با شرایط لازم برای عملکرد ترانزیستور به عنوان کلید و کاربردهای کلیدزنی آن	مطالعه، بحث، کار گروهی، پژوهش	تکوینی، مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۱	طرح سؤالات تشریحی برای بررسی شرایط لازم برای کار کردن ترانزیستور به عنوان کلید و برخی از کاربردهای عملی آن. محاسبه ولتاژ پیوندهای مختلف ترانزیستور برای مشخص کردن این که آیا ترانزیستور در وضعیت کلید زنی قرار دارد یا خیر.

۱-۱- یادآوری در مورد دیود (صفحه ۲ از کتاب درسی)

✓ راهکار تدریس

راهکارهای تدریس و شرح درس هر موضوع برای هر فصل در لوح فشرده ضمیمه کتاب راهنمای معلم آمده است.

۱-۱-۱ پیوند pn : بر اساس صفحات ۵۳ و ۵۴ کتاب الکترونیک عمومی ۱ کد ۳۵۹/۴۲ چاپ ۱۳۹۱ یادآوری شود.
۱-۱-۲ بایاس دیود

در لوح فشرده ضمیمه کتاب، قسمت ۱-۱-۲ تا رابطه $I_D = I_S e^{AV_D}$ فقط دانش‌افزایی برای معلم است.

✓ فرصت یاددهی - یادگیری

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

✓ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱-۲ (صفحه ۶ از کتاب درسی)

۱-۲-۱ پاسخ: ولتاژ وصل یک دیود از جنس Si حدود ۰/۷ ولت و از جنس Ge حدود ۰/۲ است.

۱-۲-۲ پاسخ: صحیح

۱-۲-۳ پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. در این مدار آند دیود به منفی باتری وصل شده است و کاتد آن از طریق مقاومت به

زمین متصل است. در نتیجه دیود به صورت معکوس بایاس شده است و به صورت کلید باز عمل می‌کند.

۱-۲-۴ پاسخ: پیش از برقراری جریان در مدار ولتاژ خروجی برابر صفر است. V_O همان ولتاژ کاتد دیودها است که

در این حالت چون تنها ولتاژ آند دیود D_1 برابر با ۵ ولت و بزرگ‌تر از صفر این دیود هدایت می‌کند. در نتیجه ولتاژ خروجی برابر E_1

منهای افت ولتاژ ۰/۷ ولت روی دیود D_1 است:

$$V_O = 5V - 0.7V = 4.3V$$

۱-۲-۵ پاسخ: ابتدا فرض می‌کنیم که هر دو دیود قطع بوده و هیچ جریانی در مدار برقرار نیست. در این حالت

V_O برابر صفر است.

الف) از آنجا که ولتاژ کاتد D_2 صفر است و اختلاف ولتاژ بین آند و کاتد این دیود صفر است این دیود قطع است. از طرفی ولتاژ

کاتد دیود D_1 برابر ۱۰ ولت منفی است. در نتیجه اختلاف ولتاژ بین آند و کاتد این دیود ۱۰ ولت است و D_1 هدایت می‌کند.

ب) ولتاژ خروجی برابر مجموع ولتاژ هدایت دیود D_1 و E_1 است:

$$V_O = 10V - 0.7V = 9.3V$$

برای جریان خروجی داریم:

$$-I = \frac{V_O}{R} = -\frac{9.3V}{3k\Omega} = -3.1mA$$

که نشان‌دهنده جریان عبوری از مقاومت از خروجی به طرف زمین مدار است. از آنجا که I مقدار جریان عبوری از مقاومت از زمین

مدار به طرف خروجی است داریم :

$$I = 3/1 \text{ mA}$$

۶-۲-۱ پاسخ: در ابتدا فرض می‌کنیم هر دو دیود قطع بوده و هیچ جریانی در مدار برقرار نیست. از این رو ولتاژ خروجی که همان ولتاژ آند دیودها است برابر ولتاژ منبع تغذیه و ۵ ولت است. از آنجا که کاتد دیود D_1 به ولتاژ ۵ ولتی متصل است، اختلاف ولتاژ دو سر آن صفر و کمتر از ولتاژ هدایت دیود است. در نتیجه این دیود قطع است. از طرفی چون ولتاژ کاتد دیود D_2 برابر صفر ولت است این دیود می‌تواند هدایت کند. در نتیجه V_0 برابر است با ولتاژ هدایت دیود یعنی 0.7° ولت. برای محاسبه I کافیه یک KVL در حلقه شامل منبع تغذیه E_3 ، مقاومت R و دیود D_2 که در حالت هدایت قرار دارد بنویسیم :

$$-E_3 + RI + V_\gamma = 0 \Rightarrow I = \frac{(E_3 - V_\gamma)}{R} = \frac{(5 - 0.7)^\text{V}}{1\text{k}\Omega} = 4/3 \text{ mA}$$

۲-۱- مروری بر ساختمان و طرز کار ترانزیستور BJT (صفحه ۶ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

راهکار تدریس

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۱-۲-۱ تاریخچه ترانزیستور

هدف

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۱-۲-۲ محدودیت‌های ترانزیستور مجزا : به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید

۱-۲-۳ مدارهای مجتمع : به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۱-۲-۴ رایانه، مهمترین ابزار الکترونیکی بنا نهاده شده بر اساس ترانزیستور : به لوح فشرده ضمیمه کتاب

مراجعه کنید.

WWW

معرفی سایت : بررسی تاریخچه ترانزیستور و سیر تکاملی آن

۱) <http://www.sentex.ca/~mec1995/tutorial/xtor/xtorhis/xtorhis.html>

۲) http://www.porticus.org/bell/belllabs_transistor.html

۱-۲-۵ معرفی مختصر ترانزیستور : به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۱-۲-۶ بایاس ترانزیستور : به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مسیر پیشنهادی برای تدریس

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

اجرای آزمایشگاه مجازی توسط معلم در کلاس کلیه مراحل تدریس شده بر اساس کتاب‌های آزمایشگاه مجازی ۱ کد ۳۵۸۱۳ و جلد ۲ کد ۴۶۶/۶ با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم در کلاس اجرا شود و از هنرجویان خواسته شود که در خارج از ساعات کلاسی، مساحت مربوط را با نرم‌افزار تمرین نمایند.

اجرای کارهای عملی پیشنهادی فقط در ساعات کارگاهی و بر مبنای کتاب کارگاه الکترونیک عمومی کد ۴۸۸/۷ صورت می‌گیرد.

۱-۲-۷- تقسیم بندی ترانزیستورها بر اساس پارامترهای آن (صفحه ۱۱ از کتاب درسی)

☑ فرصت یادهی - یادگیری

۱-۲-۷-۱- ترانزیستور کاربرد عمومی و سیگنال کوچک

☑ راهکار تدریس

۱-۲-۷-۲- ترانزیستورهای قدرت

☑ ارتباط با سایر دروس

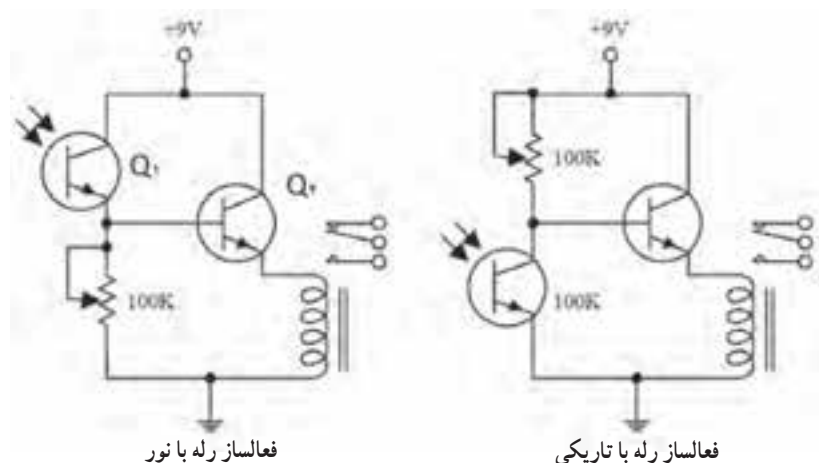
۱-۲-۷-۳- ترانزیستورهای فرکانس بالا

☑ راهکار تدریس

۱-۲-۷-۴- فوتوترانزیستورها

برای موارد ۱-۲-۷ تا ۴-۷-۲-۱ به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

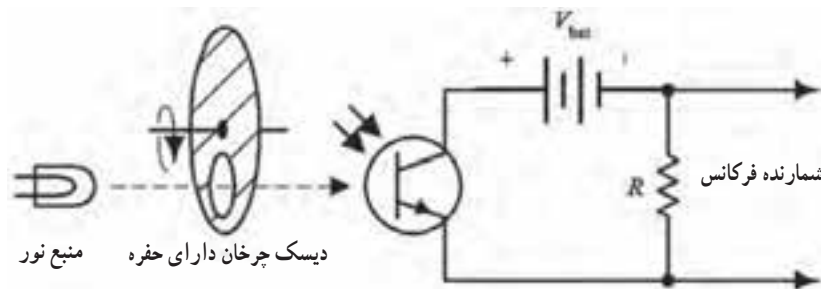
مثال ۱ (کاربرد): در شکل ۴-۱ دو مدار فعالساز رله نشان داده شده است که از فوتوترانزیستور استفاده می‌کنند.



شکل ۴-۱

در این مدارها از فوتوترانزیستور برای کنترل جریان بیس ترانزیستور کلیدزنی قدرت استفاده شده است. این ترانزیستور جریان تغذیه رله را تأمین می‌کند. در مدار فعال شونده با نور، وقتی که نور با فوتوترانزیستور برخورد می‌کند باعث روشن شدن آن می‌شود و جریان از منبع تغذیه به طرف بیس ترانزیستور کلیدزنی قدرت Q_2 جاری می‌شود و آن را روشن می‌کند. چون رله روی کلکتور Q_2 قرار دارد، با عبور جریان راه اندازی می‌شود. در مدارهای فعال شونده با تاریکی، روندی معکوس برای فعال کردن رله اتفاق می‌افتد. یعنی هنگامی که هیچ نوری وجود ندارد فوتوترانزیستور خاموش است و جریان بیشتری از طریق منبع تغذیه به بیس ترانزیستور کلیدزنی قدرت می‌رسد. در هر دو ساختار از پتانسیومتر 10^5 کیلو اهمی برای تنظیم حساسیت مدار استفاده شده است.

مثال ۲ (کاربردی): شکل ۱-۵ مدار یک شمارنده فرکانس یا تاکومتر^۱ را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵

نور، از طریق حفره دیسک چرخان در هر بار چرخش عبور می‌کند و باعث روشن شدن فوتوترانزیستور می‌شود و ولتاژ منفی باتری را در دو سر مقاومت قرار می‌دهد. هنگامی که نوری به فوتوترانزیستور تابیده نمی‌شود این ترانزیستور در حالت خاموش قرار می‌گیرد و ولتاژ دو سر مقاومت صفر می‌شود. به این ترتیب با چرخش دیسک چرخان در خروجی یک سیگنال پالس ظاهر می‌شود که فرکانس آن برابر با تعداد دفعات چرخش دیسک در ثانیه است. در مرحله بعد شکل موج پالس ایجاد شده به یک شمارنده فرکانس داده می‌شود.

✓ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱-۶ (صفحه ۱۴ از کتاب درسی)

- ۱-۶-۱ پاسخ: برای بایاس ترانزیستور در منطقه فعال، دیود بیس - آمیتر در بایاس موافق و دیود کلکتور - بیس در بایاس مخالف قرار می‌گیرد.
- ۱-۶-۲ پاسخ: غلط
- ۱-۶-۳ پاسخ: صحیح
- ۱-۶-۴ پاسخ: با توجه به برگه اطلاعات شماره ۱-۳ ترانزیستور BC107 در شرایط آزمایش با جریان I_C برابر با 10 میلی آمپر، 45 ولت است.
- ۱-۶-۵ پاسخ: با توجه به شکل نمودار ۱-۲۲ در دمای 125 درجه سانتی گراد ماکزیمم توان مجاز ترانزیستور BC107 برابر 100 میلی وات است.
- ۱-۶-۶ پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.
- ۱-۶-۷ پاسخ: این مسئله در شکل ۱-۳ از کتاب درسی نشان داده شده است.

۱-۳- روش‌های مختلف بایاس کردن ترانزیستور (صفحه ۱۴ از کتاب درسی)

✓ راهکار تدریس

۱-۳-۱- بایاس ترانزیستور npn به منظور تقویت سیگنال: بایاس کردن ترانزیستور و جریان‌های مربوط به حامل‌های اقلیت و اکثریت به طور مصور و کامل در صفحات ۱۱۴ تا ۱۱۸ کتاب الکترونیک عمومی ۱ کد ۳۵۹/۴۲ آمده است.

✓ نکته آموزش

✓ فرصت یاددهی - یادگیری

۱-۳-۲- مدل کردن رفتار ترانزیستور بر اساس جریان آب و فتر

✓ هدف

✓ فرصت یاددهی - یادگیری

مباحث ۱-۳ و زیر مجموعه‌های آن شامل راهکارهای تدریس - فرصت یاددهی - یادگیری و هدف‌ها در لوح فشرده ضمیمه کتاب توضیح داده شده است.

فعالیت خارج از کلاس ۱

دانش‌آموزان می‌توانند این فعالیت را با استفاده از نرم افزارهای معرفی شده در کتاب آزمایشگاه مجازی ۲ انجام دهند. همچنین در درس کارگاه الکترونیک عمومی این مبحث به اجرا در می‌آید. اجرای کارهای عملی فقط در کارگاه و بر اساس کتاب کارگاه الکترونیک عمومی با کد ۴۸۸/۷ صورت می‌گیرد.

✓ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۸-۱ (صفحه ۱۷ از کتاب درسی)

۱-۸-۱- پاسخ: با نوشتن KVL در حلقه شامل منبع تغذیه، مقاومت بیس و بیوند بیس - امیتر می‌توان مقدار جریان بیس را بدست آورد:

$$V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} \rightarrow I_B (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$$

۱-۸-۲- پاسخ: با در نظر گرفتن مدار بایاس اتوماتیک که در شکل ۱-۳۴ از کتاب درسی نشان داده شده است، گزینه صحیح ۳ است.

۱-۸-۳- پاسخ: برای پیدا کردن مقدار β_{DC} باید مقادیر جریان‌های I_C و I_B را محاسبه کرد:

$$I_C = (V_{CC} - V_C) / R_C = (24 - 16/8) / 47 \times 10^3 \Omega = 15/32 \text{ mA}$$

$$I_B = (V_{BB} - V_B) / R_B = (4/5 - 0/7) / 27 \times 10^3 \Omega = 0/14 \text{ mA}$$

$$\beta_{DC} = I_C / I_B = 109/42 \sim 110$$

۱-۸-۴- پاسخ: برای یافتن مقدار جریان بیس می‌توان از KVL حلقه منبع تغذیه، مقاومت کلکتور، مقاومت بیس و بیوند

بیس - امیتر استفاده کرد :

طبق مثال ۶-۱ صفحه ۱۶ کتاب الکترونیک عمومی ۲ کد ۴۹۰/۵ چاپ ۱۳۹۱ حل شود.

۵-۸-۱ پاسخ : برای یافتن ولتاژ بیس باید از تقسیم ولتاژ منبع تغذیه بین مقاومت های R_1 و R_2 استفاده کرد :

مطابق مثال ۷-۱ صفحه ۱۷ کتاب الکترونیک عمومی ۲ کد ۴۹۰/۵ چاپ ۱۳۹۱ حل شود.

۶-۸-۱ پاسخ : برای پاسخ دادن به این سؤال باید دقیقاً مراحل همانند آنچه در سؤال قبل ذکر شد پیاده سازی شود :

مطابق مثال ۷-۱ صفحه ۱۷ کتاب الکترونیک عمومی ۲ کد ۴۹۰/۵ چاپ ۱۳۹۱ حل شود.

۴-۱- منحنی های مشخصه ترانزیستور (صفحه ۱۹ از کتاب درسی)

هدف

راهکار تدریس

نکته آموزش

۱-۴-۱ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور یا منحنی های بیس - امیتر

ارتباط با سایر دروس

۱-۴-۱-۱ مقاومت استاتیک و دینامیک دیود بیس - امیتر

هدف

ارتباط با سایر دروس

مطالب مربوط به تیتر ۴-۱ و زیر مجموعه های آن در لوح فشرده ضمیمه آمده است.

مثال ۳

هدف

- بررسی تغییرات مقاومت ورودی دینامیکی ترانزیستور با تغییر نقطه کار

- پیدا کردن نقطه مناسب برای عملکرد ترانزیستور به عنوان تقویت کننده با استفاده از منحنی تغییرات جریان کلکتور بر حسب

ولتاژ بیس - امیتر

شکل ۳-۱ منحنی تغییرات جریان کلکتور یک ترانزیستور npn را بر حسب ولتاژ بیس - امیتر آن نشان می دهد. کدام یک از

نقاط نشان داده شده در این شکل برای استفاده از ترانزیستور به عنوان یک تقویت کننده سیگنال کوچک مناسب است؟

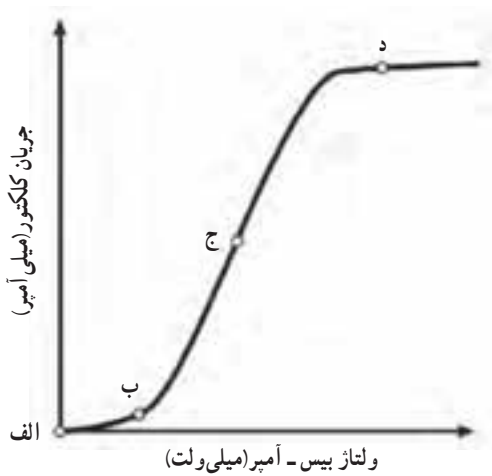
پاسخ : می دانیم مقاومت ورودی دینامیکی ترانزیستور با تغییر نقطه کار، متغیر و برابر با عکس شیب خط مماس بر منحنی جریان

بیس بر حسب ولتاژ بیس - امیتر است.

$$r_{\pi} = \frac{\Delta V_{BEQ}}{I_{BQ}}$$

$$r_{\pi} = \frac{\Delta V_{BEQ}}{I_{CQ}} = \beta \frac{\Delta V_{BEQ}}{I_{CQ}}$$

با جایگذاری جریان بیس بر حسب جریان کلکتور در رابطه بالا خواهیم داشت :



در نتیجه مقاومت ورودی دینامیکی ترانزیستور با عکس شیب منحنی جریان کلکتور بر حسب ولتاژ بیس - آمپر نیز رابطه مستقیم دارد. بر این اساس ولتاژ بیس - آمپر باید به گونه‌ای انتخاب شود که شیب منحنی و در نتیجه مقاومت ورودی دینامیکی ترانزیستور دارای کمترین تغییرات باشد. بنابراین «ج» مناسب‌ترین نقطه برای عملکرد ترانزیستور در حالت سیگنال کوچک است.

1-4-2- قابلیت هدایت انتقالی ترانزیستور

به لوح فشرده مراجعه کنید.

1-4-2- منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور

1-4-2-1- تشخیص ناحیه کار ترانزیستور با

استفاده از ولتاژ پایه‌های ترانزیستور و بایاس پیوندهای آن

شکل ۱-۷ منحنی تغییرات جریان کلکتور بر حسب ولتاژ بیس - آمپر و بررسی پایداری مقاومت دینامیکی ورودی به ازای نقاط کار مختلف

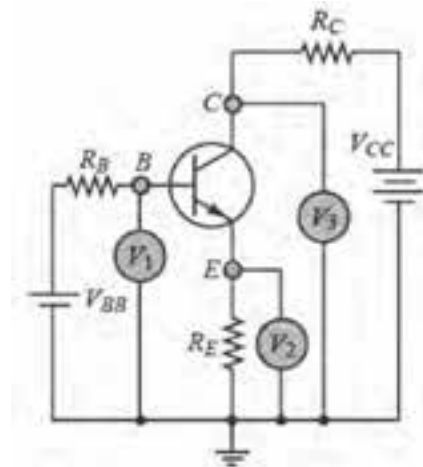
مباحث مربوط به تیتر ۱-۴-۲ و زیر مجموعه‌های آن در لوح فشرده ضمیمه آمده است.

مثال ۴

هدف

تعیین نقطه کار از روی مقادیر ولتاژ پایه‌های مختلف ترانزیستور در مدار شکل ۱-۹، مقادیر ولتاژهای بیس، آمپر و کلکتور نسبت به زمین داده شده‌اند. نقطه کار ترانزیستور را پیدا کنید.

$$V_1 = V_B = 2/7V, V_2 = V_E = 2V, V_3 = V_C = 2/3V.$$



شکل ۱-۹ تعیین نقطه کار ترانزیستور با استفاده از ولتاژ پایه‌های مختلف آن

پاسخ: برای یافتن نقطه کار ترانزیستور از روی ولتاژ پایه‌های مختلف آن بایستی مقادیر ولتاژهای V_{BE} و V_{BC} را محاسبه و بررسی کنیم آیا پیوندهای BE و BC به صورت مستقیم یا معکوس بایاس شده‌اند. عملکرد ترانزیستور در حالت اشباع مستلزم بایاس مستقیم هر دو پیوند است در حالی که یک ترانزیستور BJT وقتی در حالت فعال عمل می‌کند که پیوند BE آن به صورت مستقیم و پیوند BC به صورت معکوس بایاس شده باشند. با استفاده از مقادیر ولتاژ داده شده محاسبات زیر را انجام می‌دهیم:

$$V_{BE} = V_B - V_E = 0.7 \text{ V}$$

$$V_{BC} = V_B - V_C = 0.4 \text{ V}$$

از آنجا که هر دو پیوند در حالت مستقیم بایاس شده‌اند پس ترانزیستور در حالت اشباع عمل می‌کند.
مقدار ولتاژ کلکتور-امیتر برابر است با:

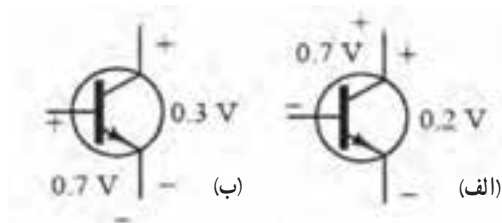
$$V_{CE} = V_C - V_E = 0.3 \text{ V}$$

این ولتاژ دارای مقدار بسیار اندکی است و معمولاً نشانه خوبی از کار کردن ترانزیستور در ناحیه اشباع است.

مثال ۵

هدف

– تعیین ولتاژ پایه‌های مختلف ترانزیستور با استفاده از ولتاژ پیوندهای داده شده و تعیین نقطه کار ترانزیستور



برای ترانزیستورهای نشان داده شده در شکل ۱۰-۱ ابتدا معین کنید که پیوندهای BE و BC به طور مستقیم یا معکوس بایاس شده‌اند و سپس ناحیه کار ترانزیستور را تعیین کنید.

شکل ۱۰-۱ تعیین نقطه کار ترانزیستور با استفاده از ولتاژ پیوندهای مختلف آن

پاسخ: ابتدا با استفاده از مقادیر ولتاژ دو سر پیوندهای داده شده، مقدار ولتاژ هر یک از پایه‌های ترانزیستور را می‌یابیم و سپس مقادیر ولتاژهای خواسته شده در سؤال را محاسبه می‌کنیم.

$$V_{CE} = V_C - V_E = 0.2 \rightarrow V_E = V_C = 0.2 \text{ (الف)}$$

$$V_{BC} = V_B - V_C = 0.7 \rightarrow V_B = V_C = 0.7$$

$$V_{BE} = V_B - V_E = V_C = 0.7 - (V_C = 0.2) = 0.5 \text{ V}$$

هر دو پیوند BE و BC به صورت معکوس بایاس شده‌اند و در نتیجه ترانزیستور در ناحیه قطع است.

$$V_{CE} = V_C - V_E = 0.3 \rightarrow V_C = V_E = 0.3 \text{ (ب)}$$

$$V_{BE} = V_B - V_E = 0.7 \rightarrow V_B = V_E = 0.7$$

$$V_{BC} = V_B - V_C = V_E = 0.7 - (V_E = 0.3) = 0.4 \text{ V}$$

هر دو پیوند BE و BC به صورت مستقیم بایاس شده‌اند و در نتیجه ترانزیستور در ناحیه اشباع است.

مثال ۶

هدف

– استفاده از ولتاژ پیوندهای مختلف ترانزیستور در معین کردن ولتاژ هر یک از پایه‌های ترانزیستور برای تعیین نقطه کار. ناحیه کار ترانزیستورهای npn زیر را با استفاده از ولتاژ پیوندهای مختلف آن‌ها محاسبه کنید.

$$\text{الف) } V_{BE} = 0.8 \text{ V}, V_{CE} = 0.4 \text{ V}$$

$$\text{ب) } V_{CB} = 1/4 \text{ V}, V_{CE} = 2/1 \text{ V}$$

$$\text{ج) } V_{BE} = 1/2 \text{ V}, V_{CB} = 0.6 \text{ V}$$

پاسخ:

$$V_{BE} = V_B - V_E = 0.8 \rightarrow V_B = V_E + 0.8 \quad \text{الف)}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 0.4 \rightarrow V_C = V_E + 0.4$$

$$V_{BC} = V_B - V_C = V_E + 0.8 - (V_E + 0.4) = 0.4 \text{ V}$$

هر دو پیوند BE و BC به صورت مستقیم بایاس شده اند و در نتیجه ترانزیستور در ناحیه اشباع است.

$$V_{BC} = V_{CB} = V_B - V_C = 1/4 \text{ V} \rightarrow V_B = V_C - 1/4 \quad \text{ب)}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 2/1 \text{ V} \rightarrow V_E = V_C - 2/1$$

$$V_{BE} = V_B - V_E = V_C - 1/4 - (V_C - 2/1) = 0.7 \text{ V}$$

پیوند BE به صورت مستقیم و پیوند BC به صورت معکوس بایاس شده است و در نتیجه ترانزیستور در ناحیه فعال است.

ج) از آنجا که پیوند BE به صورت معکوس بایاس شده است، صرف نظر از نوع بایاس پیوند BC؛ ترانزیستور در ناحیه قطع است.

۱-۵- بررسی تقویت سیگنال الکتریکی از روی منحنی‌های مشخصه ترانزیستور (صفحه ۲۵ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

هدف

مثال ۷ (دانش افزایی)

هدف

– محاسبه میزان تقویت ترانزیستور در آرایش امیتر- مشترک با استفاده از منحنی مشخصه خروجی آن.

مدار شکل ۱۱-۱ را در نظر بگیرید. فرض کنید منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور و اطلاعات زیر داده شده است:

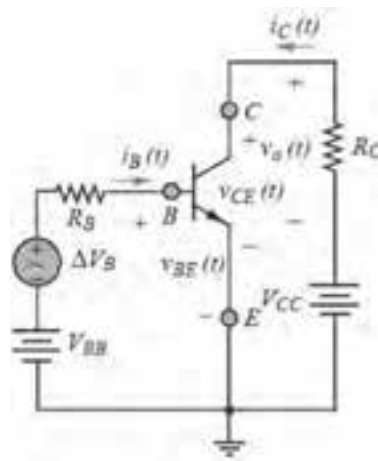
$$R_B = 10 \text{ k}\Omega, R_C = 375 \text{ }\Omega, V_{BB} = 2/1 \text{ V}, V_{CC} = 15 \text{ V}, V_{\gamma} = V_{BEon} = 0.6 \text{ V}.$$

با فرض ناچیز بودن مقاومت پیوند بیس- امیتر در مقایسه با R_B ، کمیت‌های زیر را محاسبه کنید:

$$۱- \text{ جریان بیس } I_{BQ}, \text{ جریان کلکتور } I_{CQ} \text{ و ولتاژ کلکتور- امیتر } V_{CEQ} \text{ در نقطه کار (جریان‌ها و ولتاژهای DC).}$$

$$۲- \beta \Delta I_C / \Delta I_B$$

$$۳- A_v = \Delta V_o / \Delta V_B$$



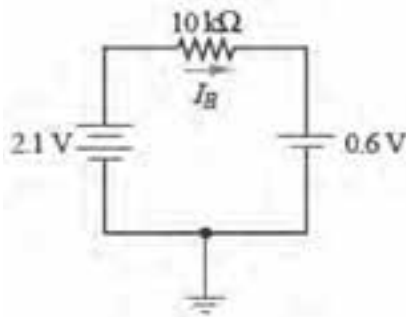
شکل ۱۱ - ۱ - یک ترانزیستور npn در آرایش امیتر - مشترک که برای تقویت سیگنال مورد استفاده قرار گرفته است.

حل :

۱- نقطه کار DC : مدار معادل DC برای بیس - امیتر در شکل

۱-۷ نشان داده شده و با معادله زیر توصیف شده است :

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_B} = \frac{V_{BB} - V_{\gamma}}{R_B} = \frac{2/1 - 0/6}{10000} = 15 \mu A$$



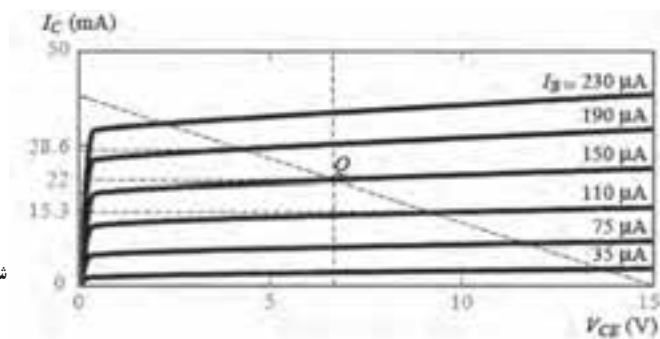
شکل ۱۲ - ۱ مدار معادل DC بیس - امیتر

برای پیدا کردن نقطه کار، معادله خط بار را برای مدار کلکتور می نویسیم : $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 15 - 375 I_C$ خط بار در شکل ۱-۲۳ نشان داده شده است. محل تقاطع خط بار با منحنی جریان بیس $15 \mu A$ ، نقطه کار تقویت کننده ترانزیستوری است و همان طور که از شکل مشخص است با سه کمیت زیر تعریف می شود :

$$V_{CEQ} = 8/25 V; I_{CQ} = 22 mA; I_{BQ} = 15 \mu A$$

۲- بهره جریان AC : برای محاسبه بهره جریان، دوباره به منحنی مشخصه خروجی مراجعه می کنیم. اگر فرض کنیم مقدار سیگنال AC بیس در نقطه کار بین $19 \mu A$ و $11 \mu A$ متغیر است از شکل ۱-۸ مشخص است که جریان کلکتور بین $28/6 mA$ و $15/3 mA$ تغییر می کند. این تغییر جریان کلکتور در نقطه کار را می توان به عنوان اثری از نوسان جریان در بیس در نظر گرفت و بهره جریان تقویت کننده را بر اساس آن محاسبه کرد.

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{28/6 \times 10^{-3} - 15/3 \times 10^{-3}}{19 \times 10^{-6} - 11 \times 10^{-6}} = 166/25$$



شکل ۱۳ - ۱ منحنی مشخصه و خط بار DC مدار شکل ۲۱-۱

بنابراین بهره جریان نامی ترانزیستور تقریباً برابر ۱۶۶ β است.

۳- بهره ولتاژ AC: برای مشخص کردن بهره ولتاژ AC، $A_V = \Delta V_o / \Delta V_B$ ، باید تغییرات ولتاژ خروجی، ΔV_o ، را به عنوان

تابعی از تغییرات ولتاژ ورودی، ΔV_B ، بیان کنیم. داریم:

$$V_o(t) = R_C i_C(t) = R_C I_{CQ} + R_C \Delta I_C(t)$$

بنابراین می توان نوشت:

$$\Delta V_o(t) = R_C \Delta I_C(t) = R_C \beta \Delta I_B(t)$$

با نوشتن KVL در حلقه بیس به دست می آوریم:

$$\Delta V_B(t) = R_B \Delta I_B(t) + \Delta V_{BE}(t)$$

قبلاً گفته بودیم که مقاومت پیوند بیس - امیتر در مقابل R_B ناچیز است و از آن صرف نظر می کنیم. از این رو می توان از تغییرات

ولتاژ بیس - امیتر با زمان، $\Delta V_{BE}(t)$ ، نیز صرف نظر کرد. بنابراین داریم:

$$\Delta I_B(t) = \frac{\Delta V_B}{R_B}$$

با جایگذاری این نتیجه در رابطه به دست آمده برای $\Delta V_o(t)$ خواهیم داشت:

$$\Delta V_o(t) = -R_C \beta \Delta I_B(t) = -\frac{R_C \beta \Delta V_B(t)}{R_B}$$

یا

$$\frac{\Delta V_o(t)}{\Delta V_B(t)} = A_V = -\frac{R_C}{R_B} \beta = -6/23$$

☑ نکات آموزشی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۱-۵-۱- نقطه کار و خط بار DC

☑ هدف

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

☑ ارتباط با سایر دروس

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۸

☑ هدف

- بررسی اهمیت انتخاب نقطه کار

- مشاهده خروجی متناوب ترانزیستور برای چند نقطه مختلف روی خط بار DC

- آشنایی با محل مناسب برای انتخاب نقطه کار DC

چگونگی تقویت سیگنال خط بار و نقطه کار در کتاب الکترونیک عمومی ۱ صفحات ۱۳۶ تا ۱۳۹ و ۱۲۴ تا ۱۲۷ کد ۳۵۹/۴۲

چاپ ۱۳۹۱ و کتاب الکترونیک عمومی ۲ کد ۴۹۰/۵ چاپ ۱۳۹۱ صفحات ۲۵ تا ۲۷ به طور کامل آمده است. برای کسب اطلاعات

بیشتر به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

WWW

معرفی سایت: مطالعه چگونگی بایاس ترانزیستور، محاسبه نقطه کار و منحنی های مشخصه ترانزیستور

۱) <http://www.zen22142.zen.co.uk/Design/bjtbias.htm>

۲) http://www.allaboutcircuits.com/vol_3/chpt_4/5.html

۶-۱- عمل کلید زنی (سوئیچینگ) ترانزیستور (صفحه ۲۸ از کتاب درسی)

☑ راهکار تدریس

۶-۱-۱ چرا از ترانزیستورها به عنوان سوئیچ استفاده می‌شود؟

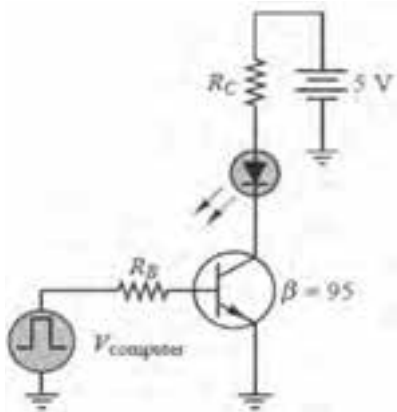
درباره عمل کلید زنی ترانزیستور در صفحه ۲۸ کتاب الکترونیک عمومی ۲ کد ۴۹۰/۵ چاپ ۱۳۹۱ توضیح داده شده است.

● فعالیت خارج از کلاس ۲

دانش‌آموزان می‌توانند این فعالیت را با استفاده از نرم‌افزارهای معرفی شده در کتاب آزمایشگاه مجازی ۲ انجام دهند. همچنین هنگام تدریس قسمت‌های مختلف، اجرای نرم‌افزاری کلید مباحث به نمایش درآید. یادآور می‌شود که اجرای آزمایش‌های عملی فقط در کتاب کارگاه و آزمایشگاه الکترونیک عمومی به اجرا در می‌آید.

☑ هدف

مباحث ۶-۱ و زیر مجموعه‌های آن در لوح فشرده ضمیمه توضیح داده شده است.



مثال ۹: (کاربردی) (دانش افزایی)

☑ هدف

- انتخاب نقطه کار با توجه به مشخصات و محدودیت‌های ترانزیستور
- بررسی عملکرد و کاربرد ترانزیستور در حالت کلیدزنی
- محاسبه نقطه کار

برای نشان دادن وضعیت روشن و یا خاموش بودن یکی از پورت‌های خروجی کامپیوتر از LED استفاده شده است. شکل ۱-۱۴ مدار یک راه‌انداز LED را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۱۴- استفاده از ترانزیستور در حالت کلیدزنی برای مشخص کردن وضعیت پورت خروجی کامپیوتر

اطلاعات زیر در مورد مشخصات مدار داده شده است:

مشخصات پورت خروجی کامپیوتر: $R_B = 1 \text{ k}\Omega, V_{ON} = 5 \text{ V}, V_O = 0 \text{ V}, I = 5 \text{ mA}$.

مشخصات ترانزیستور: $V_{CC} = 5 \text{ V}, V_{BEon} = 0.7 \text{ V}, \beta = 95$

مشخصات LED: $V_{YLED} = 1.4 \text{ V}, I_{LED} > 15 \text{ mA}, P_{max} = 100 \text{ mW}$.

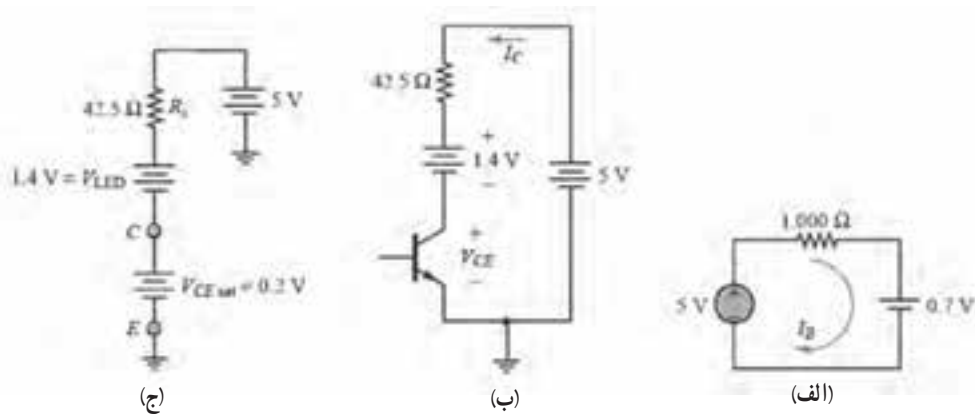
کمیت‌های زیر را محاسبه کنید:

الف) مقاومت کلکتور، R_C ، به نحوی که وقتی مقدار خروجی کامپیوتر 5 V است ترانزیستور در حالت اشباع کار کند.

ب) مقدار توان تلف شده توسط LED

حل: وقتی مقدار ولتاژ خروجی کامپیوتر صفر است، از آنجا که از بیس جریانی عبور نمی‌کند، ترانزیستور در ناحیه قطع

است. هنگامی که مقدار ولتاژ خروجی کامپیوتر برابر $V_{ON} = 5V$ است، می‌خواهیم که ترانزیستور در ناحیه اشباع عمل کند. همان‌طور که پیش از این نیز بیان کردیم، عمل کردن ترانزیستور در حالت قطع یا اشباع آن را به یک سوئیچ تبدیل می‌کند. در این مثال، عملیات قطع یا وصل ترانزیستور توسط پورت خروجی کامپیوتر کنترل می‌شود. به خاطر بیاورید که وقتی ترانزیستور در ناحیه اشباع کار می‌کند، مقدار ولتاژ کلکتور-امیتر کوچک است و معمولاً اندازه آن برابر $V_{CEsat} = 0.2V$ است. شکل ۱-۱۰ الف مدار معادل بیس-امیتر را وقتی که ولتاژ خروجی کامپیوتر برابر $V_{ON} = 5V$ است نشان می‌دهد. شکل ۱-۱۰ ب مدار معادل کلکتور و شکل ۱-۱۰ ج مدار معادل کلکتور را وقتی که ترانزیستور در حالت اشباع عمل می‌کند نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۵

الف) مدار معادل BE برای راه انداز LED

ب) مدار معادل کلکتور برای راه انداز LED با این فرض که ترانزیستور در ناحیه فعال عمل می‌کند.

ج) مدار معادل کلکتور برای راه انداز LED با این فرض که ترانزیستور در ناحیه اشباع عمل می‌کند.

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{\gamma LED} - V_{CEsat}$$

برای حالت اشباع می‌توان نوشت :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{\gamma LED} - V_{CEsat}}{I_C} = \frac{3}{4}$$

از مفروضات مسئله می‌دانیم که LED نیازمند 15^{mA} برای روشن شدن است. اجازه دهید فرض کنیم 3^{mA} ، جریان کافی برای LED است تا درخشندگی خوبی داشته باشد. با جایگذاری این جریان در معادله بالا، $R_C = 113 \Omega$ به دست می‌آید. با طراحی بالا، راه انداز ترانزیستوری LED به خوبی عمل کرده و LED را روشن و خاموش می‌کند. اما چطور می‌توان مطمئن شد که ترانزیستور واقعاً در حالت اشباع عمل می‌کند؟

☑ نکته آموزشی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

WWW

معرفی سایت: بررسی عملکرد و برخی کاربردهای ترانزیستور در حالت کلیدزنی

۱- http://www.allaboutcircuits.com/vol_۳/chpt_۴/۲.html

۲- <http://www.mayothi.com/transistors.html>

۳- http://www.electronicstutorials.ws/transistor/tran_۴.html

✓ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱۲-۱ (صفحه ۲۸ از کتاب درسی)

۱-۱۲-۱ پاسخ: منحنی تغییرات V_{BE} ، I_B به ازای یک ولتاژ معین از ولتاژ کلکتور - امیتر، منحنی مشخصه ورودی

نام دارد.

۱-۱۲-۲ پاسخ: اگر نقطه کار ترانزیستور بین ناحیه قطع و اشباع متغیر باشد ترانزیستور مانند یک کلید عمل می کند.

۱-۱۲-۳ پاسخ: برای اینکه پاسخ دقیقی به این سؤال داده باشیم باید گفت که در دمای محیط رابطه هدایت انتقالی برابر

است با:

$$g_m = \frac{I_C}{26\text{mV}} \approx \frac{I_E}{26\text{mV}}$$

۱-۱۲-۴ پاسخ: این رابطه برای یک ترانزیستور که ورودی آن به بیس داده شده و خروجی آن از کلکتور گرفته شده

است صحیح است.

۱-۱۲-۵ پاسخ: منحنی داده شده در شکل ۱-۷۸ از کتاب درسی همان مشخصه انتقالی ترانزیستور است که به ازای

یک ولتاژ کلکتور - امیتر ثابت داده می شود. طبق تعریف نسبت جریان کلکتور به جریان بیس به ازای یک ولتاژ کلکتور - امیتر ثابت

نشان دهنده β_{DC} است و از این رو گزینه ۲ صحیح است.

۱-۱۲-۶ پاسخ: همان طور که در شکل ۱-۷۹ از کتاب درسی مشخص است، در منحنی I_B بر حسب V_{BE} به ازای یک ولتاژ

بیس - امیتر خاص، وقتی ولتاژ کلکتور - امیتر افزایش پیدا می کند، جریان بیس کاهش خواهد یافت. در نتیجه گزینه ۲ صحیح است.

۱-۱۲-۷ پاسخ: با در نظر گرفتن تعریف مقاومت استاتیکی برای نقطه A داریم:

$$R_{SA} = \frac{V_{BEQ}}{I_{BQ}} = \frac{0/5\text{V}}{200\mu\text{A}} = 2/5\text{k}\Omega$$

از آنجا که مقاومت دینامیکی دیود بیس امیتر از رابطه $\Delta V_{BE}/\Delta I_B$ محاسبه می شود برای این مقاومت از نقطه B تا C

داریم:

$$r_{\pi} = \frac{(0/7 - 0/6)\text{V}}{(400 - 300)\mu\text{A}} = 1\text{k}\Omega$$

۱-۱۲-۸ پاسخ: با استفاده از تعریف هدایت انتقالی در دمای محیط می توان نوشت:

$$g_m = \frac{I_C}{26\text{mV}} = \frac{5\text{mA}}{26\text{mV}} \approx 0/2\text{s}$$

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار

۱- رادیوهای ترانزیستوری

۲- کاربرد ترانزیستور در دروازه های منطقی

۳- گیرنده و فرستنده های ساده ترانزیستوری

۴- مدارات مونواستابل و بی استابل

موارد مربوط به موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار در لوح

فشرده ضمیمه آمده است.