

به نام خدا



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده برق و کامپیوتر



درس الکترونیک ۱

دکتر سنایی

پروژه نهایی

تقویت کننده ترانزیستوری سه طبقه

نام و نام خانوادگی: پریسا محمدی

شماره دانشجویی: ۸۱۰۱۰۱۵۰۹

پاییز ۱۴۰۳

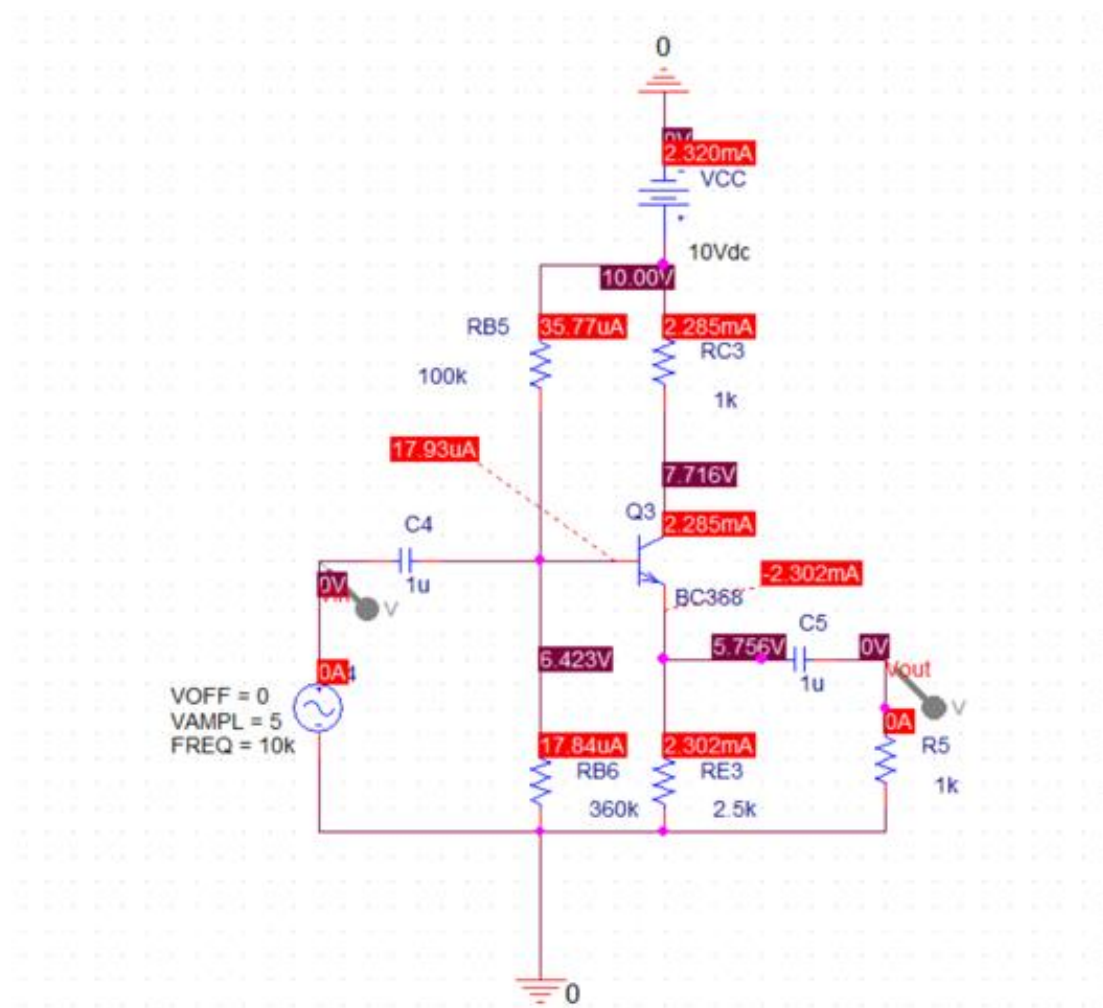
مقدمه.....	۳
بخش اول - طبقه کلکتور مشترک.....	۳
بخش دوم - طبقه امیتر مشترک.....	۶
بخش سوم - طبقه امیتر مشترک.....	۹
پرسش های تکمیلی.....	۱۴
بخش طراحی.....	۱۵

مقدمه

در این پروژه قصد داریم علاوه بر بخش تئوری درس (محاسبه بهره، مقاومت ورودی و خروجی، اعوجاج خروجی)، از طریق شبیه سازی خروجی های مربوطه به هر یک از بخش ها را مورد بررسی قرار دهیم و آنها را با نتایج تئوری مقایسه کنیم. شبیه سازی از طریق نرم افزار *Pspice* انجام میشود. در طبقه اول، طبقه ای از نوع بیس مشترک را قرار میدهم و انتظار داریم بهره بالا و مقاومت ورودی مناسبی حاصل شود. در طبقه دوم طبقه ای امیتر مشترک را به مدار اضافه میکنیم و با توجه به خواسته های مربوطه، مدار را تکمیل و خروجی های مورد انتظار را مورد بررسی قرار میدهم. در نهایت نیز یک ترکیب کلکتور مشترک را به مدار خود اضافه میکنیم و کاربرد و ویژگی های آن را با توجه به خروجی های نهایی بررسی میکنیم

بخش اول - طبقه کلکتور مشترک

(۲ و ۱)



بخش اول - ملحقه کالکتور مشترک

(۲)

$$R_L = 1k, R_{B5} = 100k$$

$$V_{CEQ} = 7,716 - 5,756 = 1,96 > 1,2 \quad \text{فصل}$$

$$I_{CQ} = 2,285 \text{ mA}$$

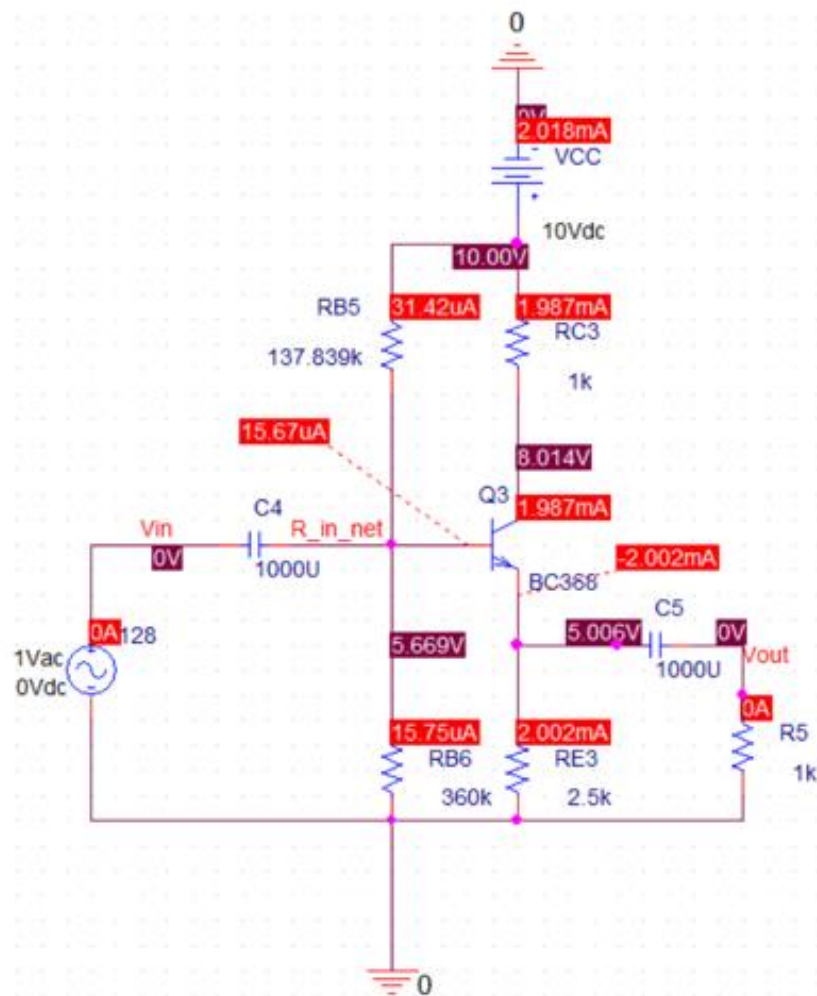
$$V_{BEon} = 6,423 - 5,756 = 0,667$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2,285 \times 10^{-3}}{17,13} = 127,44$$

(۳)

$$\frac{10 \times \frac{360}{360 + R_{B5}} - V_{BEon}}{\frac{360 \parallel R_{B5}}{\beta} + 2,5} = I_C = 2 \text{ mA} \quad \frac{V_{BEon} = 0,667}{\beta = 127,44} \rightarrow R_{B5} = 137,839 \text{ k}\Omega$$

(۴)

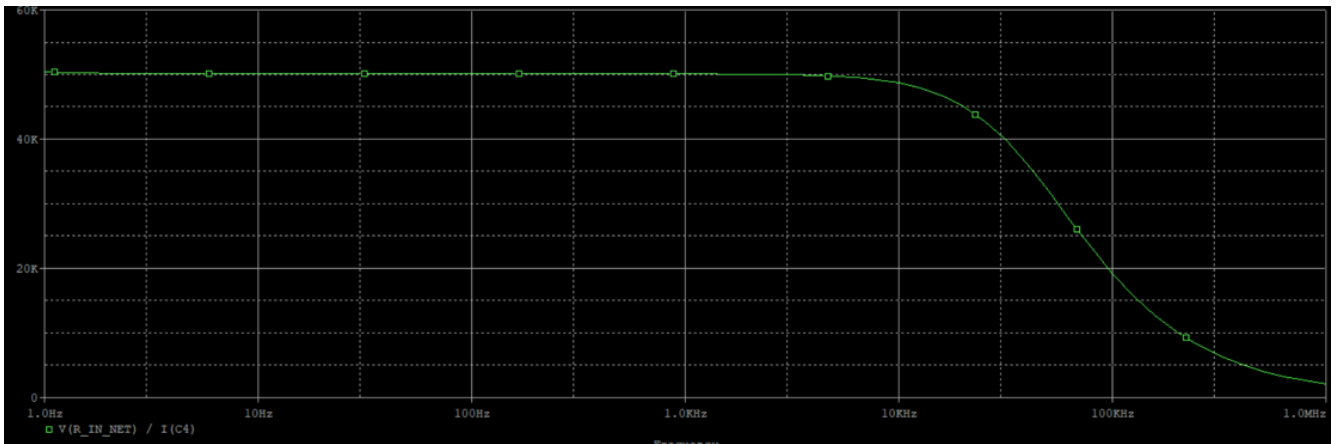


$$R_{in} = 137,839 \parallel 366 \parallel (1,603 + (128,44)(R_L \parallel 2,5)) = 50k \rightarrow R_L = 1,10226 k\Omega$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{40 \times I_{CQ}} = \frac{127,44}{40 \times 1,987} = 1,603$$

$V_T = 25$

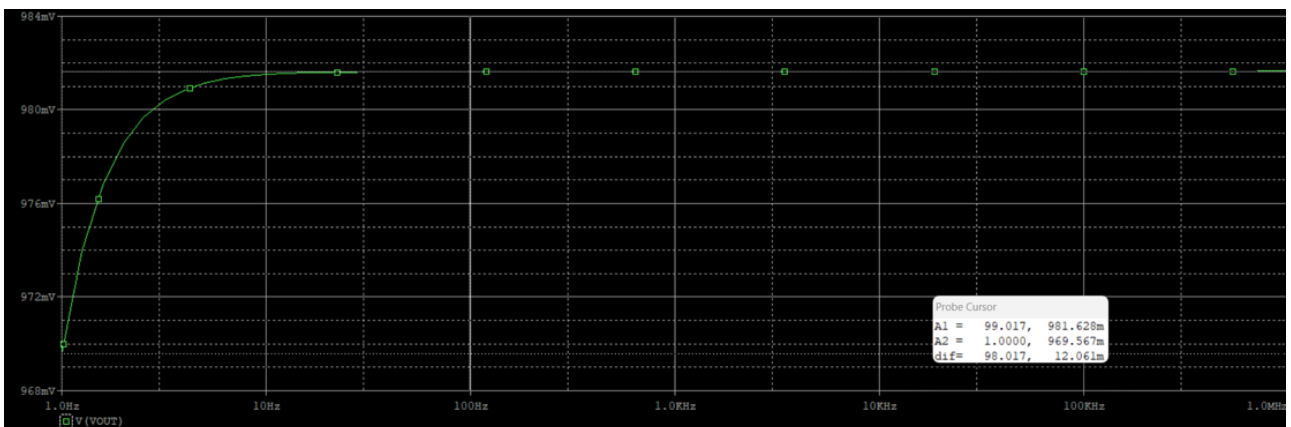
I_{CQ} کجای بعد از مرحله قبل، با یکبار R_{B5}



(5)

$$A_v = \frac{R_E}{\frac{1}{g_m} + R_E} = \frac{112,5}{112,5 + \frac{1}{g_m}} = 0,935$$

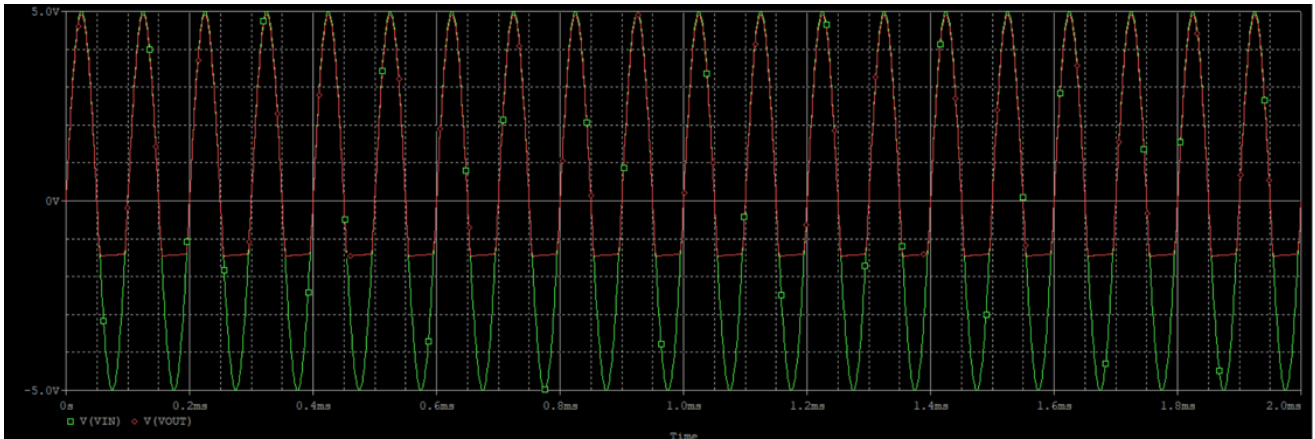
V_{CEQ}



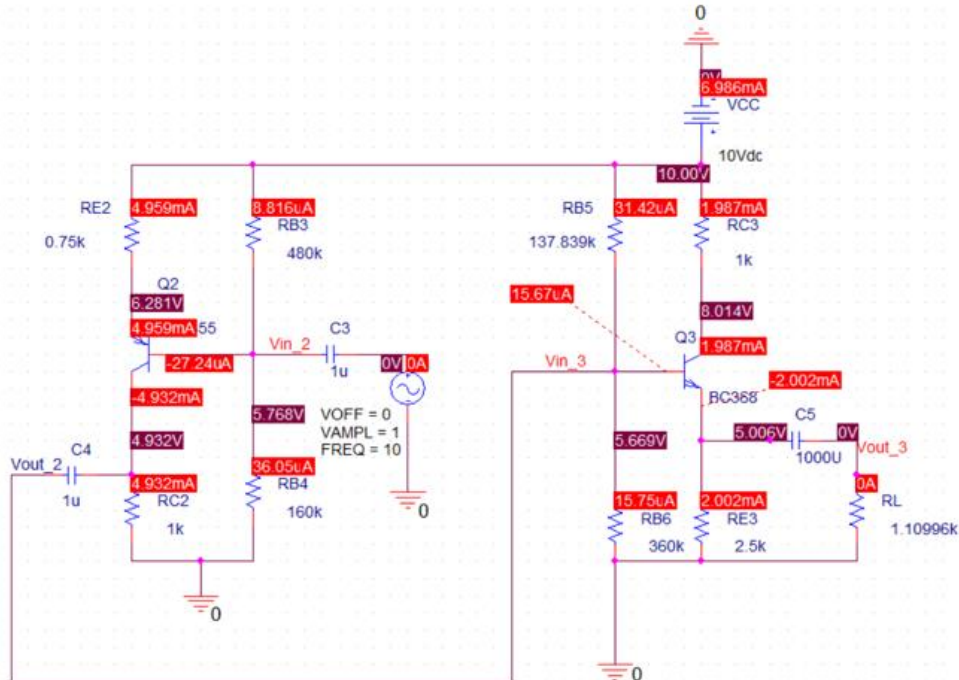
(6)

$$\text{Swing } V_{CE} = \begin{cases} \Delta_1 = \frac{V_{CEQ}}{(8,014 - 5,006)} - 0,2 = 2,808 \\ \Delta_2 = \frac{V_{CEsat}}{(1 + 2,5 \parallel 11) \times 1,987} = 3,406 \end{cases} \rightarrow \text{MAX Swing } V_{CE} = 2,808$$

$$\text{Max Swing}_{V_{out}} = \text{Max Swing}_{V_{CE}} \times \frac{0,714}{0,714 + 1} = 1,418 \text{ V}$$



بخش دوم - طبقه آمپتر مشترک



$$V_{E0} = 6,281 - 5,768 = 0,513 \text{ V}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{4,932 \times 10^{-3}}{27,24 \times 10^{-6}} = 181,06$$

بخش دوم - آمپتر مشترک :

(2)

$$I_{CQ} = \frac{10 - \left(10 \times \frac{160}{160 + 480} + V_{EB} \right)}{\frac{160 \parallel 480}{\beta} + 0,75} \quad \begin{matrix} V_{EB} = 0,513 \\ \beta = 181,06 \end{matrix} \rightarrow I_{CQ} = 4,946$$

(2)

(3)

Max Symmetric Swing : $D_1 = D_2 \rightarrow V_{ECQ} - 0,2 = R_{ac} I_{CQ}$ (3) تمییز جبهه طاقی بر این اساس بود.

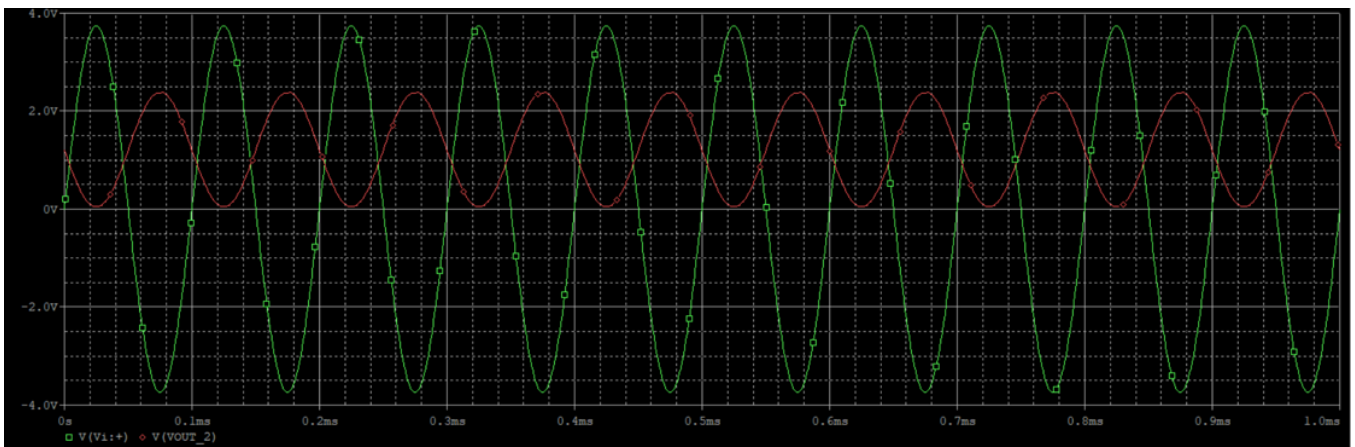
$$\underbrace{(10 - (0,75 + R_{C2}) 4,946)}_{V_{ECQ}} - 0,2 = (0,75 + R_{C2} \parallel 50) \times 4,946$$

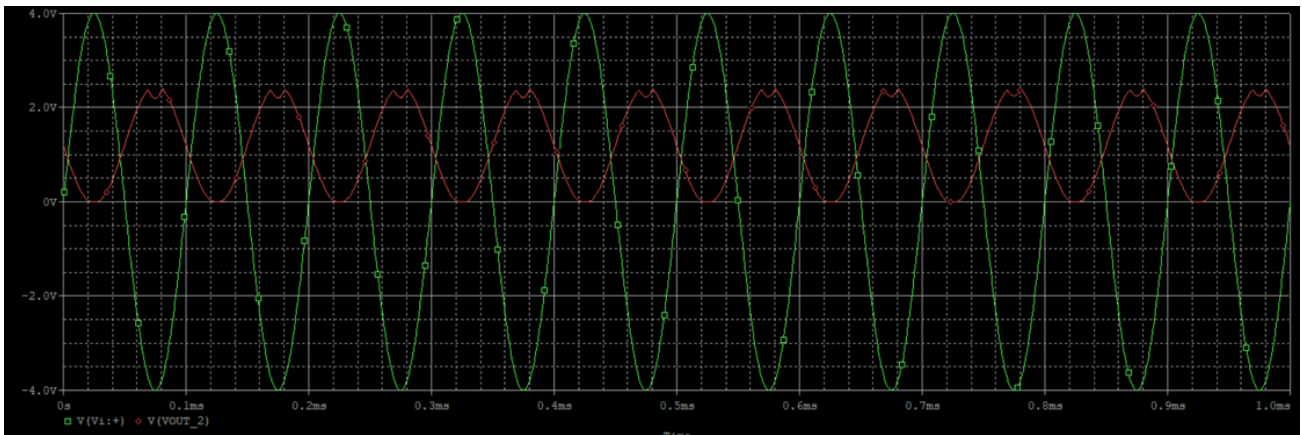
$$\rightarrow R_{C2} = 0,24127 \quad ; \quad D = D_1 = D_2 = 4,899$$

(4)

$$\text{Max Swing}_{V_{CE}} = 4,899 \rightarrow \text{Max Swing}_{V_{out}} = \frac{0,241 \parallel 50}{0,241 \parallel 50 + 0,75} \times 4,899 = 1,183 \quad (4)$$

$$\text{Max Swing}_{V_i} = \frac{1,183}{|A_v|} = \frac{1,183}{0,3165} = 3,737 \text{ V}$$





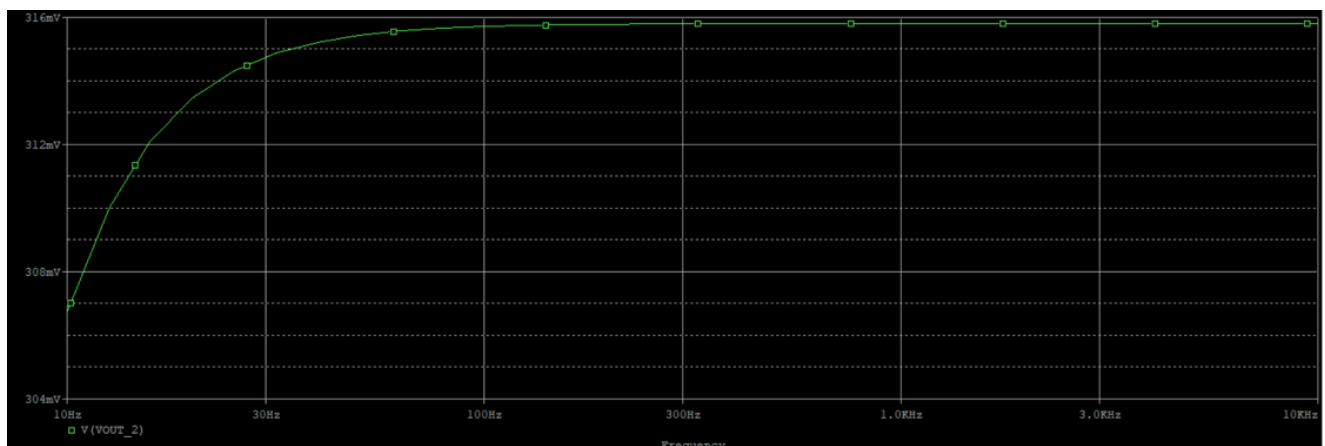
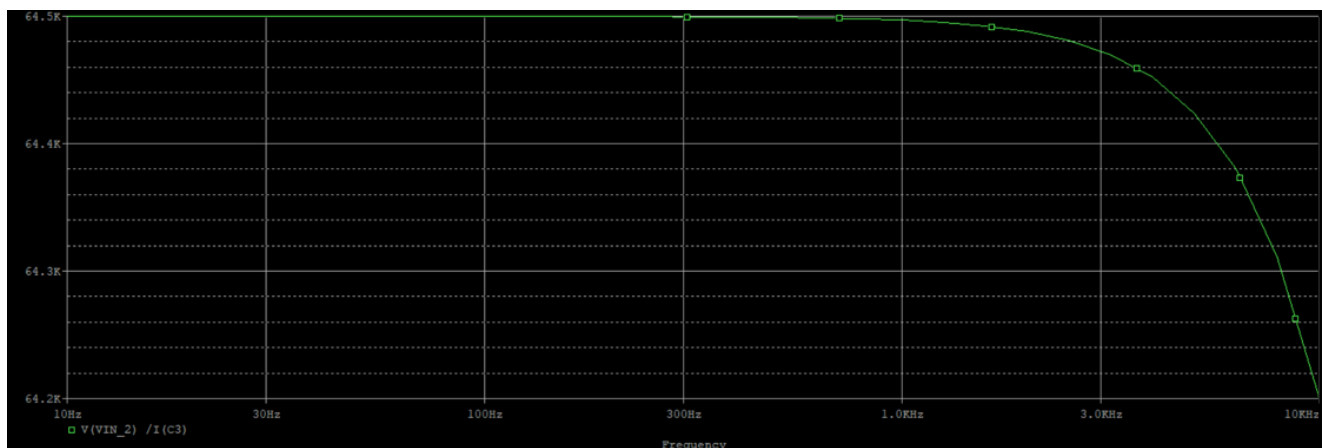
(5)

$$A_v = - \frac{0,241 \parallel 50}{0,175 + \frac{1}{g_m}} = -0,3165$$

(5)

$$R_{in} = 160 \parallel 480 \parallel (r_a + (\beta + 1) 0,175) = 64,07 \text{ k}\Omega$$

$$r_a = \frac{181,06}{40 \times 4,946} = 0,915 \text{ k}\Omega$$

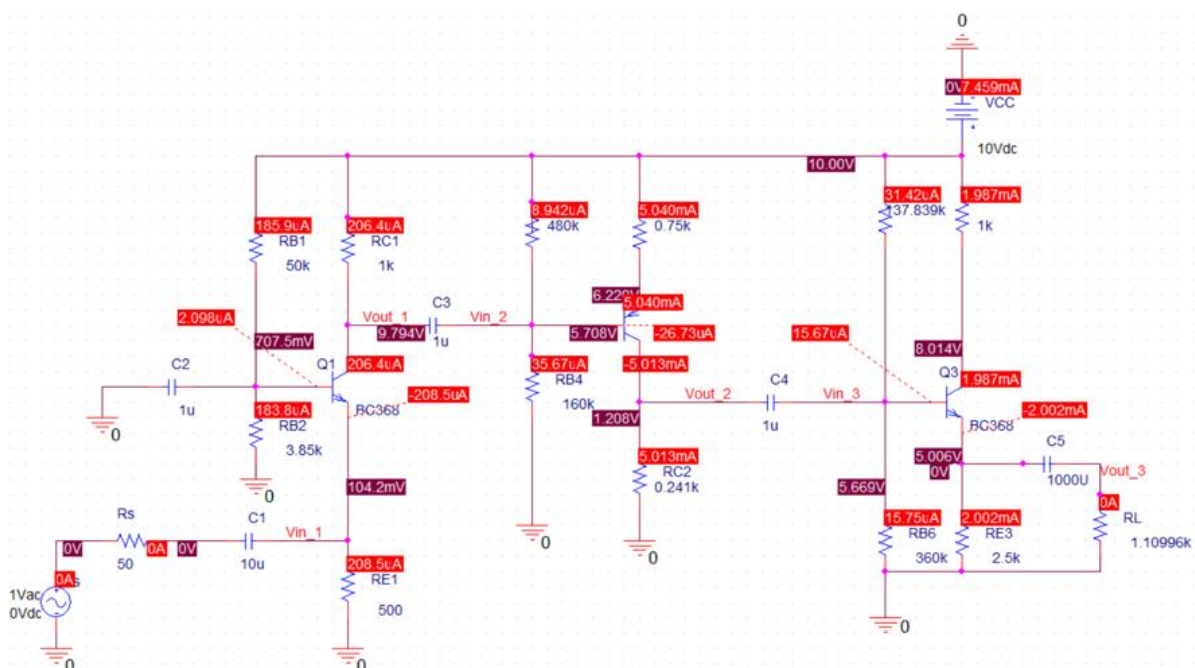


The diagram shows a three-stage BJT amplifier circuit. The input stage (Q1) is a common-emitter configuration with a base resistor RB1 (50k) and a collector resistor RC1 (1k). The base is biased by a voltage divider (RB2, 30k) connected to a 0V source. The emitter is connected to ground through a resistor RE1 (500). The collector is connected to a 10Vdc supply. The output of the first stage (Vout_1) is coupled to the second stage (Q2) through a capacitor C3 (1u). The second stage is a common-emitter configuration with a base resistor RB4 (160k) and a collector resistor RC2 (0.241k). The base is biased by a voltage divider (RB3, 480k) connected to a 10Vdc supply. The emitter is connected to ground through a resistor RE2 (0.75k). The collector is connected to a 10Vdc supply. The output of the second stage (Vout_2) is coupled to the third stage (Q3) through a capacitor C4 (1u). The third stage is a common-emitter configuration with a base resistor RB6 (360k) and a collector resistor RC3 (2.5k). The base is biased by a voltage divider (RB5, 37.839k) connected to a 10Vdc supply. The emitter is connected to ground through a resistor RE3 (2.5k). The collector is connected to a 10Vdc supply. The output of the third stage (Vout_3) is connected to a load resistor RL (1.10996k). The circuit is simulated with a 0V source, a 50 ohm resistor, and a 10Vdc supply. The simulation results show the following values:

- Input voltage (Vin_1): 0V
- Input current (Iin_1): 0A
- Base current of Q1 (IB1): 138.0uA
- Collector current of Q1 (IC1): 4.790mA
- Emitter current of Q1 (IE1): 4.824mA
- Base voltage of Q1 (Vb1): 3.099V
- Collector voltage of Q1 (Vc1): 10.00V
- Emitter voltage of Q1 (Ve1): 2.412V
- Output voltage of Q1 (Vout_1): 5.210V
- Base current of Q2 (IB2): 8.942uA
- Collector current of Q2 (IC2): 5.040mA
- Emitter current of Q2 (IE2): 5.013mA
- Base voltage of Q2 (Vb2): 5.708V
- Collector voltage of Q2 (Vc2): 10.00V
- Emitter voltage of Q2 (Ve2): 1.208V
- Output voltage of Q2 (Vout_2): 5.013V
- Base current of Q3 (IB3): 15.67uA
- Collector current of Q3 (IC3): 1.987mA
- Emitter current of Q3 (IE3): 2.002mA
- Base voltage of Q3 (Vb3): 8.014V
- Collector voltage of Q3 (Vc3): 10.00V
- Emitter voltage of Q3 (Ve3): 0V
- Output voltage of Q3 (Vout_3): 0V
- Load current (IL): 0A
- Load voltage (VL): 1.10996V

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{4,720 \times 10^3}{103,3} = 46,37$$

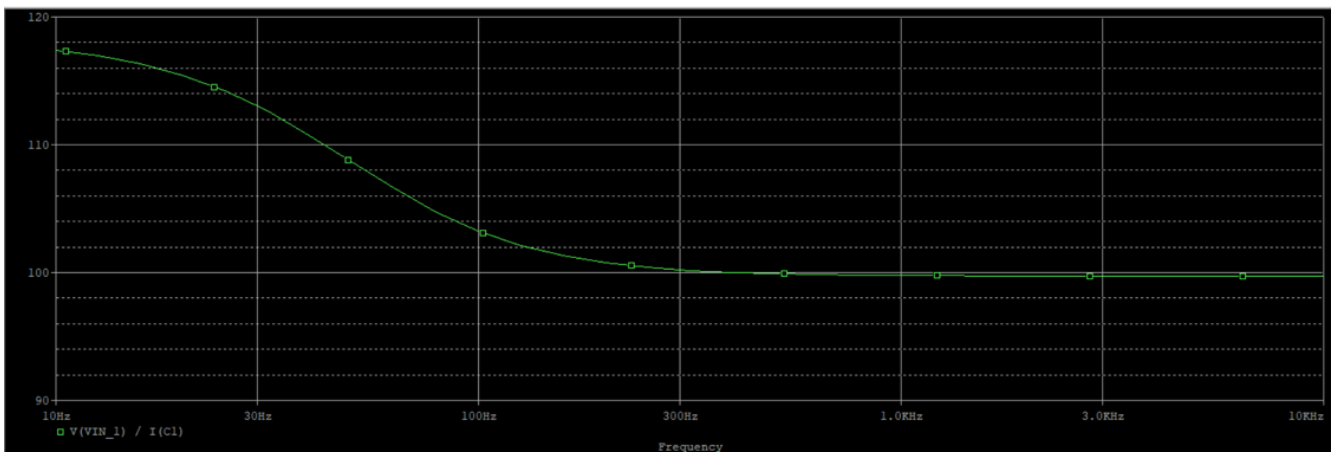
(۲)



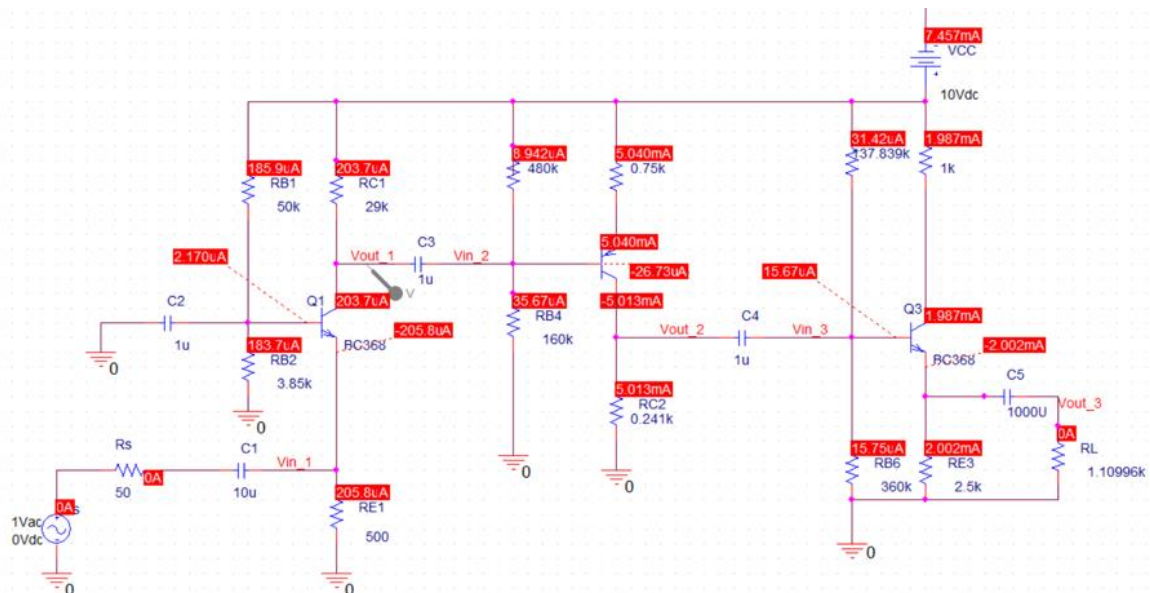
$$r_{in} = 0.1 \text{ k}\Omega = 0.15 \parallel \frac{1}{\beta_{m1}} = 0.15 \parallel \frac{1}{40 \times I_{CQ}} \quad (2)$$

$$I_{CQ} = \frac{10 \times \frac{R_{B2}}{R_{B2} + 50} - V_{BE}}{\frac{R_{B2} \times 50}{R_{B2} + 50} \times \frac{1}{\beta} + 0.15} \rightarrow R_{B2} = 3.678 \text{ k}\Omega$$

(۳٫۸۵ کیل)



(۳)

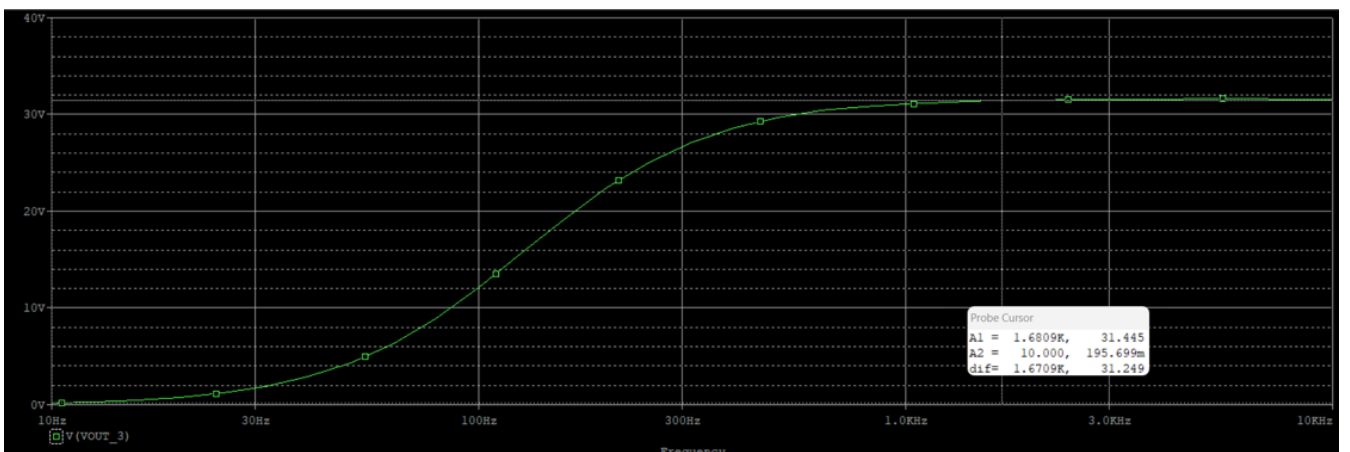
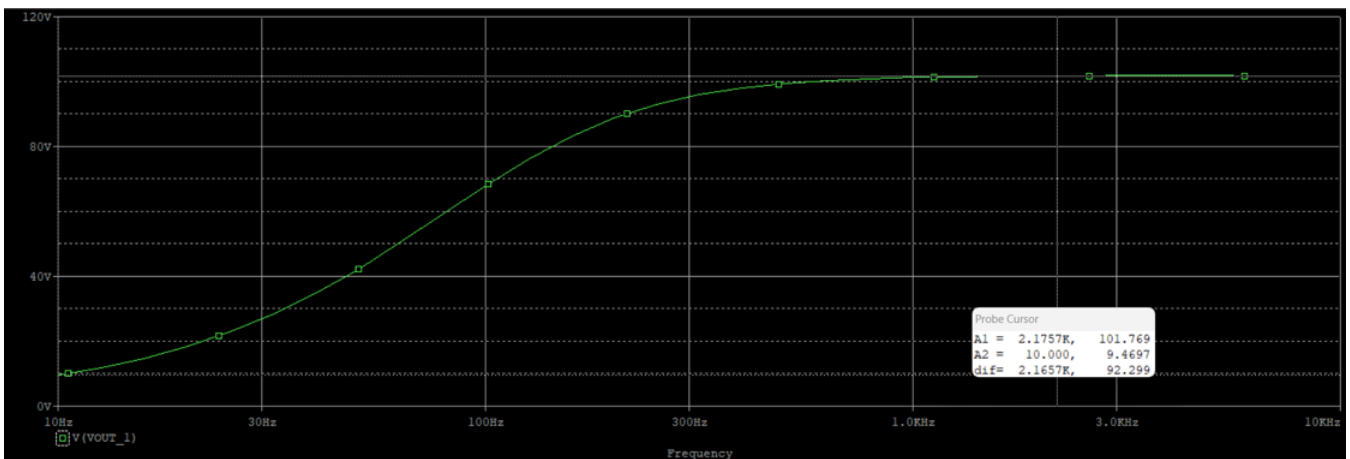


$$\frac{V_{o1}}{V_i} > 160 \rightarrow A_{v1} > 160 \rightarrow g_{m1} (R_{in2} || R_{c1}) > 160 \rightarrow R_{c1} > 27,87$$

$$R_{c1} = 29 : \text{انتخابی}$$

$$\frac{V_{o1}}{V_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \times 162 = \frac{100}{100 + 50} = 108 \rightarrow (101 -)$$

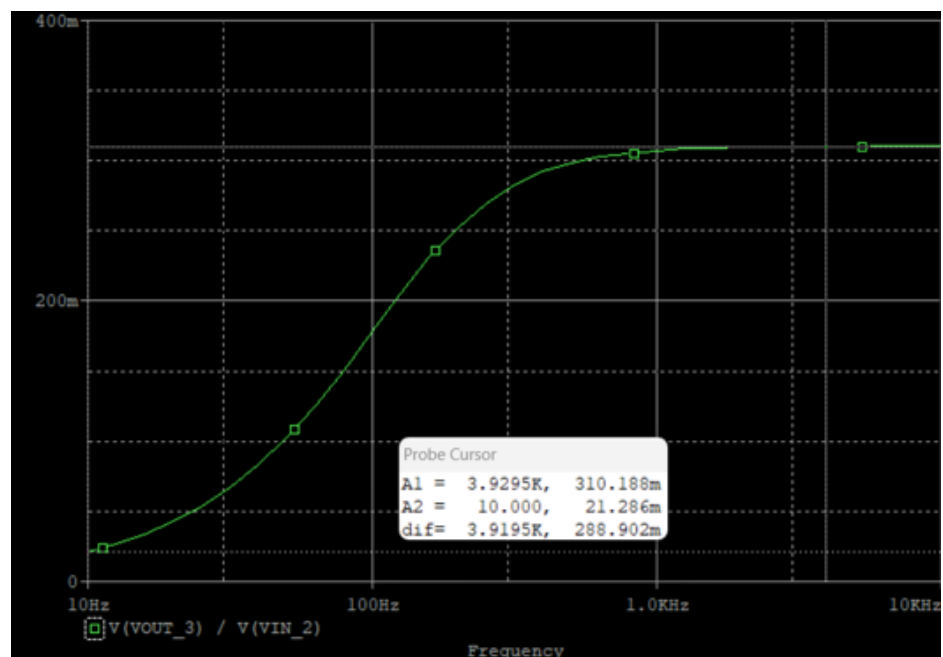
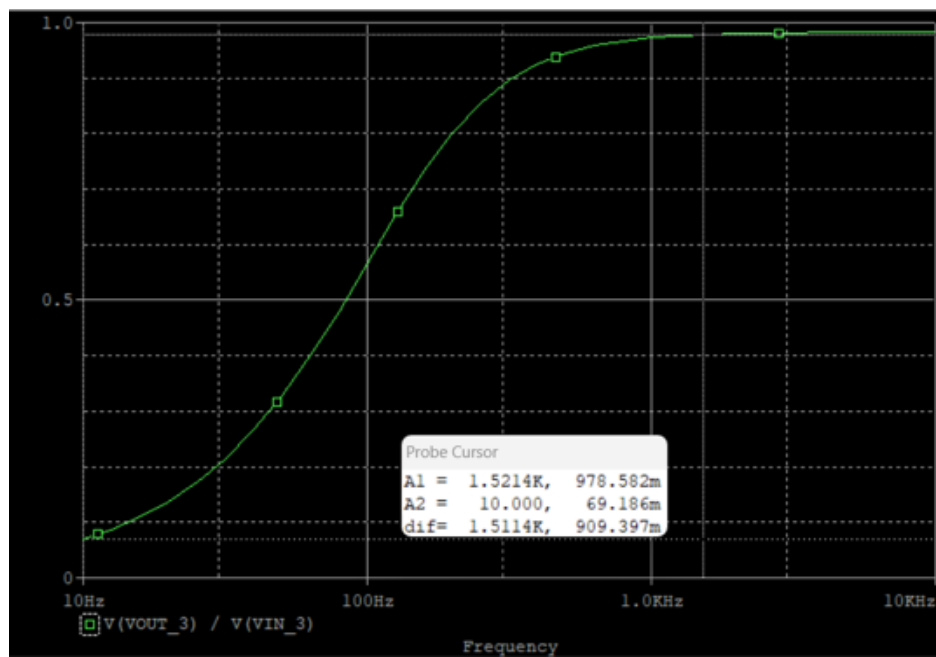
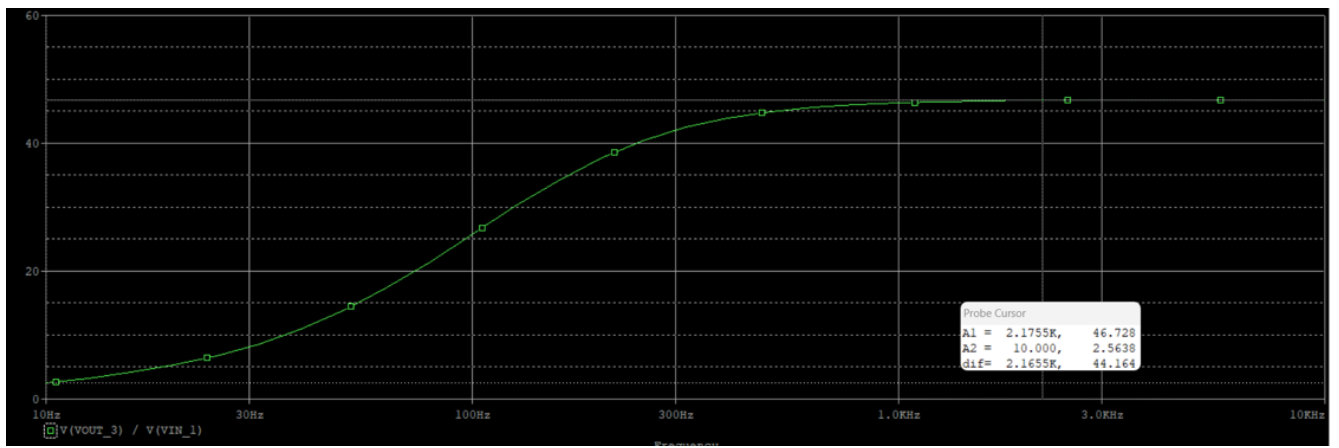
$$\frac{V_{out}}{V_s} = A_{v1} \times A_{v2} \times A_{v3} = 101 \times (-0,3165) \times (0,935) = -29,88$$



$$\frac{V_{out}}{V_i} = A_{v1} \times A_{v2} \times A_{v3} = 162 \times (-0,3165) \times (0,935) = -47,94$$

$$\frac{V_{out}}{V_{o1}} = A_{v2} \times A_{v3} = (-0,3165) \times (0,935) = -0,296$$

$$\frac{V_{out}}{V_{o2}} = A_{v3} = 0,935 ; \frac{V_{o2}}{V_{o1}} = A_{v2} = -0,3165$$





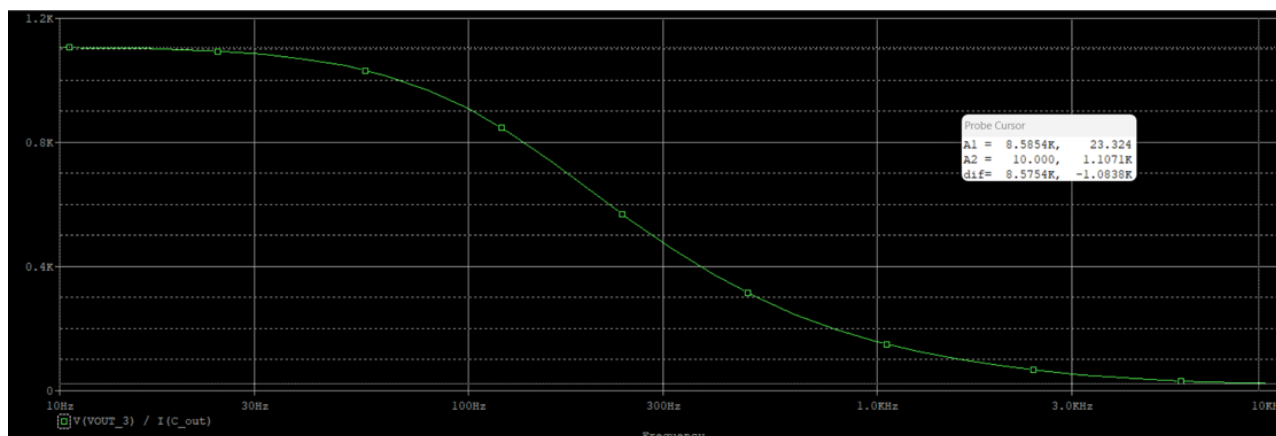
Probe Cursor

A1 =	4.0940K	104.025
A2 =	10.000	122.516
dif =	4.0840K	-18.491

10Hz 100Hz 1.0KHz 10KHz

V(VIN_1) / I(C1)

Frequency



پرسش های تکمیلی

۱) علت استفاده از طبقه کلکتور مشترک چیست؟

این طبقه با اینکه بهره کمی دارد، مقاومت ورودی و خروجی اش به ایده ال نزدیک است. یعنی این طبقه برای مدار مقاومت ورودی زیاد و در عین حال مقاومت خروجی کم را فراهم می کند. پس افزایش بهره را به کمک طبقه های قبلی انجام می دهیم و از این طبقه برای داشتن مقاومت خروجی کم استفاده می کنیم. و در این طبقه مقاومت خروجی کل به طبقات قبلی نیز وابسته است.

۲) علت استفاده از طبقه امیتر مشترک چیست ؟

این طبقه می تواند مقاومت ورودی زیادی را برای مدار تامین کند و همچنین می توانیم به کمک آن بهره را نسبتا بالایی داشته باشیم. این طبقه می تواند در سمت امیتر خود دارای مقاومت سری باشد که این مقاومت باعث افزایش مقاومت ورودی طبقه شده ولی باعث کاهش بهره مدار هم می شود که ایجا اثر این کاهش بهره را می بینیم. مقاومت خروجی اش به طبقات قبلی و بعدی وابسته نیست.

۳) علت استفاده از طبقه بیس مشترک چیست ؟

این طبقه نیز مانند طبقه ی امیتر مشترک برای تقویت بهره جریان یا ولتاژ استفاده می شود.

۴) علت وجود خازن ها در مدار چیست و چه نقشی دارند؟

استفاده از خازن ها سبب جدا سازی بخش ac , dc مدار میشود. و همچنین برای اتصال کوتاه کردن مقاومت هایی که در حالت ac به زیان مدار و خواسته ما از هستند به عنوان مثال باعث $bypass$ شدن مقاومت سری در امیتر می توانند شده و بهره را افزایش دهند.

۵) چرا در طبقه اول بر خلاف طبقات دیگر چندان نگران سوئینگ ولتاژ خروجی اش نبودیم؟

چراکه این سوینگ به طور مستقیم بر روی خروجی نخواهد رفت و به عنوان ورودی به طبقه های دوم و سوم به ترتیب وارد می شود که پس این سوینگ بایستی در بهره این طبقات ضرب شود و ازانجایی که بهره این دو طبقه بیش رو کمتر از یک است در نتیجه سبب می شود که تاثیر این سوینگ در خروجی چندان ظاهر نشود و

۶) آیا در صورت حذف خازن C_2 ، محاسبات و خروجی های ما دچار تغییر میشوند؟ اگر آره به چه صورت؟

اگر این خازن حذف شود مقاومت ورودی افزایش می یابد. و همچنین در سوینگی که از طرف طبقه اول به خروجی می رسد نیز تاثیر گذار هستند یعنی اگر این خازن نباشد، انگاه مقدار مقاومت ac افزایش می یابد که سبب افزایش یافتن سوینگ خروجی طبقه اول می تواند باشد.

۷) تاثیر مقاومت R_S در محاسبه بهره به چه صورت است؟

مقاومت R_S باعث کاهش بهره کلی مدار می شود ولیکن نمی توانیم از ان صرف نظر کنیم چراکه مقاومت داخلی منبع می باشد ولی باید تلاش کنیم که منبعی بسازیم که مقاومت ورودی زیادی داشته باشد تا اثر R_S از بین برود و بهره را کم کند.

بخش طراحی

طراحی طبقه مشترک با $R_{in} = 3.5 \text{ k}\Omega$, $A_I = 40$

$$A_v = \frac{-R_c}{\frac{1}{g_m} + R_E} = \frac{-R_c \times R_L}{R_c + R_L} \times 40 \times \frac{1}{g_m}$$

$$A_I = A_v \times \frac{R_{in}}{R_L} \rightarrow |A_I| = \frac{R_c}{R_c + R_L} \times 3.5 \times 40 \times 1 \text{ k}\Omega = 40 \rightarrow \frac{R_c}{R_c + R_L} = \frac{1}{1.416}$$

انتخاب R_{B1}, R_{B2} با مقادیر استاندارد
مقاومت ورودی دیگر

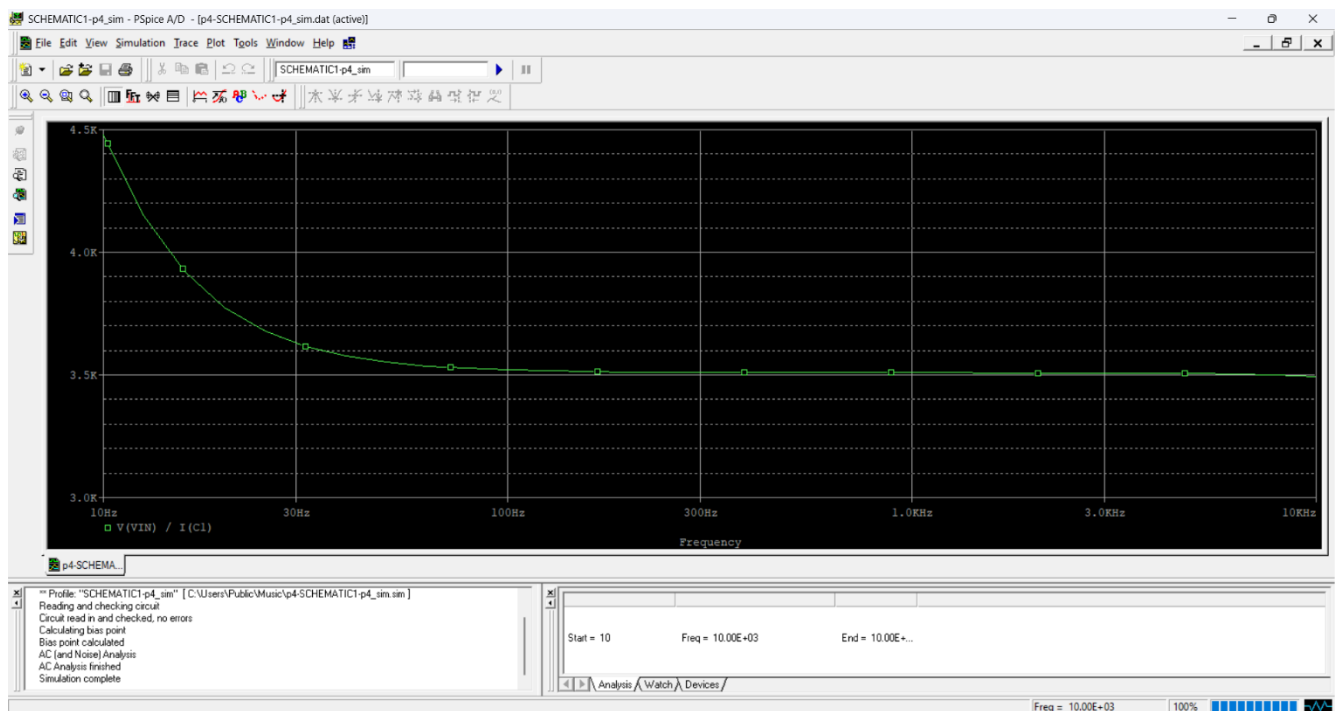
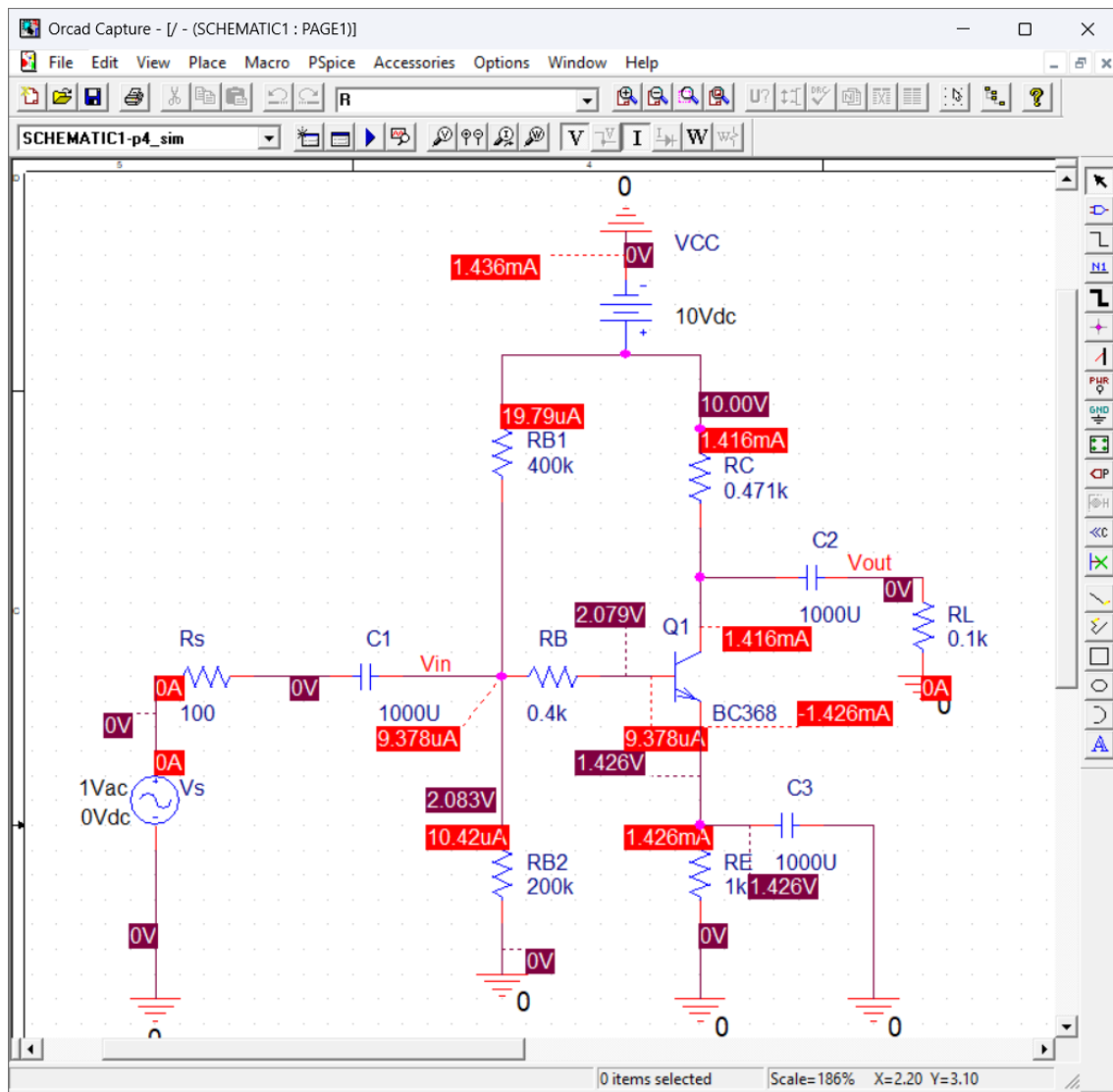
$$R_{in} = (R_B + r_n) \parallel R_{B1} \parallel R_{B2} \quad R_{in} \approx r_n + R_B = \frac{\beta}{40 \times 1 \text{ k}\Omega} + R_B = 3.5 \text{ k}\Omega$$

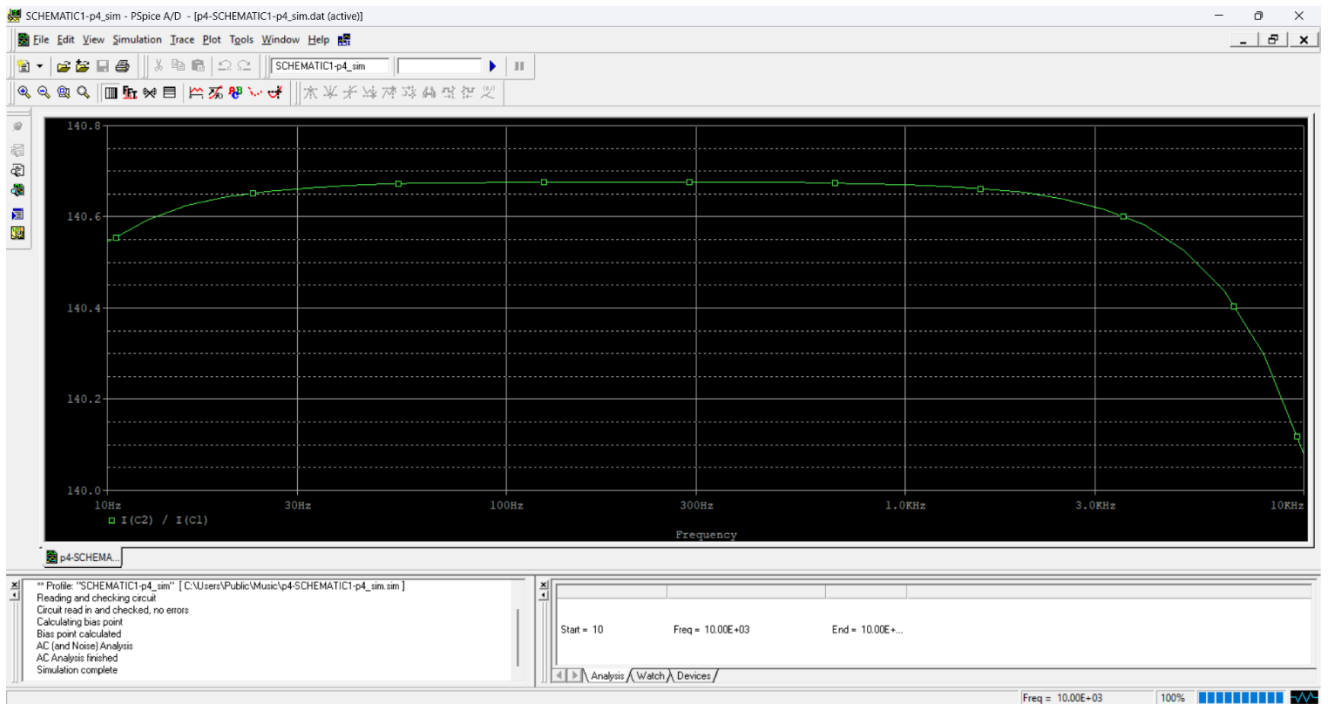
$$\beta = \frac{1.416 \times 10^3}{1.38} \approx 151 \quad \rightarrow R_B = 3.5 - 2.66 = 0.84 \text{ (در حد 0.9 k)}$$

$$I_{CQ} = 1.416 \text{ mA}$$

$$\frac{R_c}{R_c + 0.1} = \frac{1}{1.416} = 0.706 \rightarrow 0.825 \rightarrow R_c = 0.471 \text{ k}\Omega$$

R_L به همراه R_c گذاشتیم تا که R_c به آسانی از رنج با ولتاژ به اشتباه رفتن ترانزیستور نشود.





با احترام و خسته نباشید