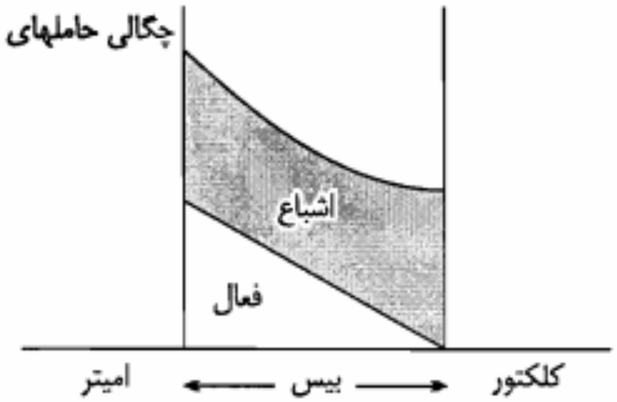


شکل ۴-۲۴: تغییرات چگالی حاملهای اقلیت اضافی بیس در وضعیتهای مختلف ترانزیستور

شرط اینکه ترانزیستور از حالت اشباع به حالت فعال برود این است که حاملهای اقلیت اضافی ذخیره شده در بیس (قسمت خاکستری شکل) تخلیه شوند. مدت زمان لازم برای تخلیه این حاملها را زمان ذخیره می‌نامند. تخلیه این حاملها از طریق تغییر جهت جریان بیس، که در لحظه t_2 صورت می‌گیرد، انجام می‌شود.

زمان نزول (t_f): در این فاصله زمانی، ترانزیستور در حال تغییر وضعیت از حالت فعال به حالت قطع است و جریانهای کلکتور و بیس به صورت نمایی به سمت صفر میل می‌کنند.

معمولاً در ترانزیستورها زمان ذخیره از سایر زمانهای مورد بحث طولانی‌تر است و به عنوان عامل اصلی کاهش سرعت کلید ترانزیستوری شناخته می‌شود. برای ترانزیستور *2N2222A*، $t_d = ۱۰\ nsec$، $t_r = ۲۵\ nsec$، $t_s = ۲۲۵\ nsec$ و $t_f = ۶۰\ nsec$ است. برای افزایش سرعت کلید ترانزیستوری سعی می‌شود با روشهای مختلف حتی‌الامکان از اشباع ترانزیستور جلوگیری شود.

۴-۹ خلاصه

- در ترانزیستور پیوندی دوقطبی (*BJT*) هم حاملهای اقلیت و هم حاملهای اکثریت در ایجاد جریان دخالت دارند.
- در *BJT* جریان کلکتور می‌تواند توسط یکی از جریانهای بیس یا امیتر کنترل شود. به همین دلیل این ترانزیستور را یک منبع جریان کنترل شده با جریان در نظر می‌گیرند.
- برای ترانزیستور برحسب وضعیت مستقیم یا معکوس بودن پیوندهای کلکتور ـ بیس و امیتر ـ بیس، سه ناحیه کار در نظر گرفته می‌شود.
- در ناحیه فعال، پیوند کلکتور ـ بیس در وضعیت معکوس و پیوند امیتر ـ بیس در وضعیت مستقیم؛ در ناحیه اشباع، هر دو پیوند کلکتور ـ بیس و امیتر ـ بیس در وضعیت مستقیم و در ناحیه قطع، هر دو پیوند کلکتور ـ بیس و امیتر ـ بیس در وضعیت معکوس قرار دارند. همچنین در ناحیه

قطع جریانهای امیتر و کلکتور نزدیک به صفر است ($I_C = I_{CBO}$).

- در ناحیه فعال، رابطه جریان کلکتور و جریانهای امیتر و بیس عبارتند از

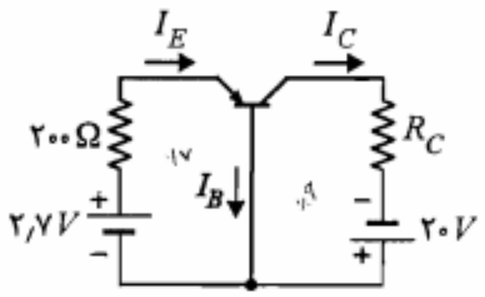
$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \cong \alpha I_E$$

$$I_C = \beta I_B + (\beta + ۱) I_{CBO} = \beta I_B + I_{CEO} \cong \beta I_B$$

- در ناحیه اشباع، نامساوی $I_C(sat) < \beta I_B$ برقرار است.
- در هنگام کاربرد ترانزیستور در مدارهای الکترونیکی باید به مقادیر نامی ولتاژ، جریان و توان ترانزیستور (BV_{CEO}، BV_{CBO}، BV_{EBO}، $I_{C,max}$ و $P_{C,max}$) که از طرف شرکتهای سازنده در کتابهای اطلاعات در اختیار قرار می‌گیرند، توجه شود.

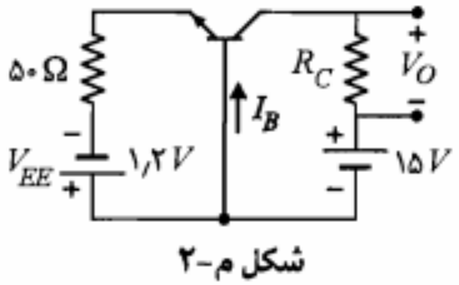
۴-۱۰ مسائل

۱. در مدار شکل م-۱، ترانزیستور دارای $\alpha = ۰/۹$ و $|V_{BE}(ON)| = ۰/۷\ V$ است.
الف) جریانهای I_E، I_C و I_B را محاسبه کنید.
ب) اگر بخواهیم قدر مطلق ولتاژ V_{CE} از ۲۰ ولت تجاوز نکند ($|V_{CE,max}| = ۲۰\ V$) حداقل مقدار R_C چقدر باید باشد؟



شکل م-۱

۲. در مدار شکل م-۲ ترانزیستور دارای $\alpha = ۰/۹$ و $V_{BE}(ON) = ۰/۷\ V$ است.
الف) به ازای چه مقدار R_C، قدر مطلق ولتاژ خروجی برابر ۴/۵ ولت می‌شود؟ در این صورت V_{CE} چقدر خواهد بود؟
ب) اگر بخواهیم با مقاومت R_C محاسبه شده در بند (الف) ولتاژ V_{CB} برابر ۷/۵ ولت شود، ولتاژ V_{EE} را چقدر باید تغییر داد؟

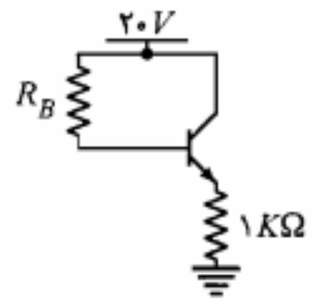


شکل م-۲

۳. برای ترانزیستور مدار شکل م-۳، فرض کنید $\beta = ۱۰۰$ و $V_{BE}(ON) = ۰/۷\ V$ باشد.
الف) مقدار R_B را به گونه‌ای تعیین کنید که

$V_{CE} = ۱۰\,V$ شود.

ب) در صورتی که β ترانزیستور برابر ۱۵۰ باشد، با R_B محاسبه شده در بند (الف) ولتاژ V_{CE} چقدر خواهد بود؟



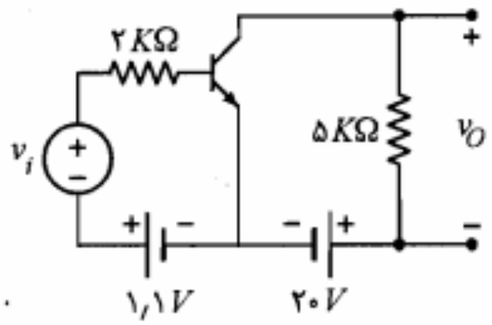
شکل م-۳

۴. در تقویت‌کننده امیتر مشترک شکل م-۴، $V_{BE}(ON)=۰/۷V$، $\alpha=۰/۹$ و ولتاژ ورودی برحسب ولت برابر $v_i=۰/۱\,sin\omega t$ است.

الف) ولتاژ خروجی v_O چقدر است؟

ب) مقدار حداقل ولتاژ v_{CE} را محاسبه کنید.

ج) در صورتی که بخواهیم v_{CE} از ۰/۳ ولت کمتر نشود، حداکثر دامنه ولتاژ ورودی سینوسی چقدر می‌تواند باشد؟



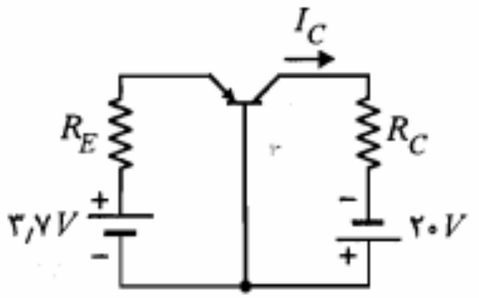
شکل م-۴

۵. در مدار شکل م-۵ ترانزیستور دارای $\alpha=۰/۹$ و $|V_{BE}(ON)|=۰/۷V$ می‌باشد.

الف) مقدار مقاومت R_E چقدر باشد تا جریان کلکتور در ناحیه فعال $۱/۸\,mA$ شود؟

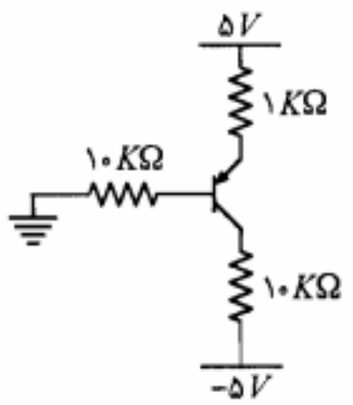
ب) مقدار R_C که ترانزیستور را به مرز اشباع می‌برد چقدر است؟ $(|V_{CE}(sat)| = ۰/۲V)$

ج) برای ثابت ماندن جریان I_C چه مقادیری برای R_C قابل قبول است؟



شکل م-۵

۶. در مدار شکل م-۶، مقادیر ولتاژهای V_C، V_E و V_B و جریانهای I_C، I_B و I_E را با فرض $\beta = ۳۰$ محاسبه نمایید.



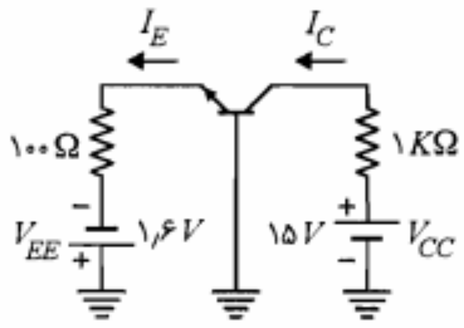
شکل م-۶

۷. در مدار شکل م-۷ ترانزیستور دارای $\beta = ۹$ و $|V_{BE}(ON)| = ۰/۷\,V$ است.

الف) مقادیر I_E، I_C و V_{CE} را محاسبه نمایید.

ب) به ازای $V_{CC} = ۵\,V$ اندازه کمیتهای مذکور را به دست آورید. $(|V_{CE}(sat)| = ۰/۲V)$

ج) به ازای $V_{CC} = ۵\,V$، اگر بخواهیم ترانزیستور را به مرز اشباع ببریم، چه مقدار جدیدی برای V_{EE} باید اختیار کنیم؟

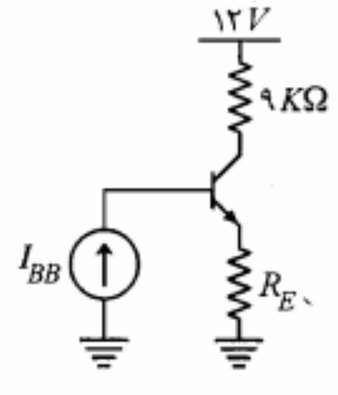


شکل م-۷

۸. در مدار شکل م-۸ منبع جریان I_{BB} برابر $۰/۰۱\,mA$ است. با فرض $۱۰۰ < \beta < ۲۰۰$،

الف) به ازای $R_E = ۱\,K\Omega$ ترانزیستور در چه وضعیتی قرار دارد؟

ب) به ازای چه مقادیری از R_E، ترانزیستور همواره در اشباع خواهد بود؟



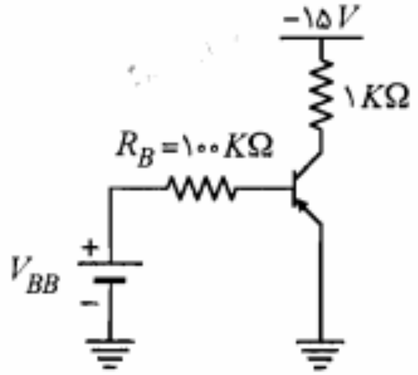
شکل م-۸

۹. در مدار شکل م-۹ ترانزیستور از نوع ژرمانیم و دارای $I_{CBO} = ۱\,\mu A$ در دمای $۲۵\,^\circ C$ است.

الف) V_{BB} را طوری تعیین کنید که ترانزیستور در دمای $۲۵\,^\circ C$ در حالت قطع باشد.

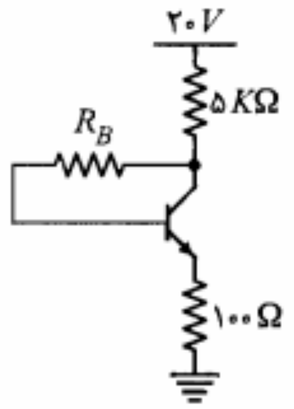
ب) آیا با V_{BB} محاسبه شده در بند (الف) ترانزیستور در دمای $۸۵\,^\circ C$ نیز در حالت قطع خواهد ماند؟ مقدار لازم برای V_{BB} جهت قطع ترانزیستور در این دما چقدر است؟

ج) در صورتی که $V_{BB}=۳V$ و $R_B=۳۰\,K\Omega$ باشد، تا چه دمایی ترانزیستور در وضعیت قطع باقی خواهد ماند؟



شکل م-۹

۱۰. در مدار شکل م-۱۰ در صورتی که از یک ترانزیستور سیلیکنی با $\beta = ۱۰۰$ استفاده کرده باشیم، به ازای چه مقدار R_B، ولتاژ V_{CE} برابر $۴V$ خواهد شد؟

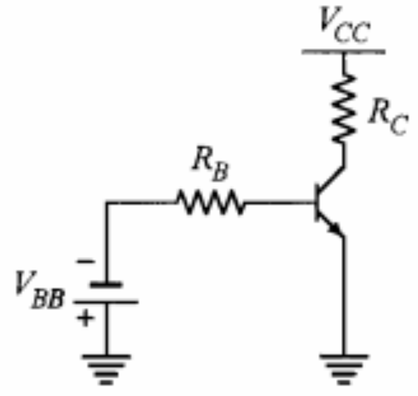


شکل م-۱۰

۱۱. در مدار شکل م-۱۱، از یک ترانزیستور سیلیکنی با $I_{CBO}=۱۰nA$ در دمای $۲۵^\circ C$ استفاده شده، که به ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما این جریان دو برابر می‌شود.

الف) با فرض $V_{BB} = ۸V$، به ازای چه مقدار R_B ترانزیستور در دمای $۱۸۵^\circ C$ در حالت قطع باقی می‌ماند؟

ب) اگر $V_{BB} = ۲V$ و $R_B = ۲۰KΩ$ باشد، تا چه دمایی ترانزیستور در حالت قطع باقی خواهد ماند؟

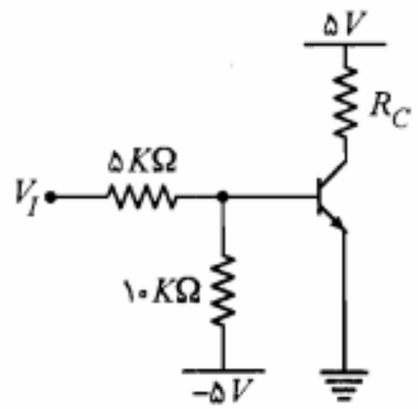


شکل م-۱۱

۱۲. در مدار کلید ترانزیستوری شکل م-۱۲ برای ترانزیستور $۵۰ > \beta > ۲۰$ و در دمای $۲۵^\circ C$ $I_{CBO} = ۲۰nA$ است.

الف) حداکثر V_I برای اینکه ترانزیستور در دمای $۷۵^\circ C$ در حالت قطع بماند چه مقدار خواهد بود؟

ب) R_C را طوری تعیین کنید که به ازای $V_I = ۵V$ و با فرض $|V_{CE}(sat)| = ۰/۲V$ ترانزیستور اشباع شود. این مقدار R_C حداقل است یا حداکثر؟



شکل م-۱۲

۱۳. ترانزیستور سیلیکنی مدار شکل م-۱۳ دارای $۵۰ > \beta > ۳۰$ و $I_{CBO} = ۱۰nA$ در دمای

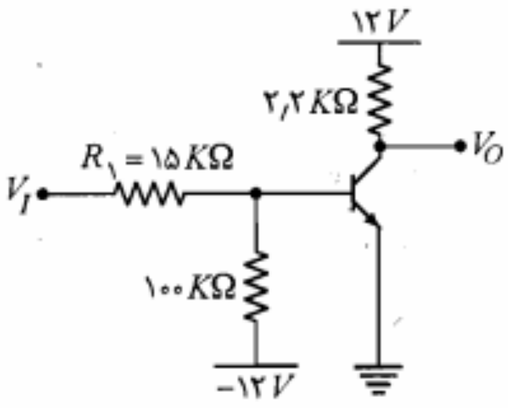
$۲۵^\circ C$ است. ($|V_{CE}(sat)| = ۰/۲V$)

الف) به ازای $V_I = ۱۲V$، ولتاژ V_O را محاسبه نمایید. ترانزیستور در چه ناحیه‌ای است؟

ب) حداقل مقدار $R_۱$ را که به‌ازای آن ترانزیستور در ناحیه فعال خواهد بود به دست آورید.

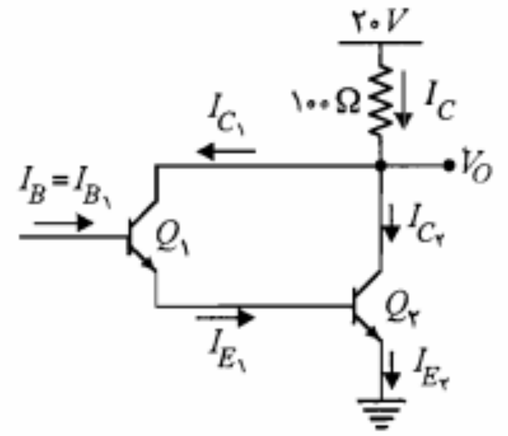
ج) به ازای مقادیر $R_۱ = ۱۵KΩ$ و $V_I = ۱V$ ترانزیستور در چه ناحیه‌ای کار می‌کند؟ در این صورت V_O را محاسبه نمایید.

د) با مقادیر مفروض در بند (ج) ترانزیستور تا حداکثر چه دمایی در حالت قطع باقی می‌ماند؟



شکل م-۱۳

۱۴. در مدار شکل م-۱۴، $I_{E_۲} = ۱۲۰mA$، $\alpha_۲ = ۰/۹۸$ و $\alpha_۱ = ۰/۹۹$ است. با فرض اینکه ترانزیستورها در ناحیه فعال باشند (مدار بایاس رسم نشده است)، جریانهای $I_{C_۱}$، $I_{B_۱}$، $I_{E_۱}$، $I_{C_۲}$ و I_C را محاسبه نمایید. ولتاژ V_O چقدر است؟ نسبت جریانهای I_C/I_B و $I_C/I_{E_۲}$ را محاسبه نمایید.

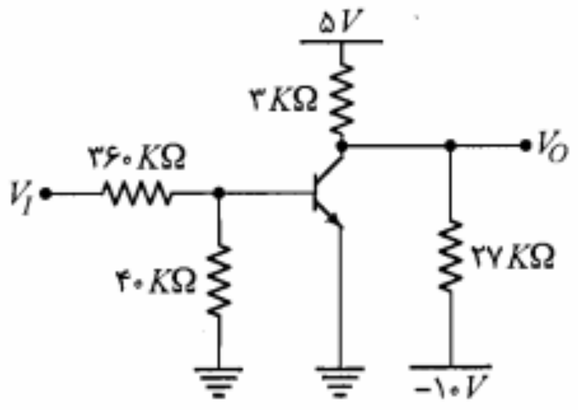


شکل م-۱۴

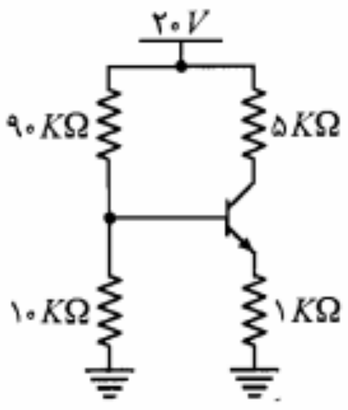
۱۵. در مدار شکل م-۱۵، $\beta = ۴۰$ است. مطلوب است محاسبه V_O

الف) اگر $V_I = ۱۵V$ باشد. ب) اگر $V_I = ۳۰V$ باشد.

۱۶. در مدار شکل م-۱۶، $\beta = ۵۰$ است. جریانهای کلکتور و بیس را محاسبه نمایید.



شکل م-۱۵

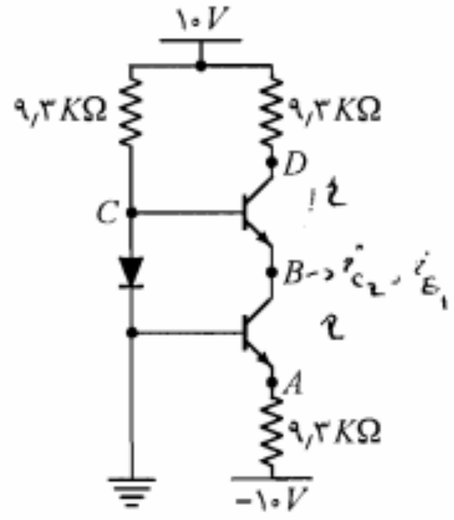


شکل م-۱۶

۱۷. در مدار شکل م-۱۷ برای ترانزیستورها $V_{BE} = ۰/۷V$ و برای دیود $V_\gamma = ۰/۷V$ است. مطلوب است محاسبه ولتاژ نقاط A، B، C و D با فرض

الف) $\beta = \infty$

ب) $\beta = ۱۰$

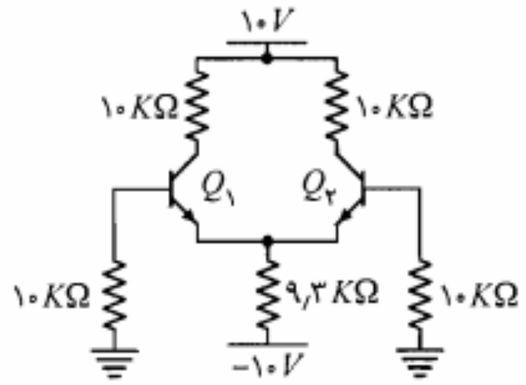


شکل م-۱۷

۱۸. در مدار شکل م-۱۸ ترانزیستورها کاملاً مشابه و دارای $V_{BE} = ۰/۷V$ هستند. ولتاژ کلکتور ترانزیستورهای $Q_۱$ و $Q_۲$ را برای حالتهای زیر محاسبه نمایید:

الف) $\beta_۱ = \beta_۲ = \infty$

ب) $\beta_۱ = \beta_۲ = ۱۰۰$

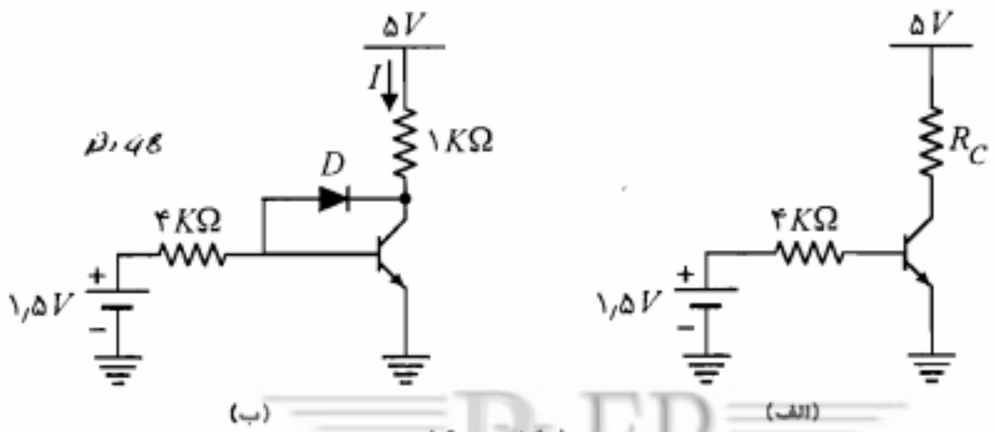


شکل م-۱۸

۱۹. در مدار شکل م-۱۹ برای ترانزیستور، $\beta = ۴۸$، $V_{BE} = ۰/۷V$ و $V_{CE}(sat) = ۰/۲V$ است.

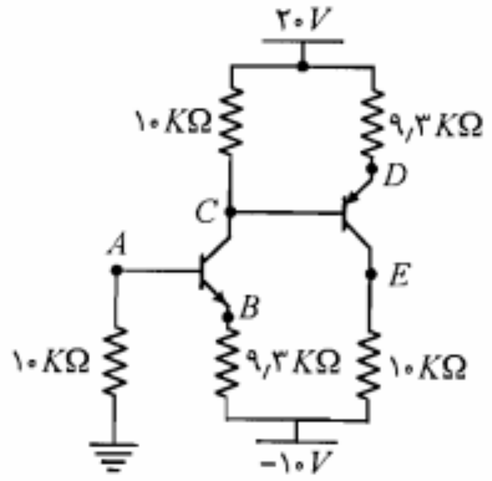
الف) در مدار شکل م-۱۹-الف R_C را طوری تعیین کنید که ترانزیستور در مرز اشباع قرار گیرد.

ب) در شکل م-۱۹-ب دیود D را به مدار اضافه و $R_C = ۱\,K\Omega$ انتخاب شود. اگر $V_\gamma = ۰/۳V$ باشد، V_{CE} و I چقدر خواهند بود؟ ترانزیستور چه وضعیتی دارد؟ نقش دیود D چیست؟



شکل م-۱۹

۲۰. در مدار شکل م-۲۰ برای هر یک از ترانزیستورها $V_{BE} = ۰/۷V$ است. با فرض $\beta = \infty$ مقادیر ولتاژ نقاط A، B، C، D و E را پیدا کنید.

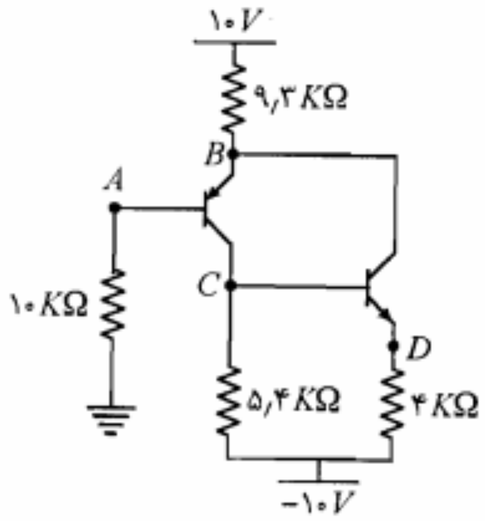


شکل م-۲۰

۲۱. در مدار شکل م-۲۱ ترانزیستورها مشابه بوده و برای هر یک از آنها $|V_{BE}| = ۰/۷V$ است. ولتاژ نقاط A، B، C و D را به دست آورید، اگر:

الف) $\beta = \infty$

ب) $\beta = ۱۰۰$

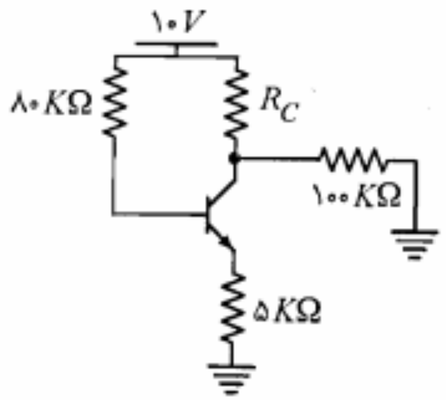


شکل م-۲۱

۲۲. در مدار شکل م-۲۲ با فرض $\beta = ۱۰۰$، $V_{BE}(ON) = ۰/۷V$ و $V_{CE}(sat) = ۰/۲V$،

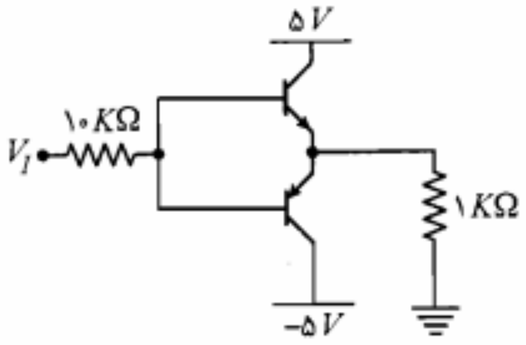
الف) به ازای $R_C = ۵\,K\Omega$ ولتاژها و جریانهای پایه‌های ترانزیستور را محاسبه کنید.

ب) مقدار مقاومت R_C را طوری تعیین کنید که $V_{CE} = ۱V$ شود.



شکل م-۲۲

۲۳. در مدار شکل م-۲۳ برای $V_I = \pm 5V$، $\beta = 100$ و $|V_{BE}| = 0/7V$، نقطه کار ترانزیستورها را به دست آورید.



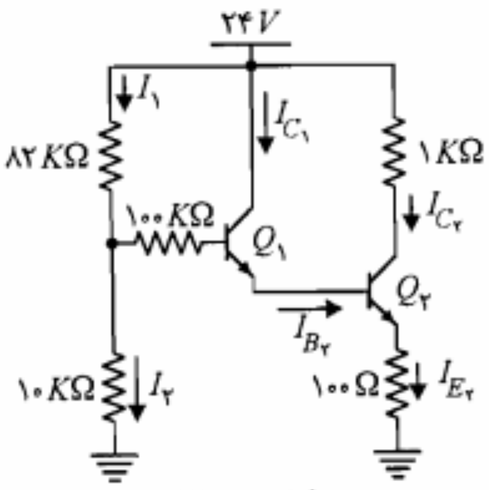
شکل م-۲۳

۲۴. مسأله ۲۳ را به ازای ولتاژ ورودی ۷ ولت حل کنید.

۲۵. در مدار شکل م-۲۵ ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیه فعال کار می‌کنند. $V_{BE_1} = V_{BE_2} = 0/7V$، $\beta_1 = 100$، $\beta_2 = 50$ و از جریان اشباع معکوس صرف‌نظر می‌شود.

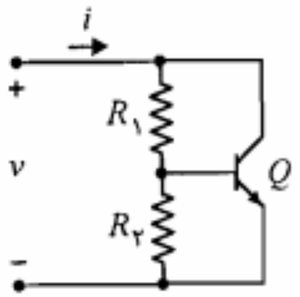
الف) جریانهای I_{B_2}، I_1، I_2، I_{C_1}، I_{C_2} و I_{E_2} را محاسبه نمایید.

ب) ولتاژهای V_{C_2} و V_{E_2} را پیداکنید.



شکل م-۲۵

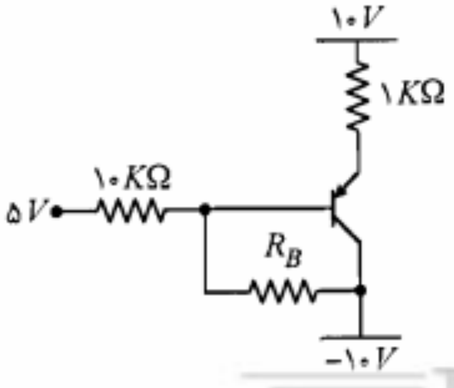
۲۶. در مدار شکل م-۲۶ با فرض فعال بودن ترانزیستور، رابطه v برحسب i را به دست آورده و نشان دهید رفتار مدار مشابه رفتار دیود در ناحیه مستقیم است. مقادیر V_γ و R_f را برحسب V_{BE}، β، R_1 و R_2 به دست آورید.



شکل م-۲۶

۲۷. در مدار شکل م-۲۷ برای ترانزیستور $V_{EC}(sat) = 0/2V$، $V_{EB}(sat) = 0/8V$، $V_{EB}(ON) = 0/7V$ و $\beta = 100$ است.

الف) به ازای $R_B = 5K\Omega$ ولتاژ و جریان امیتر را به دست آورید.

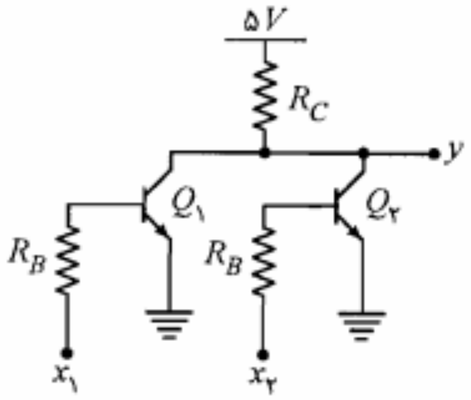


شکل م-۲۶

ب) آیا می‌توان R_B را طوری تعیین نمود که ترانزیستور اشباع شود؟

ج) آیا می‌توان R_B را طوری تعیین نمود که ترانزیستور قطع شود؟

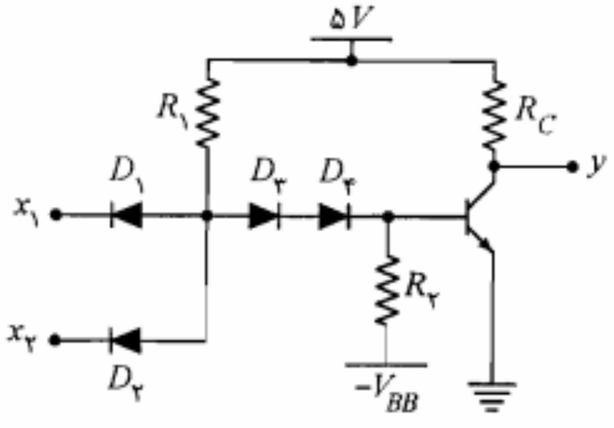
۲۸. در مدار شکل م-۲۸ با فرض اینکه $V_{CE}(sat) = 0/2V$ و با صرف‌نظر از جریان I_{CBO} جدول داده شده را تکمیل نمایید (مدار نشان داده شده یک NOR از خانواده RTL است).



شکل م-۲۸

x_1	x_2	y
0 V	0 V	
0 V	5 V	
5 V	5 V	

۲۹. مدار شکل م-۲۹ یک $NAND$ از خانواده DTL است. با فرض اینکه ولتاژ هدایت هر دیود $0/7V$ بوده و برای ترانزیستور، ولتاژهای آستانه هدایت، ناحیه فعال و اشباع بیس ـ امیتر به ترتیب برابر $0/5V$، $0/7V$ و $0/8V$ در نظر گرفته شوند؛ در مورد نحوه عملکرد مدار و مقدار خروجی y به ازای مقادیر جدول داده شده بحث کنید. ($V_{CE}(sat) = 0/2V$)



شکل م-۲۹

x_1	x_2	y
0 V	0 V	
0 V	5 V	
5 V	5 V	

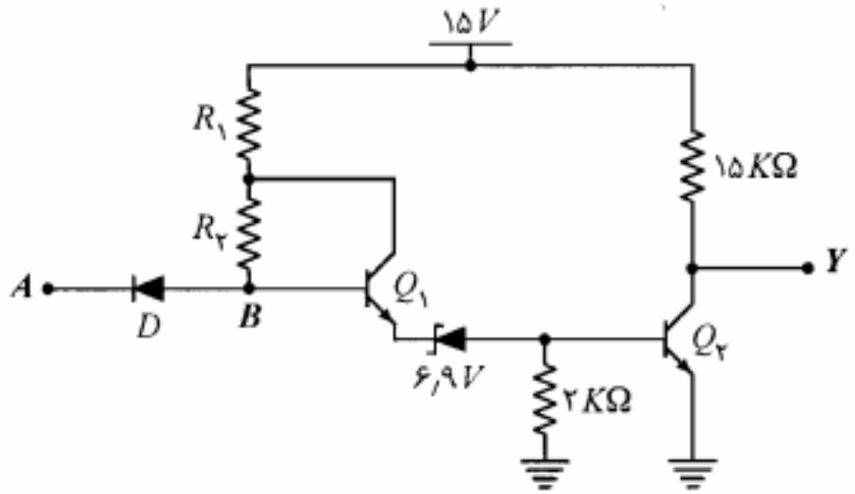
۳۰. مدار شکل م-۳۰ بخشی از یک دروازه منطقی است که به صورت یک معکوس‌کننده عمل می‌کند. با فرض ایده‌آل بودن دیود D، $V_{CE}(sat) = 0/2V$ و $V_{BE}(sat) = 0/8V$،

RUEB

الف) وضعیت ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 و دیود D را در $Y=0$ و $Y=1$ تعیین نمایید (منظور ۰ و ۱ منطقی است).

ب) فرض کنید در ورودی و خروجی، این مدار به دروازه مشابه خود وصل شده باشد. ولتاژ نقاط A و B را برای $Y=0$ و $Y=1$ تعیین نمایید.

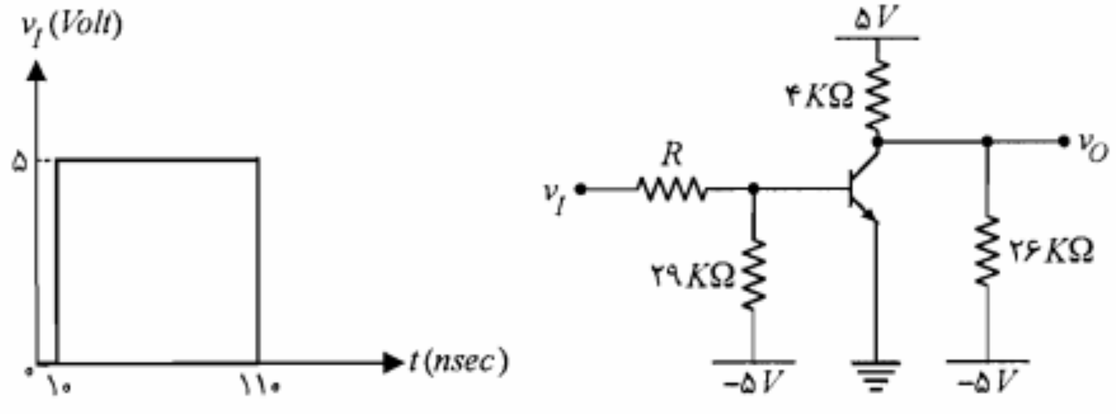
ج) در صورتی که $\beta_1 = \beta_2 = 20$ باشد، R_1 و R_2 را طوری تعیین کنید که در حالت $Y=0$ جریان I_1 برابر $I_{C_2}(sat)/2$ شود.



شکل م-۳۰

۳۱. در مدار شکل م-۳۱، با فرض $\beta = 100$ و $V_{CE}(sat) = 0.2V$،

الف) حداکثر مقدار R را طوری تعیین کنید که با شکل موج ورودی نشان داده شده تغییر وضعیت ترانزیستور بین حالتهای قطع و اشباع امکانپذیر باشد.

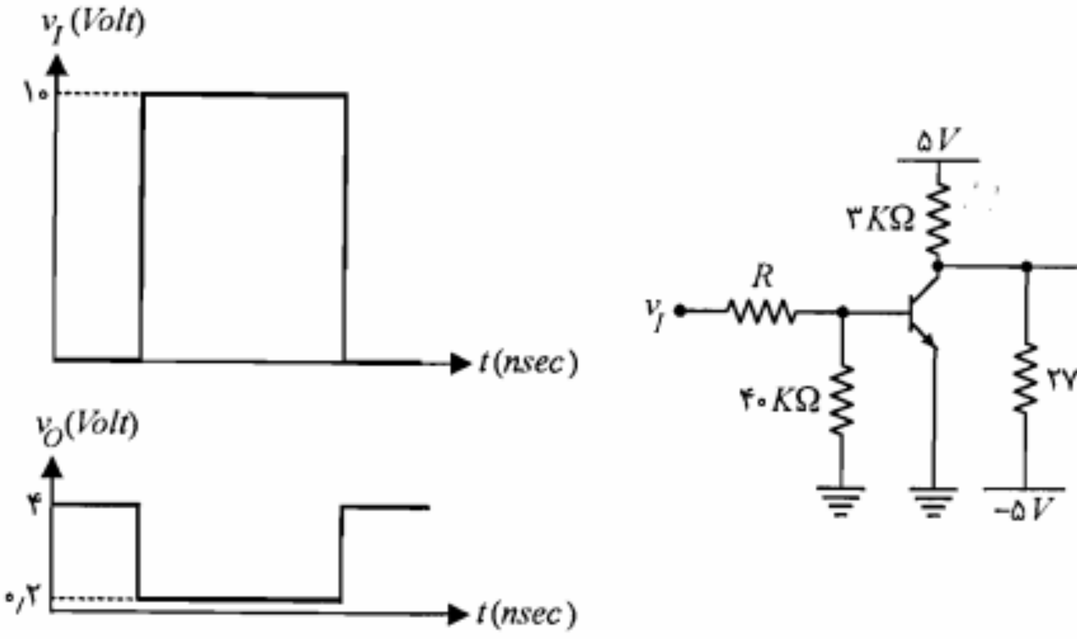


شکل م-۳۱

ب) ولتاژ خروجی بین چه مقادیری تغییر می‌کند؟

ج) در صورتی که برای ترانزیستور مورد نظر $t_s = 60\,nsec$، $t_f = 10\,nsec$، $t_r = 20\,nsec$ و $t_d = 20\,nsec$ باشد، شکل موج v_O را با مقیاس مناسب رسم کنید.

۳۲. در مدار شکل م-۳۲، با فرض $\beta = 100$ و $V_{CE}(sat) = 0.2V$، به ازای شکل موج ورودی v_I، شکل موج خروجی v_O حاصل شده است. (از زمانهای قطع و وصل ترانزیستور صرف‌نظر شده است.) مقدار مقاومت R چقدر باید باشد؟ این مقدار حداقل است یا حداکثر؟



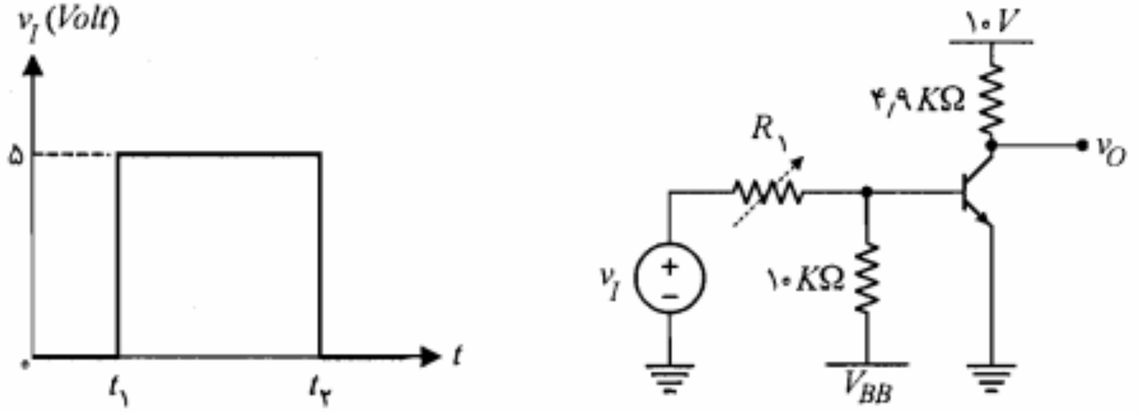
شکل م-۳۲

۳۳. در مدار کلید ترانزیستوری شکل م-۳۳، $I_{CBO} = 0.01\mu A$ (در $25^\circ C$)، $20 \le \beta \le 50$، $0 \le R_1 \le 10\,K\Omega$، $V_{CE}(sat) = 0.2V$، $V_{BE}(sat) = 0.8V$ و $V_{BE}(cut) = 0$ است.

الف) در صورتی که بخواهیم به ازای $v_I = 0$ ترانزیستور تا دمای $175^\circ C$ در حالت قطع باشد، حداکثر مقدار ولتاژ منبع V_{BB} چقدر باید باشد؟

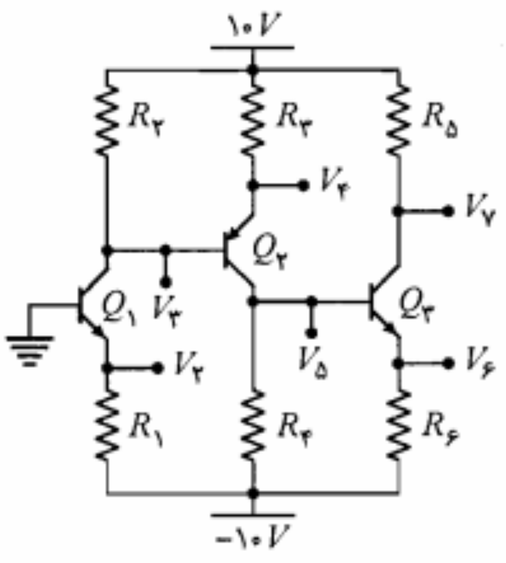
ب) به ازای $R_1 = 6\,K\Omega$ و $V_{BB} = -5V$، در دمای $25^\circ C$، شکل موج ولتاژ خروجی را برای شکل موج ورودی v_I نشان داده شده به دست آورید.

ج) وجود مقاومت متغیر R_1 چه اشکال عملی می‌تواند داشته باشد؟



شکل م-۳۳

۳۴. در مدار شکل م-۳۴ با فرض $\beta = \infty$، مقادیر مقاومتها را طوری تعیین کنید که جریان کلکتورهای Q_1، Q_2 و Q_3 به‌ترتیب ۲، ۲ و ۴ میلی‌آمپر؛ $V_3 = 0$، $V_5 = -4$ و $V_7 = 2$ ولت باشد. با مقادیر به دست آمده فوق به ازای $\beta = 100$ مقادیر V_2، V_3، V_4، V_5، V_6 و V_7 را به دست آورید.



شکل م-۳۴

POWEREN.IR

۵

طراحی مدارهای بایاس ترانزیستور

در این فصل به بررسی روشهای تثبیت نقطه کار ترانزیستور در ناحیه فعال مشخصه و نیز طراحی مدارهای مربوط به آن خواهیم پرداخت. از آنجا که پارامترهای ترانزیستور (β، I_{CBO} و V_{BE}) تابع دما می‌باشند، تغییر دما می‌تواند نقطه کار را جابه‌جا نموده و حتی ممکن است آن را به نواحی غیرخطی مشخصه نیز منتقل نماید. در این فصل همچنین معیارهایی برای مقایسه پایداری نقطه کار در طرحهای مختلف بایاس ارائه خواهد شد. در پایان روشهای عملی برای جبران اثرات حرارتی معرفی می‌شوند.

۵-۱ خط بار *DC*

در تمامی کاربردهای ترانزیستور که در آنها مسأله خطی‌بودن حائز اهمیت است، تغییرات جریان و ولتاژ ترانزیستور باید در ناحیه فعال مشخصه صورت پذیرد. به عبارت دیگر نقطه کار ترانزیستور باید در محل مناسبی در ناحیه فعال تثبیت شود. منظور از نقطه کار، نقطه‌ای از مشخصه است که مختصات آن در حالتی که هیچ‌گونه منبع سیگنالی در مدار وجود ندارد، جریانها و ولتاژهای *DC* ترانزیستور را مشخص می‌نمایند. جریان و ولتاژ نقطه کار توسط منبع *DC* تأمین می‌شود. در یک تقویت‌کننده ترانزیستوری توان لازم جهت تقویت سیگنال ورودی از همین منبع *DC* گرفته می‌شود.