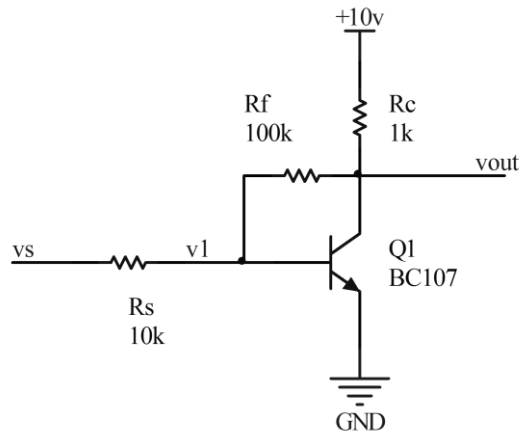


۴-۵) مدار فیدبک اول :

نوع فیدبک : موازی-موازی (فیدبک نمونه بردار از ولتاژ خروجی و مخلوط کننده با جریان ورودی)



شکل ۱ : مدار تقویت کننده با فیدبک نمونه بردار از ولتاژ خروجی و مخلوط کننده با جریان ورودی

نقطه کار مدار فوق به شرح زیر می باشد :

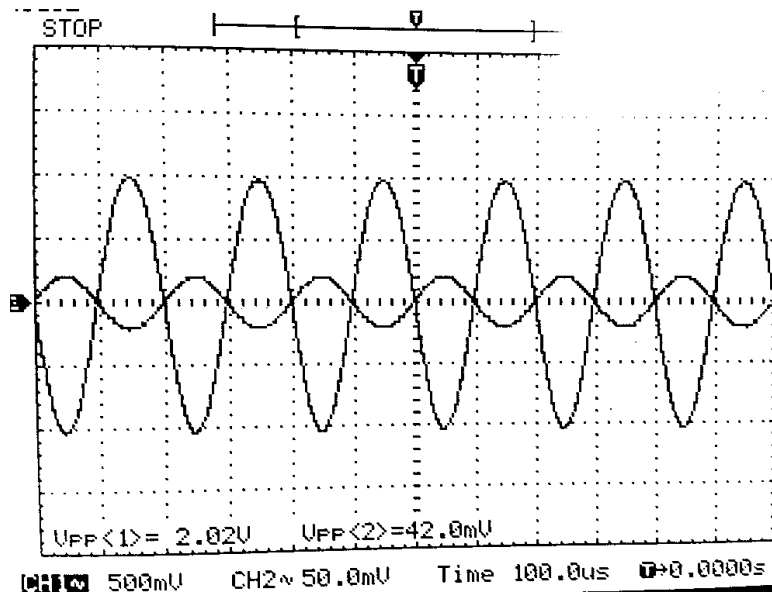
$$V_{CQ} = 2.91 \text{ v} , \quad V_{BEQ} = 678 \text{ mv}$$

$$V_{CC} = 10 \text{ v} , \quad I_{CQ} = 7.1 \text{ mA}$$

در مدار روبرو توجه شود که سیگنال ورودی توسط یک خازن 100nf به مدار اعمال گردد تا ولتاژ DC ورودی در نقطه کار مدار تاثیری نداشته باشد ولی همان طور که ملاحظه می گردد نقطه کار بدست آمده خود اصلا برای رسیدن به سوئینگ ماکزیمم مناسب نمی باشد و بهتر است که به سیگنال ورودی یک ولتاژ DC (بدون قرار دادن خازن کوپلاژ در ورودی) داده شود به گونه ای که ولتاژ DC خروجی (V_{CQ}) برابر 5.1 v گردد. ولی چون در این مدار ، مقدار سوئینگ پیک تا پیک ولتاژ خروجی ۲ ولت ، مطلوب مساله است نقطه کار مورد نظر کافی است و نیازی به تغییر احساس نمی گردد .

با قرار دادن دامنه ی ولتاژ ورودی برابر 48mv ، خروجی پیک تا پیک ۲ ولت حاصل می شود ؛ طبق شکل (۲) مقدار بهره ولتاژ مدار فوق برابر خواهد بود با :

$$Av = \frac{v_{O(p-p)}}{v_{S(p-p)}} = \frac{2.02 \text{ v}}{48 \text{ mv}} = 42.083$$

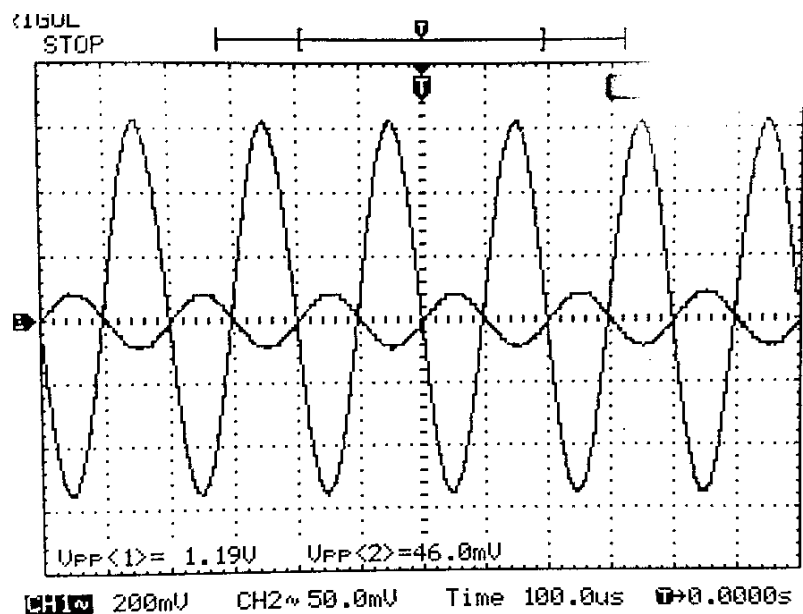


شکل ۲: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۱)

محاسبه مقاومت ورودی تقویت کننده: به منظور محاسبه مقاومت ورودی تقویت کننده، یک مقاومت تست در حدود

مقاومت ورودی مدار (برابر ۱۰ کیلوهم) بصورت سری در ورودی مدار قرار داده و در این حالت، بار دیگر بهره مدار را

محاسبه کرده؛ در این شرایط مقدار مقاومت ورودی از رابطه زیر بدست می آید:



شکل ۳: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۱) در اثر قرار دادن مقاومت سری 10KΩ در ورودی

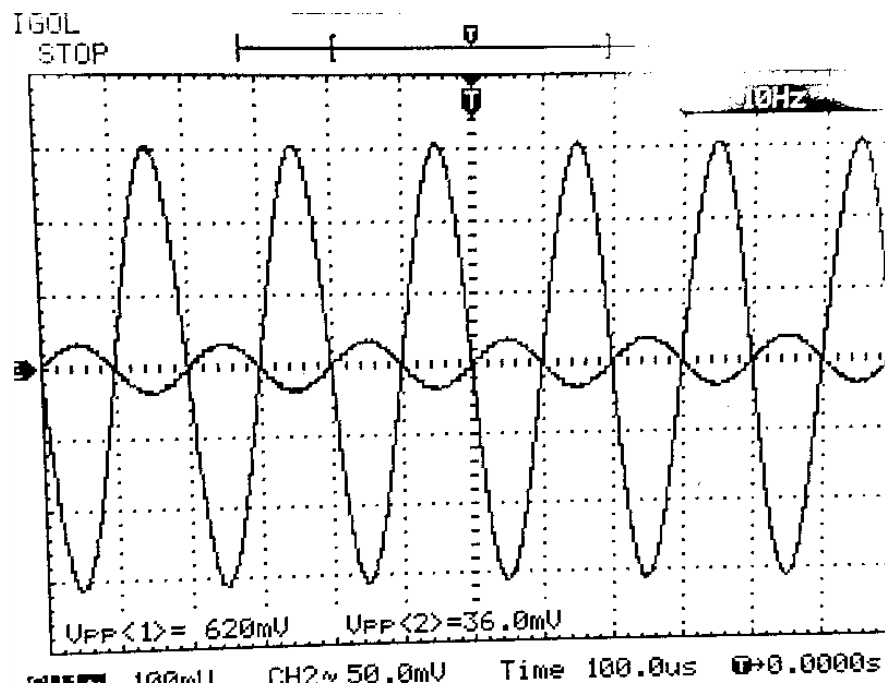
$$Av2 = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \frac{1.19 \text{ v}}{48 \text{ mv}} = 24.79$$

$$R_{in} = \frac{R_{test}}{\frac{Av}{Av2} - 1} = 14.34 \text{ KOhm}$$

محاسبه مقاومت خروجی تقویت کننده : در بدست آوردن مقاومت خروجی ، مقاومت تست ۱۰۰ اهم را با خازن سری

۱۰۰ نانوفاراد بصورت موازی در خروجی قرار داده . (خازن مورد نظر به عنوان *DC Block* بوده تا با اضافه کردن مقاومت

تست ، نقطه کار مدار به هم نریزد.) و سپس بهره را در این حالت (طبق شکل ۴) بدست آورده :

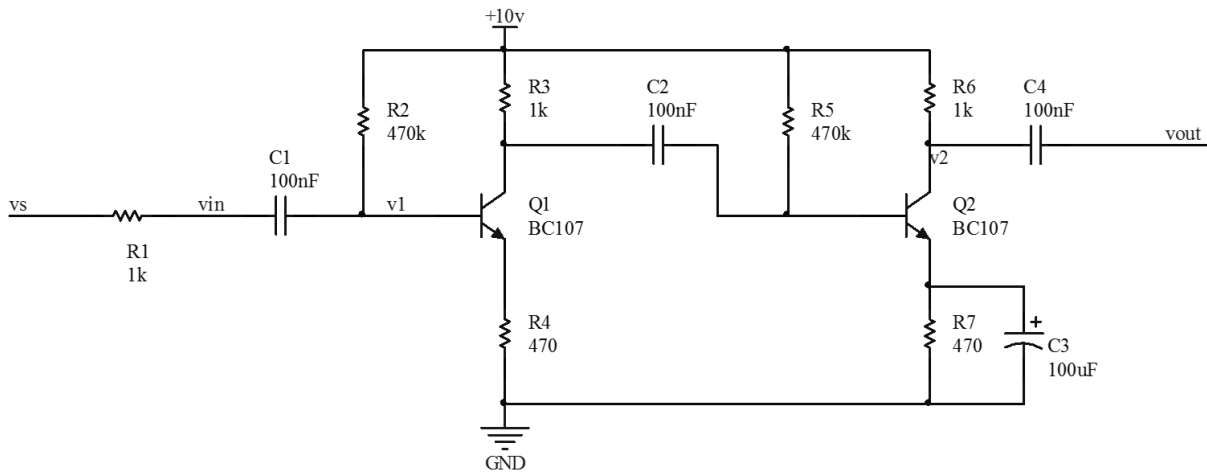


شکل ۴ : شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۱) در اثر قرار دادن مقاومت موازی 100Ω در خروجی

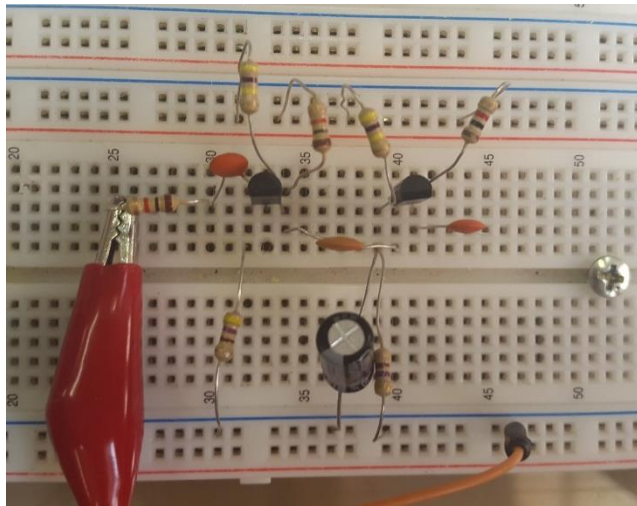
$$Av2 = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \frac{620 \text{ mv}}{48 \text{ mv}} = 12.917$$

$$R_0 = R_{test} \left(\frac{Av}{Av2} - 1 \right) = 225.8 \text{ Ohm}$$

۵-۵ مدار بدون فیدبک :



شکل ۵ : مدار تقویت کننده بدون فیدبک



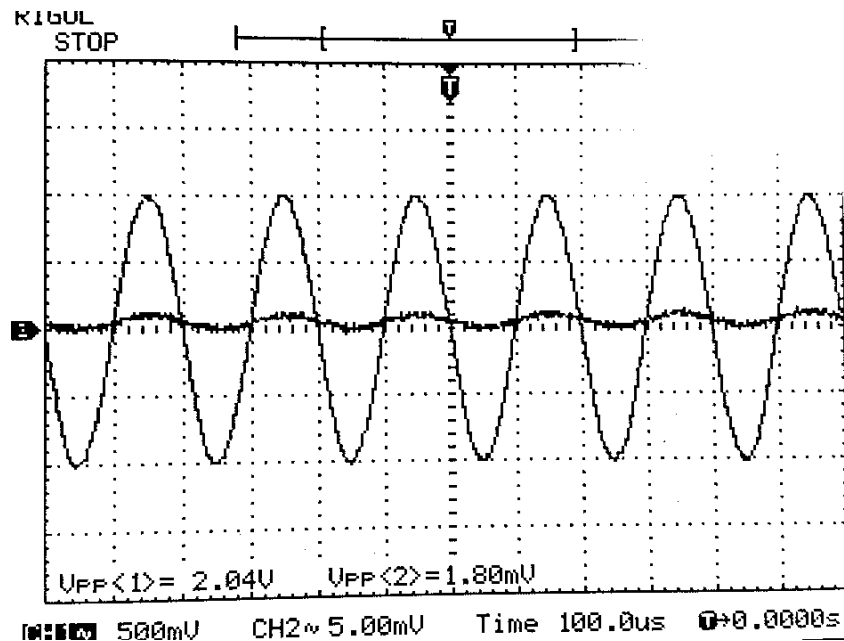
شکل ۶ : مدار تقویت کننده بدون فیدبک

نقطه کار مدار فوق به شرح زیر می باشد :

$$V_{CQ1} = 5.31 \text{ v} , \quad V_{BEQ1} = 667 \text{ mv} , \quad V_{EQ1} = 2.22 \text{ v} , \quad I_{CQ1} = 4.69 \text{ mA} , \quad V_{BQ1} = 2.88 \text{ v}$$

$$V_{CQ2} = 4.73 \text{ v} , \quad V_{BEQ2} = 648 \text{ mv} , \quad V_{EQ2} = 2.43 \text{ v} , \quad I_{CQ2} = 5.27 \text{ mA} , \quad V_{BQ2} = 3.05 \text{ v}$$

با اعمال سیگنال ورودی با دامنه پیک تا پیک 9.36 mv می توان به ولتاژ خروجی با پیک تا پیک ، دو ولت رسید :



شکل ۷: شکل موج ولتاژ خروجی و ورودی مدار تقویت کننده بدون فیدبک

بنابراین بهره ولتاژ مدار مذکور برابر است با :

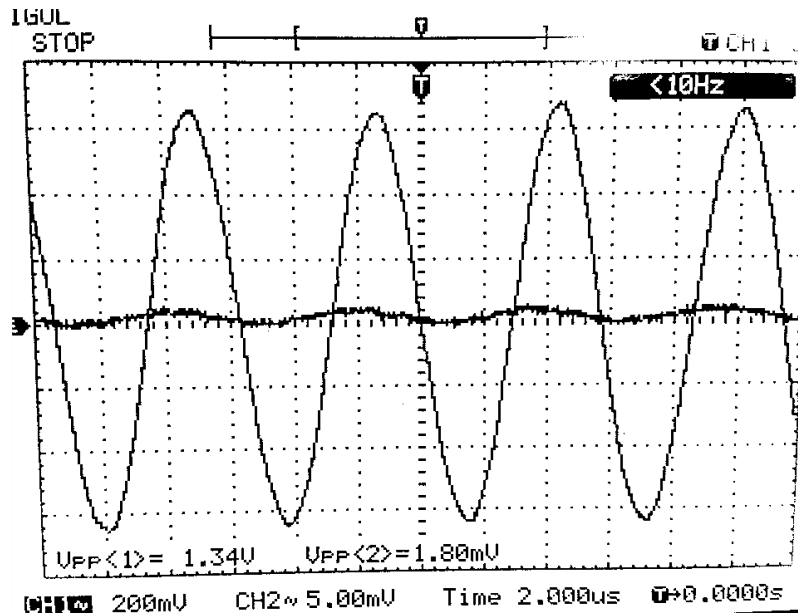
$$Av = \frac{v_{O(p-p)}}{v_{S(p-p)}} = \frac{2.04 \text{ V}}{9.36 \text{ mV}} = 217.95$$

فرکانس قطع بالا f_H :

طبق شکل (۸) ، با افزایش فرکانس سیگنال ورودی تا 198 KHz ، بهره ی مدار به $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مقدار آن در فرکانس میانی

(مثلا ۵ کیلوهرتز) کاهش یافت بنابراین فرکانس قطع بالا مدار f_H برابر خواهد با :

$$f_H = 198 \text{ KHz}$$

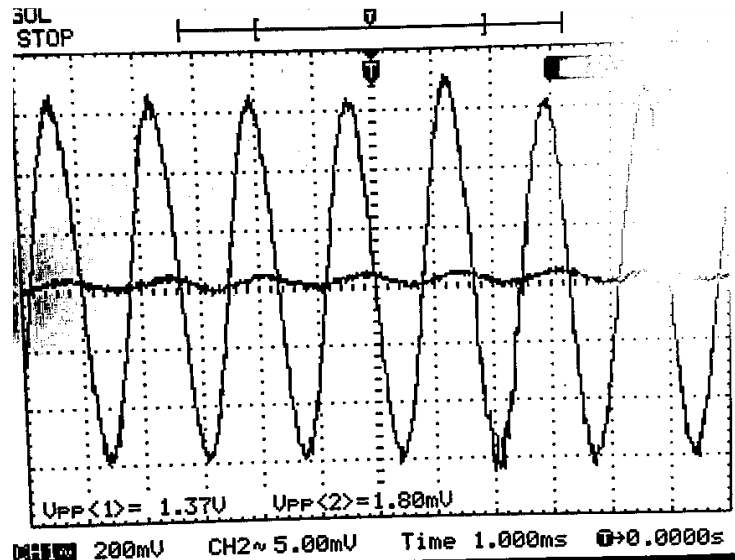


شکل ۸: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۵) در فرکانس قطع بالا

فرکانس قطع پایین f_L :

طبق شکل (۹)، با کاهش فرکانس سیگنال ورودی تا 600Hz، بهره ی مدار به $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مقدار آن در فرکانس میانی (مثلاً ۵ کیلوهرتز) کاهش یافت بنابراین فرکانس قطع پایین f_L مدار برابر خواهد با:

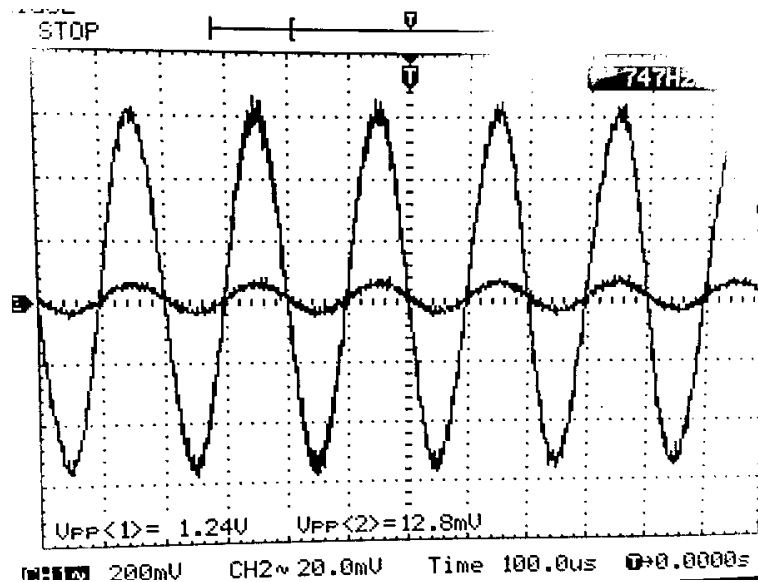
$$f_L = 600\text{Hz}$$



شکل ۹: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۵) در فرکانس قطع پایین

محاسبه مقاومت ورودی تقویت کننده: با قرار دادن مقاومت تستی برابر ۱۰ کیلو اهم بصورت سری در ورودی مدار ،

بار دیگر بهره مدار را محاسبه کرده :



شکل ۱۰: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۵) در اثر قرار دادن مقاومت سری 10KΩ در ورودی

$$Av2 = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \frac{1.24 \text{ v}}{9.36 \text{ mv}} = 132.48$$

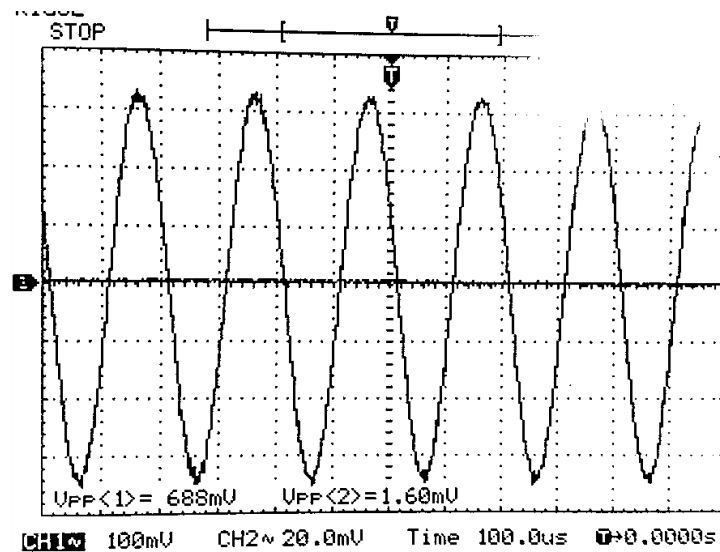
$$R_{in} = \frac{R_{test}}{\frac{Av}{Av2} - 1} = 15.5 \text{ KOhm}$$

محاسبه مقاومت خروجی تقویت کننده: با قرار دادن مقاومت تستی برابر ۴۷۰ اهم بصورت موازی در خروجی مدار ،

بار دیگر بهره مدار را محاسبه کرده :

$$Av2 = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \frac{688 \text{ mv}}{9.36 \text{ mv}} = 73.5$$

$$R_0 = R_{test} \left(\frac{Av}{Av2} - 1 \right) = 923.7 \text{ Ohm}$$

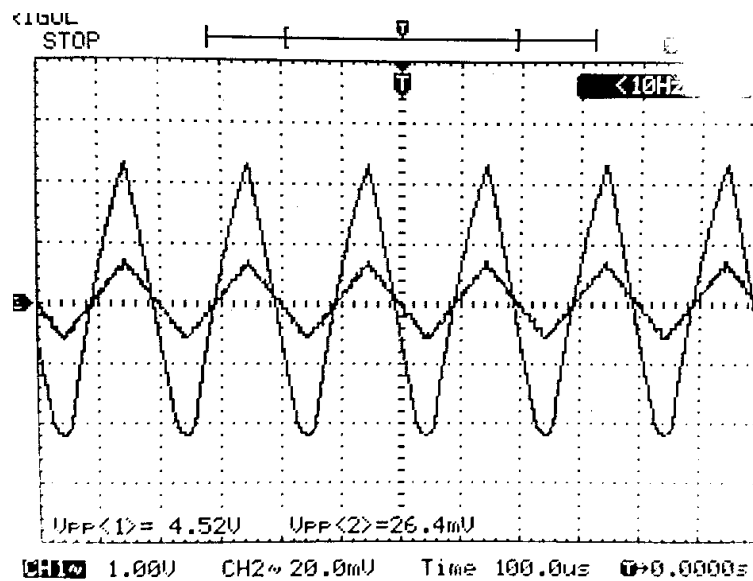


شکل ۱۱: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۵) در اثر قرار دادن مقاومت موازی 470Ω در خروجی

محاسبه ماکزیمم سوئینگ خروجی :

در صورت اعمال سیگنال مثلثی به ورودی تقویت کننده ، مطابق شکل (۱۲) ، مقدار ماکزیمم سوئینگ خروجی قبل از اعوجاج در شکل موج ولتاژ خروجی برابر خواهد بود با :

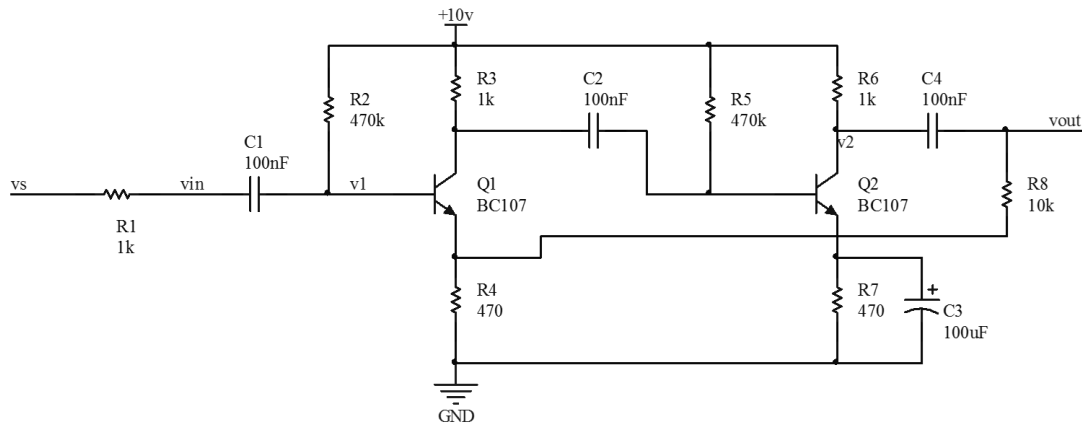
$$\text{Max}\{V_{O(P-P)}\} = 4.52 \text{ v}$$



شکل ۱۲: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۵) به منظور محاسبه مقدار سوئینگ خروجی

۵-۶) مدار فیدبک دوم :

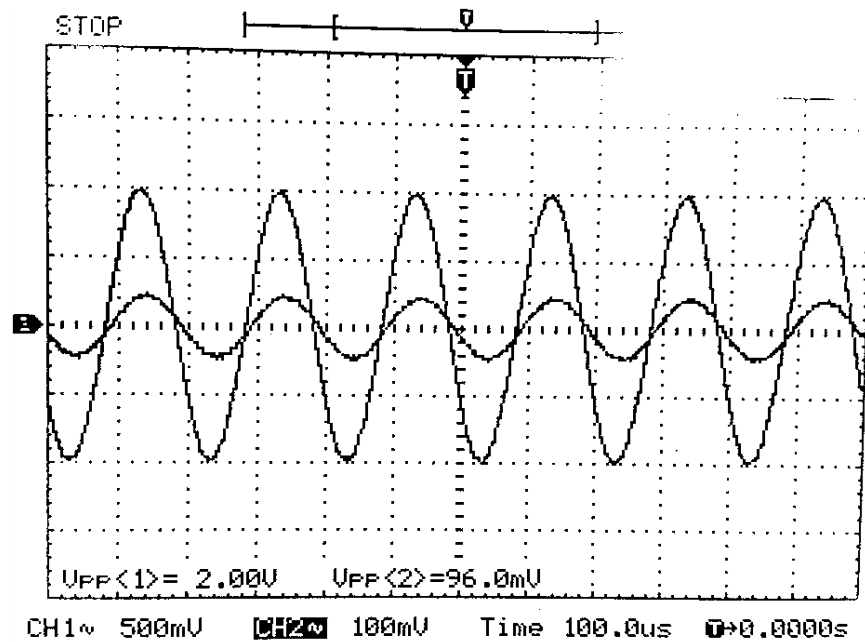
نوع فیدبک : موازی-سری (فیدبک نمونه بردار از ولتاژ خروجی و مخلوط کننده با ولتاژ ورودی)



شکل ۱۳ : مدار تقویت کننده با فیدبک نمونه بردار از ولتاژ خروجی و مخلوط کننده با ولتاژ ورودی

واضح است که با قرار دادن خازن کوپلاژ در مسیر فیدبک ، در نقطه کار مدار تغییری حاصل نمی شود . با اعمال سیگنال

ورودی با دامنه پیک تا پیک 96 mV ، به ولتاژ پیک تا پیک ۲ ولت در خروجی دست یافتیم :



شکل ۱۴ : شکل موج ولتاژ خروجی و ورودی مدار تقویت کننده شکل (۱۳)

بنابراین بهره ولتاژ مدار مذکور برابر است با :

$$Av = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{s(p-p)}} = \frac{2 v}{96 mv} = 20.83$$

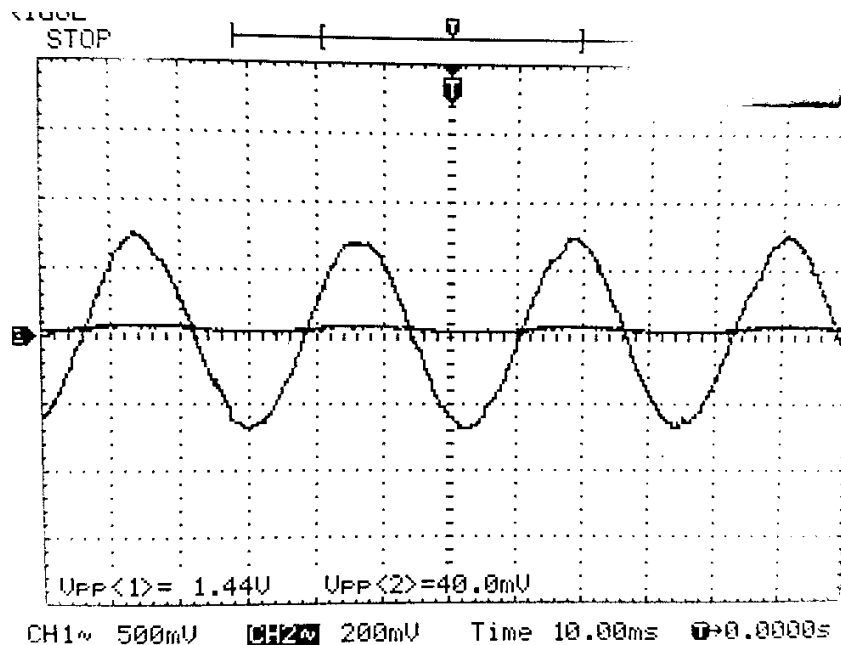
****توجه:** همانطور که ملاحظه می گردد مقدار بهره تقویت کننده با افزودن فیدبک به مدار ، با ضریب $\frac{1}{(1+fA)}$ ، نسبت

به مدار بدون فیدبک کاهش یافته است .

فرکانس قطع بالا f_H :

طبق شکل (۱۵) ، با افزایش فرکانس سیگنال ورودی تا 2.16 MHz ، بهره ی مدار به $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مقدار آن در فرکانس میانی (مثلا ۵ کیلوهرتز) کاهش یافت بنابراین فرکانس قطع بالا مدار f_H برابر خواهد با :

$$f_H = 2.16 \text{ MHz}$$

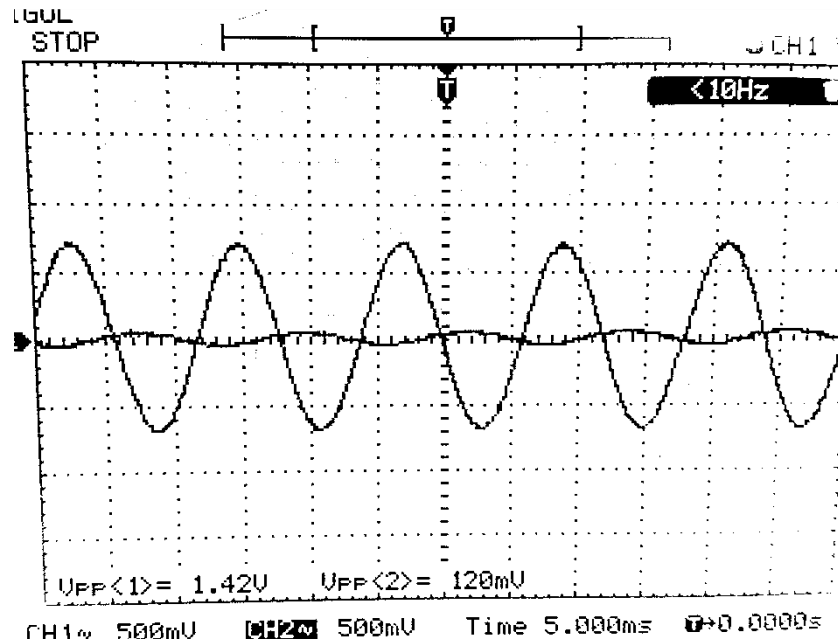


شکل ۱۵ : شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۱۳) در فرکانس قطع بالا

فرکانس قطع پایین f_L :

طبق شکل (۱۶) ، با کاهش فرکانس سیگنال ورودی تا 83Hz ، بهره ی مدار به $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مقدار آن در فرکانس میانی (مثلا ۵ کیلوهرتز) کاهش یافت بنابراین فرکانس قطع پایین مدار f_L برابر خواهد با :

$$f_L = 83 \text{ Hz}$$



شکل ۱۶: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۱۳) در فرکانس قطع پایین

****توجه:** همانطور که می دانیم فرکانس بهره واحد (Gain-Band-width) برای یک مدار ثابت می باشد به بیانی دیگر، حاصلضرب بهره ی ولتاژ در پهنای باند (تفاضل فرکانس قطع بالا و پایین) یک تقویت کننده ثابت و مستقل از میزان فیدبک اعمال شده است. یعنی اگر بهره ی شبکه ی فیدبک β عوض شود، این حاصلضرب عوض نخواهد شد. که مقدار GBW مدار بدون فیدبک و با فیدبک در زیر، گواه این مساله است:

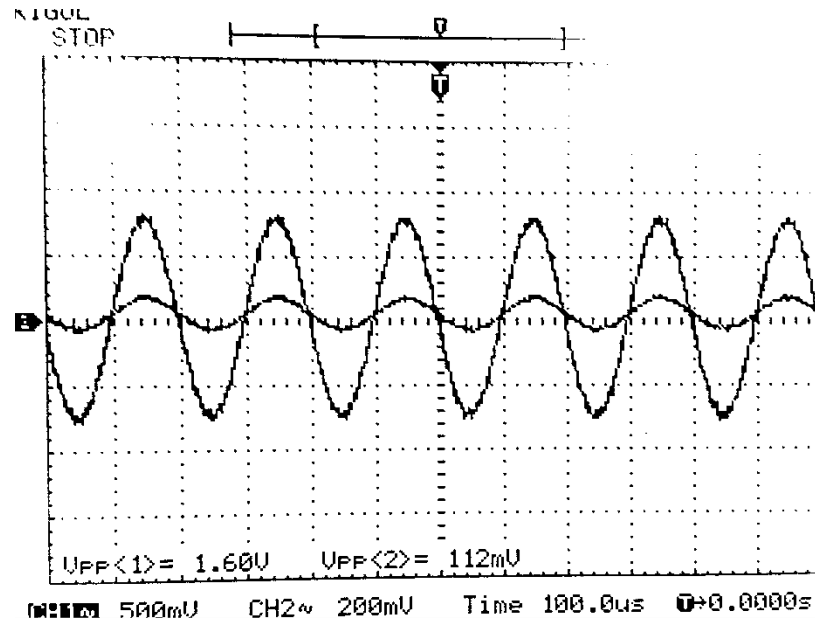
$$GBW_{(without\ feedback)} = A_V \times BW = A_V \times (f_H - f_L) = 43.023\ K$$

$$GBW_{(with\ feedback)} = A_V \times BW = A_V \times (f_H - f_L) = 44.99\ K$$

محاسبه مقاومت ورودی تقویت کننده: با قرار دادن مقاومت تستی برابر ۱۰۰ کیلو اهم بصورت سری در ورودی مدار، بار دیگر بهره مدار را محاسبه کرده:

$$Av2 = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \frac{1.6\ v}{96\ mv} = 16.66$$

$$R_{in} = \frac{R_{test}}{\frac{Av}{Av2} - 1} = 399.52\ K\ Ohm$$



شکل ۱۷: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۱۳) در اثر قرار دادن مقاومت سری 100KΩ در ورودی

****توجه:** همانطور که ملاحظه می‌گردد با اعمال فیدبک موازی-سری، مقدار مقاومت ورودی مدار با ضریب $(1 + fA)$

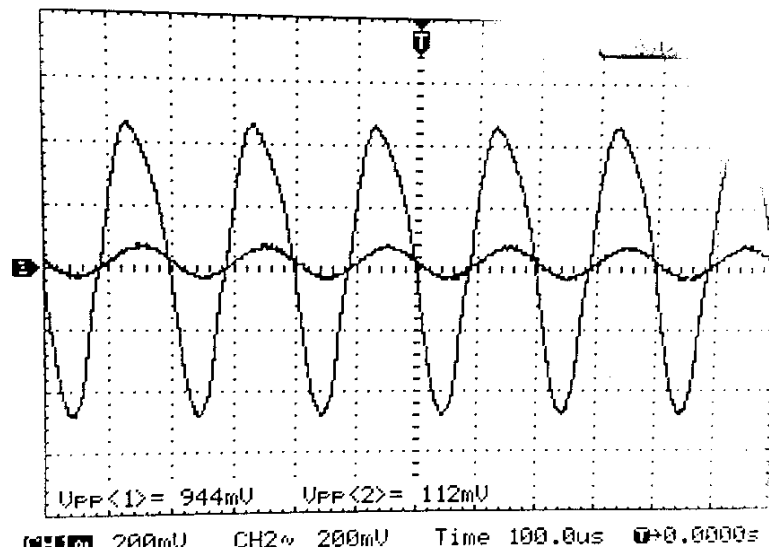
افزایش می‌یابد.

محاسبه مقاومت خروجی تقویت کننده: با قرار دادن مقاومت تستی برابر ۱۰۰ اهم بصورت موازی در خروجی مدار،

بار دیگر بهره مدار را محاسبه کرده:

$$Av2 = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \frac{944mv}{96mv} = 9.83$$

$$R_0 = R_{test} \left(\frac{Av}{Av2} - 1 \right) = 111.9 \text{ Ohm}$$



شکل ۱۸: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۱۳) در اثر قرار دادن مقاومت موازی 100Ω در خروجی

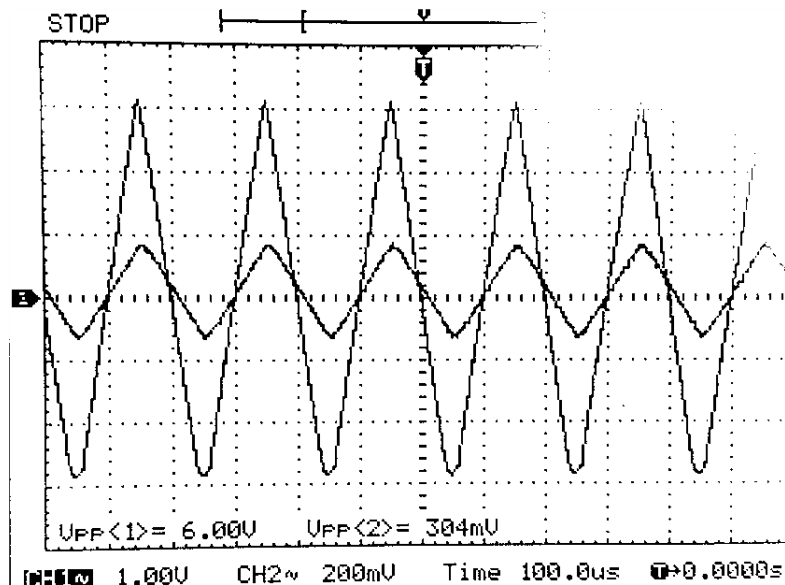
****توجه:** همانطور که ملاحظه می‌گردد با اعمال فیدبک موازی-سری، مقدار مقاومت ورودی مدار با ضریب $\frac{1}{(1+fA)}$ نسبت به مدار بدون فیدبک، کاهش می‌یابد.

محاسبه ماکزیمم سوئینگ خروجی:

در صورت اعمال سیگنال مثلی به ورودی تقویت کننده، مطابق شکل (۱۹)، مقدار ماکزیمم سوئینگ خروجی قبل از

$$\text{Max}\{V_{O(P-P)}\} = 6 \text{ v}$$

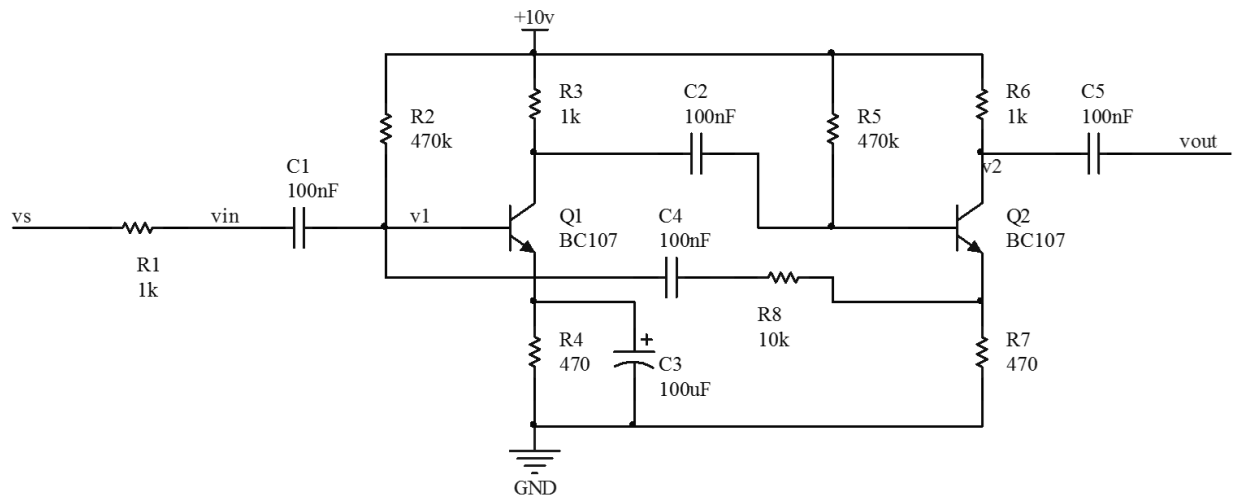
اعوجاج در شکل موج ولتاژ خروجی برابر خواهد بود با:



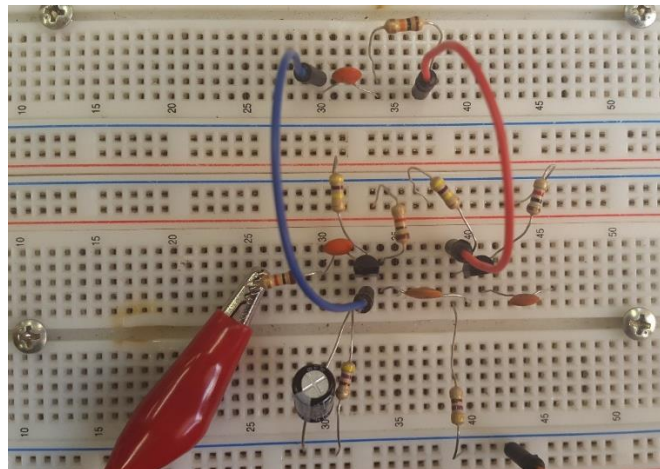
شکل ۱۹: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۱۳) به منظور محاسبه مقدار سوئینگ خروجی

۵-۷) مدار فیدبک سوم :

نوع فیدبک : سری-موازی (فیدبک نمونه بردار از جریان خروجی و مخلوط کننده با جریان ورودی)



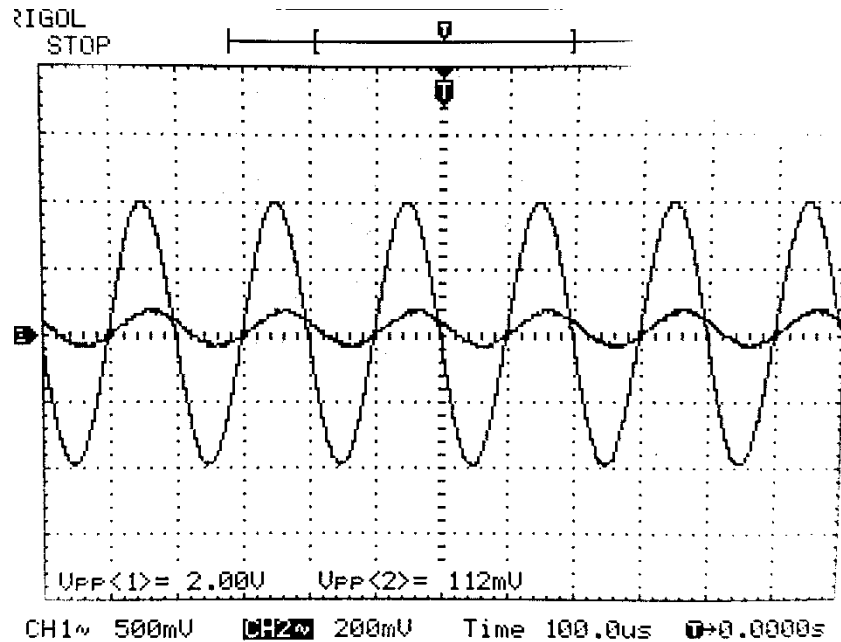
شکل ۲۰ : مدار تقویت کننده با فیدبک نمونه بردار از جریان خروجی و مخلوط کننده با جریان ورودی



شکل ۲۱ : مدار تقویت کننده با فیدبک سری-موازی

واضح است که نقطه کار مدار با دو مدار قبل نبایستی تفاوت داشته باشد . با اعمال سیگنال ورودی با دامنه پیک تا پیک

56 mV ، به ولتاژ پیک تا پیک ۲ ولت در خروجی دست یافتیم :



شکل ۲۲: شکل موج ولتاژ خروجی و ورودی مدار تقویت کننده شکل (۲۰)

بنابراین بهره ولتاژ مدار مذکور برابر است با :

$$Av = \frac{v_{O(p-p)}}{v_{S(p-p)}} = \frac{2 \text{ V}}{56 \text{ mV}} = 35.71$$

****توجه:** همانطور که ملاحظه می گردد مقدار بهره تقویت کننده با افزودن فیدبک به مدار ، با ضریب $\frac{1}{(1+fA)}$ ، نسبت

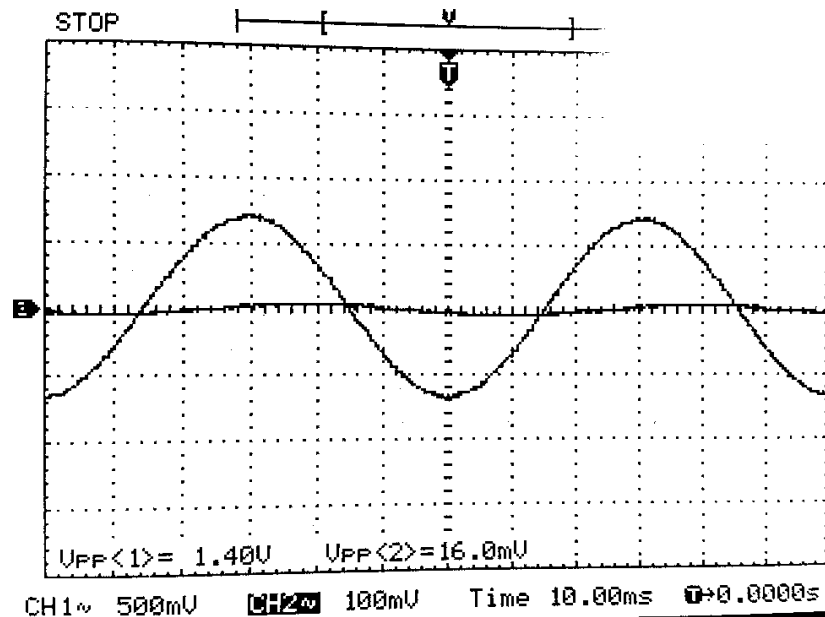
به مدار بدون فیدبک کاهش یافته است .

فرکانس قطع بالا f_H :

طبق شکل (۲۳) ، با افزایش فرکانس سیگنال ورودی تا 1.13 MHz ، بهره ی مدار به $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مقدار آن در فرکانس میانی

(مثلا ۵ کیلوهرتز) کاهش یافت بنابراین فرکانس قطع بالا مدار f_H برابر خواهد با :

$$f_H = 1.13 \text{ MHz}$$

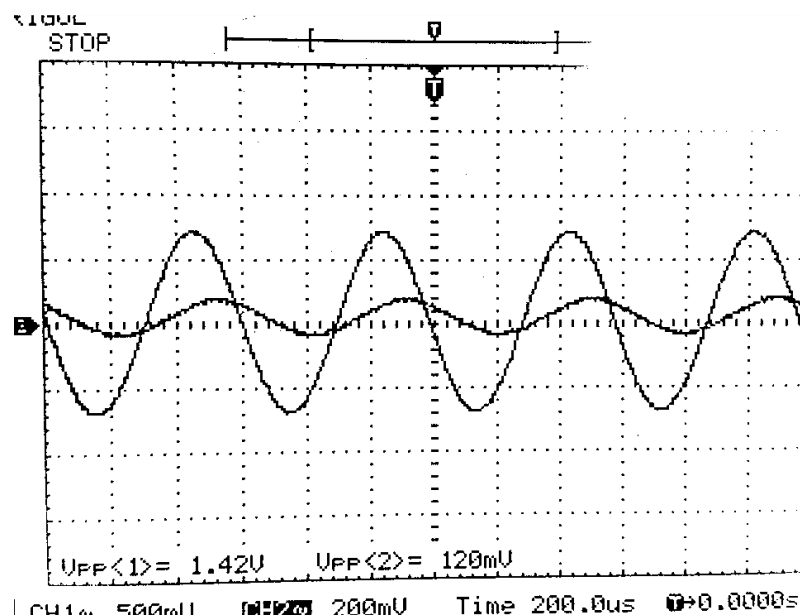


شکل ۲۳: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۲۰) در فرکانس قطع بالا

فرکانس قطع پایین f_L :

طبق شکل (۲۴)، با کاهش فرکانس سیگنال ورودی تا 1.7 KHz، بهره ی مدار به $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مقدار آن در فرکانس میانی (مثلا ۵ کیلوهرتز) کاهش یافت بنابراین فرکانس قطع پایین f_L مدار برابر خواهد با:

$$f_L = 1.7 \text{ KHz}$$



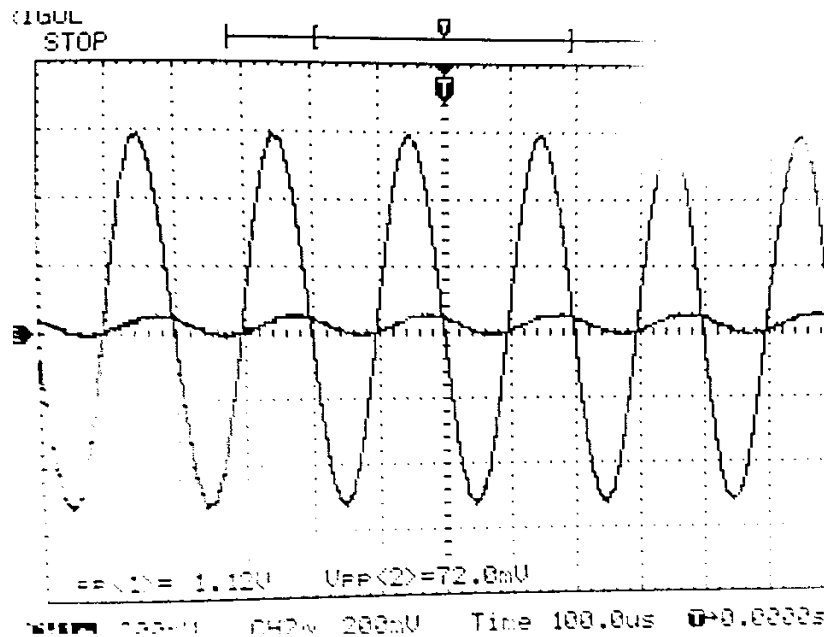
شکل ۲۴: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۲۰) در فرکانس قطع پایین

محاسبه مقاومت ورودی تقویت کننده: با قرار دادن مقاومت تستی برابر ۱ کیلو اهم بصورت سری در ورودی مدار، بار

دیگر بهره مدار را محاسبه کرده:

$$Av2 = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \frac{1.12 \text{ V}}{56 \text{ mV}} = 20$$

$$R_{in} = \frac{R_{test}}{\frac{Av}{Av2} - 1} = 1.273 \text{ K}\Omega$$



شکل ۲۵: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۲۰) در اثر قرار دادن مقاومت سری 1KΩ در ورودی

****توجه:** همانطور که ملاحظه می‌گردد با اعمال فیدبک سری-موازی، مقدار مقاومت ورودی مدار با ضریب $\frac{1}{(1+Af)}$

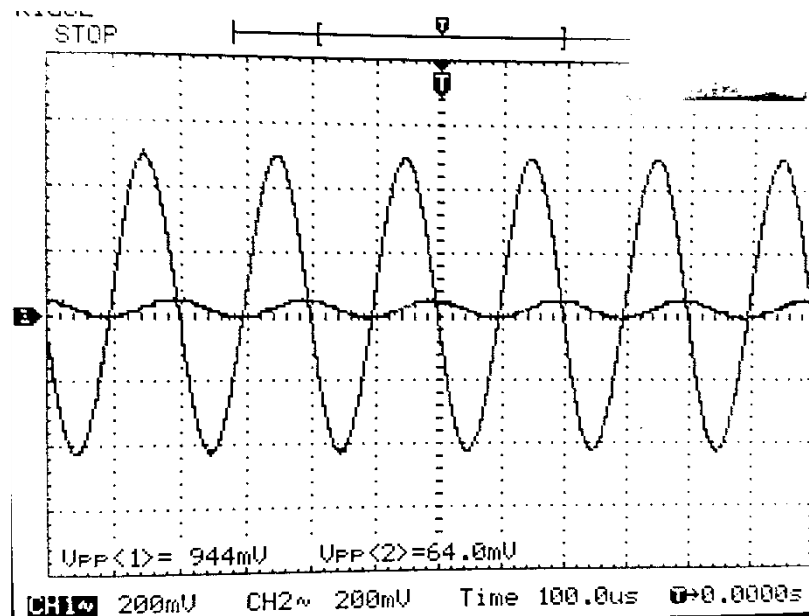
نسبت به مدار بدون فیدبک کاهش می‌یابد.

محاسبه مقاومت خروجی تقویت کننده: با قرار دادن مقاومت تستی برابر ۱ کیلو اهم بصورت موازی در خروجی مدار،

بار دیگر بهره مدار را محاسبه کرده:

$$Av2 = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \frac{944mv}{56mv} = 16.86$$

$$R_0 = R_{test} \left(\frac{Av}{Av2} - 1 \right) = 1.118 KOhm$$



شکل ۲۶: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۲۰) در اثر قرار دادن مقاومت موازی 1KΩ در خروجی

**** توجه:** همانطور که ملاحظه می‌گردد با اعمال فیدبک سری-موازی، مقدار مقاومت ورودی مدار با ضریب $(1 + fA)$

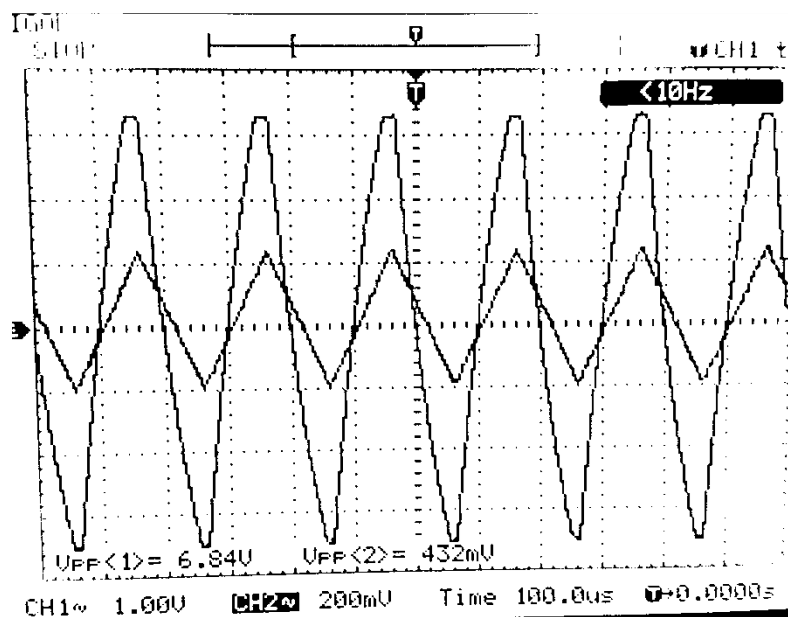
نسبت به مدار بدون فیدبک، افزایش می‌یابد.

محاسبه ماکزیمم سوئینگ خروجی:

در صورت اعمال سیگنال مثلی به ورودی تقویت کننده، مطابق شکل (۲۷)، مقدار ماکزیمم سوئینگ خروجی قبل از

اعوجاج در شکل موج ولتاژ خروجی برابر خواهد بود با:

$$\text{Max}\{V_{O(p-p)}\} = 6.84v$$



شکل ۲۷: شکل موج سیگنال ورودی و خروجی مدار شکل (۲۰) به منظور محاسبه مقدار سوئینگ خروجی

****توجه:** با اعمال فیدبک به مدار تقویت کننده، افزایش محدوده سوئینگ ولتاژ خروجی در ناحیه عملکرد خطی تقویت

کننده محیا می شود. (به بیانی دیگر، افزایش خطینگی تقویت کننده در اثر اعمال فیدبک)