

تقویت کننده‌های چندطبقه

Multistage Amplifiers

زمان اجرا: ۱۲ ساعت آموزشی

هدف کلی: بررسی تقویت کننده‌های چندطبقه و انواع کوپلاژ بین طبقات

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

- ۸- محاسبات مربوط به مدار معادل DC کوپلاژ ترانسفورماتوری را انجام دهد.
- ۹- کوپلاژ مستقیم را با رسم یک نمونه مدار توضیح دهد.
- ۱۰- محاسبات مربوط به مدار معادل DC کوپلاژ مستقیم را انجام دهد.
- ۱۱- مزایا و معایب انواع کوپلاژ را بیان کند.
- ۱۲- زوج دارلینگتون و انواع آن را شرح دهد.
- ۱۳- تقویت کننده آشاری را با ترانزیستور BJT و JFET، توضیح دهد.
- ۱۴- مسائل مربوط به انواع کوپلاژ را حل کند.
- ۱۵- به سؤالات الگوی پرسش پاسخ دهد.

- ۱- تقویت کننده چندطبقه را توضیح دهد.
- ۲- علل استفاده از تقویت کننده‌های چندطبقه را شرح دهد.
- ۳- بهره تقویت کننده‌های چندطبقه را محاسبه کند.
- ۴- روش‌های مختلف کوپلاژ تقویت کننده‌های چندطبقه را شرح دهد.
- ۵- کوپلاژ خازنی را با رسم یک نمونه مدار توضیح دهد.
- ۶- محاسبات مربوط به مدار معادل DC کوپلاژ خازنی را انجام دهد.
- ۷- کوپلاژ ترانسفورماتوری را با رسم یک نمونه مدار توضیح دهد.

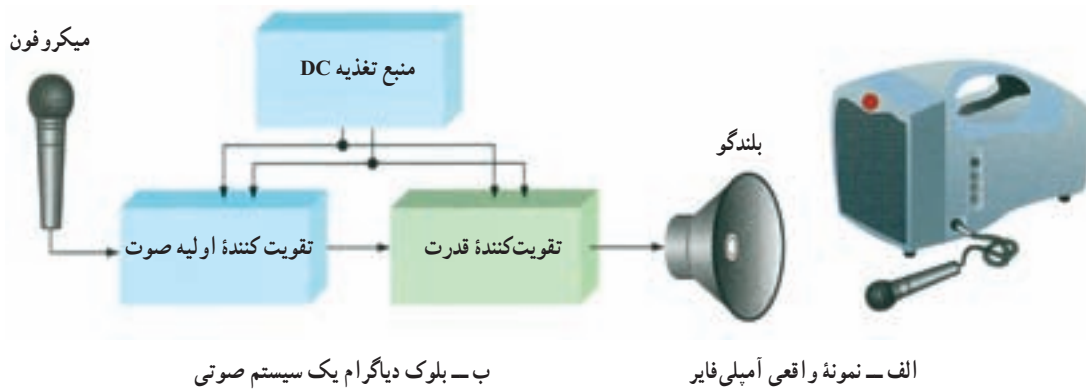
و تقویت کننده‌های چندطبقه را تشکیل دهیم.

پیش‌گفتار

در فصل‌های گذشته تقویت کننده‌های امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک را بررسی کردیم و دیدیم که محدودیت‌هایی در بهره، امپدانس ورودی و امپدانس خروجی این نوع تقویت کننده‌ها وجود دارد. لذا به دلیل این محدودیت‌ها، در بسیاری از سیستم‌های الکترونیکی نمی‌توانیم تنها از یک طبقه تقویت کننده استفاده کنیم. در این شرایط برای به دست آوردن بهره مورد نیاز، باید چند طبقه تقویت کننده را پشت سرهم ببندیم

۴-۱- ساختار تقویت کننده‌های چندطبقه

شکل ۴-۱ شکل ظاهری و شکل ۴-۲، بلوک دیاگرام یک سیستم کامل آمپلی‌فایر صوتی را نشان می‌دهد. ورودی این سیستم می‌تواند میکروفون، خروجی دستگاه پخش صوت، خروجی دستگاه CD خوان و ... باشد. بار یا مصرف کننده متصل شده به خروجی، یک بلندگو است.



ب- بلوک دیاگرام یک سیستم صوتی

الف- نمونه واقعی آمپلی فایر

شکل ۴-۱- بلوک دیاگرام یک سیستم آمپلی فایر صوتی و نمونه واقعی آن

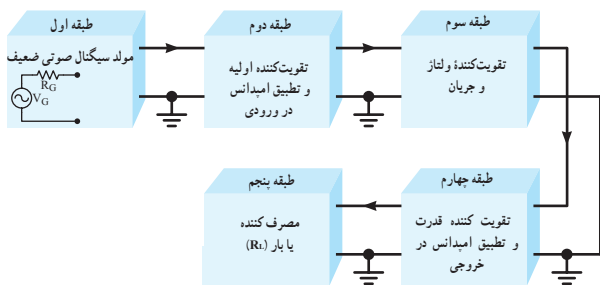
هر بلوک این آمپلی فایر ممکن است شامل چند بلوک فرعی و هر بلوک فرعی شامل چندین ترانزیستور یا آی سی باشد. طبق شکل ۴-۲ این آمپلی فایر صوتی در ۵ طبقه نشان داده شده است. ورودی طبقه دوم برابر باشد. لذا در طبقه دوم از تقویت کننده ای استفاده می شود که بتواند تطبیق امپدانس بین طبقه اول و دوم را به درستی برقرار کند. مثلاً میکروفون های کریستالی یا خازنی امپدانس داخلی زیادی دارند. بنابراین برای تطبیق امپدانس باید امپدانس ورودی طبقه دوم زیاد باشد. در این شرایط تقویت کننده ای با ترانزیستور FET برای این کار نیاز است که در طبقه دوم قرار می گیرد.

در طبقه سوم ولتاژ و جریان سیگنال صوتی در حدی تقویت می شود که بتواند طبقه تقویت کننده قدرت را راه اندازی کند. به این طبقه مدار راه انداز یا درایور (Driver) می گویند. در طبقه راه انداز معمولاً یک یا چند طبقه تقویت کننده امیتر مشترک قرار می گیرد.

طبقه چهارم همان طوری که گفته شد، تقویت کننده قدرت است. در این طبقه معمولاً یک تقویت کننده کلکتور مشترک قرار می گیرد، زیرا بهره جریان در مدار کلکتور مشترک زیاد و امپدانس خروجی آن کم است. این ویژگی ها باعث می شود که جریان کافی برای تحریک و راه اندازی بلندگو فراهم شود و بلندگو را که امپدانس کمی دارد با مدار تقویت کننده قدرت تطبیق دهد.

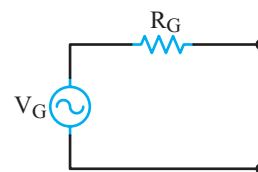
در طبقه انتهایی تقویت کننده معمولاً بلندگو قرار می گیرد. بلندگو سیگنال الکتریکی را به ارتعاشات مکانیکی تبدیل می کند و امواج صوتی قابل شنیدن را با شدت و توان کافی مهیا می سازد. همان طوری که در ابتدای این بحث متذکر شدیم توسط

هر بلوک این آمپلی فایر ممکن است شامل چند بلوک فرعی و هر بلوک فرعی شامل چندین ترانزیستور یا آی سی باشد. طبق شکل ۴-۲ این آمپلی فایر صوتی در ۵ طبقه نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- بلوک دیاگرام کامل تری از یک آمپلی فایر صوتی

طبقه اول مولد سیگنال صوتی ضعیف مثلاً میکروفون است. مدار معادل الکتریکی تونن آن مشابه شکل ۴-۳ است، امپدانس خروجی این طبقه را R_G در نظر می گیریم.

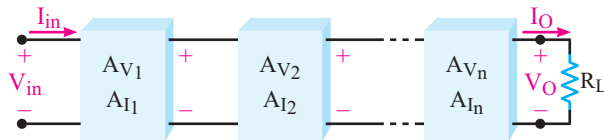


شکل ۴-۳- مدار معادل الکتریکی مولد سیگنال

برای آن که حداکثر توان از طبقه اول به طبقه دوم انتقال داده شود، باید امپدانس خروجی طبقه اول (R_G) با امپدانس

۴-۲ بهره تقویت کننده‌های چند طبقه

اگر n طبقه تقویت کننده با بهره‌های ولتاژ Av_1 و Av_2 و Av_n ... و بهره‌های جریان Ai_1 و Ai_2 و Ai_n ... طبق شکل ۴-۵ پشت سرهم قرار گیرند، یک تقویت کننده n طبقه به دست می‌آید.



شکل ۴-۵- بلوک دیاگرام n طبقه تقویت کننده

با توجه به اختلاف بین سیگنال‌های ورودی و خروجی تقویت کننده‌ها، بهره ولتاژ و بهره جریان کل تقویت کننده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$A_{VT} = \frac{V_{on}}{V_{i_1}} = \pm Av_1 Av_2 \dots Av_n$$

$$A_{IT} = \frac{I_{on}}{I_{i_1}} = \pm Ai_1 Ai_2 \dots Ai_n$$

در رابطه بهره ولتاژ کل (A_{VT})، علامت (+) به معنی هم فاز بودن V_o یا V_{in} و علامت (-) به معنی وجود 180° درجه اختلاف فاز بین V_o و V_{in} است. در رابطه بهره جریان کل (A_{IT})، علامت‌های \pm نیز همین مفهوم را دارند. باید توجه داشت که در شکل ۴-۵ بهره ولتاژ (Av) و بهره جریان (Ai) برای هر طبقه در شرایطی در نظر گرفته شده است که همه طبقات به هم اتصال دارند به عبارت دیگر، Av و Ai بیانگر میزان تقویت هر طبقه به طور مستقل نیست. بهره توان کل از حاصل ضرب بهره ولتاژ و بهره جریان به دست می‌آید.

$$A_{PT} = A_{VT} \times A_{IT}$$

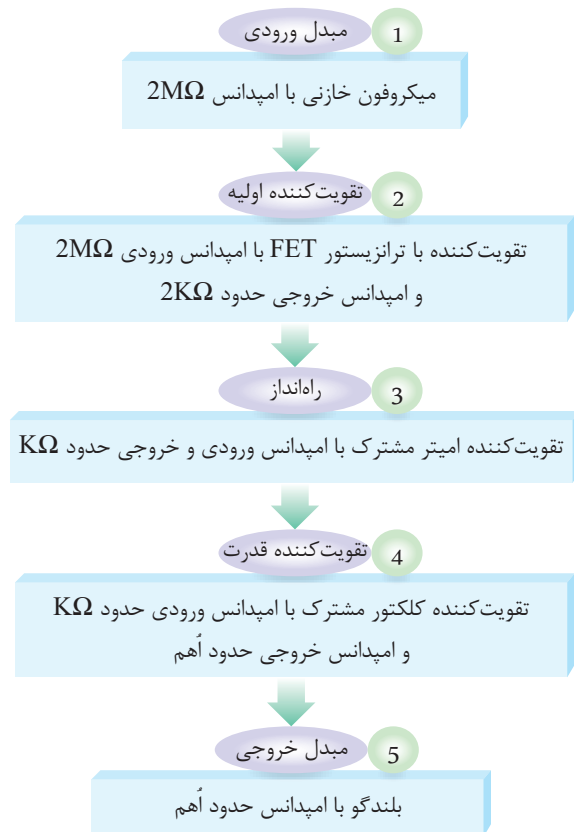
برای اثبات رابطه بهره توان کل می‌توان بلوک دیاگرام چند طبقه تقویت کننده را به صورت یک بلوک کلی مانند شکل ۴-۶ در نظر گرفت.

یک طبقه تقویت کننده معمولی نمی‌توان بهره ولتاژ، بهره جریان و بهره توان بسیار بالا و در حد نیاز را تولید کرد. هم چنین در صورت استفاده از یک طبقه تقویت کننده نمی‌توان تطابق لازم را بین مبدل‌های ورودی و خروجی مدار تقویت کننده برقرار نمود. هنگام پشت سرهم قرار دادن تقویت کننده‌ها باید به دو نکته

مهم توجه کنید:

- تطبیق امپدانس بین طبقات و مبدل‌های ورودی و خروجی تقویت کننده صورت گیرد.

- ارتباط بین دو طبقه تقویت کننده به طور صحیح برقرار شود. نحوه ارتباط بین تقویت کننده‌ها را کوپلاژ (Coupling) تقویت کننده‌ها به یک دیگر می‌گویند. شکل ۴-۴ چند طبقه تقویت کننده را که به صورت بلوک دیاگرام به هم اتصال داده شده‌اند، نشان می‌دهد. شرط تطبیق امپدانس، برابر بودن امپدانس خروجی هر طبقه با ورودی طبقه بعدی است.



شکل ۴-۴- بلوک دیاگرام اتصال چند طبقه تقویت کننده به هم

به دست می‌آید. لذا $V_{O1} = A_{V1} V_{in1}$ است. به جای V_{in1} و A_{V1} عددگذاری می‌کنیم:

$$V_{O1} = (-40)(1\text{mV}) = -40\text{mV}$$

علامت (-) نشان می‌دهد که V_{O1} با V_{in} به اندازه 180°

اختلاف فاز دارد. بهره و ولتاژ طبقه دوم از رابطه $A_{V2} = \frac{V_{O2}}{V_{in2}}$ به دست می‌آید. رابطه را به صورت $V_{O2} = A_{V2} V_{in2}$ می‌نویسیم. چون V_{O1} برابر V_{in2} است به جای V_{in2} مقدار عددی V_{O1} را قرار می‌دهیم:

$$V_{O2} = (-50)(-40) = +2000\text{mV}$$

مقدار A_{VT} را از مقادیر V_{in} و V_{O2} محاسبه می‌کنیم.

$$A_{VT} = \frac{V_{O2}}{V_{in}} = \frac{2000}{1} = 2000 \text{ مرتبه}$$

مقدار A_{VT} را از رابطه $A_{VT} = A_{V1} \times A_{V2}$ نیز می‌توان محاسبه نمود.

$$A_{VT} = (-40)(-50) = +2000 \text{ مرتبه}$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود A_{VT} علامت مثبت دارد یعنی ولتاژ خروجی با ولتاژ ورودی هم‌فاز است.

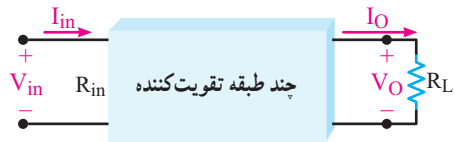
تمرین کلاسی: اگر A_{V1} برابر $+20$ و A_{V2} برابر -10 باشد A_{VT} را محاسبه کنید.

۴-۳ اتصال تقویت‌کننده‌ها به یکدیگر

برای انتقال سیگنال از یک طبقه تقویت‌کننده به طبقه دیگر، باید دو طبقه را به یکدیگر اتصال دهیم. چگونگی اتصال دو طبقه تقویت‌کننده را به یکدیگر کوپلاژ (Coupling) می‌گویند. اتصال بین طبقات به وسیله خازن، ترانسفورماتور یا به‌طور مستقیم امکان‌پذیر است. از این‌رو سه نوع کوپلاژ خازنی، ترانسفورماتوری و مستقیم تعریف می‌شود.

۴-۴ کوپلاژ خازنی

اگر دو یا چند طبقه تقویت‌کننده را به وسیله یک یا چند خازن



شکل ۴-۶- نمایش چند طبقه تقویت‌کننده در یک بلوک تکی

در بلوک شکل ۴-۶ بهره توان کل از رابطه زیر به دست

$$A_P = \frac{P_O}{P_{in}} \text{ می‌آید:}$$

از آنجایی که $P_O = R_L I_O^2$ و $P_{in} = R_{in} I_{in}^2$ است، می‌توان

نوشت:

$$A_P = \frac{P_O}{P_{in}} = \frac{R_L I_O^2}{R_{in} I_{in}^2} = \frac{R_L I_O}{R_{in} I_{in}} \times \frac{I_O}{I_{in}}$$

به جای مقادیر $R_{in} I_{in}$ و $R_L I_O$ مقادیر معادل آن یعنی V_O و

$$A_P = \frac{V_O}{V_{in}} \times \frac{I_O}{I_{in}} \text{ را قرار می‌دهیم.}$$

اگر در این معادله به جای $\frac{V_O}{V_{in}}$ و $\frac{I_O}{I_{in}}$ ، A_{VT} و A_{IT} قرار

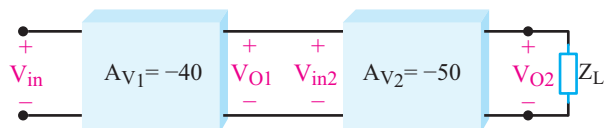
داده شود رابطه بهره توان کل به صورت $A_P = A_{VT} \times A_{IT}$ به دست می‌آید.

تحقیق کنید: با مراجعه به منابع مختلف و سایت‌های

اینترنتی تحقیق کنید که به چه دلیل میزان بهره طبقات تقویت‌کننده به صورت جداگانه و متصل به هم تفاوت دارد. نتیجه تحقیق خود را به کلاس ارائه دهید.

مثال ۴-۱: با توجه به شکل ۴-۷ اگر V_{in} برابر 1mV

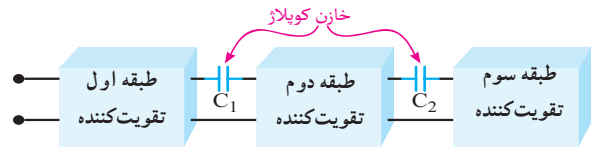
باشد، V_{O1} و V_{O2} و A_{VT} را محاسبه کنید.



شکل ۴-۷- بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت‌کننده

پاسخ: بهره ولتاژ طبقه اول از رابطه $A_{V1} = \frac{V_{O1}}{V_{in1}}$

به یکدیگر وصل کنیم می‌گوییم کوپلاژ بین طبقات تقویت‌کننده به صورت خازنی است. در شکل ۴-۸ بلوک دیاگرام سه طبقه تقویت‌کننده و خازن‌های کوپلاژ بین آن‌ها نشان داده شده است.

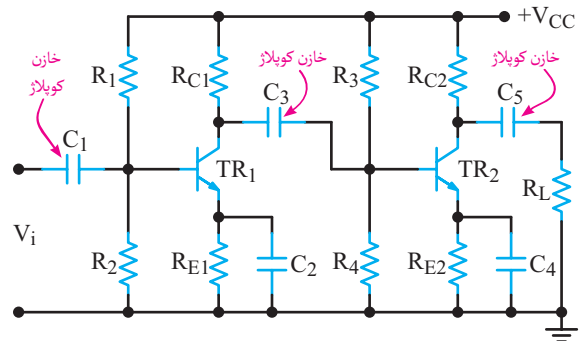


شکل ۴-۸- بلوک دیاگرام سه طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی

به کوپلاژ خازنی، کوپلاژ RC نیز می‌گویند. دلیل این نام‌گذاری وجود خازن‌های کوپلاژ و مقاومت‌های R_C است که در طبقات تقویت‌کننده وجود دارد و یک مدار RC را تشکیل می‌دهد.

۴-۴-۱- مدار تقویت‌کننده با کوپلاژ RC :

شکل ۴-۹ مدار یک تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC نشان داده شده است. در این مدار، دو طبقه تقویت‌کننده توسط خازن کوپلاژ C_3 به یکدیگر متصل شده‌اند. هر دو طبقه تقویت‌کننده از نوع امیتر مشترک‌اند و نوع بایاس ترانزیستورها سرخود یا تقسیم ولتاژ مقاومتی است.



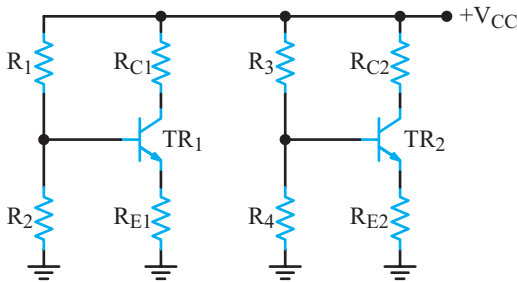
شکل ۴-۹- دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ RC

خازن‌های C_1 و C_3 و C_5 خازن‌های کوپلاژ هستند. به علت وجود خازن C_3 ، ارتباط DC از خروجی طبقه اول به ورودی طبقه دوم تقویت‌کننده، قطع است. C_5 نیز مانع ورود DC کلکتور به مقاومت بار (R_L) می‌شود. ظرفیت خازن‌های کوپلاژ را طوری انتخاب می‌کنند که عکس‌العمل خازنی آن‌ها (X_C) در حداقل فرکانس کار تقویت‌کننده، قابل چشم‌پوشی باشد به طوری

که بتوان همواره آن‌ها را اتصال کوتاه فرض کرد.

۴-۴-۲- مدار معادل DC تقویت‌کننده با کوپلاژ

خازنی : در مدار معادل DC، کلیه خازن‌های مدار مقاومت (∞) دارند و به صورت باز در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین معادل DC شکل ۴-۹ به صورت مدار شکل ۴-۱۰ درمی‌آید.

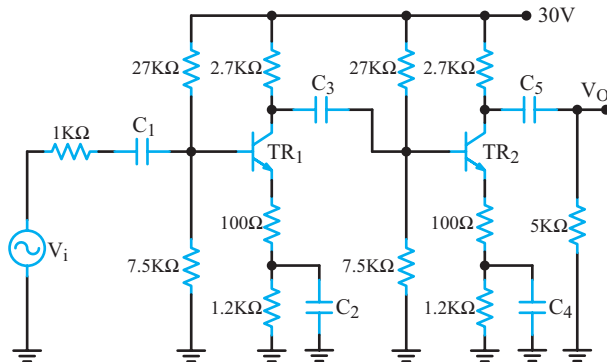


شکل ۴-۱۰- مدار معادل DC دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی

همان طوری که در شکل ۴-۱۰ مشاهده می‌شود، تغذیه دو طبقه مدار تقویت‌کننده امیتر مشترک از طریق یک منبع تغذیه و به صورت بایاس تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی (سرخود) صورت می‌گیرد و هیچ‌گونه ارتباط DC بین دو طبقه وجود ندارد. هم‌چنین محاسبات DC هر طبقه باید به طور جداگانه انجام شود.

مثال ۴-۲ : در شکل ۴-۱۱ اگر $\beta_1 = \beta_2 = 200$ و

$V_{BE1} = V_{BE2} = 0.7V$ باشد ولتاژ هر یک از پایه‌های ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 را نسبت به شاسی محاسبه کنید.



شکل ۴-۱۱- دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی

پاسخ : ابتدا مدل DC تقویت‌کننده را رسم می‌کنیم. شکل

۴-۱۲ مدل DC تقویت‌کننده را نشان می‌دهد.

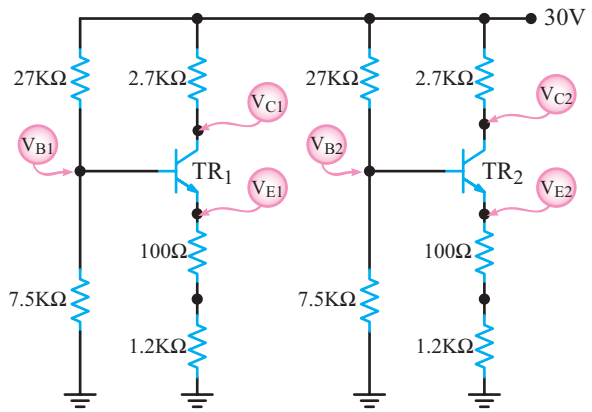
$$V_{C1} = V_{C2} = 30 - (2/7)(4/48)$$

$$V_{C1} = V_{C2} = 17/9V$$

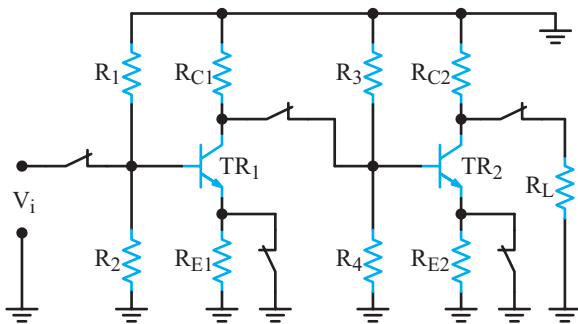
اگر مقدار قطعات دو مدار مشابه نباشند، باید محاسبات DC هر طبقه به طور جداگانه انجام شود.

۴-۴-۳ مدار معادل AC تقویت کننده با کویلاژ

RC: در رسم مدار معادل AC، کلیه خازن های مدار را به صورت اتصال کوتاه در نظر می گیریم و منبع تغذیه V_{CC} را به زمین الکتریکی وصل می کنیم. بنابراین مدار معادل ac تقویت کننده شکل ۴-۹ به صورت شکل ۴-۱۳ درمی آید.

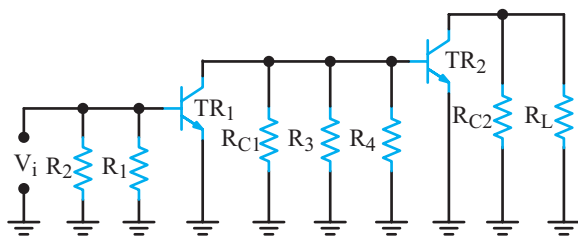


شکل ۴-۱۲ مدل DC تقویت کننده



شکل ۴-۱۳ مدل AC مدار تقویت کننده

با رعایت قواعد مربوط به رسم نقشه فنی یک مدار الکترونیکی، شکل ۴-۱۳ به صورت شکل ۴-۱۴ درمی آید.



شکل ۴-۱۴ مدل AC تقویت کننده

همان طور که مشاهده می شود در مدار معادل ac این تقویت کننده، مقاومت های بایاس R_1 و R_2 هم چنین R_3 و R_4 با هم به صورت موازی درمی آیند. در ضمن مقاومت بار (R_L) با مقاومت R_{C2} به صورت موازی دیده می شود. توجه داشته باشید که مقاومت های بایاس R_3 و R_4 به عنوان بار R_{L1} با مقاومت R_{C1}

از نظر DC مقاومت امیتر ترانزیستورها، از دو مقاومت سری 100Ω و 1200Ω تشکیل شده است. هم چنین با توجه به مشابه بودن ترانزیستورها و یکسان بودن مقاومت های بایاس، نقطه کار دو ترانزیستور مشابه یک دیگر است. با استفاده از تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت $27k\Omega$ و $7.5k\Omega$ مقدار ولتاژ B_1 و B_2 را محاسبه می کنیم.

$$V_{B1} = V_{B2} = 30 \times \frac{7/5}{7/5 + 27} = 6/52V$$

$$V_{B1} = V_{B2} = 6/52V$$

با توجه به مقدار V_{BE} ، مقدار V_{E1} و V_{E2} را به دست می آوریم.

$$V_{E1} = V_{E2} = V_{B1} - V_{BE1} = V_{B2} - V_{BE2} \\ = 6/52 - 0/7 = 5/82V$$

$$V_{E1} = V_{E2} = 5/82V$$

جریان امیتر از حاصل تقسیم V_{E1} بر R_{E1} به دست می آید.

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = \frac{5/82}{0/1 + 1/2} = 4/48mA$$

چون I_C تقریباً برابر با I_E است می توانیم بنویسیم.

$$I_{C1} = I_{E1} = I_{C2} = I_{E2} = 4/48mA$$

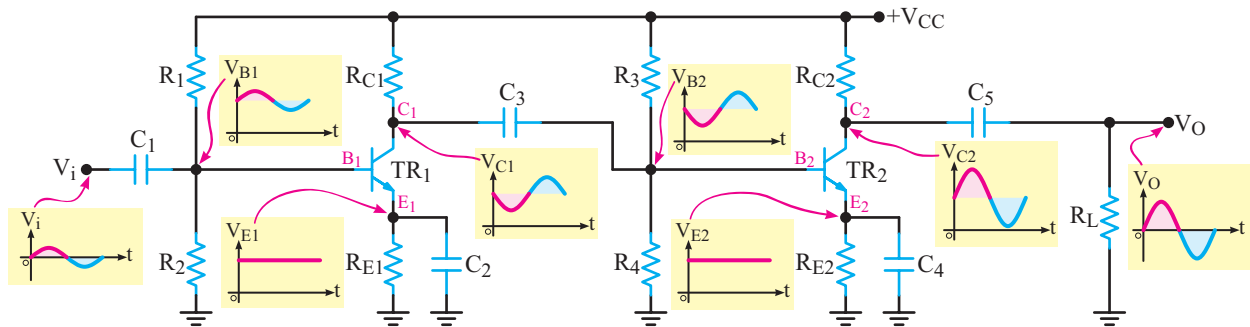
در حلقه خروجی مقدار V_{C1} و V_{C2} را محاسبه می کنیم.

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_{C1}I_{C1} = V_{CC} - R_{C2}I_{C2}$$

توجه کنید. می‌خواهیم شکل موج نقاط مختلف مدار را بررسی کنیم. با مراجعه به مثال ۲-۴ مشاهده می‌شود که بیس و امیتر و کلکتور ترانزیستورهای مدار دارای ولتاژ DC است. سیگنال AC ورودی، پس از عبور از خازن کوپلاژ C_1 سوار بر ولتاژ DC بیس T_{R1} می‌شود و شکل موج نقطه B_1 را به وجود می‌آورد.

به صورت موازی بسته شده است. به نظر می‌رسد که در این مدار منبع تغذیه وجود ندارد اما توجه داشته باشید که ترانزیستورها به عنوان یک منبع تغذیه وابسته عمل می‌کنند که تحلیل آن از بحث ما خارج است.

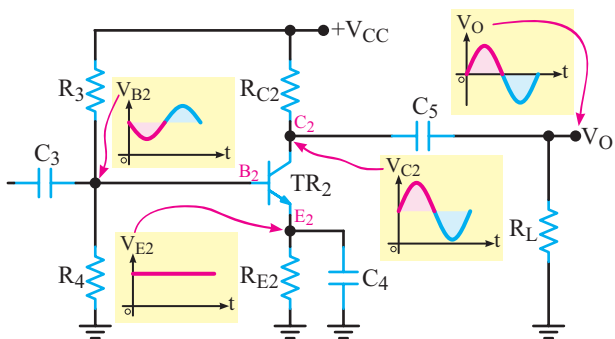
۴-۴-۴- شکل موج نقاط مختلف مدار: به تقویت کننده دو طبقه و شکل موج نقاط مختلف آن در شکل ۴-۱۵



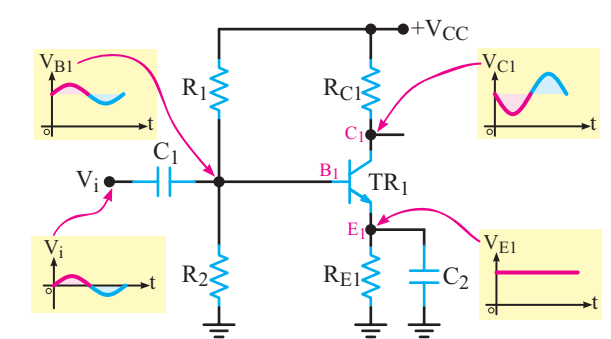
شکل ۴-۱۵- تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ خازنی

این سیگنال ac در نقطه B_2 سوار بر مؤلفه DC بیس T_{R2} می‌شود. مراحل انجام تقویت در این طبقه نیز شبیه طبقه اول تقویت کننده دو طبقه است. در نهایت خازن کوپلاژ C_5 مؤلفه DC کلکتور T_{R2} را حذف می‌کند و فقط سیگنال متناوب را به بار (R_L) انتقال می‌دهد. به علت وجود دو طبقه تقویت کننده امیتر مشترک، سیگنال ورودی و خروجی با هم هم فاز هستند. شکل ۴-۱۷ موج نقاط مختلف تقویت کننده دو طبقه دوم (ترانزیستور T_{R2}) را نشان می‌دهد.

این سیگنال با 180° درجه اختلاف فاز در کلکتور ترانزیستور تقویت می‌شود. مشابه نقطه B_1 ، سیگنال در کلکتور T_{R1} (نقطه C_1) سیگنالی ac سوار بر سیگنال DC کلکتور است. چون امیتر ترانزیستور از نظر ac توسط خازن بای پاس C_2 به زمین الکتریکی اتصال کوتاه شده است، در نقطه E_1 فقط مؤلفه DC با مقدار V_{E1} وجود دارد. شکل ۴-۱۶، شکل موج نقاط مختلف طبقه اول تقویت کننده دو طبقه شکل ۴-۱۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۷- شکل موج‌های طبقه دوم تقویت کننده



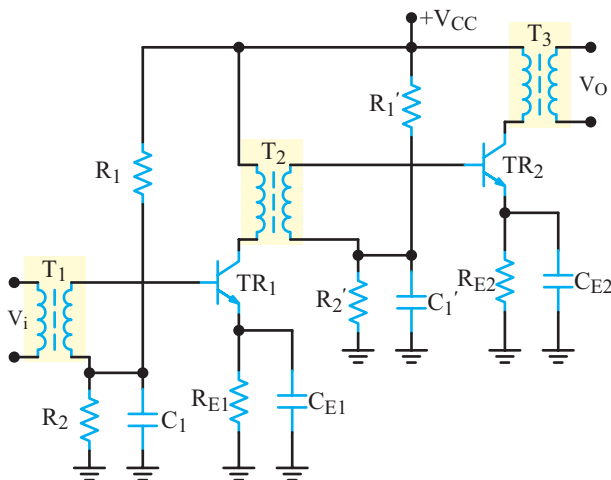
شکل ۴-۱۶- شکل موج نقاط مختلف طبقه اول تقویت کننده (ترانزیستور T_{R1})

۴-۴-۵- مزایا و معایب کوپلاژ خازنی: اتصال چند طبقه تقویت کننده از طریق کوپلاژ خازنی به یکدیگر، دارای

خازن کوپلاژ C_2 مقدار مؤلفه DC کلکتور T_{R1} را حذف می‌کند و فقط سیگنال ac کلکتور T_{R1} را به بیس T_{R2} می‌رساند.

۱-۵-۴- مدار تقویت‌کننده با کوپلاژ

ترانسفورماتوری: در شکل ۴-۱۹ مدار یک نمونه تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴-۱۹- مدار تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری

در این مدار، مقاومت‌های R_1 ، R_2 برای تأمین بایاس بیس TR_1 ، مقاومت R_{E1} برای پایداری حرارتی TR_1 و خازن C_{E1} خازن بای پاس R_{E1} است که به صورت موازی با مقاومت R_E قرار گرفته است. خازن C_1 (خازن بای پاس R_2) را به این جهت در مدار قرار می‌دهند که وقتی موج متناوب به مدار داده می‌شود، امپدانس خازن به شدت کاهش می‌یابد و مقاومت R_2 را در مقابل AC اتصال کوتاه (بای پاس) می‌کند. در این حالت، ضریب تقویت زیاد می‌شود. نحوه بایاس کردن ترانزیستور TR_2 نیز مشابه ترانزیستور TR_1 است. عملکرد قطعات متصل شده به آن با عملکرد قطعات متصل شده به ترانزیستور TR_1 مشابهت دارد. استفاده از ترانسفورماتور T_2 بین TR_1 و TR_2 ضمن این که تلفات تقویت‌کننده را کم می‌کند، راندمان مدار را نیز بالا برده هم چنین وسیله‌ای برای ایجاد تطبیق امپدانس بین دو تقویت‌کننده به شمار می‌آید. همان‌طور که می‌دانید، تقویت‌کننده آمیتر مشترک دارای امپدانس ورودی متوسط و امپدانس خروجی متوسط است. بنابراین، در موقع کوپلاژ دو تقویت‌کننده CE به یکدیگر، مسئله تطبیق امپدانس وجود دارد که باید به‌طریقی آن را حل کرد. عموماً در کوپلاژ R_C این مسئله حل نمی‌شود؛ در حالی

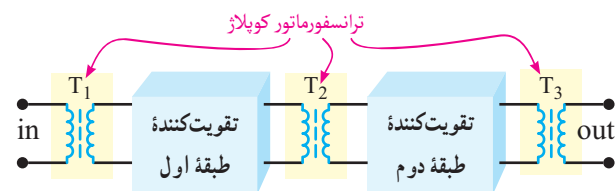
مزایا و معایبی است. یکی از مزایای این نوع کوپلاژ، در این است که طبقات از نظر مقادیر DC (نقطه کار ترانزیستورها) کاملاً مستقل از هم هستند و تغییر نقطه کار یک طبقه، روی سایر طبقات اثر نمی‌گذارد.

اشکال عمده کوپلاژ خازنی آن است که تقویت‌کننده، سیگنال‌های با فرکانس پایین را به درستی تقویت نمی‌کند؛ زیرا در فرکانس‌های پایین عکس‌العمل خازن‌های کوپلاژ و خازن‌های بای پاس امیتر افزایش می‌یابد و همین امر موجب تضعیف سیگنال خروجی می‌شود.

هم‌چنین در این نوع تقویت‌کننده‌ها، به علت استفاده از تعداد زیاد مقاومت‌ها و تلفات زیاد توان در آن‌ها، قدرت اعمال شده به بار کم است. در عمل، از کوپلاژ خازنی در تقویت‌کننده‌های با قدرت کم استفاده می‌شود.

۵-۴- تقویت‌کننده‌های با کوپلاژ ترانسفورماتوری

در کوپلاژ R_C به دلیل این که در هر تقویت‌کننده بین کلکتور ترانزیستور و منبع تغذیه یک مقاومت R_C وجود دارد، افت توان در مقاومت R_C به وجود می‌آید. در نتیجه، قدرت اعمال شده به بار کم است. برای برطرف کردن این عیب، به‌خصوص در تقویت‌کننده‌های با قدرت زیاد، از کوپلاژ ترانسفورماتوری استفاده می‌کنند. به این ترتیب که اولیّه یک ترانسفورماتور را به جای مقاومت R_C ، در کلکتور ترانزیستور قرار می‌دهند و موج خروجی را از ثانویه آن می‌گیرند و به ورودی طبقه بعدی می‌رسانند. ترانسفورماتورهای کوپلاژ ممکن است از نوع افزایشنده یا کاهشنده ولتاژ باشند. ترانسفورماتور نیز مانند خازن مانع اثرگذاری ولتاژ DC طبقات روی یکدیگر می‌شود. شکل ۴-۱۸ نحوه اتصال دو طبقه تقویت‌کننده را به صورت بلوک دیاگرام و با کوپلاژ ترانسفورماتوری نشان می‌دهد.

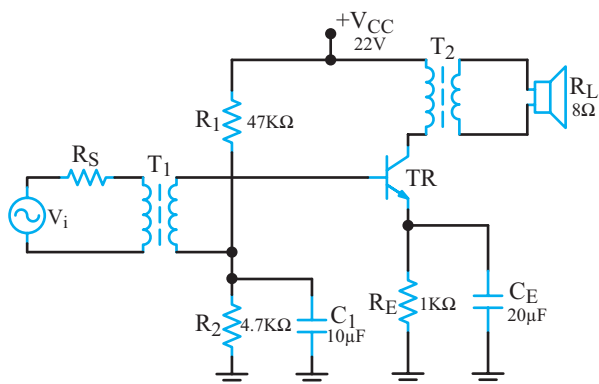


شکل ۴-۱۸- بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ ترانسفورماتوری

ویژه دانش آموزان علاقمند

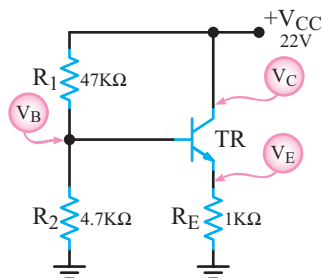
تحقیق کنید: با مراجعه به منابع مختلف و سایت‌های اینترنتی شرایط ایجاد کلاس A در تقویت‌کننده‌های با کوپلاژ ترانسفورماتوری را بررسی کنید و نتایج را به کلاس ارائه نمایید.

مثال ۳-۴: در شکل ۲۱-۴ اگر ترانسفورماتورها ایده‌آل فرض شوند، ضمن رسم مدار معادل DC، نقطه کار DC ترانزیستور را محاسبه کنید. $V_{BE} = 0.7$ ولت و $\beta = 200$ است.



شکل ۲۱-۴ مدار با کوپلاژ ترانسفورماتوری

پاسخ: با اتصال کوتاه در نظر گرفتن سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتورها و با در نظر گرفتن خازن‌ها، مدار معادل DC به صورت شکل ۲۲-۴ درمی‌آید.



شکل ۲۲-۴ مدار معادل DC

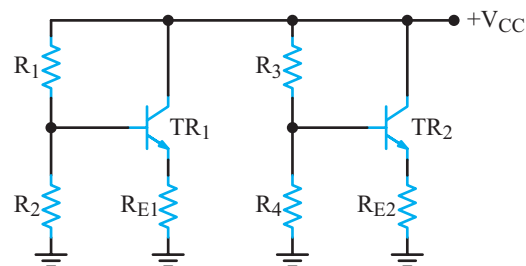
در مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی R_1 و R_2 ، مقدار V_B را محاسبه می‌کنیم.

$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{22 \times 4.7}{47 + 4.7} = \frac{103.4}{51.7}$$

که در کوپلاژ ترانسفورماتوری مسئله تطبیق امپدانس به راحتی حل‌شدنی است. زیرا امپدانس اولیه و ثانویه ترانسفورماتور را می‌توانیم با تغییر تعداد دور سیم‌پیچ‌های آن تغییر دهیم و به مقدار دلخواه برسانیم.

تحقیق کنید: به چه دلیل کوپلاژ ترانسفورماتوری در فرکانس‌های بالا و پایین به خوبی عمل نمی‌کند؟ بررسی کنید و نتایج را به کلاس ارائه دهید.

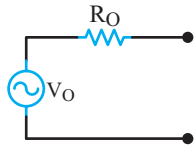
۲-۵-۴ مدار معادل DC تقویت‌کننده با کوپلاژ ترانسفورماتوری: از آنجا که معمولاً سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتورهای کوپلاژ مقاومت اهمی کمی دارند، ولتاژ کمی بر روی آن‌ها افت می‌کند. در بررسی DC، آن‌ها را اتصال کوتاه فرض می‌کنیم. خازن‌های مدار نیز به صورت مدار باز در نظر گرفته می‌شوند، لذا مدار معادل DC تقویت‌کننده شکل ۱۹-۴ به صورت شکل ۲۰-۴ درمی‌آید.



شکل ۲۰-۴ مدار معادل DC تقویت‌کننده با کوپلاژ ترانسفورماتوری

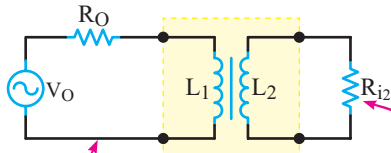
همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید، دو طبقه از نظر DC هیچ‌گونه ارتباطی باهم ندارند و محاسبات DC ترانزیستورها باید به‌طور جداگانه انجام گیرد.

بایاس مدار از نوع تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی است با این فرض که در کلکتور مقاومتی وجود ندارد. بنابراین، از نظر محاسبه DC مانند مدار بایاس تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی است. در این مدار، ولتاژ V_{CC} بین کلکتور امیتر و مقاومت R_{E1} تقسیم می‌شود. از آنجا که معمولاً ولتاژ کمی بر روی R_{E1} وجود دارد، قسمت اعظم ولتاژ تغذیه در دو سر کلکتور امیتر ترانزیستور می‌افتد.



شکل ۴-۲۴- معادل تقویت کننده از درگاه خروجی

ترانسفورماتور می تواند به راحتی بین مقاومت خروجی طبقه قبل (R_O) و مقاومت ورودی طبقه بعد (R_{in2}) تطابق برقرار کند. شکل ۴-۲۵ نقش ترانسفورماتور را بین دو طبقه نشان می دهد.

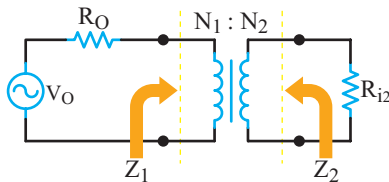


مدار معادل الکتریکی تقویت کننده از نگاه خروجی

معادل مقاومت ورودی طبقه بعد

شکل ۴-۲۵- نقش ترانسفورماتور به عنوان تطبیق دهنده

۴-۵-۵- محاسبه امپدانس اولیه و ثانویه ترانسفورماتور تطبیق: در شکل ۴-۲۶ اگر امپدانس اولیه ترانسفورماتور Z_1 و امپدانس ثانویه آن را Z_2 و تعداد دور اولیه را N_1 و تعداد دور ثانویه را N_2 فرض کنیم می توانیم با توجه به مقادیر Z_1 و Z_2 و N_1 و N_2 (یا نسبت $\frac{N_1}{N_2}$) در صورتی که یکی از مقادیر مجهول باشد، آن را محاسبه کنیم.



شکل ۴-۲۶- ترانسفورماتور جهت تطبیق امپدانس

رابطه بین امپدانس اولیه و ثانویه در ترانسفورماتور به صورت زیر است:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

برای برقراری تطابق لازم است $Z_1 = R_O$ و $Z_2 = R_{in2}$

$$V_B = 2V$$

V_E از تفاضل V_B و V_{BE} به دست می آید.

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2 - 0.7 = 1.3V$$

I_E را محاسبه می کنیم.

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.3}{1k} = 1.3mA$$

مقدار I_C را تقریباً برابر با I_E در نظر می گیریم.

$$I_C \approx I_E = 1.3mA$$

با توجه به مقدار β ، I_B را محاسبه می کنیم.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.3}{200} = 6.5 \times 10^{-3} mA$$

$$I_B = 6.5 \mu A$$

مقدار V_{CE} را به دست می آوریم.

$$V_C = V_{CC} = 22V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 22 - 1.3 = 20.7V$$

$$V_{CE} = 20.7V$$

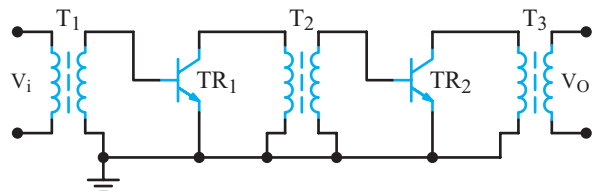
۴-۵-۳- مدار معادل AC تقویت کننده با کوپلاژ

ترانسفورماتوری: در مدار معادل AC، خازن های مدار به صورت اتصال کوتاه در نظر گرفته می شوند و منبع ولتاژ V_{CC} به زمین الکتریکی اتصال دارد.

سیم پیچ ها به دلیل داشتن X_L یک مقاومت ac از خود

نشان می دهند. بنابراین مدار معادل AC تقویت کننده شکل ۴-۱۹

به صورت ۴-۲۳ در می آید.



شکل ۴-۲۳- معادل ac تقویت کننده

۴-۵-۴- نقش ترانسفورماتور به عنوان تطبیق دهنده

امپدانس بین دو طبقه: مدار معادل تونن یک تقویت کننده را از درگاه خروجی می توانیم به صورت شکل ۴-۲۴ در نظر بگیریم.

در نظر گرفته شود.

مثال ۴-۴: در شکل ۴-۲۶ اگر $\frac{N_1}{N_2} = 10$ و $R_{in} = R_L = 8\Omega$ چه قدر انتخاب شود تا

حداکثر توان از منبع V_0 به بار انتقال یابد؟

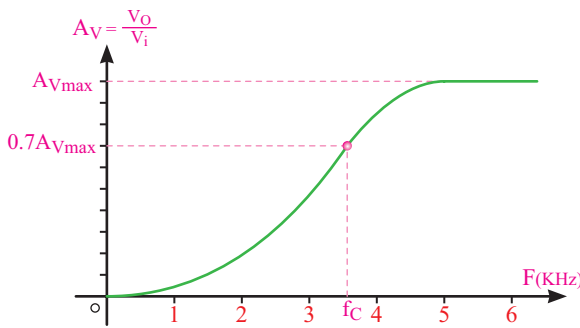
پاسخ: $Z_T = R_L = 8\Omega$

$$\frac{Z_1}{Z_T} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \left(\frac{1}{1}\right)^2 = 100$$

$$\frac{Z_1}{8} = 100 \Rightarrow Z_1 = 800\Omega$$

برای آن که حداکثر توان از منبع V_S به بار انتقال یابد باید R_0 با Z_1 برابر باشد.

$$R_0 = Z_1 = 800\Omega$$



شکل ۴-۲۸: پاسخ فرکانسی بد برای فرکانس‌های پایین

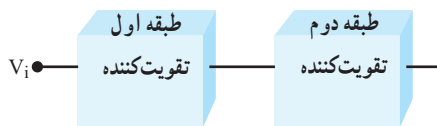
پ) قیمت این تقویت کننده‌ها به علت استفاده از ترانسفورماتور افزایش می‌یابد. به دلیل وجود عیوب یادشده، امروزه در دستگاه‌های صوتی و تصویری به ندرت از تقویت کننده‌های با کوپلاژ ترانسفورماتوری استفاده می‌شود.

ویژه‌دانش آموزان علاقه‌مند: با مراجعه به منابع مختلف

و سایت‌های اینترنتی تحقیق کنید، به چه دلیل در تقویت کننده‌های فرکانس بالا مانند تقویت کننده‌های IF در گیرنده‌های رادیویی و تلویزیونی از کوپلاژ ترانسفورماتوری می‌توان استفاده کرد.

۴-۶- کوپلاژ مستقیم

در این نوع کوپلاژ، دو طبقه تقویت کننده به صورت مستقیم به یکدیگر وصل می‌شوند. شکل ۴-۲۹ بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت کننده را که به صورت کوپلاژ مستقیم به هم وصل شده‌اند، نشان می‌دهد.



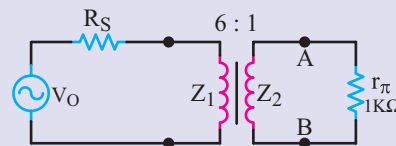
شکل ۴-۲۹: بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت کننده با کوپلاژ مستقیم

۴-۶-۱ مدار تقویت کننده با کوپلاژ مستقیم:

در شکل ۴-۳۰ مدار یک تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم نشان داده شده است. در این مدار، مقاومت‌های R_1 و R_2 برای بایاس بیس T_{R1} است و R_{C1} ضمن تغذیه کلکتور T_{R1} ، بیس ترانزیستور T_{R2} را نیز بایاس می‌کند.

تمرین کلاسی: در شکل ۴-۲۷ اگر مقاومت AB

مقاومت معادل ac بیس امیتر ترانزیستور در آرایش امیتر مشترک (r_{π}) باشد، R_S را چه قدر انتخاب کنیم تا تطابق برقرار شود؟



شکل ۴-۲۷

۴-۵-۶ مزایا و معایب کوپلاژ ترانسفورماتوری:

از مزایای ترانسفورماتور کاهش تلفات تقویت کننده و افزایش راندمان مدار است. در ضمن تطبیق امپدانس بین طبقات به راحتی انجام می‌گیرد. تقویت کننده‌های با کوپلاژ ترانسفورماتوری معایبی به شرح زیر دارند.

الف) ابعاد این نوع تقویت کننده‌ها به علت وجود ترانسفورماتور بزرگ می‌شود.

ب) در فرکانس‌های پایین به علت استفاده از بار سلفی پاسخ فرکانسی بدی دارند. در شکل ۴-۲۸ منحنی پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌های با کوپلاژ ترانسفورماتوری را مشاهده می‌کنید. همان طور که نمودار نشان می‌دهد، فرکانس‌های پایین به درستی تقویت نمی‌شوند.

$$-V_{CC} + R_{B1}I_{B1} + V_{BE1} = 0$$

مقدار I_{B1} را محاسبه می‌کنیم.

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1}}{R_{B1}} = \frac{15 - 0.7}{2 / 2M\Omega}$$

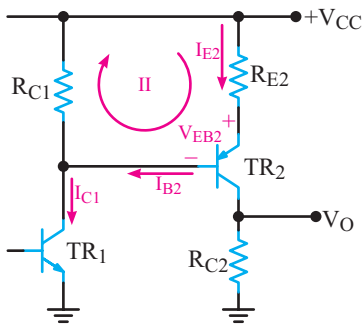
$$I_{B1} = 6 / 54 \mu A$$

با استفاده از β مقدار I_{C1} را به دست می‌آوریم.

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = 6 / 54 \times 200 = 130.8 \mu A$$

$$I_{C1} \approx 1 / 3 mA$$

به حلقه II در شکل ۴-۳۳ توجه کنید.



شکل ۴-۳۳ - بخش دیگری از مدار ۴-۳۱

با صرف نظر کردن از مقدار I_{B2} ، جریان I_{C1} با جریان عبوری از مقاومت R_{C1} برابر می‌شود. همچنین I_{E2} با I_{C2} تقریباً برابر در نظر گرفته می‌شود. معادله KVL را در حلقه II می‌نویسیم.

$$R_{E2}I_{E2} + V_{BE2} - R_{C1}I_{C1} = 0$$

مقادیر عددی را جایگزین می‌کنیم و I_{E2} را به دست می‌آوریم.

$$0.22I_{E2} + 0.7 - 2 / 2 \times 1 / 3 = 0$$

$$0.22I_{E2} = 2 / 2 \times 1 / 3 - 0.7 = 2 / 26$$

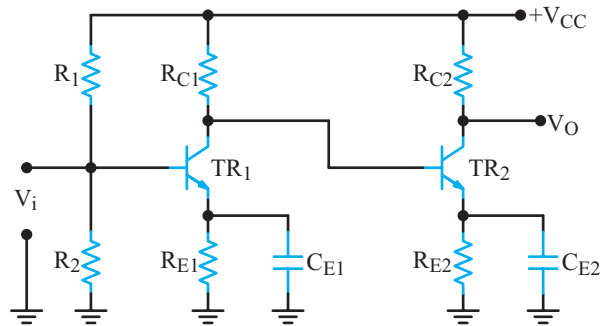
$$I_{E2} = \frac{2 / 26}{0.22} = 10 / 27$$

$$I_{C2} = I_{E2} = 10 / 27 mA$$

مقدار V_O از حاصل ضرب R_{C2} در I_{C2} به دست می‌آید.

$$V_O = R_{C2}I_{C2} = (1)(10 / 27) = 10 / 27 V$$

$$V_O = 10 / 27 V$$

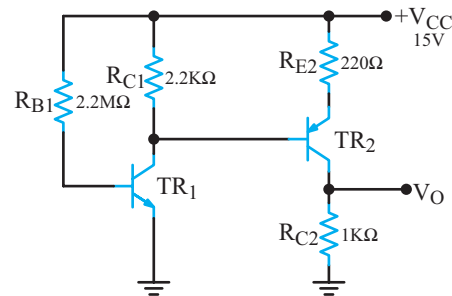


شکل ۴-۳۰ - مدار یک تقویت کننده دو طبقه با کوبلاژ مستقیم

در این مدار هر دو طبقه تقویت کننده از نوع آمیتر مشترک هستند. با توجه به این که طبقات تقویت کننده از نظر ولتاژ و جریان DC مستقل از یکدیگر نیستند، تغییرات نقطه کار یک طبقه، روی نقطه کار طبقه دیگر تقویت کننده اثر می‌گذارد، لذا باید محاسبات DC مدار برای کلیه طبقات به طور همزمان انجام شود. همین وابستگی نقطه کار طبقات به یکدیگر، مدار را به شدت به حرارت حساس می‌کند. برای آن که از ناپایداری حرارتی مدار کاسته شود، اولاً باید نقطه کار ترانزیستور با دقت بیشتری محاسبه شود. ثانیاً با پیش‌بینی مدارهایی، پایداری مدار تأمین گردد.

مثال ۴-۵: در شکل ۴-۳۱ با فرض $\beta_1 = \beta_2 = 200$ و

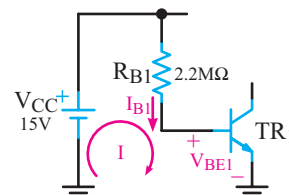
$$|V_{BE}| = 0.7V \text{ مقدار ولتاژ DC خروجی چه قدر است؟}$$



شکل ۴-۳۱ - تقویت کننده با کوبلاژ مستقیم

پاسخ: ابتدا معادله KVL را در حلقه I در شکل ۴-۳۲

می‌نویسیم:



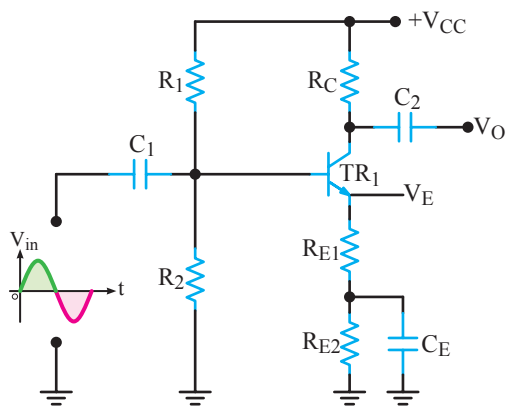
شکل ۴-۳۲ - بخشی از مدار ۴-۳۱

۲-۶-۴- مزایا و معایب کوپلاژ مستقیم : از مزایای کوپلاژ مستقیم صرفه‌جویی در قطعات و مقرون به صرفه بودن از نظر اقتصادی است، در ضمن فرکانس‌های خیلی کم حتی DC نیز به‌خوبی تقویت می‌شوند.

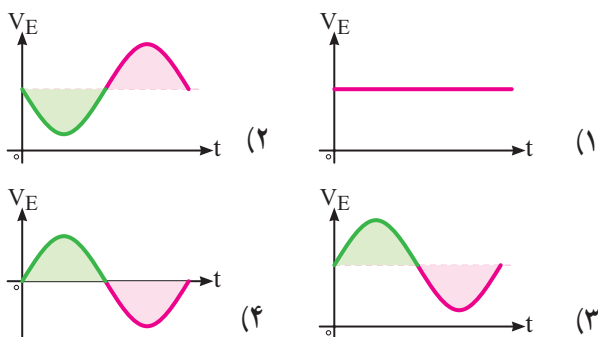
از معایب این نوع کوپلاژ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :
الف) تغییرات نقطه کار یک طبقه روی نقطه کار سایر طبقات تأثیر می‌گذارد.

ب) مدار به شدت نسبت به حرارت حساس است.

پ) در صورت بروز عیب در یکی از طبقات به سایر طبقات نیز آسیب وارد می‌سازد. لذا هنگام تعمیر دستگاه‌هایی که در آن تقویت‌کننده‌های با کوپلاژ مستقیم به کار رفته است، باید توجه داشته باشید که در صورت سوختن یکی از ترانزیستورها باید کلیه ترانزیستورها را مورد آزمایش قرار دهید و از صحت آن‌ها اطمینان حاصل کنید.



شکل ۴-۳۴



تشریحی

۴-۷-۵- کوپلاژ را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.

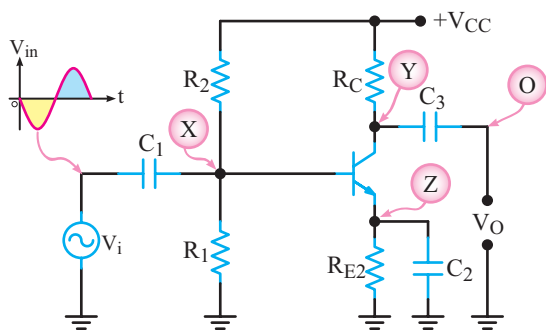
۴-۷-۶- مزایا و معایب کوپلاژ ترانسفورماتوری را شرح

دهید.

ترسیمی

۴-۷-۷- با توجه به شکل موج ورودی تقویت‌کننده شکل

۴-۳۵، شکل موج نقاط X، Y، Z و O را رسم کنید.



شکل ۴-۳۵

۴-۷- الگوی پرسش

کامل کردنی

۴-۷-۱- برای انتقال حداکثر توان از یک طبقه تقویت‌کننده به طبقه دیگر باید امپدانس طبقه اول با امپدانس طبقه دوم برابر باشد.

صحیح یا غلط

۴-۷-۲- با قطع خازن کوپلاژ نقطه کار DC تقویت‌کننده تغییر می‌کند.

غلط صحیح

کوتاه پاسخ

۴-۷-۳- برای اتصال دو تقویت‌کننده که در فرکانس‌های خیلی کم کار می‌کنند کدام نوع کوپلاژ از بقیه مناسب‌تر است؟

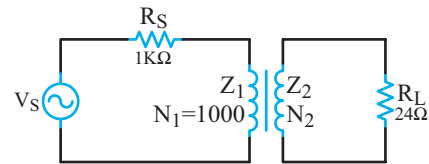
چهارگزینه‌ای

۴-۷-۴- با توجه به سیگنال ورودی مدار ۴-۳۴ شکل موج ولتاژ امپیر ترانزیستور کدام است؟

محاسباتی

۸-۷-۴ در مدار شکل ۴-۳۶، N_2 را چه قدر انتخاب

کنیم تا بین مولد و بار تطابق برقرار باشد؟

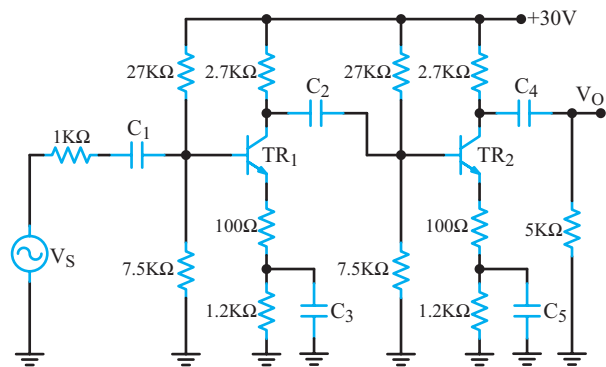


شکل ۴-۳۶

۹-۷-۴ در شکل ۴-۳۷ با فرض $\beta_1 = \beta_2 = 80$ و

$V_{BE1} = V_{BE2} = 0.7V$ ، ولتاژ هریک از پایه‌های ترانزیستورهای

T_{R1} و T_{R2} را نسبت به شاسی محاسبه کنید.



شکل ۴-۳۷

۸-۴-۲ زوج دارلینگتون (Darlington Pair)

یک نمونه از تقویت‌کننده‌های دوطبقه با کوپلاژ مستقیم،

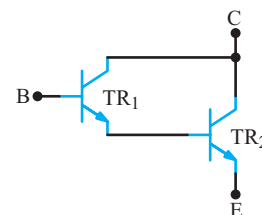
زوج دارلینگتون است که در شکل ۴-۳۸ نشان داده شده است.

از آنجا که ترانزیستورهای قدرت اغلب دارای β کوچکی

هستند، برای به‌دست آوردن β بزرگ‌تر، از ترانزیستورهای

زوج دارلینگتون استفاده می‌شود. در ضمن زوج دارلینگتون

دارای مقاومت ورودی زیاد است.



شکل ۴-۳۸ زوج دارلینگتون NPN

تحقیق کنید: با مراجعه به منابع مختلف و سایت‌های

اینترنتی تحقیق کنید به چه دلیل امپدانس ورودی تقویت‌کننده با زوج دارلینگتون زیاد است؟ نتایج را طی یک گزارش به کلاس ارائه نمایید.

اگر ضریب تقویت جریان ترانزیستور TR_1 را β_1 و ضریب

تقویت جریان ترانزیستور TR_2 را β_2 فرض کنیم، می‌توان ثابت

کرد که ضریب تقویت جریان زوج دارلینگتون از رابطه زیر به

دست می‌آید.

$$\beta_T \approx \beta_1 \beta_2$$

در شکل ۴-۳۸ زوج دارلینگتون معادل یک ترانزیستور

NPN است و از دو ترانزیستور NPN تشکیل شده است.

جریان بیس ترانزیستور TR_2 همان جریان امیتر ترانزیستور

TR_1 است؛ لذا نسبت T_{R2} به TR_1 قدرت بیشتری دارد و β_2 از

β_1 کم‌تر است.

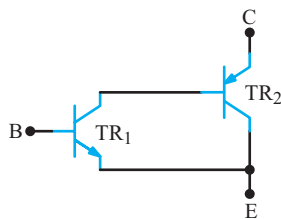
۱- ۸-۴ انواع زوج دارلینگتون: ترانزیستور

زوج دارلینگتون NPN را می‌توان به کمک یک ترانزیستور

NPN و یک ترانزیستور PNP نیز ایجاد کرد.

در این حالت مطابق شکل ۴-۳۹ زوج دارلینگتون مکمل

شکل می‌گیرد که معادل یک ترانزیستور NPN است.



شکل ۴-۳۹ معادل زوج دارلینگتون NPN

همچنین زوج دارلینگتون PNP ممکن است از دو

ترانزیستور PNP و یا با استفاده از یک ترانزیستور PNP و

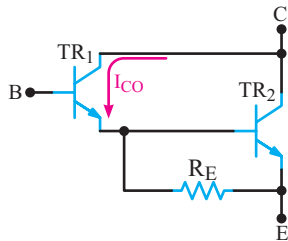
یک ترانزیستور NPN تشکیل شده باشد. شکل ۴-۴۰ زوج

دارلینگتون PNP با دو ترانزیستور PNP و معادل آن با یک

ترانزیستور PNP و یک ترانزیستور NPN را نشان می‌دهد.

۳-۸-۴- تأثیر جریان نشتی روی نقطه کار مدار

زوج دارلینگتون: در زوج دارلینگتون، جریان نشتی I_{CO} ترانزیستور اول که در اثر حرارت تولید می‌گردد روی نقطه کار به شدت اثر می‌گذارد. I_{CO} ایجاد شده به وسیله این ترانزیستور، توسط ترانزیستور دوم تقویت می‌شود و در خروجی، جریان ناخواسته زیادی را ایجاد می‌کند. این جریان باعث گرم شدن بیش‌تر ترانزیستورها و افزایش بیش‌تر I_{CO} می‌شود. برای برطرف کردن این اشکال، می‌توان مدار را به صورت شکل ۴-۴۲ اصلاح کرد.



شکل ۴-۴۲- زوج دارلینگتون اصلاح شده به منظور ایجاد ثبات حرارتی

در این ترکیب مقدار R_E را باید به گونه‌ای محاسبه کرد که اگر تمام جریان نشتی از مسیر آن بگذرد ترانزیستور دوم روشن نشود. باید مقدار R_E به گونه‌ای انتخاب شود که با گذشتن جریان I_{CO} از آن، افت پتانسیل دوسر آن از $\frac{1}{6}$ ولت تجاوز نکند. بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$R_E = \frac{0.16V}{I_{CO}}$$

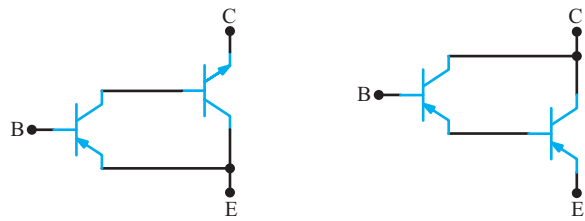
مثال ۴-۶: در صورتی که ولتاژ هدایت ترانزیستور دوم

(TR_1) در شکل ۴-۴۲، برابر با $V_{BEY} = 0.7V$ و جریان I_{CO} برابر با یک میلی‌آمپر باشد مقدار R_E را محاسبه کنید.

پاسخ: باید مقدار R_E را به گونه‌ای محاسبه کنیم که با گذشتن جریان $1mA$ از آن، افت پتانسیل دوسر آن از $\frac{1}{6}$ ولت تجاوز نکند بنابراین:

$$R_E = \frac{0.16}{1mA} = 160\Omega$$

هرچند با افزودن R_E به ترکیب دارلینگتون، پایداری حرارتی آن در حد قابل توجهی ترمیم می‌شود اما چون این مقاومت با مقاومت ورودی ترانزیستور TR_1 موازی شده است،



شکل ۴-۴۰- زوج دارلینگتون PNP و معادل آن با یک ترانزیستور NPN و یک ترانزیستور PNP

آشنایی با مخترعین و دانشمندان

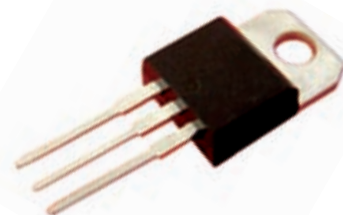


آقای سیدنی دارلینگتون مهندس برق بود و در سال ۱۹۰۶ در آمریکا متولد شد. وی در سال ۱۹۵۳ توانست ترانزیستور ترکیبی زوج دارلینگتون را اختراع کند. چند سال بعد یک دانشمند مجارستانی به نام جورج کلیفورد زیکلای اختراع ایشان را کامل کرد

و ترانزیستور مکمل دارلینگتون را با استفاده از یک ترانزیستور PNP و یک ترانزیستور NPN اختراع نمود. دارلینگتون مکمل به نام ایشان (Sziklai Pair) نامیده شد. سیدنی دارلینگتون در سال ۱۹۹۷ چشم از جهان بریست.

۲-۸-۴- زوج دارلینگتون در یک بسته‌بندی:

کارخانه‌های سازنده قطعات نیمه‌هادی زوج دارلینگتون را در یک بسته‌بندی و مشابه ترانزیستورهای ساده نیز به بازار عرضه می‌کنند. برای نمونه سری ترانزیستورهای 2N6384, 2N6383 و 2N6385 به صورت ترکیب دارلینگتون هستند. این ترانزیستورها به صورت NPN با β نزدیک به ۳۰۰۰ و قدرتی برابر ۱۰۰ وات ساخته می‌شوند. در شکل ۴-۴۱ ترانزیستور زوج دارلینگتون در یک بسته‌بندی نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۱- زوج دارلینگتون در یک بسته‌بندی

$$I_{C1} + I_{C2} = 5/4$$

معادله KVL را در حلقه II می نویسیم:

$$I_{C2}(1) + V_{EB2} - 4/V_{I_{C1}} = 0$$

$$-4/V_{I_{C1}} + I_{C2} = -0/6$$

$$\begin{cases} I_{C1} + I_{C2} = 5/4 \\ -4/V_{I_{C1}} + I_{C2} = -0/6 \end{cases}$$

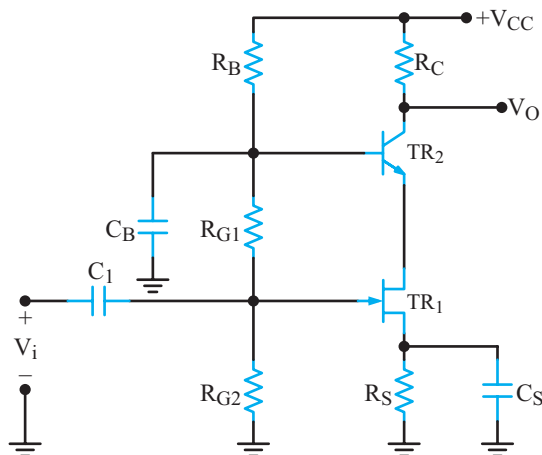
با حل دستگاه دو معادله دو مجهول، I_{C1} و I_{C2} به دست می آید.

$$I_{C1} = 1 \text{ mA} \quad I_{C2} = 4/4 \text{ mA}$$

۴-۹- تقویت کننده آبخاری (Cascade Amplifier)

در شکل ۴-۴۵ ترکیب دیگری از اتصال مستقیم دو ترانزیستور را می بینید. این ترکیب را ترکیب آبخاری می نامند. از این ترکیب بیش تر در فرکانس های بالا استفاده می کنند.

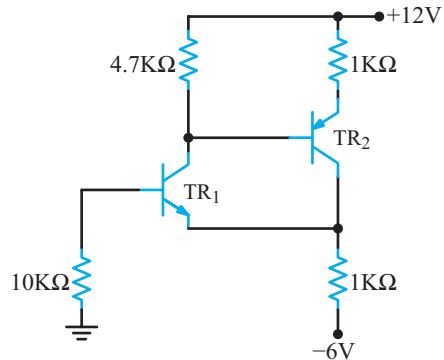
در شکل ۴-۴۵ ترانزیستور TR_1 یک ترانزیستور FET با آرایش سورس مشترک (CS) و ترانزیستور TR_2 یک ترانزیستور BJT با آرایش بیس مشترک (CB) است. متأسفانه امپدانس ورودی کم ترکیب بیس مشترک در اغلب موارد، مشکل عدم هماهنگی امپدانس را به وجود می آورد. در شکل ۴-۴۵ ترانزیستور TR_1 که به صورت سورس مشترک بسته شده است، مقاومت ورودی مدار را تا حدودی ترمیم می کند. برای حفظ پایداری حرارتی مدار، ترانزیستور TR_1 را با بهره ولتاژ کم طرح می کنند.



شکل ۴-۴۵- تقویت کننده آبخاری

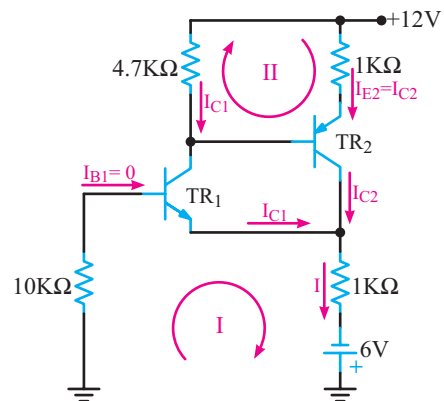
موجب کاهش مقاومت ورودی TR_2 و در نتیجه کاهش مقاومت ورودی کل زوج دارلینگتون می شود.

مثال ۴-۷: در شکل ۴-۴۳ مقدار تقریبی جریان کلکتور ترانزیستورها را محاسبه کنید. β ترانزیستورها عدد بزرگی در نظر گرفته شده و $|V_{BE}| = 0/6$ ولت است.



شکل ۴-۴۳- مدار تقویت کننده با ترانزیستور به صورت زوج دارلینگتون

پاسخ: با بیان β بزرگ و مقدار تقریبی جریان کلکتور به این نکته پی می بریم که باید از جریان بیس ترانزیستورها صرف نظر کنیم. در این صورت $I_{E1} = I_{C1}$ و $I_{E2} = I_{C2}$ است. معادله KVL را در حلقه I و حلقه II می نویسیم. شکل ۴-۴۴ حلقه I و حلقه II و جریان نقاط مختلف مدار را نشان می دهد. معادله KVL در حلقه I برابر است با:



شکل ۴-۴۴

$$1 \cdot I_{B1} + V_{BE1} + 1(I_{C1} + I_{C2}) - 6 = 0$$

در معادله عددگذاری می کنیم.

$$1 \cdot (0) + 0/6 + 1(I_{C1} + I_{C2}) - 6 = 0$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE1} = 4 - 0.7 = 3.3 \text{ ولت}$$

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = \frac{3.3}{2} = 1.65 \text{ mA}$$

چون از I_B ترانزیستورها صرف نظر می شود لذا $I_{E1} = I_{C1}$ و $I_{C1} = I_{E1} = I_{C2}$ است پس:

$$I_{C2} = I_{E2} = I_{C1} = I_{E1} = 1.65 \text{ mA}$$

با تقسیم ولتاژ مقاومتی V_{B2} را محاسبه می کنیم.

$$V_{B2} = \frac{V_{CC}(R_{B1} + R_{B2})}{R_{B1} + R_{B2} + R_{B3}} = \frac{12(5 + 5)}{5 + 5 + 5}$$

$$V_{B2} = 8 \text{ ولت}$$

چون $V_{E2} = V_{C1}$ برابر است، با محاسبه V_{C1} ، V_{CE1} و سپس توان تلف شده ترانزیستور محاسبه می شود.

$$V_{E2} = V_{C1} = V_{B2} - V_{BE2}$$

$$V_{E2} = V_{C1} = 8 - 0.7 = 7.3 \text{ ولت}$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 7.3 - 3.3 = 4 \text{ V}$$

$$P_{T1} = V_{CE1} \times I_{C1} = 4 \times 1.65 = \boxed{6.6 \text{ mW}}$$

با محاسبه V_{C2} می توان V_{CE2} را محاسبه نمود.

$$V_{C2} = V_{CC} - R_{C2}I_{C2}$$

$$V_{C2} = 12 - (2/2)(1.65) = 12 - 3/62$$

$$V_{C2} = 8.37 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 8.37 - 7.3$$

$$V_{CE2} = 1.07 \text{ ولت}$$

$$P_{T2} = V_{CE2} \times I_{C2} = 1.07 \times 1.65$$

$$\boxed{P_{T2} = 1.765 \text{ mW}}$$

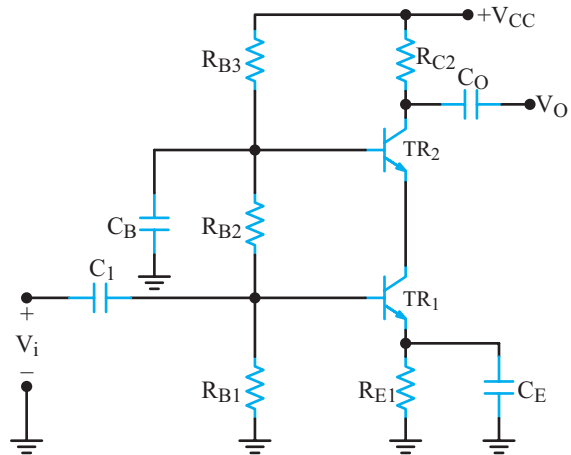
تمرین کلاسی: در این مرحله یک نمونه تمرین کلاسی که توسط دانش آموز یا هنرآموز طراحی می شود را اجرا نمایید.

۱-۴- الگوی پرسش

کامل کردنی

۱-۴- زوج دارلینگتون دارای بهره جریان و مقاومت ورودی است.

تقویت کننده آنباشی را می توان با دو ترانزیستور BJT به صورت شکل ۴-۴۶ نیز طرح نمود.

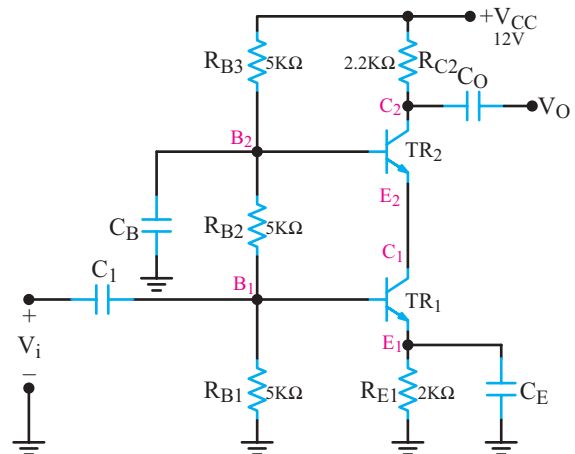


شکل ۴-۴۶- تقویت کننده آنباشی با دو ترانزیستور BJT

در این مدار TR_1 دارای آرایش امیتر مشترک و TR_2 دارای آرایش بیس مشترک است.

مثال ۸-۴: در شکل ۴-۴۷ با فرض $\beta_1 = \beta_2 = 120$

و $V_{BE1} = V_{BE2} = 0.7 \text{ V}$ قدرت تلف شده در هر ترانزیستور را محاسبه کنید.



شکل ۴-۴۷- مدار تقویت کننده آنباشی

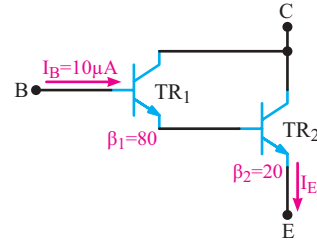
پاسخ: $V_{B1} = \frac{V_{CC}R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2} + R_{B3}} = \frac{12 \times 5}{5 + 5 + 5}$

$$V_{B1} = \frac{60}{15} = 4 \text{ V}$$

چهارگزینده‌ای

۴-۱-۲- با توجه به مدار ۴-۴۸ I_E دارلینگتون چند

میلی آمپر است؟

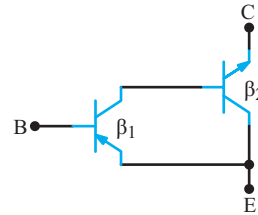


شکل ۴-۴۸

۱۶ (۴) ۱۲ (۳) ۱۰ (۲) ۸ (۱)

۴-۱-۳- مدار شکل ۴-۴۹ زوج دارلینگتون NPN یا

PNP است؟ β_T کدام است؟



شکل ۴-۴۹

$\beta_T = \beta_1 \beta_2$, PNP (۱)

$\beta_T = \beta_1 + \beta_2$, PNP (۲)

$\beta_T = \beta_1 \beta_2$, NPN (۳)

$\beta_T = \beta_1 + \beta_2$, NPN (۴)

کوتاه پاسخ

۴-۱-۴- از تقویت کننده آشاری بیش تر در کدام فرکانس

استفاده می کنند؟

تشریحی

۴-۱-۵- ویژگی های زوج دارلینگتون را بنویسید.

۴-۱-۶- اشکال زوج دارلینگتون را شرح دهید.

چگونه اشکال بر طرف می شود؟

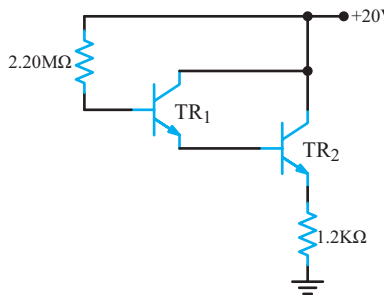
۴-۱-۷- کاربرد تقویت کننده آشاری را شرح دهید.

محاسباتی

۴-۱-۸- در شکل ۴-۵۰ با فرض $\beta_1 = \beta_2 = 50$

و $V_{BE1} = V_{BE2} = 0.7V$ چه قدرتی در ترانزیستور TR_2 تلف

می شود؟



شکل ۴-۵۰