



به نام خدا
دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر



آزمایشگاه الکترونیک 1

نیمسال دوم (99-00)

استاد: خانم مهندس خودکاری

آزمایش شماره 7

محمد مهدی عبدالحسینی

810 198 434



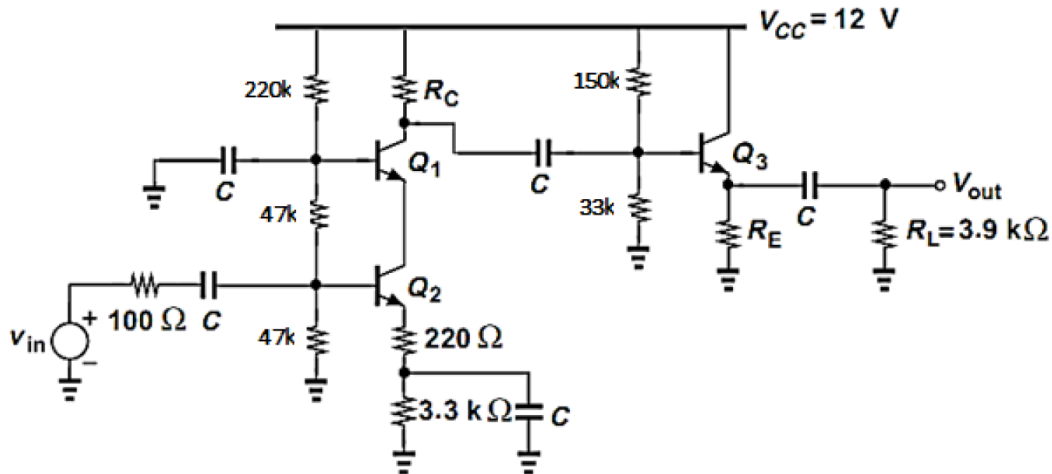
Electronics Laboratory 1

فہرست مطالب

بخش اول: تحلیل دستی	1
سوال 1:	1
سوال 2:	4
سوال 3:	4
سوال 4:	4
سوال 5:	4
سوال 6:	5
سوال 7:	5
سوال 9:	5
بخش دوم: شبیه سازی	6
سوال 8:	6
شمارتیک مدار:	6
تحلیل DC+ نقاط کار:	6
بهره:	7
مقاومت ورودی:	8
مقاومت خروجی:	9

بخش اول: تحلیل دستی

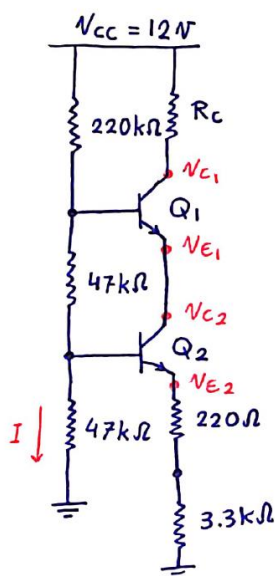
سوال 1: مدار شکل 7-1 را طوری طراحی کنید که بهره ولتاژ تقویت کننده 25 و ولتاژ خروجی دارای ماکزیمم سوینگ متقارن بوده، مقاومت ورودی بیشتر از 10 کیلو اهم، مقاومت خروجی کمتر از 100 اهم، شبکه های بایاس ترانزیستور مستقل از تغییرات β ترانزیستور و توان DC تحویلی کمتر از 27 میلی وات باشد.



شکل 7-1 مدار تقویت کننده سه طبقه

ابتدا به تحلیل DC طبقه اول (که شامل دو ترانزیستور است، Q_1 و Q_2) میپردازیم.

برای سادگی فرض میکنیم ترانزیستورها یکسان هستند و β آنها به اندازه کافی بزرگ است. این یعنی جریان بیس ترانزیستورها به اندازه کافی کوچک است که میتوانیم از آنها صرف نظر کنیم.



$$KVL: 47I - (0.22 + 3.3)I_{E2} = V_{BE2}$$

$$\rightarrow I_{E2} = \frac{47I - V_{BE2}}{3.52} \approx 0.34 \text{ mA} = I_{C1} = I_{C2}$$

$$I = \frac{12}{47 + 47 + 220} = \frac{12}{314} \text{ mA}$$

$$V_{E1} = (47 + 47)I - V_{BE1} \approx 94 \times \frac{12}{314} - 0.6 \approx 3 \text{ V}$$

$$V_{C1} = 12 - R_C I_{C1} \approx 12 - 0.34 R_C \quad ; \quad V_{C2} = V_{E1} = 3 \text{ V}$$

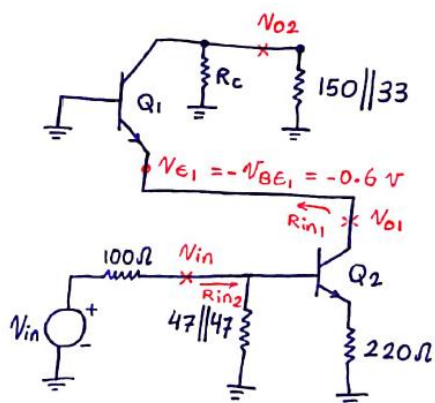
$$V_{E2} = (0.22 + 3.3)I_{C2} \approx 3.52 \times 0.34 \approx 1.2 \text{ V}$$

بنابراین نقاط کار ترانزیستور Q_1 و Q_2 بصورت زیر درمیآید:

$$\rightarrow Q_1 : I_{C1Q} = 0.34 \text{ mA} ; V_{CE1Q} = V_{C1} - V_{E1} = 9 - 0.34 R_C$$

$$\rightarrow Q_2 : I_{C2Q} = 0.34 \text{ mA} ; V_{CE2Q} = V_{C2} - V_{E2} = 1.8 \text{ V}$$

حالا میریم سراغ تحلیل AC همین طبقه:



$$\text{KVL} : -0.6 = V_{CE1} + i_c (R_C \parallel 150 \parallel 33)$$

$$\text{KVL} : -0.6 + V_{CE2} + 0.22 i_c = 0$$

$$A_{V1} = \frac{-R_{in1}}{\frac{1}{g_{m1}} + 0.22} = \frac{V_{o1}}{V_{in}}$$

$$R_{in2} = 47 \parallel 47 \parallel (r_{\pi1} + (\beta + 1) \times 0.22)$$

$$\frac{1}{g_{m1}} = \frac{V_T}{I_{C1Q}} \approx \frac{26 \times 10^{-3}}{0.34} \approx 0.0765 \text{ k}\Omega ; r_{\pi1} = \frac{\beta}{g_{m1}} \approx 15.3 \text{ k}\Omega \quad (\beta = 200)$$

$$\rightarrow R_{in2} \approx 47 \parallel 47 \parallel 60 \approx 17 \text{ k}\Omega > 10 \text{ k}\Omega \checkmark$$

$$R_{in1} = \frac{1}{g_{m2}} = \frac{V_T}{I_{C2Q}} \approx \frac{26 \times 10^{-3}}{0.34} \approx 0.0765 \text{ k}\Omega \rightarrow A_{V1} \approx -0.26$$

$$A_{V2} = \frac{V_{o2}}{V_{o1}} = g_{m2} (R_C \parallel 150 \parallel 33)$$

سوال گفته بهره 25 باشه، بهره طبقه آخر را تقریباً برابر با یک در نظر میگیریم، بنابراین باید بهره دو طبقه

اول روی هم 25 شود:

$$|A_V'| = \left| \frac{V_{o2}}{V_{in}} \right| = \left| \frac{V_{o2}}{V_{o1}} \right| \times \left| \frac{V_{o1}}{V_{in}} \right| = |A_{V2}| \times |A_{V1}| = 25$$

$$\rightarrow g_{m2} (R_C \parallel 150 \parallel 33) \times 0.26 = 25 \rightarrow R_C \parallel 150 \parallel 33 \approx 7.36 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow \frac{1}{R_C} + \frac{1}{150} + \frac{1}{33} = \frac{1}{7.36} \rightarrow R_C \approx 10.1 \text{ k}\Omega$$

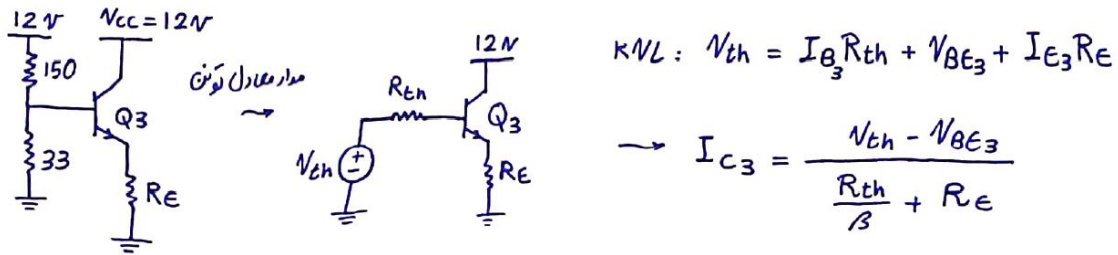
در صورتی که بخواهیم بهره بیشتر شود میتوان مقدار RC را افزایش داد.

$$V_{CE1Q} = 9 - 0.34 R_C \approx 9 - 0.34 \times 10.1 \approx 5.6 \text{ V}$$

$$V_{CE2Q} = 1.8 \text{ V}$$

حالا وقتشه بریم سراغ تحلیل DC طبقه آخر (که شامل ترانزیستور Q3 است).

برای اینکه تغییرات نسبت به β نداشته باشیم، باید R_E به اندازه کافی بزرگ باشد.

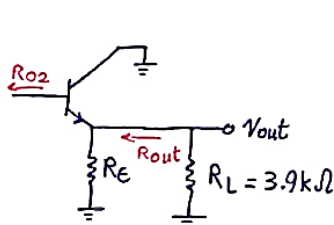


$$R_E > 10 \frac{R_{th}}{\beta} \rightarrow R_E \times \frac{\beta}{10} > R_{th} ; R_{th} = 150 \parallel 33 \approx 27 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow R_E > 1.35 \text{ k}\Omega$$

تحلیل AC طبقه آخر:

AC:



$$R_{ac} = R_E \parallel R_L$$

$$V_{CE3} - V_{CE3Q} = -R_{ac} (i_3 - I_{C3Q})$$

$$I_{C3Q} = ? ; V_{th} = V_{cc} \times \frac{33}{150+33} \approx 2.164 \rightarrow I_{C3Q} = \frac{2.164 - 0.6}{1.1 \times R_E} \approx \frac{1.422}{R_E}$$

$$\text{max swing} : \Delta_1 = \Delta_2 \rightarrow V_{CE3Q} = \frac{a - V_{CE(sat)}}{2} \approx \frac{a}{2} \rightarrow a = 2 V_{CE3Q}$$

$$i_3 = 0 \rightarrow a - V_{CE3Q} = R_{ac} I_{C3Q} \rightarrow V_{CE3Q} \approx R_{ac} I_{C3Q}$$

$$R_{out} = \left(\frac{R_{o2}}{\beta + 1} + \frac{1}{g_{m3}} \right) \parallel R_E ; R_{o2} = R_C \parallel 150 \parallel 33 \approx 7.35 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 200 \rightarrow R_{out} = \left(\frac{7.35}{201} + \frac{26 \times 10^{-3}}{1.422} R_E \right) \parallel R_E < 100 \Omega = 0.1 \text{ k}\Omega \rightarrow R_E < 5 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow 1.35 < R_E < 5 \text{ k}\Omega$$

$$P_{oc} = \frac{(V_{cc} - V_{CE(sat)})^2}{R_E} \approx \frac{11.8^2}{R_E} < 27 \rightarrow R_E \approx 5k\Omega$$

$$\rightarrow I_{C3Q} \approx \frac{1.422}{5} \approx 0.284 \text{ mA} \quad ; \quad \rightarrow V_{CE3Q} \approx 12 - R_E I_{C3Q}$$

$$\rightarrow V_{CE3Q} \approx 12 - 5 \times 0.284 \approx 10.58 \text{ V}$$

سوال 2: کدامیک از سه تقویت کننده امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک برای طبقه اول

تقویت کننده های چند طبقه مناسب میباشد؟ چرا؟

تقویت کننده امیتر مشترک و بیس مشترک بدلیل گین (بهره) بیشتر در طبقات اولیه مناسب میباشد.

سوال 3: کدامیک برای طبقه آخر مناسب میباشد؟ چرا؟

برای طبقه آخر استفاده از تقویت کننده کلکتور مشترک مناسبتر است زیرا بهره آن یک میباشد و به عنوان

بافر ولتاژ و تقویت کننده جریان عمل میکند و به مقاومت بار وابسته نیست. (یعنی اثر بار گذاری نداره)

سوال 4: در مدار شکل 1-7، برای دستیابی به ماکزیمم سوئینگ متقارن در خروجی، آیا لازم است که

سوئینگ ولتاژ طبقه نهایی هم متقارن باشد؟ چرا؟

فرض کنید طبقه ی آخری نداشتیم، یعنی تقویت کننده تنها شامل یک طبقه کسکود بود. اگر در این

حالت ماکزیمم سوئینگ متقارن را حساب کنیم و سپس طبقه آخر را مجددا اضافه نماییم متوجه میشویم که

ممکن است خروجی در حالت جدید اعوجاج داشته باشد. بنابراین لازم است که سوئینگ ولتاژ طبقه نهایی

هم متقارن باشد.

سوال 5: حداکثر دامنه ولتاژ ورودی برای داشتن خروجی بدون اعوجاج را بدست آورید.

در آزمایشگاه دامنه ولتاژ ورودی را آروم آروم زیاد میکنیم تا جایی که روی ولتاژ خروجی اعوجاج ببینیم.

البته میتوان آنرا با دانستن ماکزیمم سوئینگ خروجی و بهره محاسبه کرد.

$$\max \text{swing } V_{out} = \Delta = a - V_{CE3Q} \approx 10.58 \text{ V}$$

$$\max \text{swing } V_{in} = \frac{\Delta}{|A_{v_s}|} \approx \frac{10.58 \text{ V}}{25} = 42 \text{ mV}$$

سوال 6: افزایش و یا کاهش مقاومت 3.3 کیلو اهمی به روی بهره کلی چه تاثیری دارد؟ آیا میتوان همین نتیجه را برای مقاومت 220 اهمی بیان کرد؟ تاثیر مقاومت امیتر در طبقه کلکتور بر بهره آن چیست؟

محاسبه بهره در حین تحلیل AC انجام میشود. از آنجایی که در تحلیل AC این ساختار، مقاومت 3.3 بای پس میشود، بنابراین تأثیر زیادی بر روی بهره ندارد و تنها جریان I_{CQ} را تغییر میدهد که چون در کل این مقدار ناچیز میباشد بنابراین تغییرات آن هم چندان روی بهره اثر گذار نیست. یعنی به عبارت دیگر چون $\frac{1}{g_m}$ معمولاً بسیار کوچک است از تغییرات آن میتوان در محاسبه بهره صرف نظر کرد.

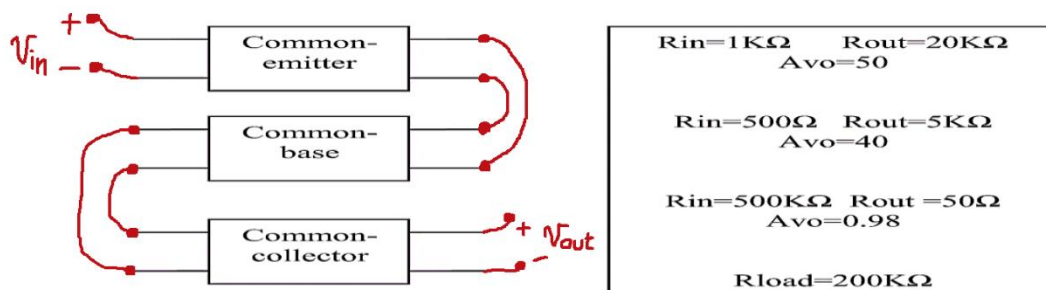
اما این حرفها برای مقاومت 220 صادق نیست زیرا مستقیماً در تحلیل AC حضور دارد و عامل مؤثری در مقدار بهره میباشد. و چنانچه افزایش یابد بهره کاهش میابد.

بطور کلی افزایش مقاومت امیتر در طبقه کلکتور تأثیر چندانی در تغییرات بهره ندارد. بطور مثال با افزایش آن بهره بیشتر به یک میل میکند و با کاهش آن بهره اندکی کوچکتر میشود. که اینقدر این تغییرات کوچک هستند که میتوان از آنها صرف نظر کرد مگر آنکه تغییرات در مقاومت امیتر آنقدر زیاد باشد که تغییرات در بهره به چشم بیاید. بطور مثال کاهش شدید مقاومت امیتر در طبقه کلکتور، بهره را به صفر میل میدهد و با افزایش شدیدش بهره به یک میل میکند.

سوال 7: اگر طبقه آخر مدار را برداریم چه اتفاقی برای بهره تقویت کننده رخ می دهد؟

چون بهره طبقه آخر تقریباً برابر با یک میباشد، با برداشتن آن، بهره کل تغییر خاصی نمیکند. البته این انتظار غلطی است که محقق نمیشود. و در عمل مقاومت بار با مقاومت RC موازی میشه و بهره کل رو میندازه.

سوال 9: فرض کنید که 3 تقویت کننده مجزا با مدل سیگنال کوچک و مشخصات داده شده در شکل 7-2 موجود میباشد. سه تقویت کننده را طوری مرتب و متصل کنید که یک تقویت سه طبقه برای داشتن بهره ولتاژ حداکثر تهیه کنید.



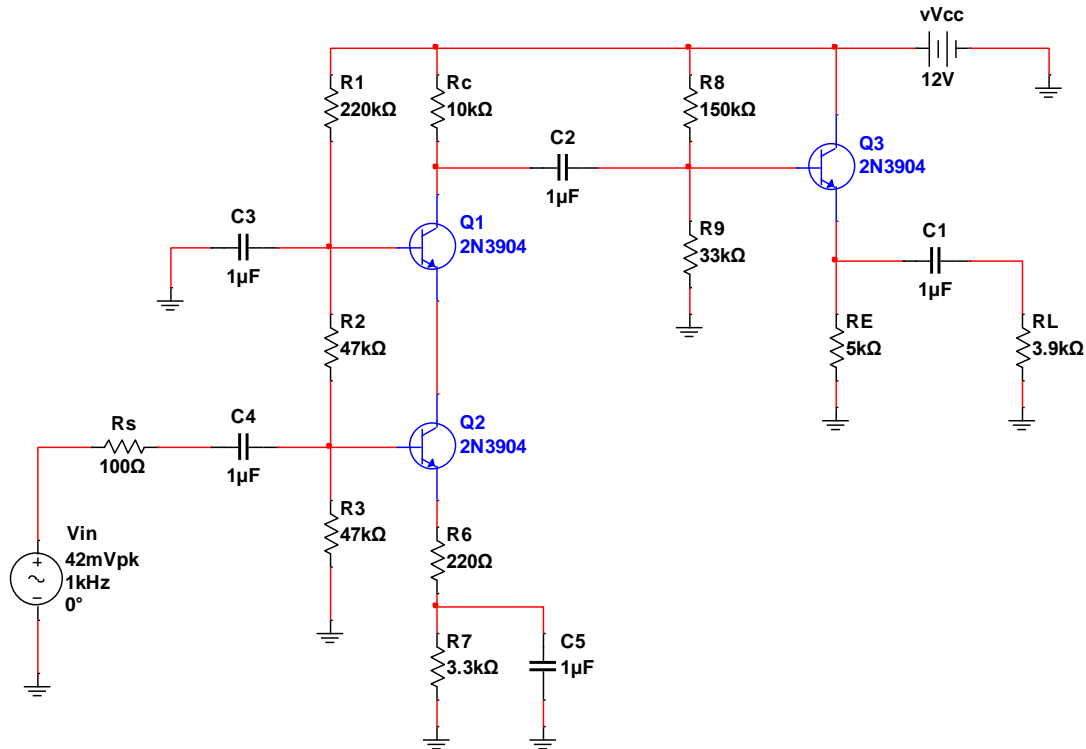
شکل ۷-۲ سه تقویت کننده مجزا

طبقه اول امیتر مشترک ، طبقه دوم بیس مشترک ، طبقه آخر کلکتور مشترک

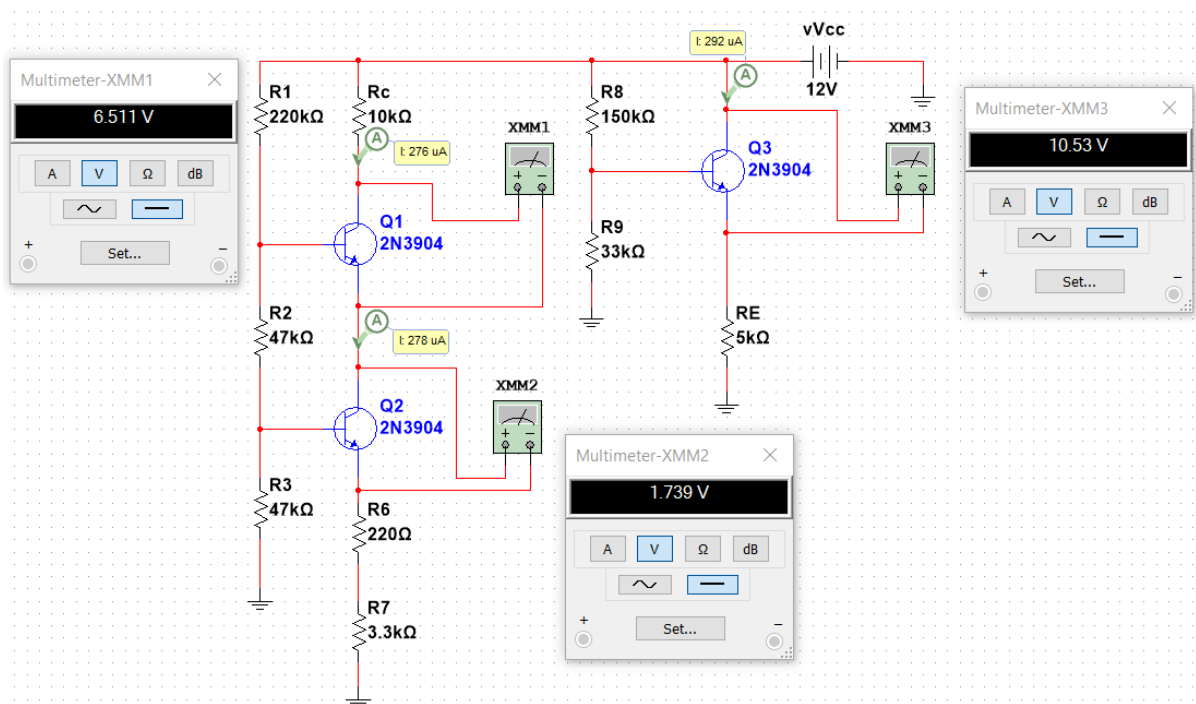
بخش دوم: شبیه سازی

سوال 8: شبیه سازی مدار شکل 7-1

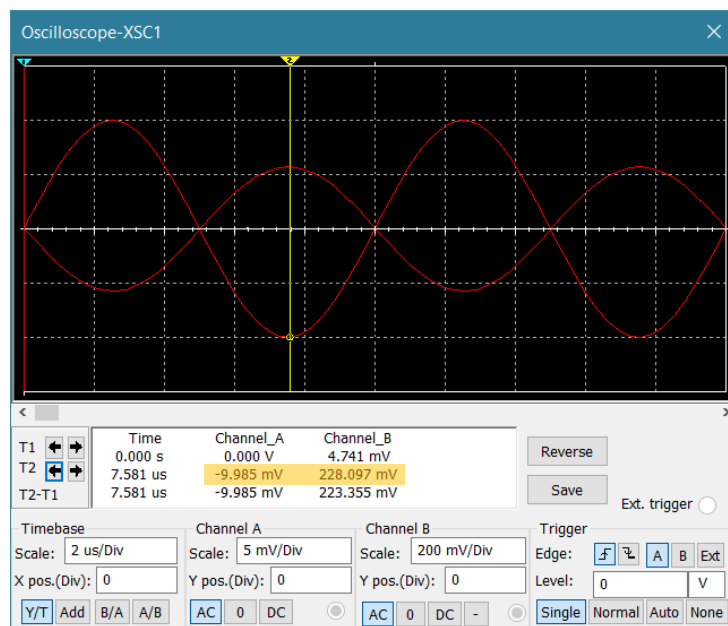
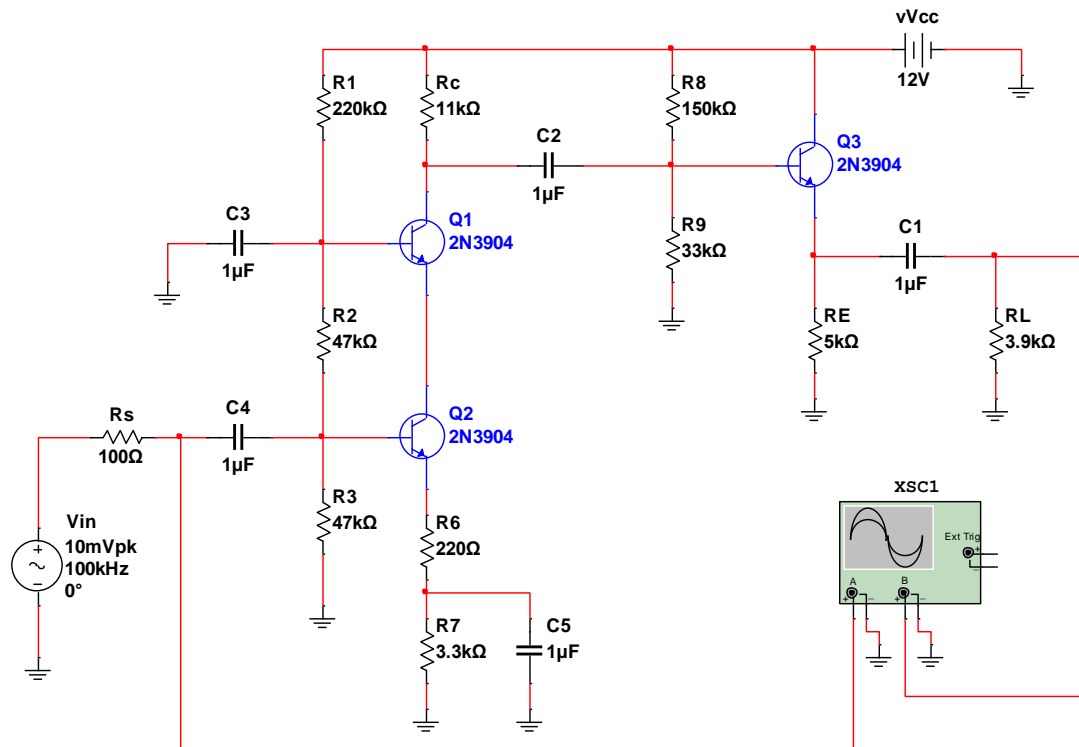
شماتیک مدار:



تحلیل DC + نقاط کار:



بهره:

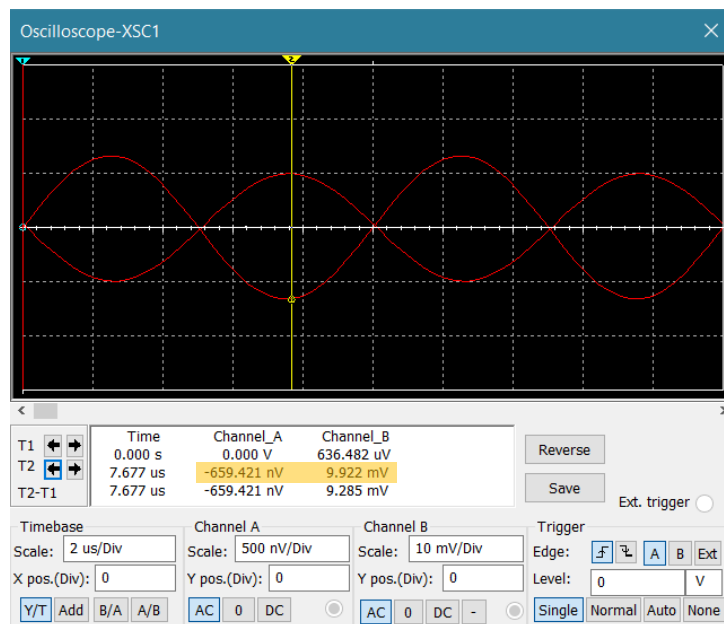
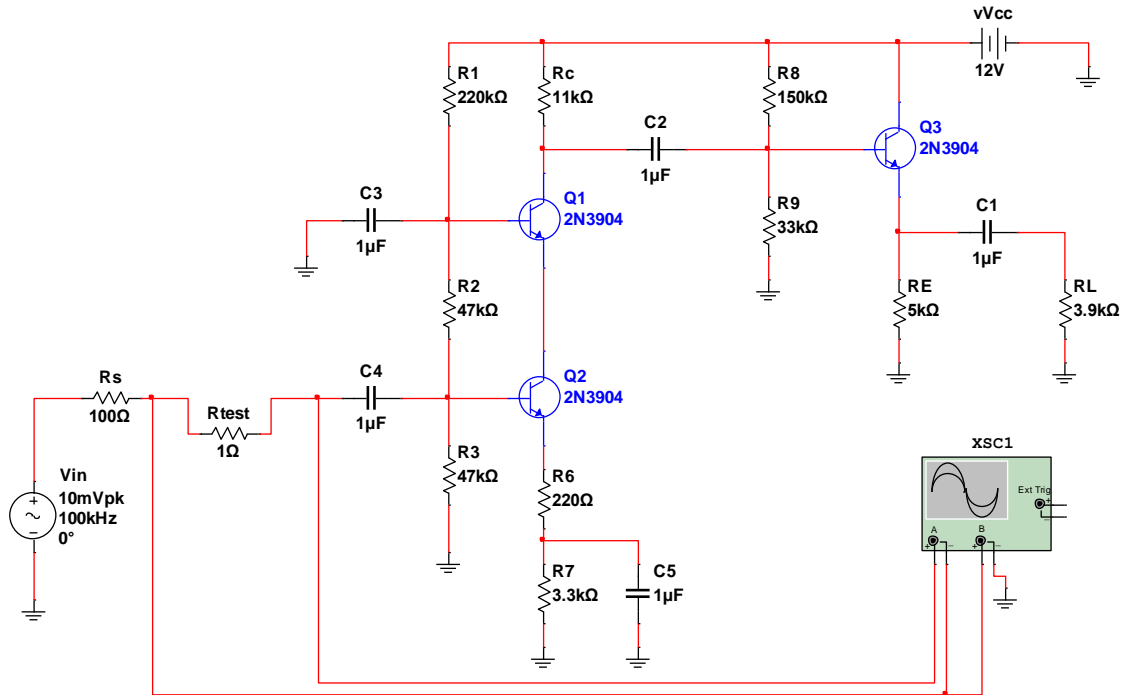


$$|A_v| \approx \frac{228.097}{9.985} \approx 22.84 \approx 23$$

برای افزایش بهره همانطور که پیش تر گفته شد، کافیت مقدار RC را افزایش دهیم. در اینجا چون بهره طبقه آخر اندکی از یک کمتر میباشد بنابراین مقداری بهره کمتر خواهد شد. البته نکته دیگر این است که در محاسبات از $\beta = 200$ استفاده شده که اگر از β بزرگتر استفاده میشد، RC به اندازه کافی بزرگ میشد که

بتواند بهره را بالای 25 نگه دارد. به همین منظور در شبیه سازی RC را قدری بزرگتر در نظر گرفتیم. البته در نظر نگرفتن اثر ارلی هم باعث میشود اندکی نتایج تحلیل دستی با شبیه سازی متفاوت باشد.

مقاومت ورودی :

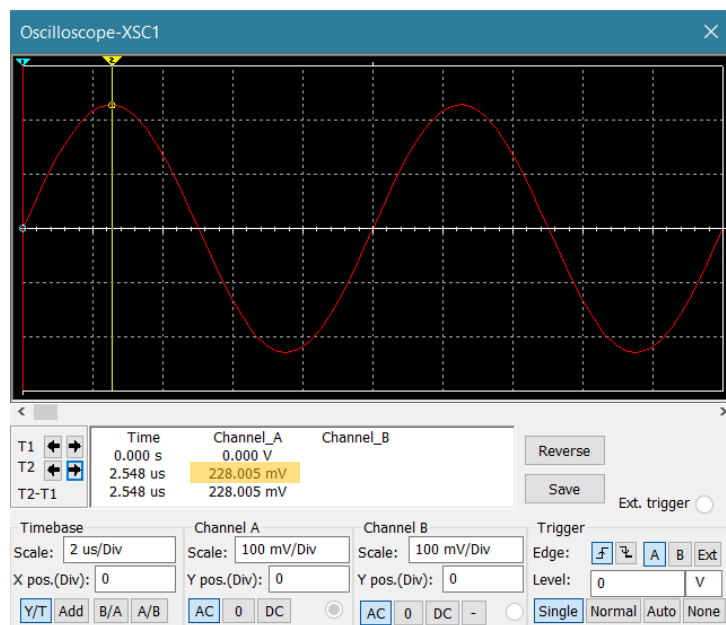
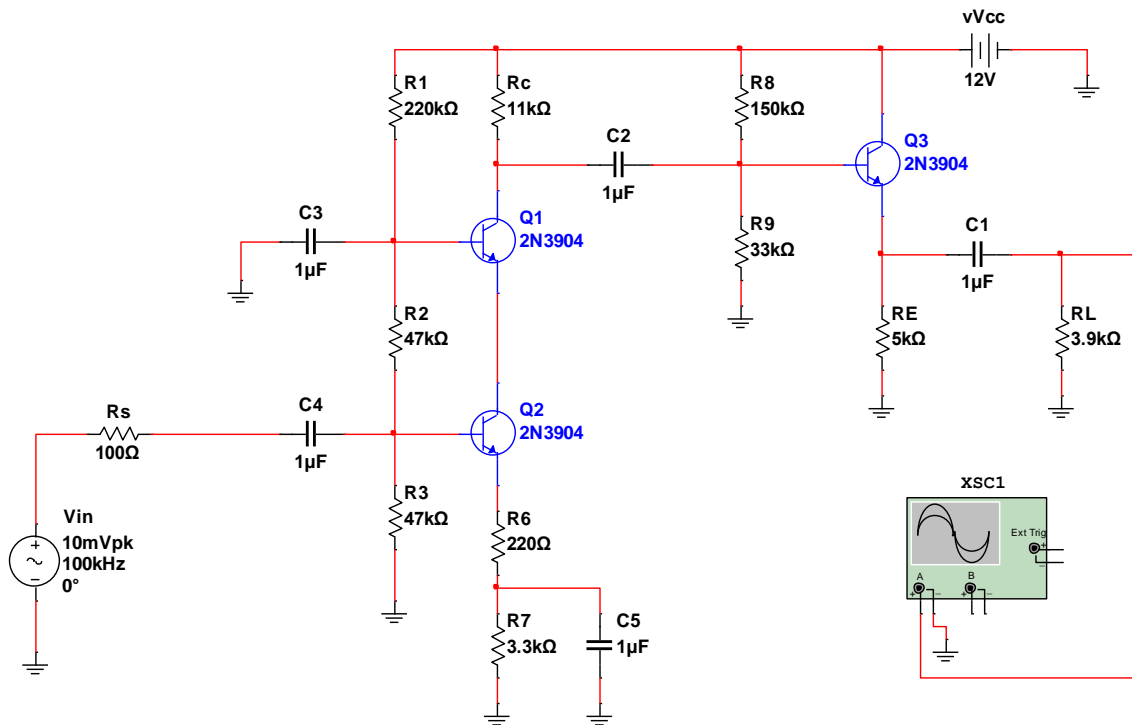


$$R_{in} = \frac{v_{in}}{-i_t} \approx \frac{9922}{659.421} \approx 15k\Omega$$

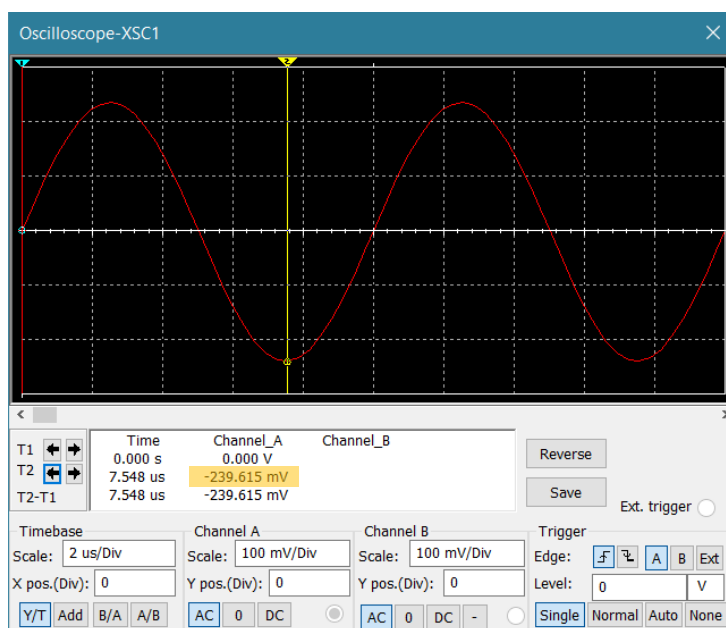
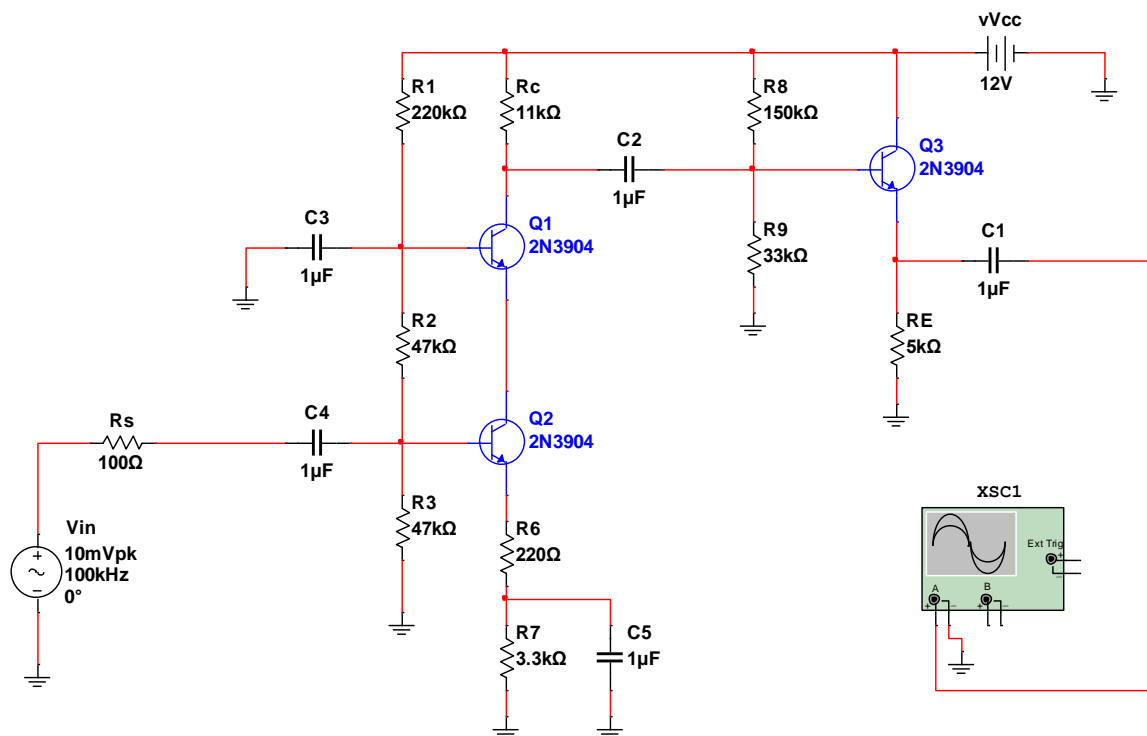
مقاومت خروجی :

$$R_{out} = R_L \times \frac{v_{NoLoad} - v_{FullLoad}}{v_{FullLoad}}$$

ابتدا $v_{FullLoad}$ را بدست میآوریم :



اکنون کافیت v_{NoLoad} را بدست بیاوریم :



$$R_{out} = R_L \times \frac{v_{NoLoad} - v_{FullLoad}}{v_{FullLoad}} = 3.9k\Omega \times \frac{239.615 - 228.005}{228.005} \approx 0.198k\Omega \approx 200\Omega$$