



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



الكترونيک ۱

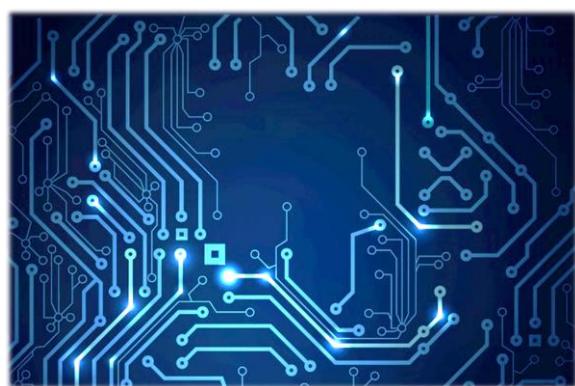
نیمسال دوم (۹۹-۰۰)

استاد: دکتر سناجی

پروژه پایانی

محمدمهری عبدالحسینی

810 198 434

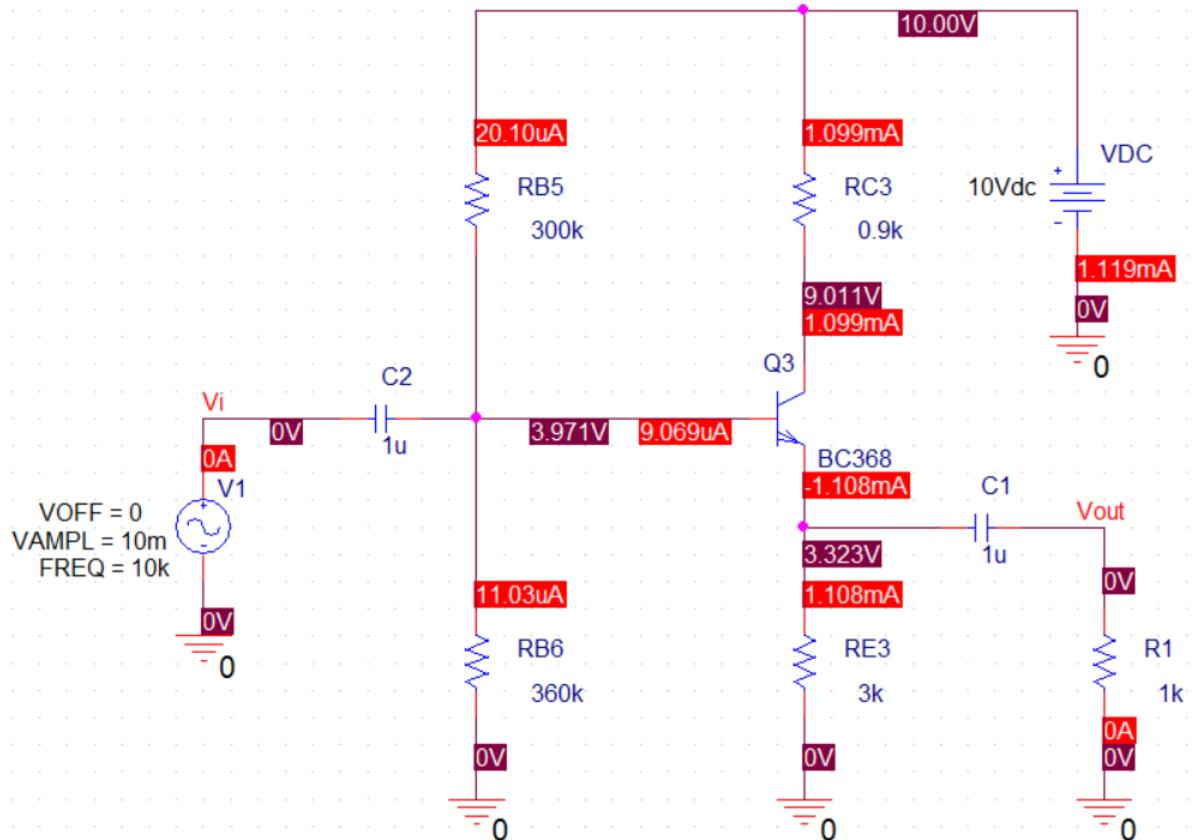


E L E C T R O N I C S

فهرست مطالب

- 1 بخش اول :
- 1 سوال 1 : بدست آوردن β و V_{BE} ترانزیستور BC368
- 2 سوال 2 : محاسبه $ICQ = 2mA$ به ازای RB5
- 3 سوال 3 : محاسبه Re به ازای مقاومت ورودی $50k\Omega$
- 4 سوال 4 : بهره
- 4 سوال 5 : حداکثر سوئینگ متقارن V_{CE}
- 5 سوال 6 : مقدار سوئینگ منفی و مثبت و حداکثر سوئینگ متقارن V_{out}
- 5 سوال 7 : حداکثر سوئینگ مجاز در ورودی
- 6 بخش دوم :
- 6 بدست آوردن β و V_{EB} ترانزیستور Q2N4355
- 6 سوال 1 : محاسبه ICQ
- 7 سوال 2 : محاسبه $RC2$ به ازای حداکثر سوئینگ متقارن
- 8 سوال 3 : حداکثر سوئینگ متقارن در شبیه سازی
- 9 سوال 4 : بهره و مقاومت ورودی طبقه دوم
- 10 بخش سوم :
- 10 سوال 1 : محاسبه $RB2$ به ازای مقاومت ورودی 100Ω
- 11 سوال 2 : محاسبه $RC1$ بطوری که نسبت $V_{out}Vs$, $V_{o1}Vs + V_{o1}Vin$ بیشتر از 160 شود.
- 11 سوال 3 : بهره کل تقویت کننده در شبیه سازی
- 12 سوال 4 : مقاومت ورودی و خروجی کل
- 13 سوال 5 : چرا نگران سوئینگ ولتاژ خروجی طبقه اول نیستیم؟
- 13 سوال 6 : علت وجود خازن ها در مدار چیست؟

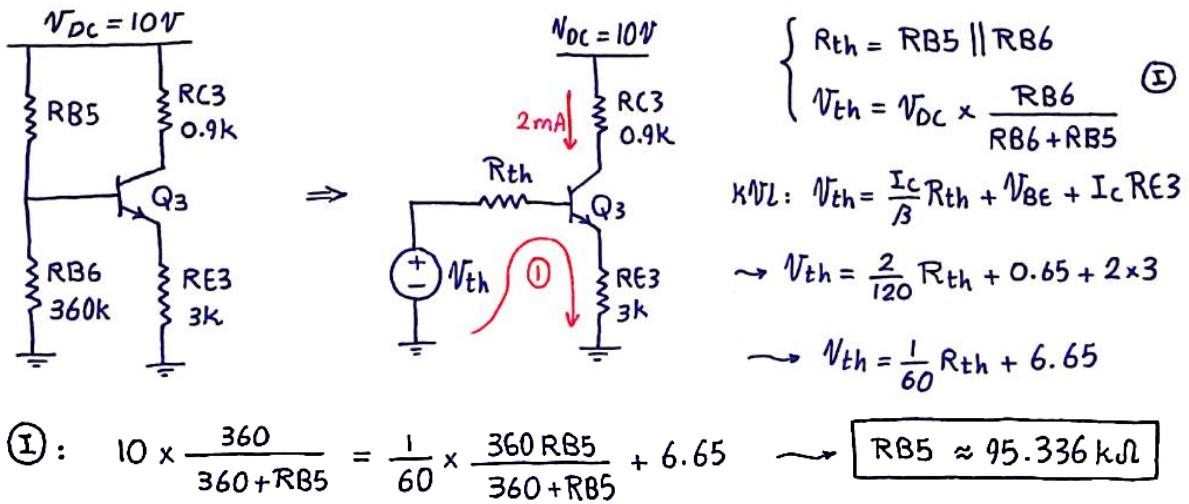
بخش اول :

سوال 1 : بدست آوردن β و V_{BE} ترانزیستور BC368

$$V_{BE} = V_B - V_E = 3.971V - 3.323V = 0.648V \approx 0.65V$$

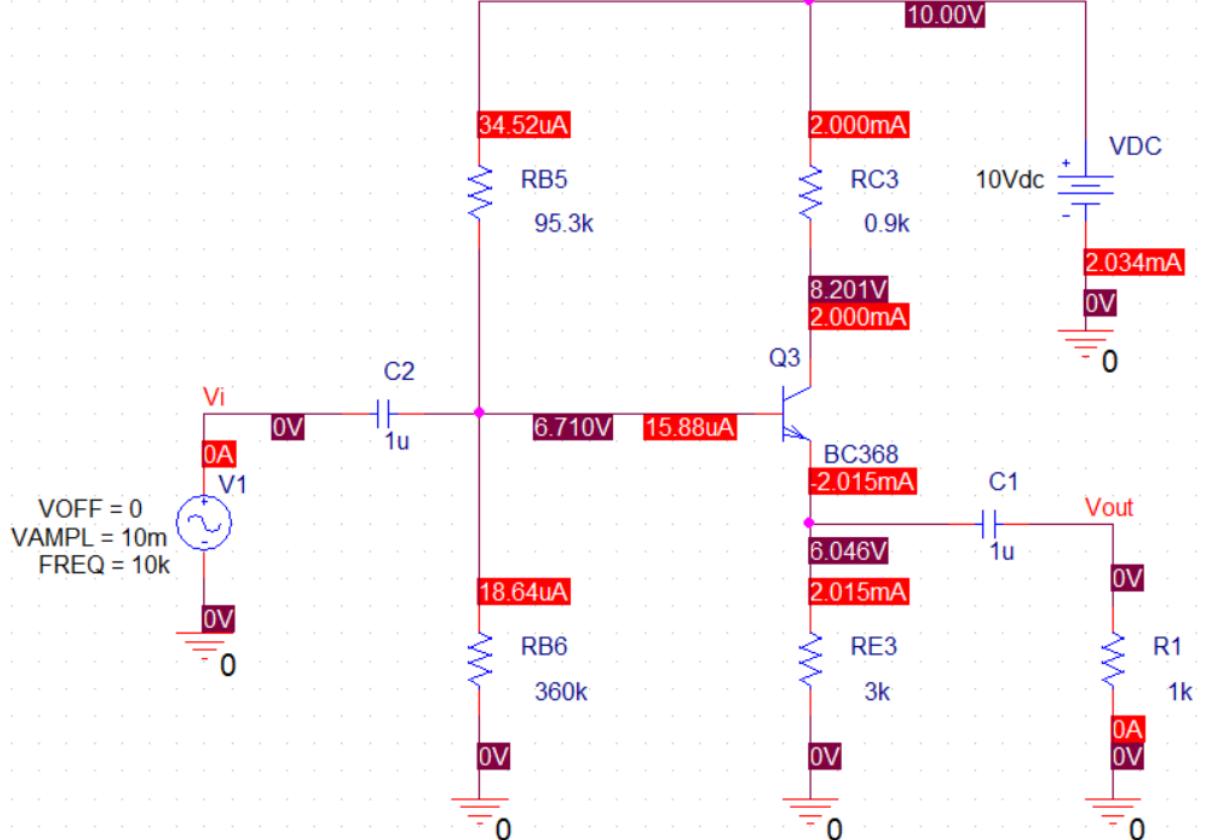
$$\beta = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} = \frac{1.099mA}{9.069\mu A} \approx 121.2 \approx 120$$

سوال 2 : محاسبه RB5 به ازای RB6



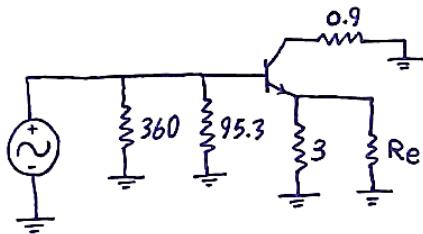
$$\textcircled{I}: \quad 10 \times \frac{360}{360+R_{B5}} = \frac{1}{60} \times \frac{360 R_{B5}}{360+R_{B5}} + 6.65 \quad \rightarrow \boxed{R_{B5} \approx 95.336k\Omega}$$

$$V_{CE} = 10 - 0.9 \times 2 - 3 \times 2 = 2.2V$$



$$V_{CE} = 8.201V - 6.046V = 2.155V \approx 2.2V$$

سوال ۳ : محاسبه R_{in} به ازای مقاومت ورودی $50k\Omega$



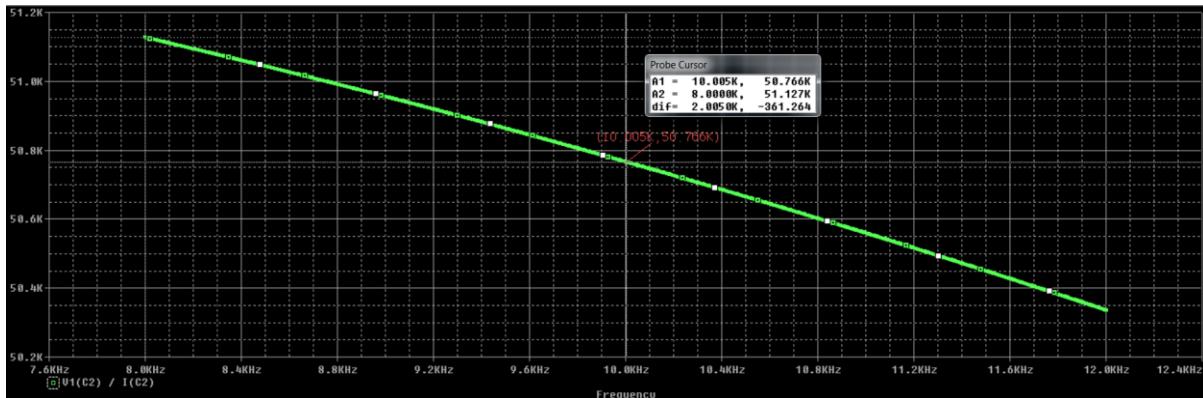
$$R_{in} = 360 \parallel 95.3 \parallel (r_\pi + (\beta+1)(3 \parallel R_e))$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}} = \frac{122 \times 26 \times 10^{-3}}{2} = 1.586 \text{ k}\Omega$$

$$50 = 360 \parallel 95.3 \parallel (1.586 + 123 \times \frac{3R_e}{3+R_e}) = (360^{-1} + 95.3^{-1} + (1.586 + \frac{369R_e}{3+R_e})^{-1})^{-1}$$

$$\rightarrow \frac{1}{50} = \frac{1}{360} + \frac{1}{95.3} + (1.586 + \frac{369R_e}{3+R_e})^{-1} \rightarrow 1.586 + \frac{369R_e}{3+R_e} = 148.6$$

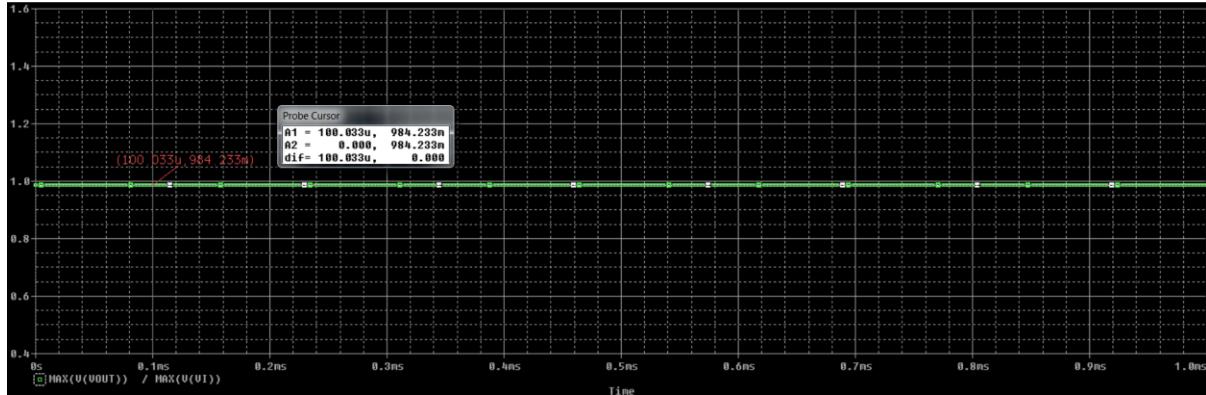
$$\rightarrow \frac{369R_e}{3+R_e} \approx 147 \rightarrow 222R_e \approx 441 \rightarrow R_e \approx 2 \text{ k}\Omega$$



$$R_{in3} \approx 50.766 \text{ k}\Omega \approx 50.8 \text{ k}\Omega$$

سوال 4 : بھرہ

$$A_V = \frac{R_E 3 \| R_E}{R_E 3 \| R_E + \frac{1}{g_m}} = \frac{3 \| 2}{3 \| 2 + \frac{26 \times 10^3}{2}} \approx 0.989 \approx 1$$



$$A_v = \frac{\max\{V_{out}\}}{\max\{V_i\}} = 0.984233 \approx 0.98 \approx 1$$

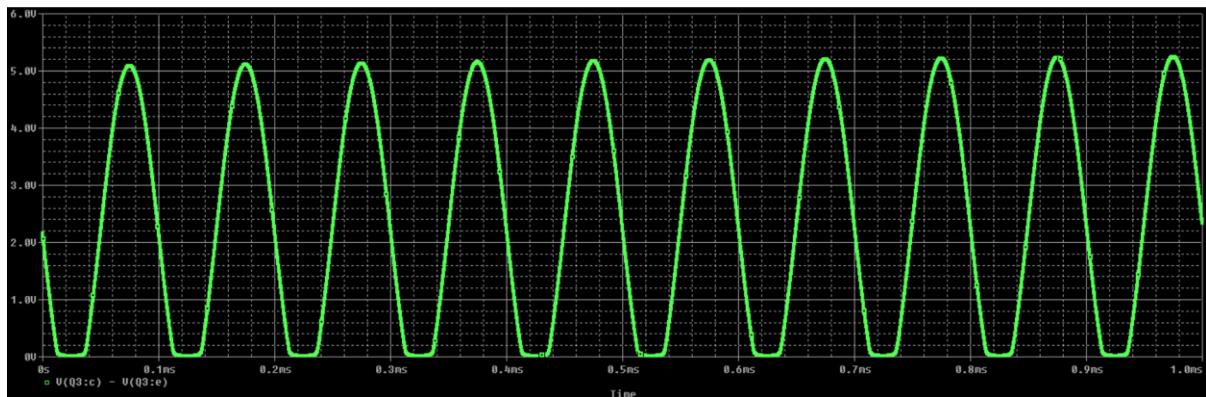
سوال 5 : حداکثر سوئینگ متقارن V_{CE}

ac خط بار : $V_{CE} - V_{CEQ} = -R_{ac}(i - I_{CQ})$

$$\rightarrow V_{CE} - 2.2 = -(0.9 + 3 \| R_E)(i - 2) = -2.1(i - 2)$$

$$\rightarrow V_{CE} = -2.1i + 6.4 \quad ; \quad \text{max swing} = \min(\Delta_1, \Delta_2)$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= V_{CEQ} - V_{CE(\text{sat})} \approx 2.2 - 0.2 = 2 \text{ V} \\ \Delta_2 &= 6.4 - V_{CEQ} \approx 6.4 - 2.2 = 4.2 \text{ V} \end{aligned} \quad \left. \right\} \Delta V_{CE} = 2 \text{ V}$$



همانطور که مشاهده میکنیم نتایج شبیه سازی با محاسبات دستی تطابق دارد.

زمانی که دامنه ولتاژ V_{CE} از تقریباً 2V بیشتر شود، از سمت منفی (Δ_1) به اشباع میرود.



و همچنین زمانی که دامنه ولتاژ V_{CE} از تقریباً 4.2V بیشتر شود، از سمت مثبت (A_2) نیز به اشباع می‌رود.

سوال 6 : مقدار سوئینگ منفی و مثبت و حداقل سوئینگ متقاضی V_{out}

$$\Delta I_C = \frac{\Delta V_{CE}}{R_{ac}} = \frac{4.2}{2\parallel 3 + 0.9} = 2 \text{ mA} \quad ; \quad \Delta V_o = (2\parallel 3) \times \Delta I_C = 1.2 \times 2 = 2.4 \text{ V}$$

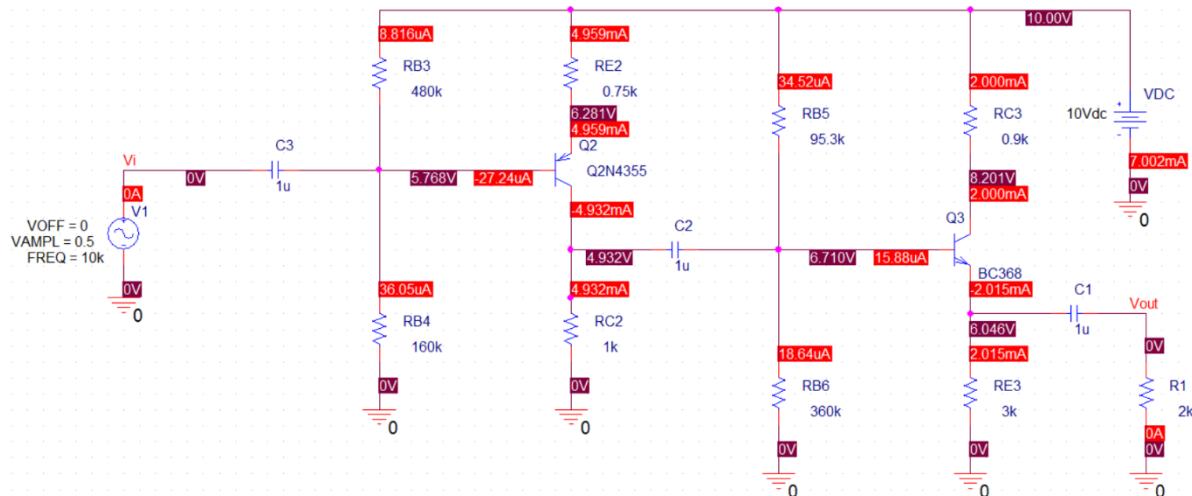


همانطور که مشاهده می‌کنیم نتایج شبیه سازی با محاسبات دستی تطابق دارد. و زمانی که دامنه ولتاژ V_{out} از تقریباً 2.4V بیشتر شود، از سمت منفی به اشباع می‌رود. البته باید در نظر داشت که با افزایش دامنه ولتاژ V_{out} ، از سمت مثبت نه اعوجاج خواهیم داشت و نه به اشباع می‌رود! در واقع علت آن را اینگونه می‌توان توجیه کرد که زمانی که سوئینگ از سمت منفی افزایش یابد، ترانزیستور بعد از رسیدن ولتاژ خروجی به تقریباً 2.4V-، غیر فعال خواهد شد و ولتاژ خروجی اشباع می‌شود. اما زمانی که سوئینگ از سمت مثبت افزایش یابد، ترانزیستور اشباع می‌شود اما جریان آن افزایش می‌ابد، بنابراین خروجی از این سمت اشباع نمی‌شود.

سوال 7 : حداقل سوئینگ مجاز در ورودی

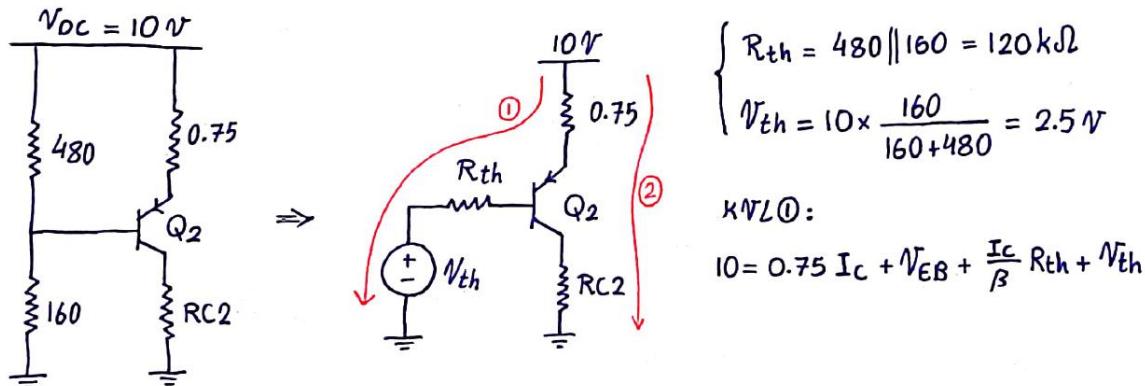
$$\Delta V_{in} = \frac{\Delta V_{out}}{AV} \approx \Delta V_{out} = 2.4 \text{ V}$$

بخش دوم :

بدست آوردن β و V_{EB} ترانزیستور Q2N4355

$$V_{EB} = V_E - V_B = 6.281V - 5.768V = 0.513V \approx 0.5V$$

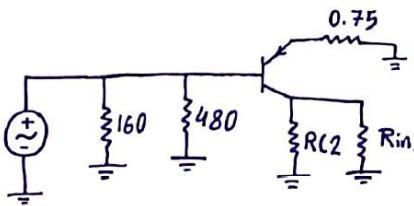
$$\beta = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} = \frac{4.932\text{mA}}{27.24\mu\text{A}} \approx 181 \approx 180$$

سوال ۱ : محاسبه I_{CQ} 

$$\rightarrow 10 = 0.75 I_c + 0.5 + \frac{I_c}{181} \times 120 + 2.5 \rightarrow I_c \approx 4.954\text{mA}$$

$$KVL ② : 10 = 0.75 I_c + V_{EC} + R_{C2} \cdot I_c \rightarrow V_{EC} = 6.285 - 4.954 R_{C2} \quad ①$$

سوال 2 : محاسبه RC2 به ازای حداکثر سوئینگ متقارن



$$V_{EC} - V_{ECQ} = -R_{ac}(i - I_{CQ})$$

$$R_{ac} = \frac{R_{in3}}{50k\Omega} \parallel R_{C2} + 0.75 \quad \textcircled{II}$$

$$i=0 \rightarrow a - V_{ECQ} = 4.954 R_{ac}$$

$$\max \text{ swing} : \Delta_1 = \Delta_2 \rightarrow V_{ECQ} = \frac{a - V_{EC(\text{sat})}}{2} \approx \frac{a - 0.2}{2} \quad \left. \right\} \Rightarrow$$

$$\rightarrow (2V_{ECQ} + 0.2) - V_{ECQ} = 4.954 R_{ac} \rightarrow V_{ECQ} = 4.954 R_{ac} - 0.2$$

I $R_{ac} - 0.2 = 6.285 - 4.954 R_{C2} \rightarrow 4.954 R_{ac} = 6.485 - 4.954 R_{C2}$

II $4.954 \left((50 \parallel R_{C2}) + 0.75 \right) = 4.954 \left(\left(\frac{1}{50} + \frac{1}{R_{C2}} \right)^{-1} + 0.75 \right) = 6.485 - 4.954 R_{C2}$

$$\rightarrow 4.954 \left(\frac{1}{50} + \frac{1}{R_{C2}} \right)^{-1} = 2.77 - 4.954 R_{C2} \rightarrow \boxed{R_{C2} \approx 280.3 \Omega}$$

$$\Delta V_{EC} = a - V_{ECQ} = 4.954 R_{ac} = 4.954 (50 \parallel 0.28 + 0.75) \approx 5.1 \text{ V}$$

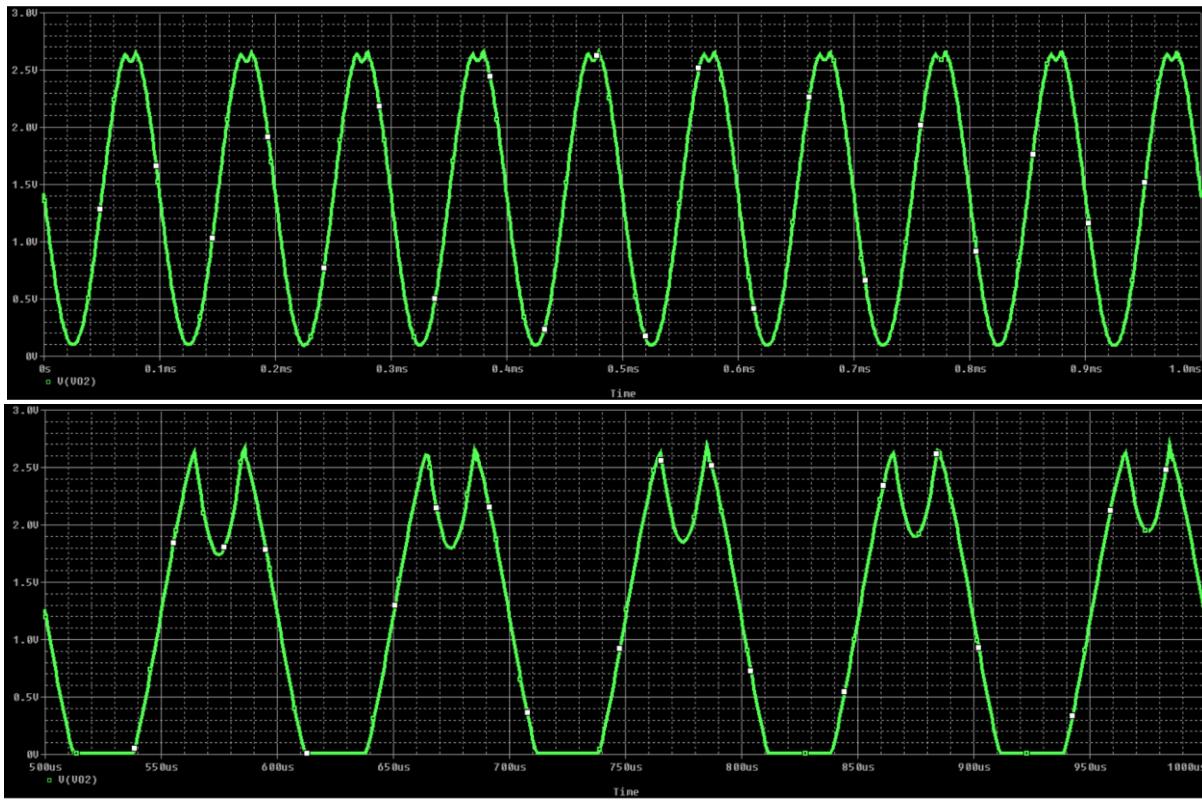
$$\Delta I_C = \frac{\Delta V_{EC}}{R_{ac}} = 4.954 \text{ mA} \rightarrow \Delta V_{O2} = (\overbrace{R_{C2} \parallel 50}^{0.28}) \times 4.954 \approx 1.38 \text{ V}$$

سوال ۳ : حداکثر سوئینگ متقارن در شبیه سازی

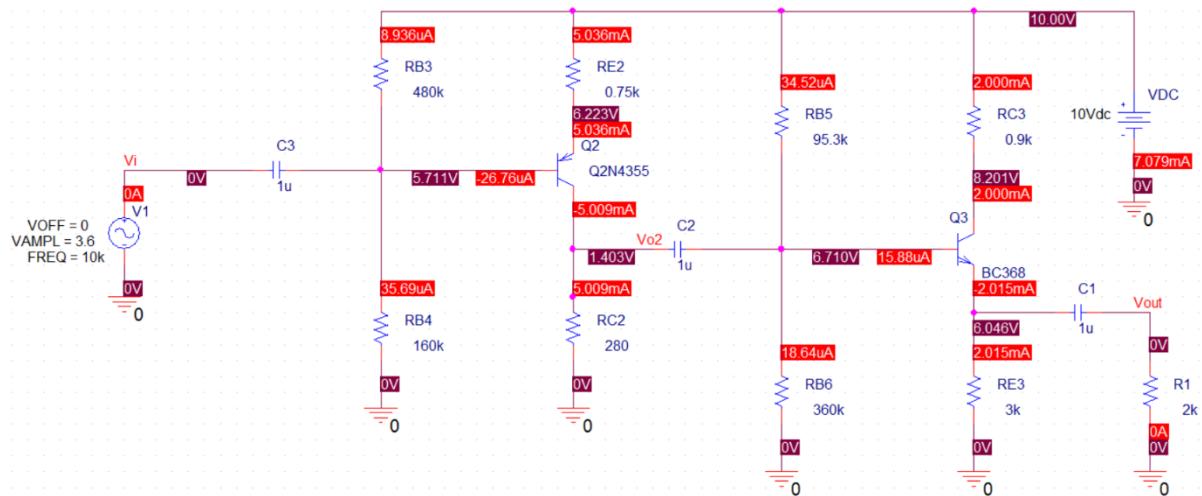


همانطور که مشاهده میکنیم نتایج شبیه سازی با محاسبات دستی تطابق دارد.

زمانی که دامنه ولتاژ V_{EC} از تقریباً 5V بیشتر شود، همزمان هم از سمت منفی (Δ_1) و هم از سمت مثبت ($\Delta_1 = \Delta_2$ به اشباع میرود. (Δ_1



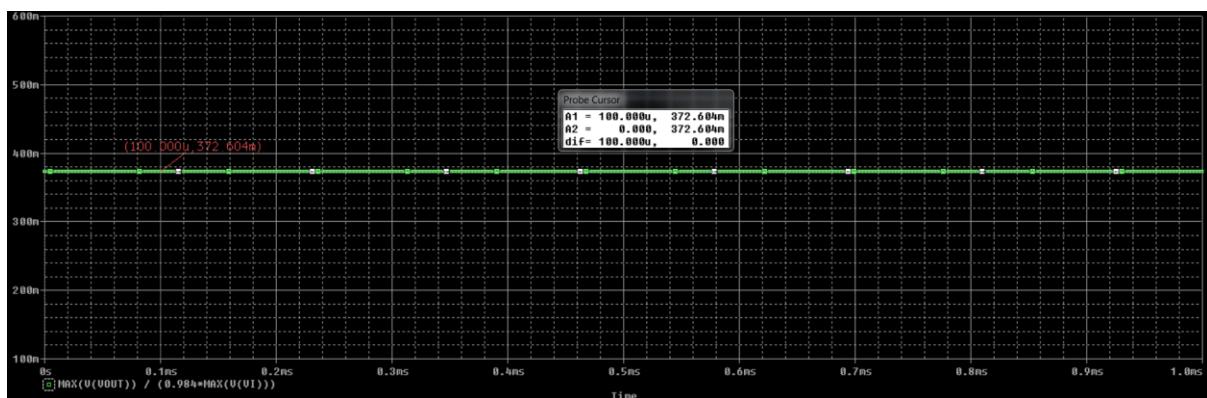
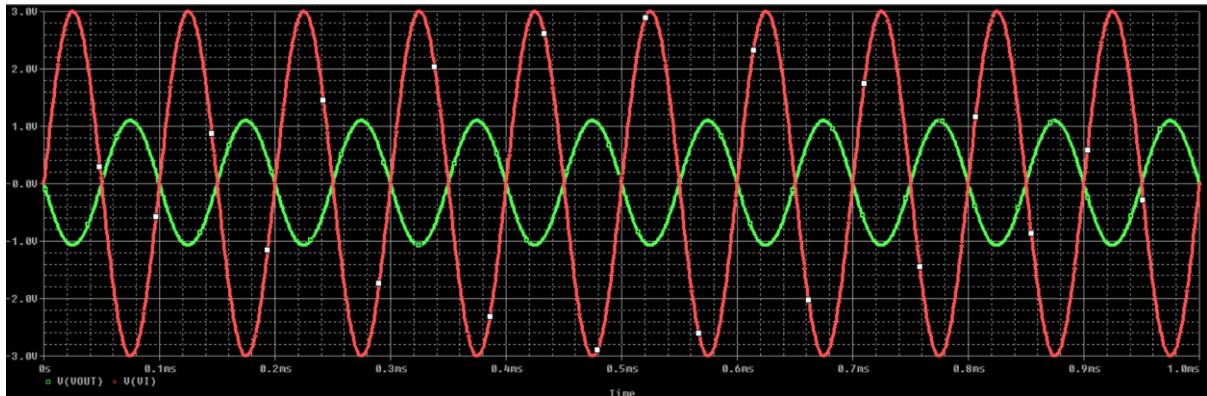
با توجه به نتیجه شبیه سازی، زمانی که دامنه ولتاژ خروجی طبقه دوم (V_{O2}) از تقریباً 1.3V بیشتر میشود، شکل موج از سمت مثبت اعوجاج خواهد داشت (و همزمان از سمت منفی اشباع میشود. ($\Delta_1 = \Delta_2$)) که تقریباً با محاسبات دستی که مقدار 1.38V بدست آمد منطبق است.



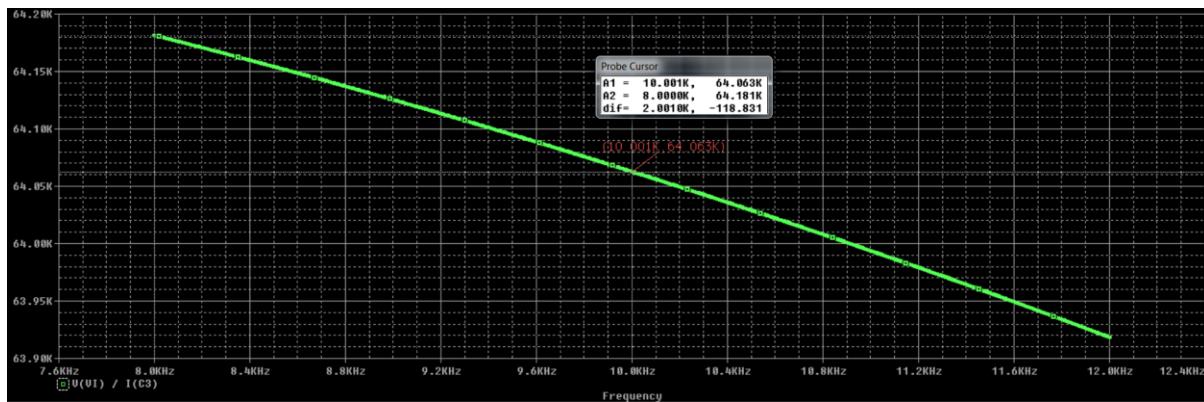
سوال ۴ : بھرہ و مقاومت ورودی طبقہ دوم

$$A_{V_2} = \frac{V_{o_2}}{V_i} = \frac{-R_{C_2\beta}}{\frac{1}{f_m_2} + R_{E_2\beta}} \approx \frac{-(0.28 \parallel 50)}{\frac{25 \times 10^3}{5} + 0.75} \approx -0.37$$

$$R_{in2} = 160 \parallel 480 \parallel (r_\pi + (\beta+1) \times 0.75) \approx 160 \parallel 480 \parallel 138 \approx 64.2 \text{ k}\Omega$$



$$A_{v_2} = \frac{V_{o_2}}{V_i} = \frac{V_{out}}{V_i} \times \frac{V_{o_2}}{V_{out}} = \frac{1}{A_{v_3}} \times \frac{V_{out}}{V_i} \approx \frac{1}{0.984} \times \frac{V_{out}}{V_i} \approx -0.373$$

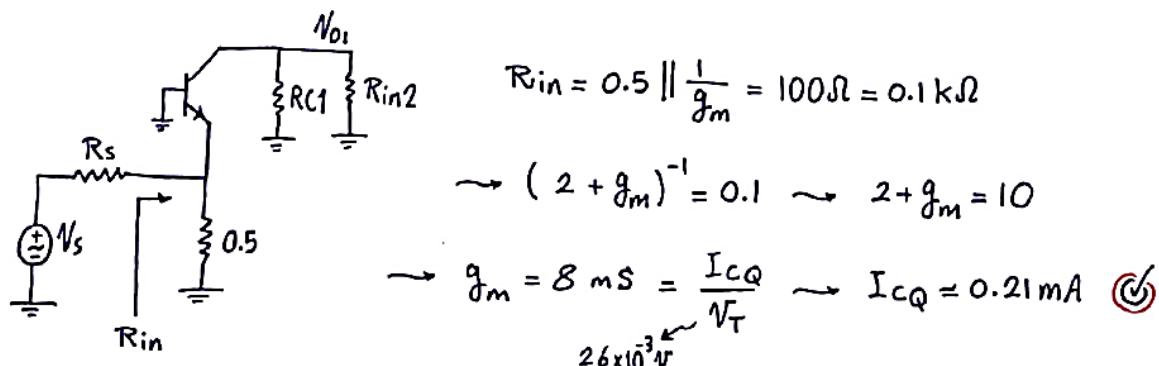
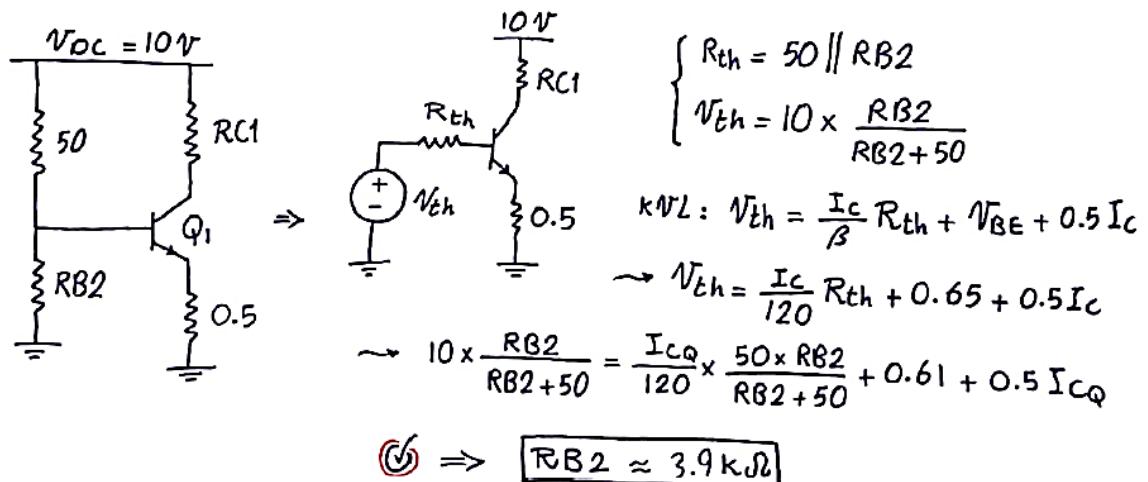


$$R_{in2} \approx 64.063 k\Omega \approx 64.1 k\Omega$$

همانطور که مشاهده میکنیم نتایج شبیه سازی با محاسبات دستی تطابق دارد.

بخش سوم :

سوال ۱ : محاسبه R_{B2} به ازای مقاومت ورودی 100Ω



سوال 2 : محاسبه RC1 بطوری که نسبت $\frac{V_{out}}{V_s}$, $\frac{V_{o1}}{V_s} + \frac{V_{o2}}{V_s}$ بیشتر از 160 شود.

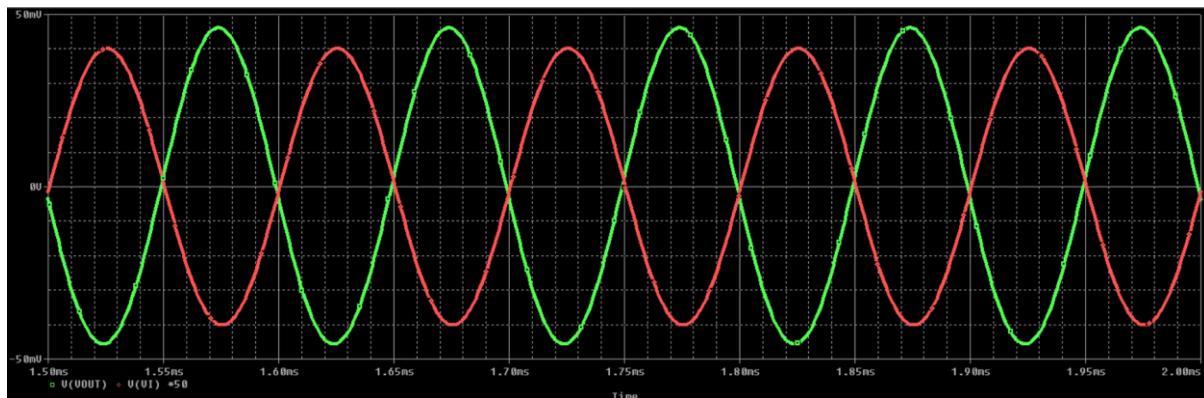
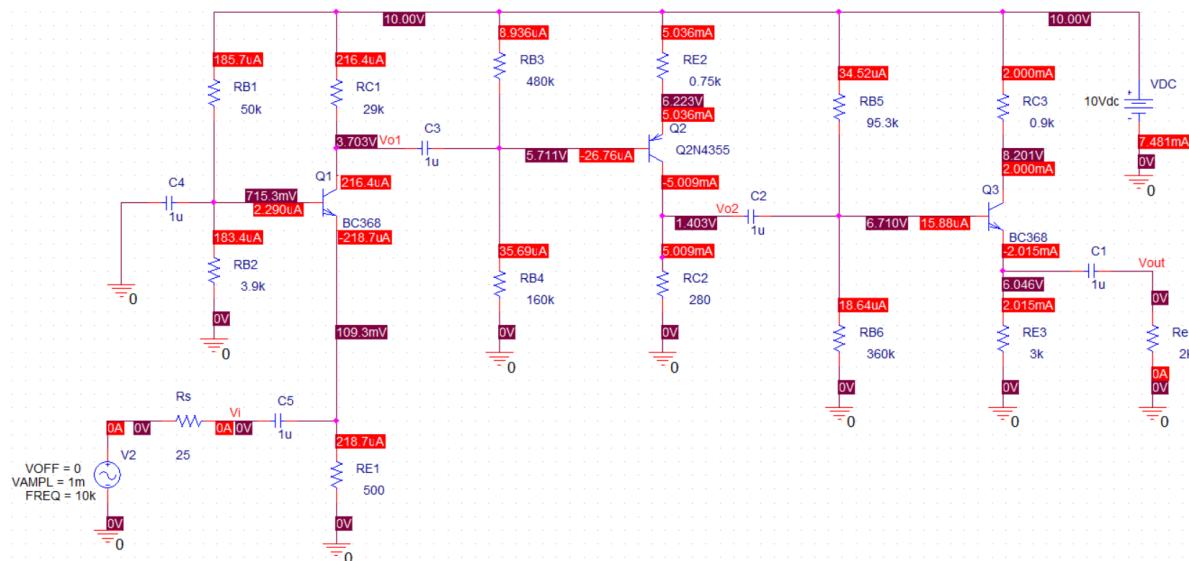
$$\frac{V_{o1}}{V_{in}} = g_m \cdot (RC1 \parallel R_{in2}) \geq 160 \rightarrow RC1 \parallel R_{in2} \geq 20$$

$$\rightarrow \frac{1}{RC1} + \frac{1}{64} \leq \frac{1}{20} \rightarrow RC1 \geq 29.1 \text{ k}\Omega \rightarrow RC1 = 29.1 \text{ k}\Omega$$

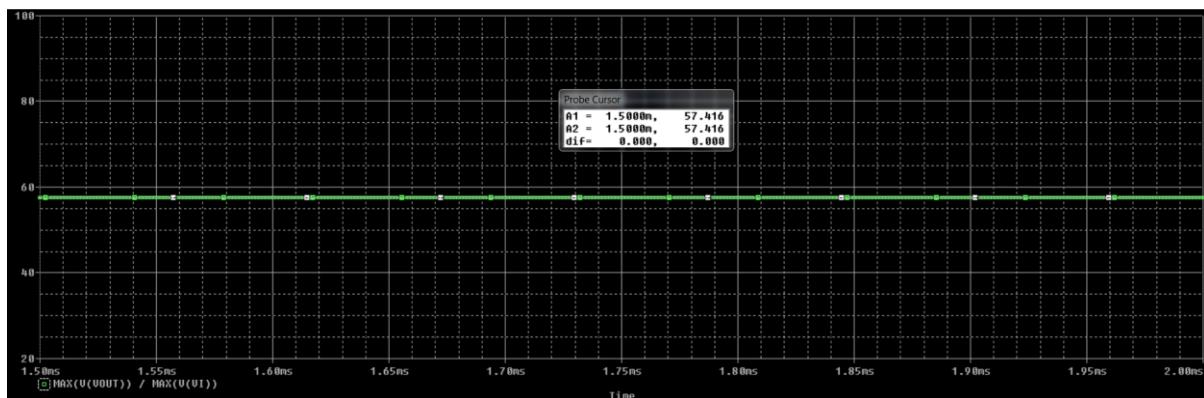
$$\frac{V_{o1}}{V_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \times 160 = 128 ; \quad \text{پس از}: \quad \frac{V_{out}}{V_s} = A_{V_1} \times A_{V_2} \times A_{V_3}$$

$$\rightarrow \frac{V_{out}}{V_s} \approx 128 \times (-0.37) \times 1 = -47.36 \approx -50$$

سوال 3 : بهره کل تقویت کننده در شبیه سازی

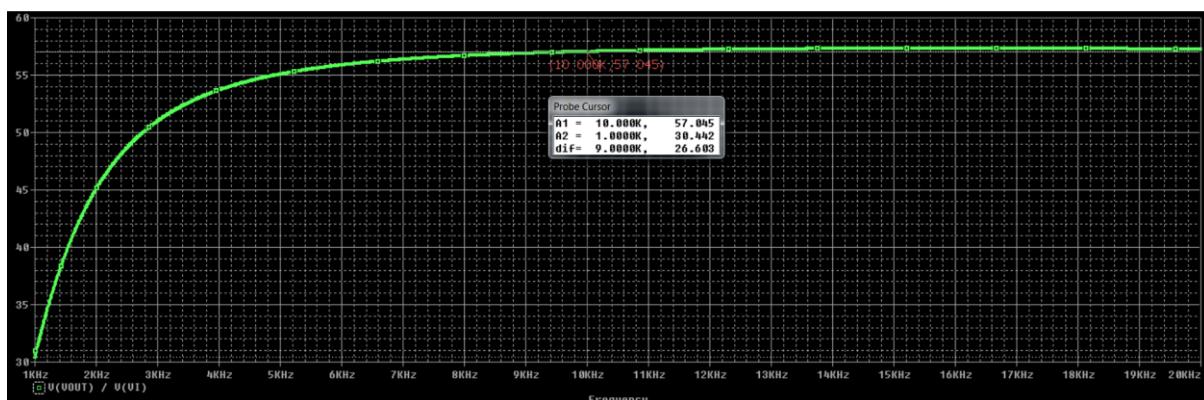


محاسبه بهره با استفاده از تحلیل Transient



$$A_{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \approx -57.416 \approx -57$$

محاسبه بهره با استفاده از تحلیل AC Sweep

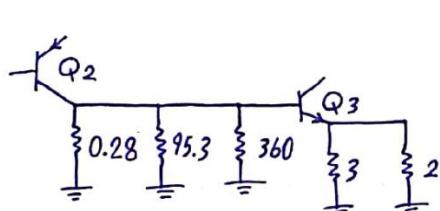


$$A_{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \approx -57.045 \approx -57$$

همانطور که مشاهده میکنیم نتایج شبیه سازی تقریباً با محاسبات دستی تطابق دارد. در این سوال سعی کردیم با 2 روش مقدار بهره محاسبه کنیم تا از درستی هر یک از این 2 روش مطمئن شویم.

سوال 4 : مقاومت ورودی و خروجی کل

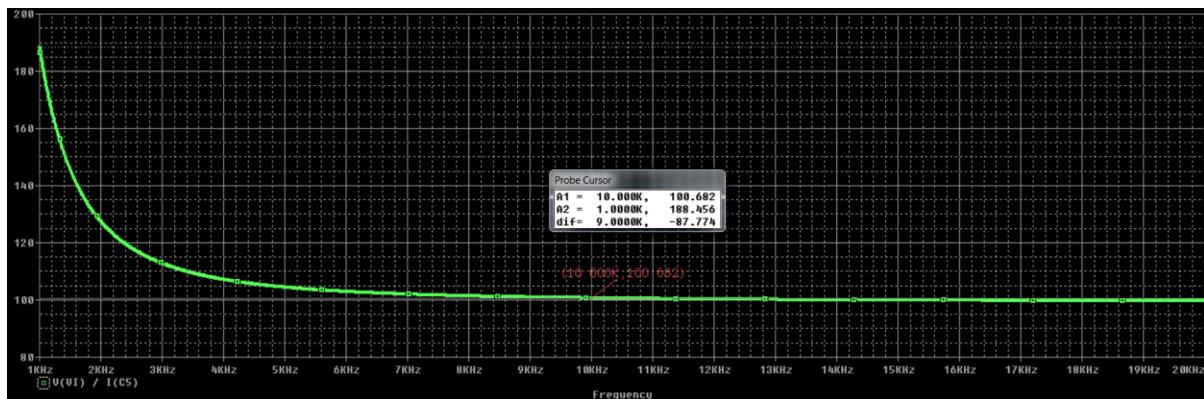
$$R_{in, \text{Q2}} = 0.5 \parallel \frac{1}{g_{m1}} = 100\Omega \quad ; \quad R_{out, \text{Q2}} = ?$$



$$R_{out} = \left(2 \parallel 3 \right) + \left(\frac{1}{g_{m3}} + \frac{360 \parallel 95.3 \parallel 0.28}{\beta_3 + 1} \right)$$

$$\beta_3 = 120 \quad ; \quad \frac{1}{g_{m3}} = \frac{26 \times 10^{-3}}{2} = 0.013 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow R_{out} \approx 1.2 \text{ k}\Omega$$



$$R_{in} \approx 100.682\Omega \approx 100\Omega$$



$$R_{out} \approx 1.2k\Omega$$

برای محاسبه مقاومت های ورودی و خروجی از تحلیل AC Sweep استفاده شده است. در رابطه با نحوه بدست آوردن R_{out} میتوان گفت مقدار ولتاژ خروجی را تقسیم بر جریان کل امیتر طبقه سوم کرده ایم.

سوال ۵ : چرا نگران سوئینگ ولتاژ خروجی طبقه اول نیستیم؟

با توجه به نتایج قسمت های قبل، جریان کلکتور طبقه اول خیلی کوچک است. اما از طرف دیگر بدليل آنکه میخواستیم بهره بزرگ باشد، به ناچار مقاومت RC1 هم مقدار بزرگی را دارا میباشد. بنابراین سوئینگ ولتاژ خروجی طبقه اول به اندازه کافی بزرگ خواهد بود و محدودیتی را در مقایسه با سوئینگ طبقات بعدی ایجاد نمیکند. و عامل تعیین کننده سوئینگ طبقات بعدی خواهد بود.

سوال ۶ : علت وجود خازن ها در مدار چیست؟

وجود خازن ها در مدار چند دلیل دارد:

1. طبقات مختلف ترانزیستور را از هم جدا میکند و تحلیل DC هر یک از آن ها به تنها یی میسر میکند.
2. زمانی که تحلیل DC را انجام میدهیم منبع ورودی را جدا میکند.
3. برای داشتن مقاومت ورودی و خروجی کمتر، مقاومت ها را بایاس پس میکند.