

آزمایشگاه مدار و اندازه گیری

پیش گزارش آزمایش هشتم

01-E-8-prelab

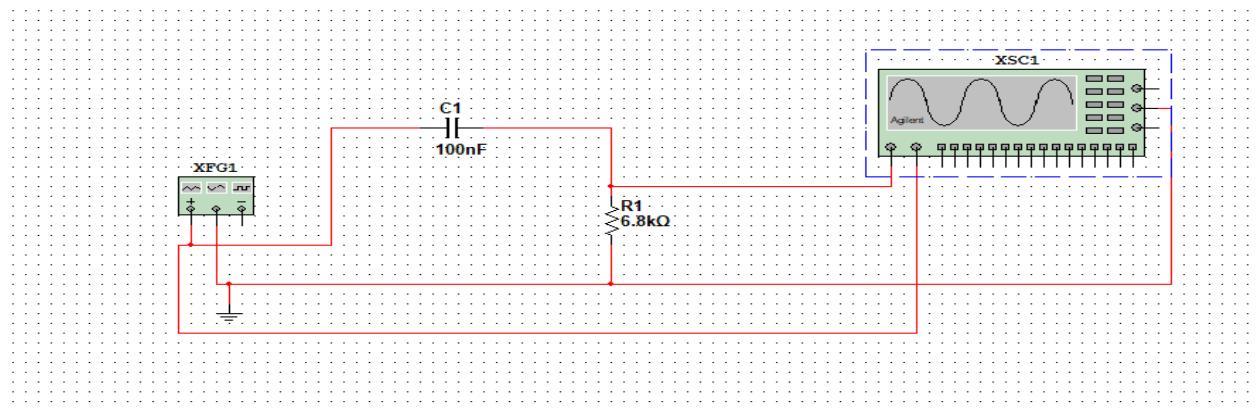
کسری کاشانی نژاد 810101490

برنا فروهری 810101480

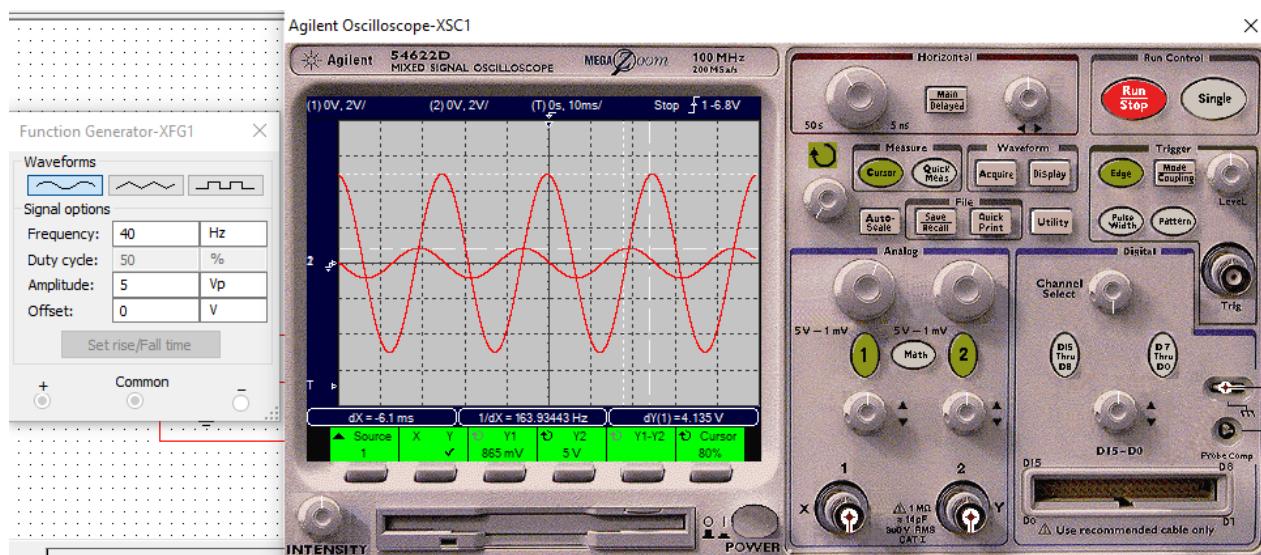
البرز محمودیان 810101514

فیلتر بالا گذر: بررسی پاسخ فرکانسی RC

ابتدا مدار را با شکل زیر می بندیم :



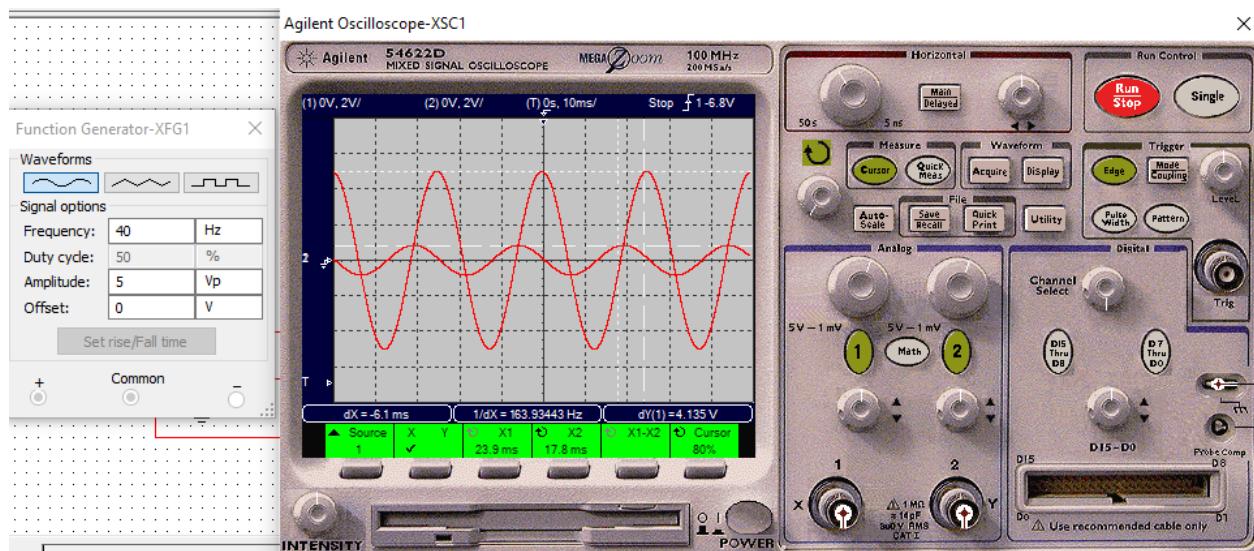
الف) برای فرکانس 40 هرتز :



با استفاده از دو کرس موازی محور X ها، دامنه شکل موج ورودی و خروجی را به دست می آوریم:

دامنه شکل موج ورودی همان ۷۲ است که طبق انتظار همان ۵۷ است که در فانکشن ژنراتور تعیین کردیم.

دامنه شکل موج خروجی همان ۷۱ است که مطابق شکل برابر ۸۶۵ میلی ولت است $\leq V_o = 865 \text{ mV}$



با استفاده از دو کرس موازی محور y ها، فاصله زمانی بین دو قله موج ورودی و خروجی را به دست می آوریم که از روی صفحه ای سیلوسکوپ می توان دید که :

$$X_1 = 23.9 \text{ ms}$$

$$X_2 = 17.8 \text{ ms} \Rightarrow \Delta X = \Delta t = 6.1 \text{ ms}$$

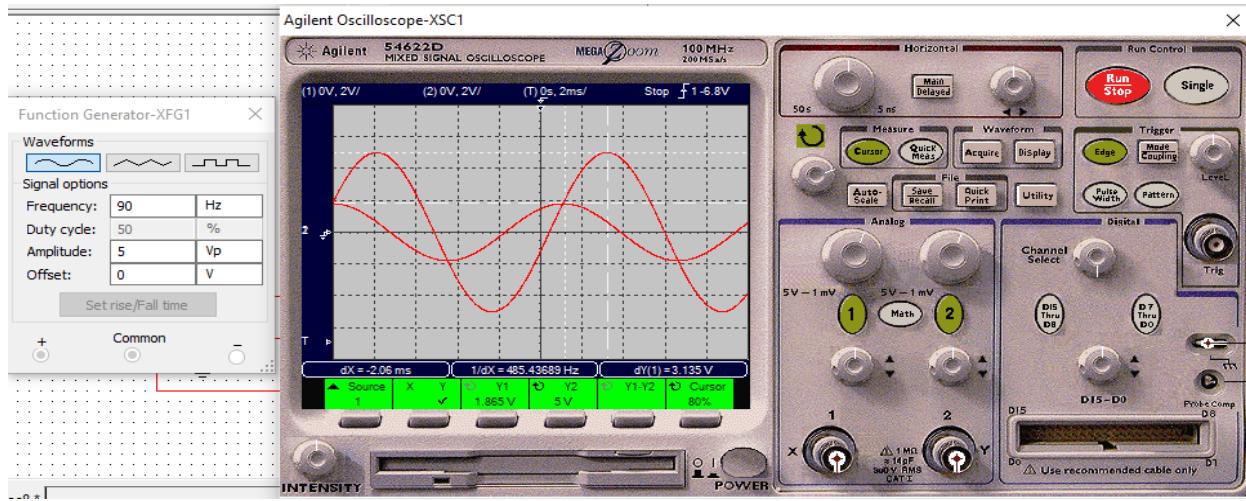
میدانیم که اختلاف فاز برابر است با $2\pi f \Delta t$. پس اختلاف فاز در فرکانس ۴۰ هرتز می

$$\text{شود : } (\Delta\phi = 2\pi f \Delta t)$$

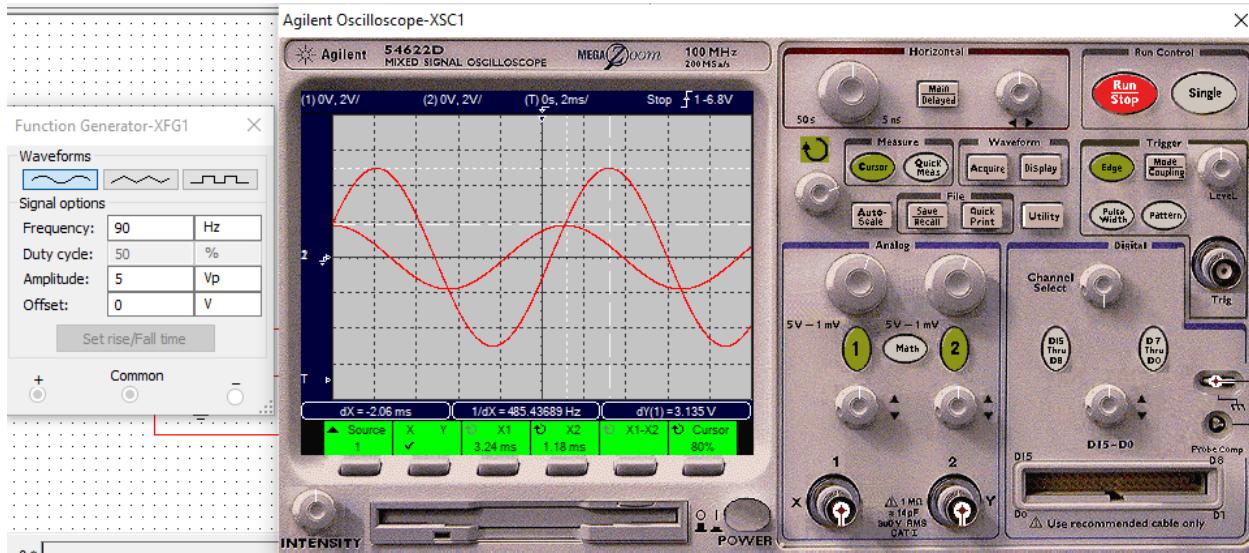
$$\text{برای فرکانس ۹۰ هرتز : } 2 * 3.14 * 40 * 6.1 * 10^{-3} = 1.532$$

برای فرکانس های بعدی دقیقا مانند فرکانس ۴۰ هرتز عمل می کنیم.

برای فرکانس ۹۰ هرتز :



دامنه شکل موج خروجی همان γ_1 است که مطابق شکل برابر 1.865 ولت است $V_o = 1.865 \text{ V} \leq v \leq 1.865 \text{ V}$



$$X_1 = 3.24 \text{ ms}$$

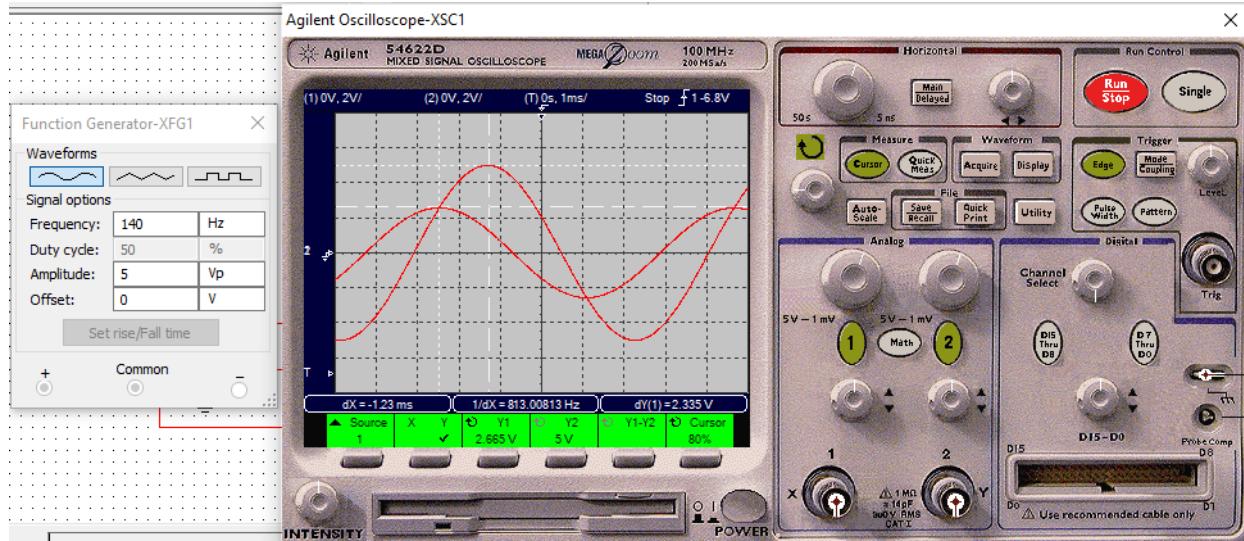
$$X_2 = 1.18 \text{ ms} \Rightarrow \Delta X = \Delta t = 2.06 \text{ ms}$$

میدانیم که اختلاف فاز برابر است با $2 * \pi * f * \Delta t$. پس اختلاف فاز در فرکانس 90 هرتز می

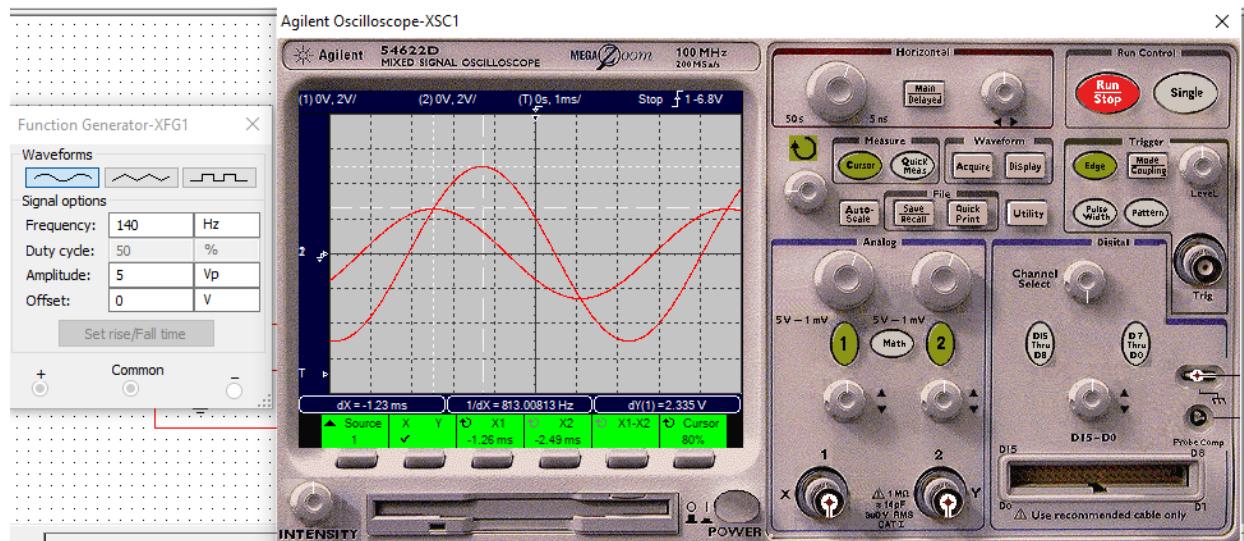
$$\text{شود : } (\Delta\phi = 2\pi f \Delta t)$$

$$\text{اختلاف فاز} = 2 * 3.14 * 90 * 2.06 * 10^{-3} = 1.164$$

برای فرکانس 140 هرتز :



دامنه شکل موج خروجی همان Y_1 است که مطابق شکل برابر 2.665v == 2.665 ولت است $V_o = 2.665v$



$$X_1 = -1.26 \text{ ms}$$

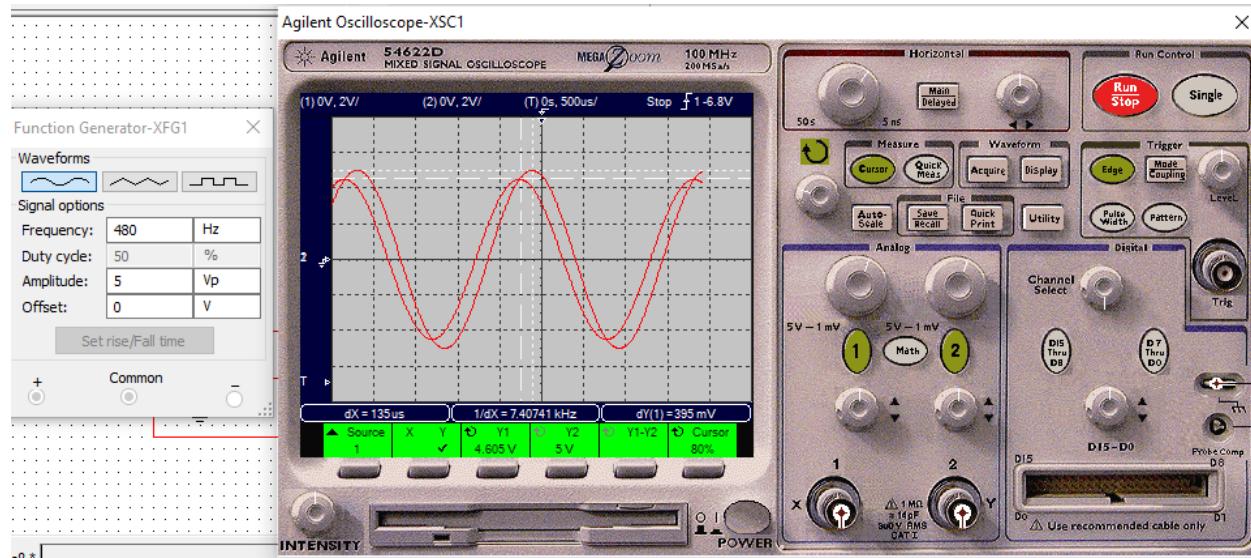
$$X_2 = -2.49 \text{ ms} \Rightarrow \Delta X = \Delta t = 1.23 \text{ ms}$$

میدانیم که اختلاف فاز برابر است با $2 \pi f \Delta t$. پس اختلاف فاز در فرکانس 140 هرتز

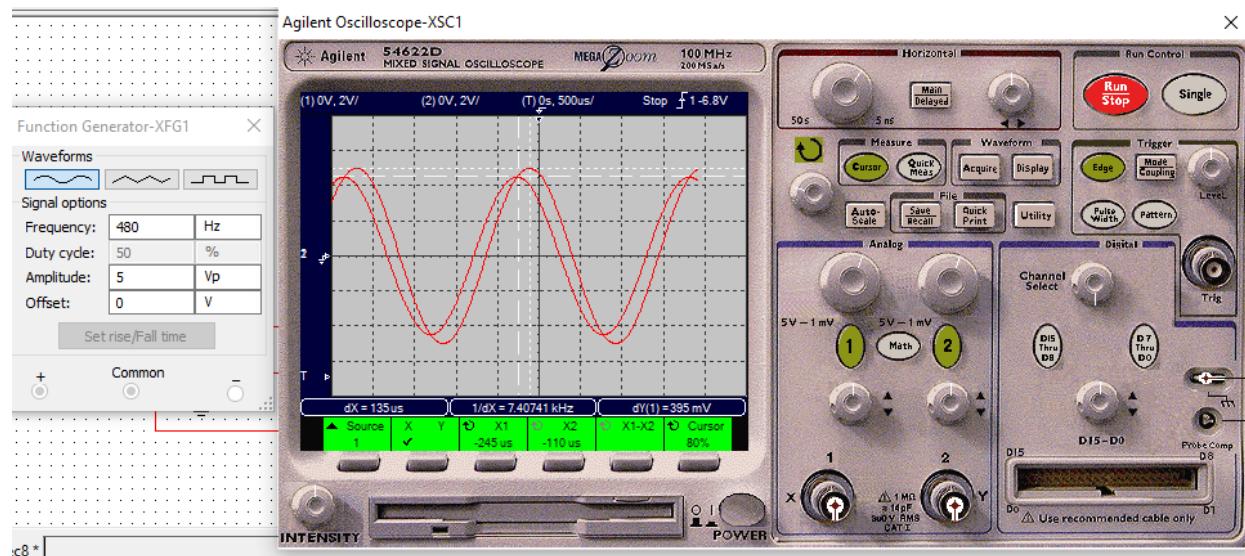
$$(\Delta\phi = 2\pi f \Delta t) : \text{می شود}$$

$$\Delta f = 2 * 3.14 * 140 * 1.23 * 10^{-3} = 1.081$$

برای فرکانس 480 هرتز :



دامنه شکل موج خروجی همان Y1 است که مطابق شکل برابر 4.605v ولت است $V_o = 4.605v$



$$X_1 = -245 \mu s$$

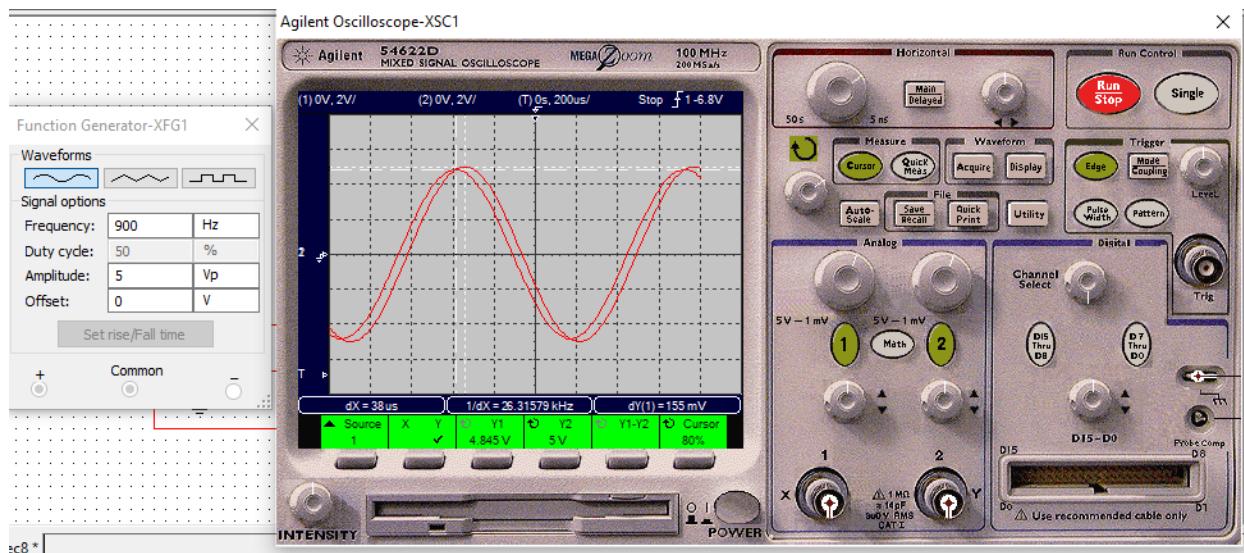
$$X_2 = -110 \mu s \Rightarrow \Delta X = \Delta t = 135 \mu s$$

میدانیم که اختلاف فاز برابر است با $2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta t$ در فرکانس 480 هرتز

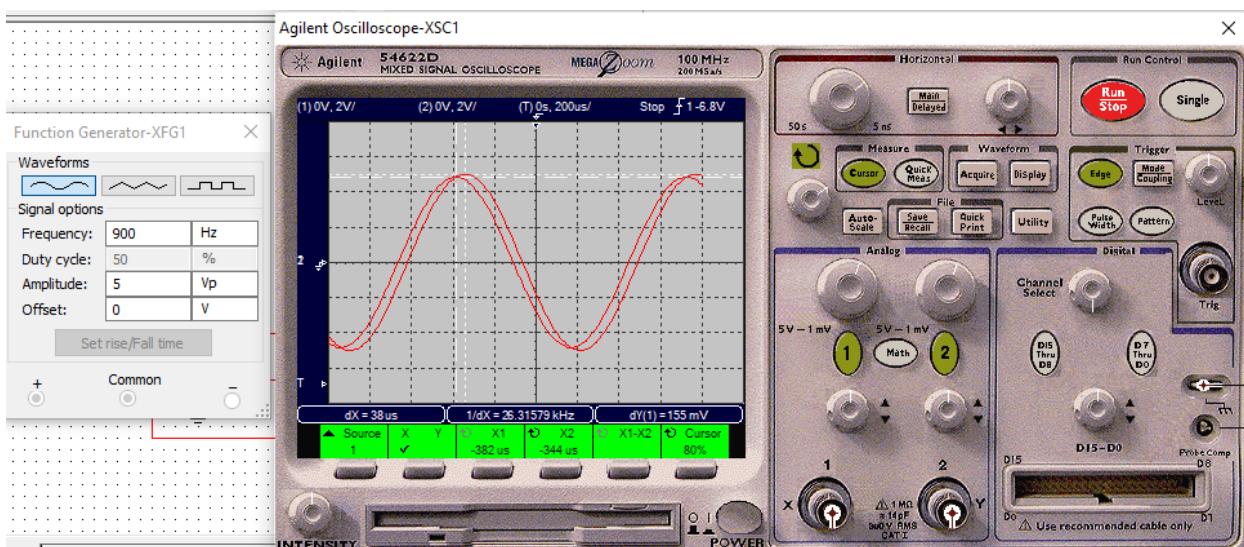
$$(\Delta\phi = 2\pi f \Delta t)$$

$$\text{اختلاف فاز} = 2 \cdot 3.14 \cdot 480 \cdot 135 \cdot 10^{-6} = 0.405$$

برای فرکانس 900 هرتز :



دامنه شکل موج خروجی همان γ_1 است که مطابق شکل برابر 4.845 ولت است



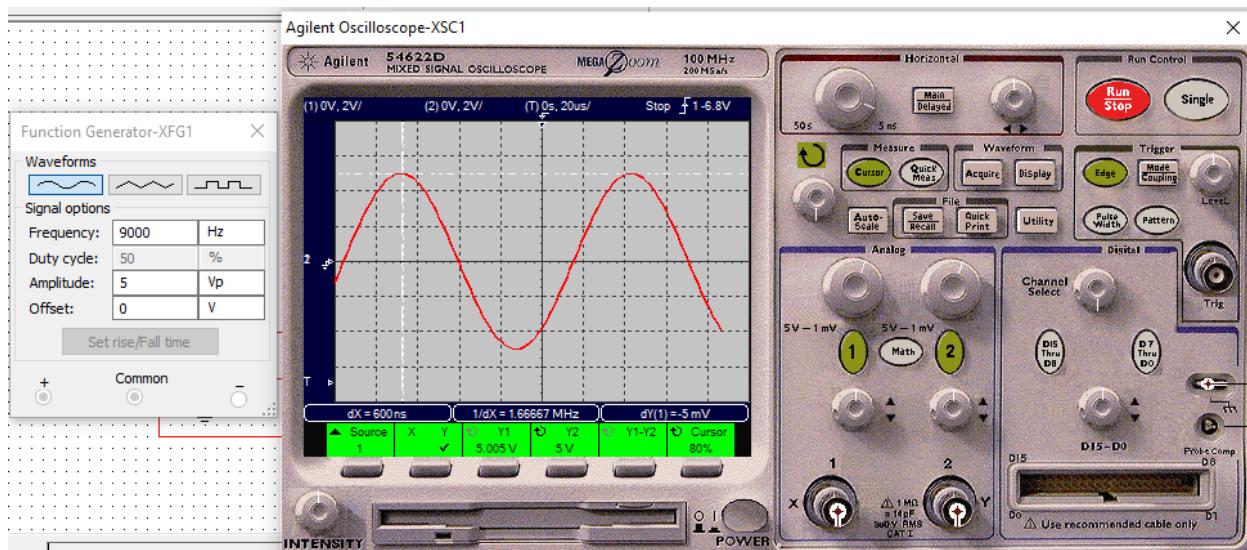
$$X_1 = -382 \mu s$$

$$X_2 = -344 \mu s \Rightarrow \Delta X = \Delta t = 38 \mu s$$

میدانیم که اختلاف فاز برابر است با $\Delta\phi = 2\pi f \Delta t$. پس اختلاف فاز در فرکانس 900 هرتز می شود :

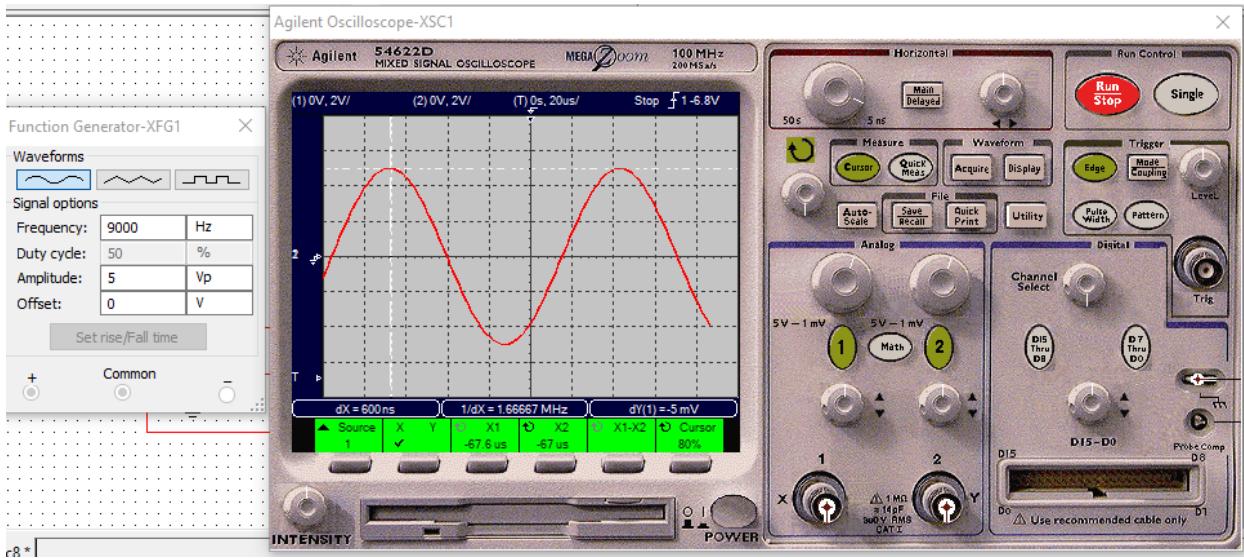
$$\Delta\phi = 2 * 3.14 * 900 * 38 * 10^{-6} = 0.214$$

برای فرکانس 9000 هرتز :



دامنه شکل موج خروجی همان γ_1 است که مطابق شکل برابر 5 ولت است $\Leftrightarrow V_o = 5 V$

دقت شود که اگر مقدار γ_1 برابر 5.005 ولت است به علت خطای اندازه گیری است چرا که دامنه موج خروجی نمی تواند از دامنه موج ورودی که تغذیه مدار است بیشتر شود.



$$X_1 = -67.6 \mu s$$

$$X_2 = -67 \mu s \Rightarrow \Delta X = \Delta t = 600 \text{ ns}$$

میدانیم که اختلاف فاز برابر است با $2\pi f \Delta t$. پس اختلاف فاز در فرکانس 9000 هرتز

$$(\Delta\phi = 2\pi f \Delta t)$$

$$\Delta\phi = 2 * 3.14 * 9000 * 600 * 10^{-9} = 0.034$$

مشاهدات و نتیجه گیری : میدانیم که موج ورودی و موج خروجی تنها در فاز و دامنه اختلاف دارند و گرنه هر دو موج سینوسی با فرکانس ثابت هستند. که این فرکانس ثابت همان فرکانس موج ورودی هست. دیدیم که در فرکانس های پایین موج ورودی و موج خروجی اختلاف فاز و اختلاف دامنه زیادی داشتند اما هر چه که فرکانس موج ورودی را زیاد تر کردیم موج خروجی به موج ورودی نزدیک و نزدیک تر شد(هم از نظر فاز و هم از نظر دامنه). در واقع با افزایش فرکانس موج خروجی به موج ورودی میل می کرد. تا بالاخره در فرکانس بالایی مانند 9000 هرتز بالاخره موج خروجی کاملا به موج ورودی رسید و بر آن منطبق شد یعنی دامنه موج خروجی نیز 5 ولت شد و دو موج ورودی و خروجی هم فاز شدند.

(ب) V_o محاسبه شده از طریق روابط تئوری:

$$A_{V_i} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{i\omega RC}{1+i\omega RC} \rightarrow |A_{V_i}| = \frac{|V_o|}{|V_i|} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \rightarrow |V_o| = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} |V_i|$$

$$|V_i| = 5, \omega = 2\pi f \Rightarrow |V_o| = \frac{10\pi f RC}{\sqrt{1+(2\pi f RC)^2}}$$

$$f = 40 \text{ Hz} \rightarrow |V_o| \approx \frac{10 \times 3,14 \times 40 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}}{\sqrt{1+(2 \times 3,14 \times 40 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9})^2}} \approx \frac{0,85408}{1,18882} \approx 0,71842 \text{ V}$$

$$f = 90 \text{ Hz} \rightarrow |V_o| \approx \frac{10 \times 3,14 \times 90 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}}{\sqrt{1+(2 \times 3,14 \times 90 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9})^2}} \approx \frac{1,92168}{1,27277} \approx 1,50984 \text{ V}$$

$$f = 140 \text{ Hz} \rightarrow |V_o| \approx \frac{10 \times 3,14 \times 140 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}}{\sqrt{1+(2 \times 3,14 \times 140 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9})^2}} \approx \frac{2,98928}{1,33161} \approx 2,24486 \text{ V}$$

$$f = 480 \text{ Hz} \rightarrow |V_o| \approx \frac{10 \times 3,14 \times 480 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}}{\sqrt{1+(2 \times 3,14 \times 480 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9})^2}} \approx \frac{10,24896}{2,29071} \approx 4,49375 \text{ V}$$

$$f = 900 \text{ Hz} \rightarrow |V_o| \approx \frac{10 \times 3,14 \times 900 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}}{\sqrt{1+(2 \times 3,14 \times 900 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9})^2}} \approx \frac{19,21580}{3,97132} \approx 4,83889 \text{ V}$$

$$f = 9000 \text{ Hz} \rightarrow |V_o| \approx \frac{10 \times 3,14 \times 9000 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}}{\sqrt{1+(2 \times 3,14 \times 9000 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9})^2}} \approx \frac{192,16800}{38,44660} \approx 4,99830 \text{ V}$$

که با مقادیر عملی بالا تطابق زیادی دارند.

حال ϕ محاسبه شده از طریق روابط تئوری:

$$\Phi = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega RC} \right) \quad \omega = 2\pi f \quad \longrightarrow \quad \Phi = \tan^{-1} \left(\frac{1}{2\pi f RC} \right)$$

$$f = 40 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx \tan^{-1} \left(\frac{1}{2 \times 3,14 \times 40 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}} \right) \approx 80,306^\circ$$

$$f = 90 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx \tan^{-1} \left(\frac{1}{2 \times 3,14 \times 90 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}} \right) \approx 68,976^\circ$$

$$f = 140 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx \tan^{-1} \left(\frac{1}{2 \times 3,14 \times 140 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}} \right) \approx 59,126^\circ$$

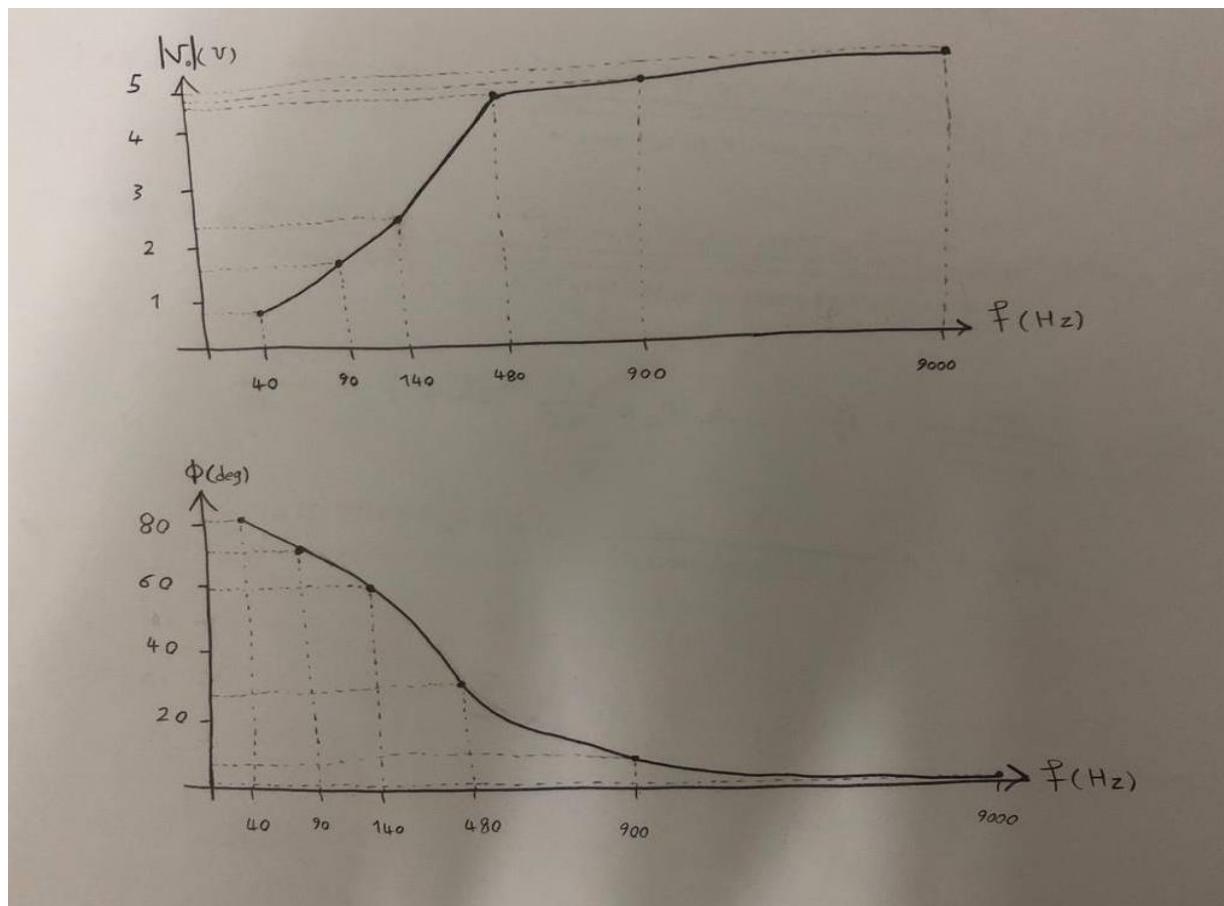
$$f = 480 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx \tan^{-1} \left(\frac{1}{2 \times 3,14 \times 480 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}} \right) \approx 26,005^\circ$$

$$f = 900 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx \tan^{-1} \left(\frac{1}{2 \times 3,14 \times 900 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}} \right) \approx 14,584^\circ$$

$$f = 9000 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx \tan^{-1} \left(\frac{1}{2 \times 3,14 \times 9000 \times 6,8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}} \right) \approx 1,490^\circ$$

(ج) منحنی دامنه و فاز بر حسب فرکانس را برای موج خروجی به کمک اعداد جدول به صورت تقریبی

رسم می کنیم :



(د) برای به دست اوردن فرکانس قطع از فرمول استفاده می کنیم :

$$f = 1 / 2 * \pi * R * C = 1 / 2 * 3.14 * 6.8 * 10^3 * 100 * 10^{-9} = 234.1 \text{ Hz}$$

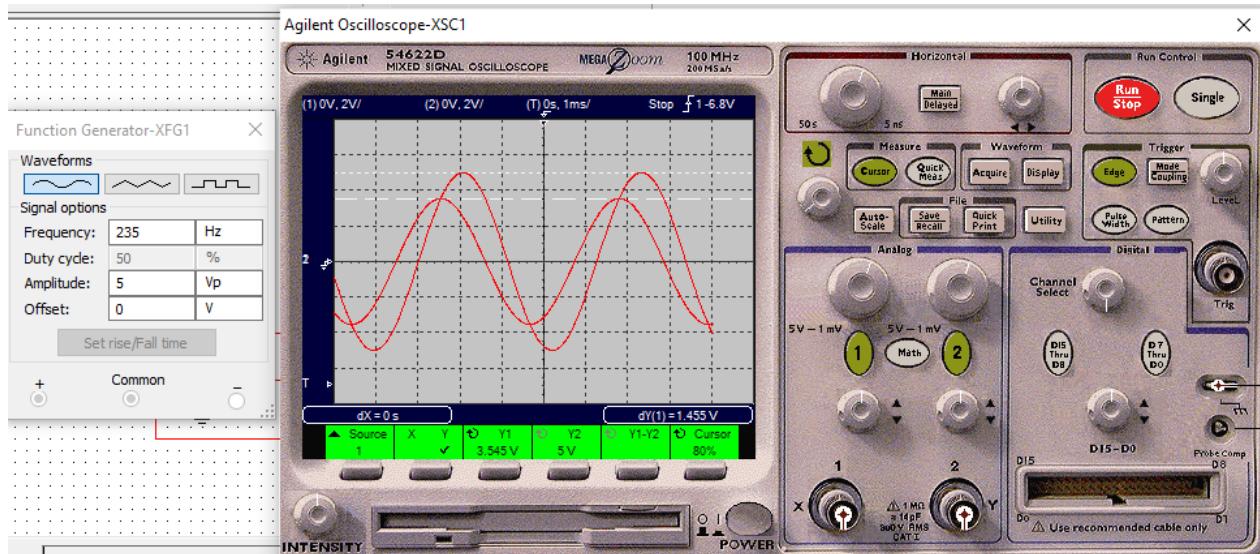
$$\begin{aligned}
 |A_v| &= \frac{|V_o|}{|V_i|} = \frac{\omega R C}{\sqrt{1 + (\omega R C)^2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \rightarrow \omega_c = \frac{1}{R C} \xrightarrow{\omega = 2\pi f} f_c = \frac{1}{2\pi R C} \\
 \Rightarrow f_c &= \frac{1}{2 \times 3.14 \times 6.8 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}} \approx 234,170 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

حال برای به دست آوردن فرکانس قطع از روی اسیلوسکوپ باید فرکانس موج ورودی را آنقدر تغیر دهیم تا مثلث در یک فرکانسی ولتاژ دامنه موج خروجی رادیکال دو دوم دامنه موج ورودی شود. یعنی الان که دامنه موج ورودی 5 ولت است پس باید فرکانسی را پیدا کنیم که در آن فرکانس دامنه موج خروجی برابر است با :

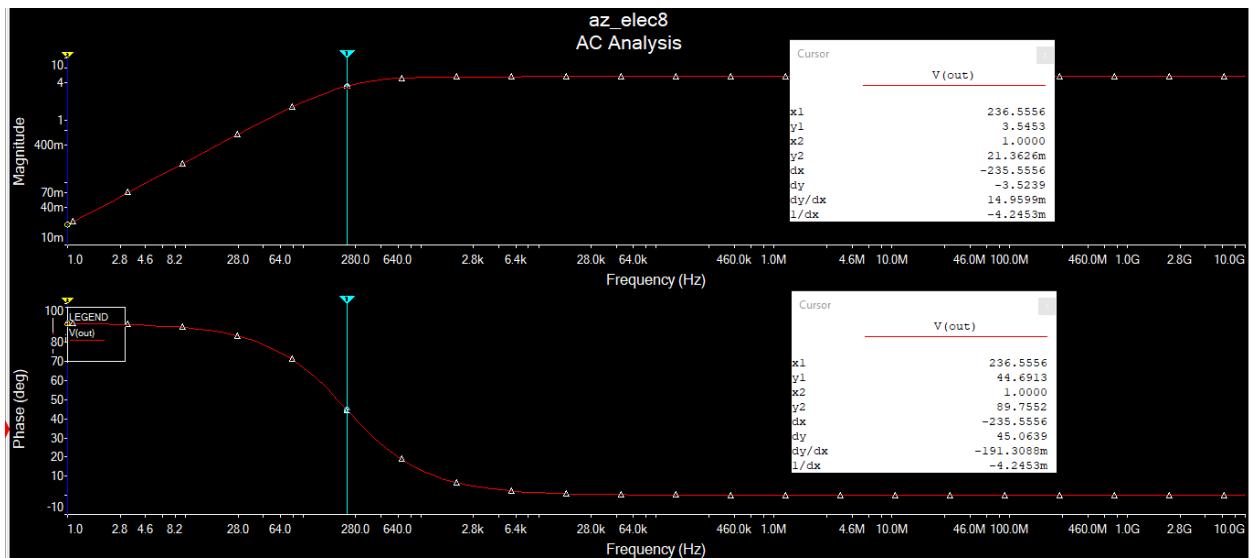
$$5 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 3.535$$

طبق شکل زیر فرکانس فانکشن ژنراتور را روی 235 هرتز قرار دادیم تا دامنه موج خروجی برابر با 3.545 شود که با تقریب بسیار خوبی این مقدار رادیکال دو دوم دامنه موج ورودی است پس 235 هرتز فرکانس قطع ما در روش عملی است. که این مقدار با فرکانس قطع در روش تئوری نیز با اختلاف بسیار کمی برابر است .

در شکل زیر دامنه موج خروجی همان مقدار ۷۱ است که با کرس مقدار ان را مشخص کردیم.



۵) نمودار دامنه و فاز بر حسب فرکانس به کمک نرم افزار به شکل زیر است:



برای اندازه گیری فرکانس قطع از روی نمودار بالای نقطه ای را انتخاب می کنیم که مقدار دامنه یا همان magnitude برابر مقدار تئوری 3.535 که در قسمت قبل به دست آوردهیم باشد که مشاهده می کنیم در فرکانس 236.5 این اتفاق می افتد پس مقدار فرکانس قطع در این روش برابر 236.5 هرتز است که با مقادیر قبلی همخوانی خوبی دارد. همچنین از روی نمودار پایینی می توانیم بفهمیم که در فرکانس قطع مقدار فاز موج خروجی برابر با 44.7 است.

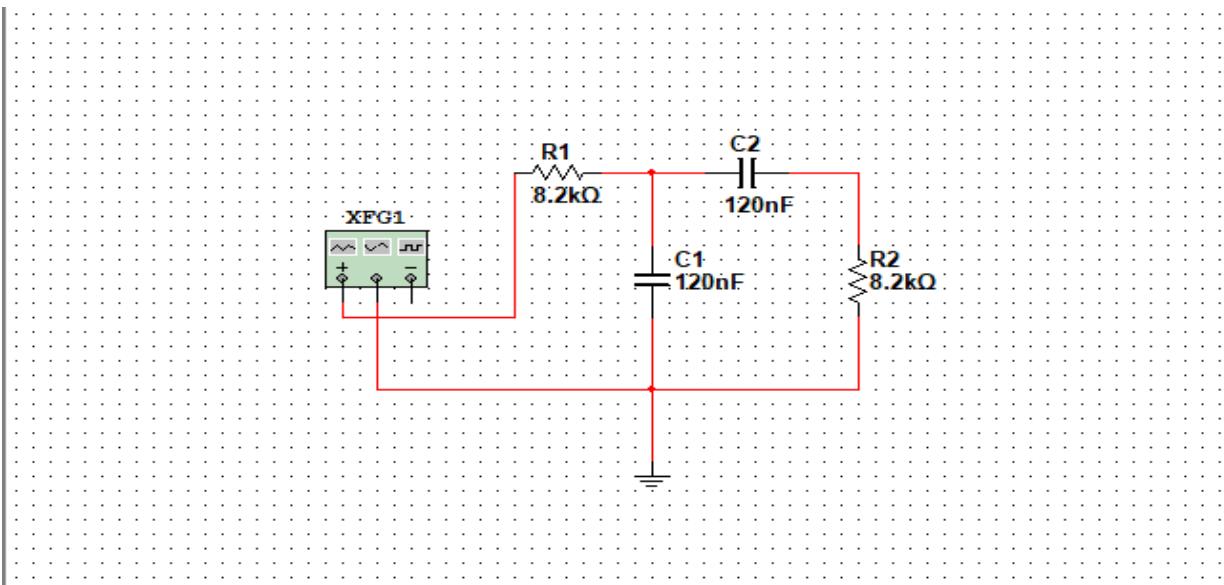
در واقع این دو نمودار همان نتیجه گیری ما است که با افزایش فرکانس دامنه موج خروجی با 5 ولت نزدیک و نزدیک تر شده اما به محض اینکه دامنه موج خروجی به 5 ولت برسد دیگر هرچقدر هم فرکانس را زیادتر کنیم دامنه موج خورجی از 5 ولت بالاتر نمی رود و دلیل آن هم این است که دامنه موج ورودی که منبع مدار است حداقل 5 ولت است پس دامنه موج خروجی دیگر نمی تواند بیشتر از 5 ولت باشد. همچنین با افزایش فرکانس فاز موج خروجی نیز به صفر نزدیکتر شده تا در نهایت فاز موج خروجی برابر صفر شده و بر شکل موج ورودی منطبق می شود. (هم موج ورودی هم موج خروجی فاز صفر دارند و همافز هستند).

همچنین این دو نمودار با دو نموداری که در قسمت ج کشیدیم تقریباً یکسان هستند و دلیل تقریبی بودن آن هم این است که ما نمودار های فسمت ج را با 6 نقطه کشیدیم و شکل ما حدودی است. پس انتظار داریم به ازای نقاط بیشتر و امتحان کردن فرکانس های بیشتر بتوانیم اطلاعات بیشتری راجع به دو نمودار

دامنه و فاز بر حسب فرکانس برسیم و انهارا با دقت بیشتری رسم کنیم و در نهایت همخوانی بیشتری با دو نمودار رسم شده توسط نرم افزار داشته باشیم.

ساخت فیلتر میانگذر به کمک دو فیلتر پایین گذر و بالا گذر

ابتدا مدار را با شکل زیر می بندیم :



الف و ب) در مقدمه دستورکار دوره حضوری به دست آوردیم که :

$$\phi = \arcsin(\gamma_{x=0} / \gamma_0) \quad \text{و همچنین در نظر گرفتیم که : } \beta = \gamma_0 \quad \text{و} \quad \alpha = \gamma_{x=0}$$

ابتدا در شکل های زیر محور ۷ لیساژو موج خروجی و محور X لیساژو موج ورودی است.

پس V_0 همان ماکریم شکل ما در راستای ۲ است چرا که گفتیم محور ۲ موج خروجی ما می باشد.

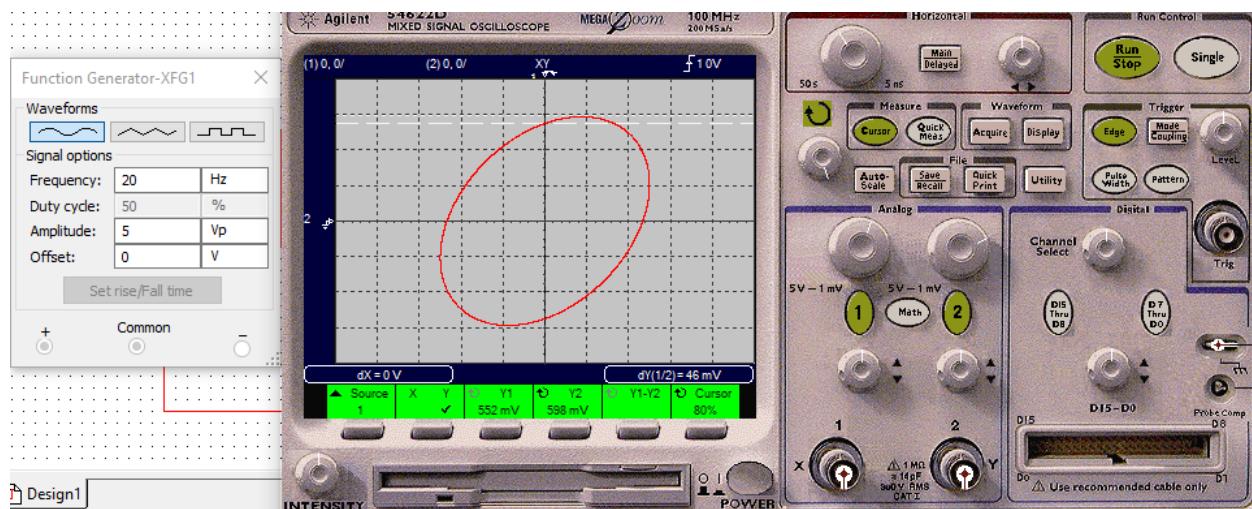
پس برای اندازه گیری V_0 از یک کرس استفاده می کنیم و ان را روی ماکریم شکل در راستای ۲ می

گزاریم. همچنین از انجایی که $V_0 = \beta$ پس مقدار بتانیز با V_0 برابر می باشد.

اندازه α نیز از 0° است تا جایی که شکل ما محور ۲ ها را قطع کرده است که یعنی همان $y_{x=0}$ که

مقدار آلفا را نیز با یک کرس دیگر مشخص کردیم که در عکس های زیر مشخص هستند.

در فرکانس 20 هرتز :



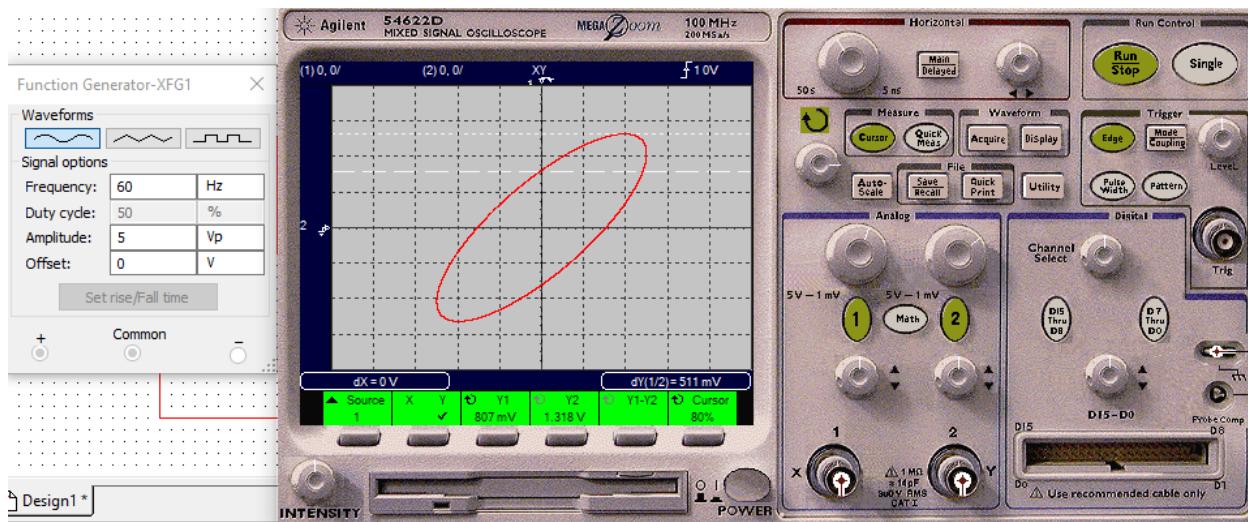
$$\alpha = 552 \text{ mV}$$

$$\beta = 598 \text{ mV}$$

$$V_0 = 598 \text{ mV}$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\alpha}{\beta} = \sin^{-1} (552 / 598) = 67.380$$

در فرکانس 60 هرتز:



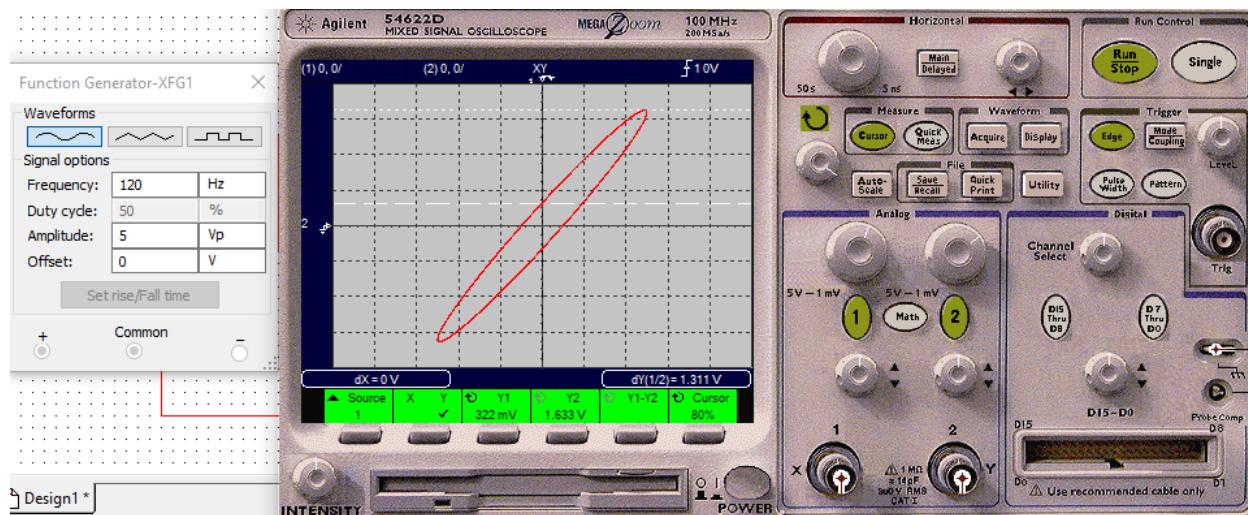
$$\alpha = 807 \text{ mV}$$

$$\beta = 1.318 \text{ v}$$

$$V_o = 1.318 \text{ v}$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\alpha}{\beta} = \sin^{-1} (807 / 1318) = 37.755$$

در فرکانس 120 هرتز :



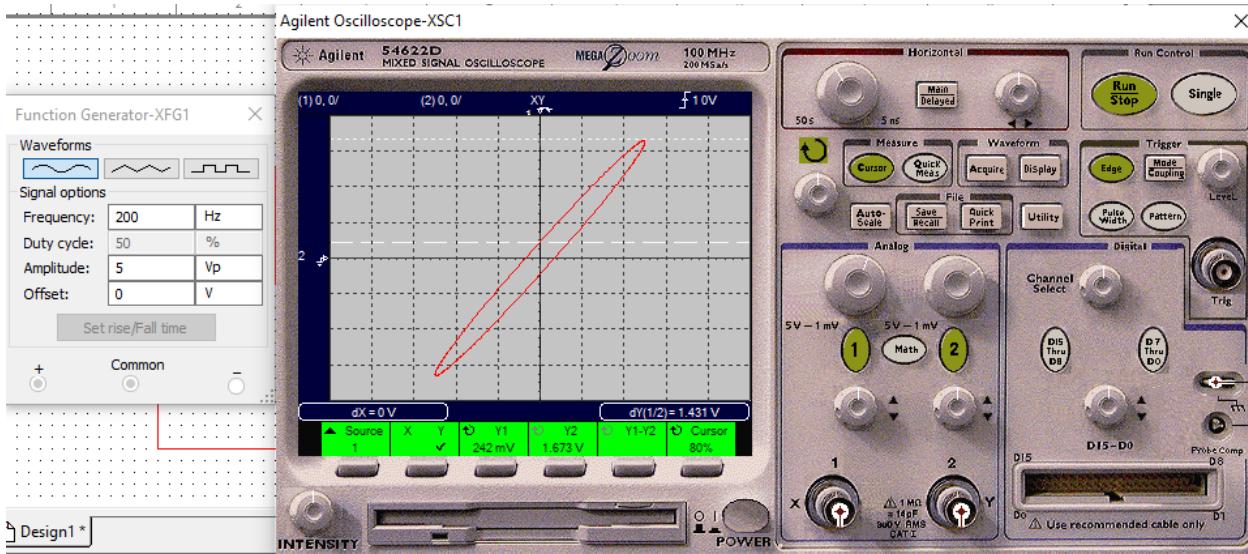
$$\alpha = 322 \text{ mV}$$

$$\beta = 1.633 \nu$$

$$V_o = 1.633 \nu$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\alpha}{\beta} = \sin^{-1} (322 / 1633) = 11.372$$

در فرکانس 200 هرتز:



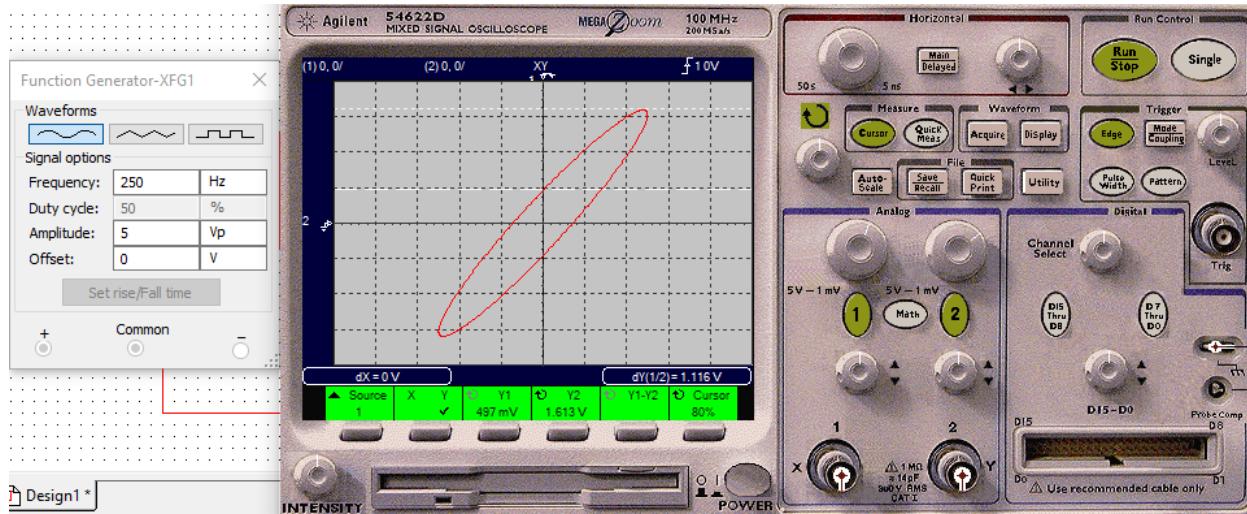
$$\alpha = 242 \text{ m}\nu$$

$$\beta = 1.673 \nu$$

$$V_o = 1.673 \nu$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\alpha}{\beta} = \sin^{-1} (242/1673) = 8.317$$

در فرکانس 250 هرتز:



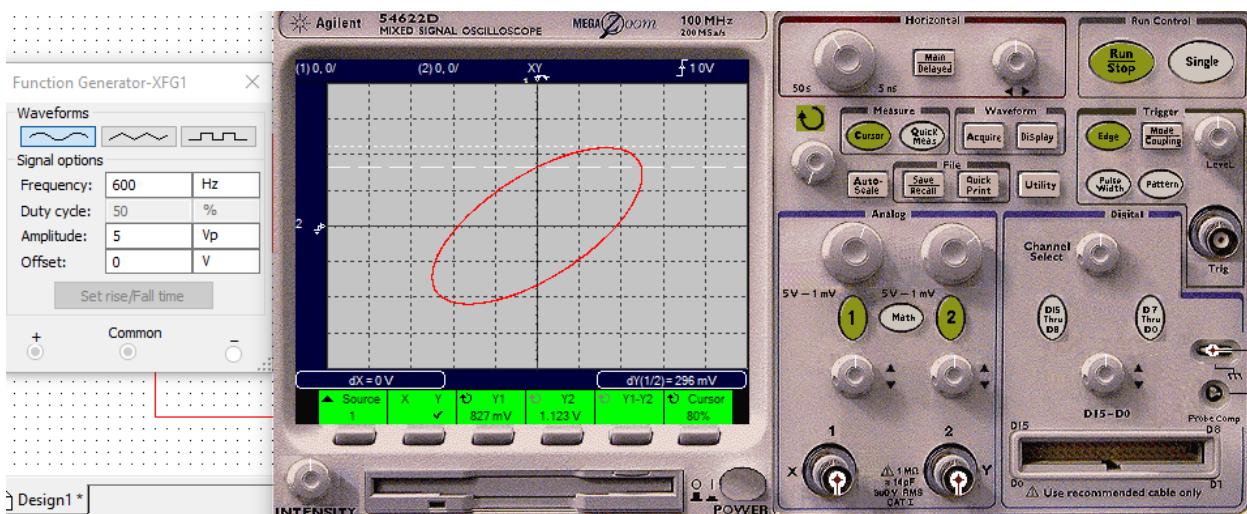
$$\alpha = 497 \text{ mv}$$

$$\beta = 1.613 \nu$$

$$V_o = 1.613 \text{ v}$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\alpha}{\beta} = \sin^{-1} (497 / 1613) = 17.146$$

در فرکانس 600 هرتز :



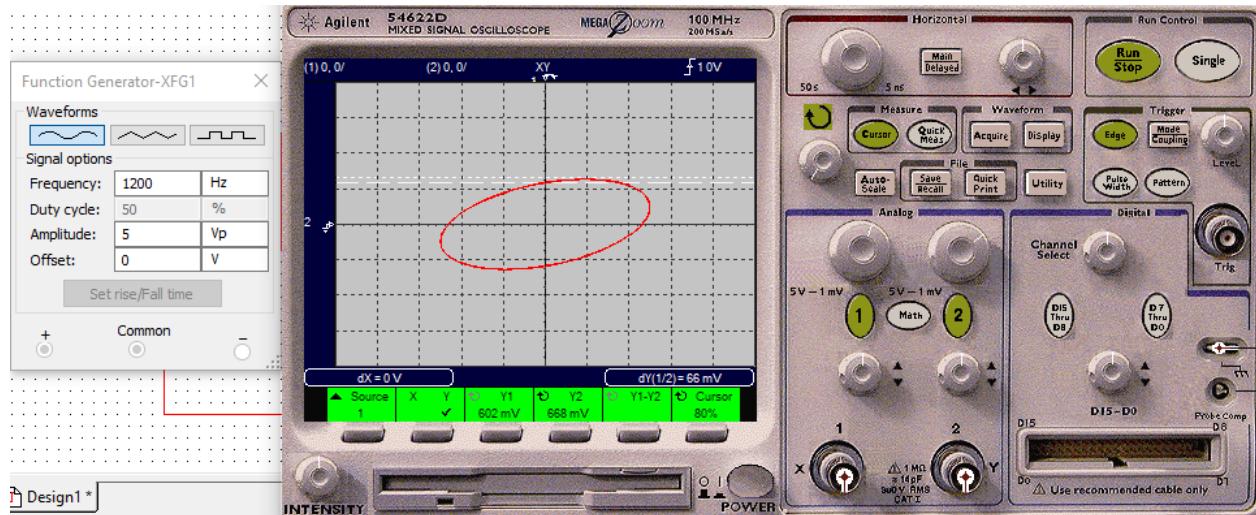
$$\alpha = 827 \text{ mv}$$

$$\beta = 1.123 \nu$$

$$V_o = 1.123 \nu$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\alpha}{\beta} = \sin^{-1} (827 / 1123) = 47.727$$

در فرکانس 1200 هرتز :



$$\alpha = 602 \text{ mv}$$

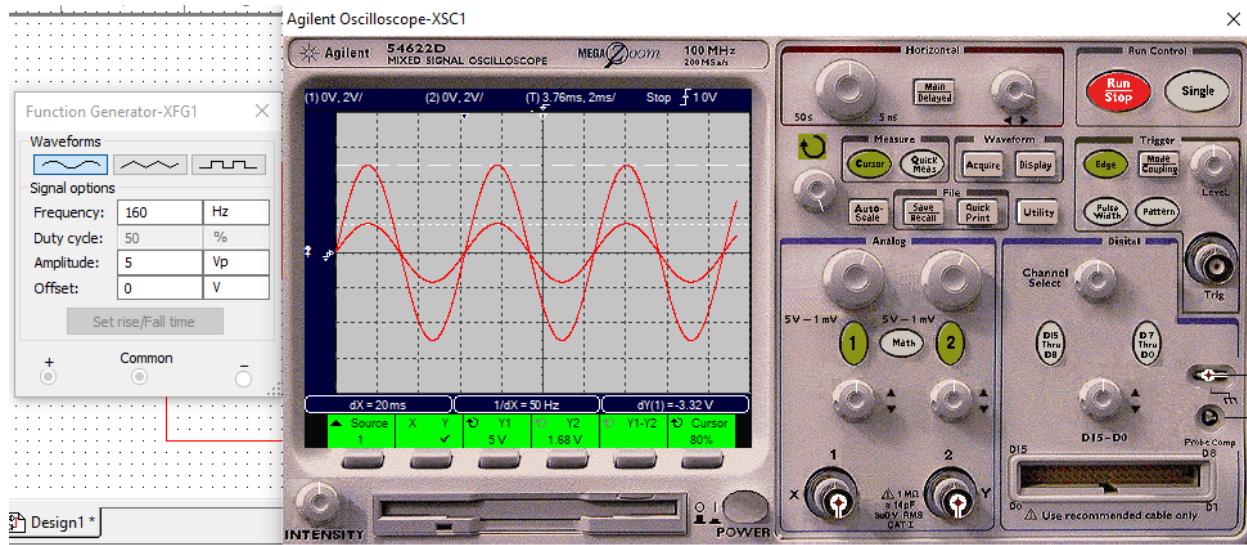
$$\beta = 668 \text{ mv}$$

$$V_o = 668 \text{ mv}$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\alpha}{\beta} = \sin^{-1} (602 / 668) = 64.315$$

ج) می دانیم که در فرکانس مرکزی مقدار ماکزیمم دامنه خروجی رخ می دهد که مقدار آن برابر با یک سوم دامنه موج ورودی است.

پس مقدار ماکزیم دامنه خروجی طبق شکل زیر برابر با 1.68 است و همچنین فرکانس مرکزی ما برابر است با 160 هرتز. که حدودا 1.68 ولت یک سوم دامنه موج ورودی که 5 ولت است می باشد.



روابط تئوری نیز به شکل زیر است که با مقادیر به دست آمده همخوانی دارد :

$$\frac{d|A_r|}{d\omega} = 0 \rightarrow \omega = \frac{1}{RC} \xrightarrow{\omega=2\pi f} f_o = \frac{1}{2\pi RC} \approx \frac{1}{2 \times 3.14 \times 8.2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9}} \approx 161,824 \text{ Hz}$$

$$A_r(f_o) = \frac{i}{1+3i-1} = \frac{1}{3} \rightarrow \frac{|V_o|_{\max}}{|V_i|} = \frac{1}{3} \rightarrow |V_o|_{\max} = \frac{1}{3} |V_i| = \frac{5}{3} \approx 1.666 \text{ V}$$

حال می دانیم در دو فرکانس ، مقدار موج خروجی به رادیکال دو دوم مقدار ماکزیمم خود که در فرکانس مرکزی رخ می دهد می رسد که به این دو فرکانس، فرکانس قطع بالا و قطع پایین می گویند. حال در دو شکل زیر فرکانس را به گونه ای تغییر می دهیم تا مقدار دامنه خروجی رادیکال دو دوم ماکزیمم خود که 1.68 بود برسد:

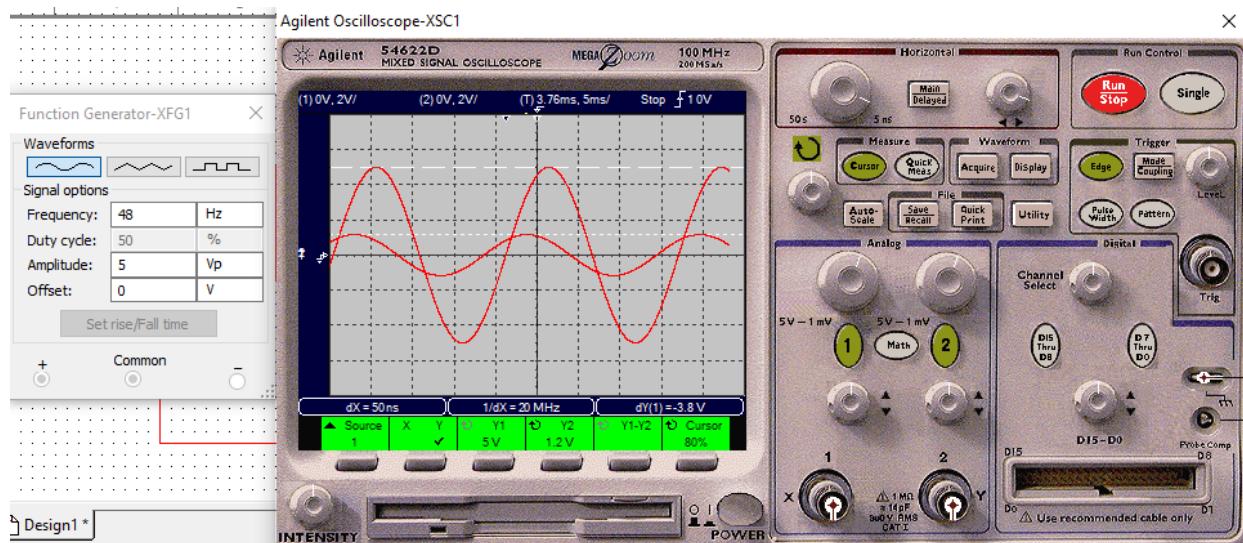
$$1.68 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 1.19 v$$

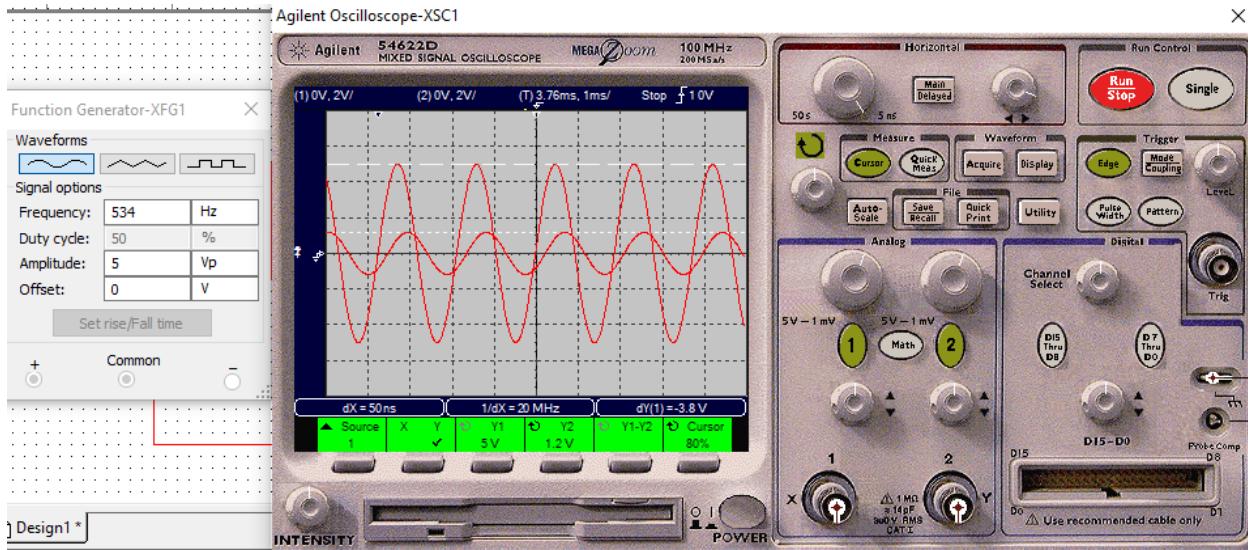
که در دو شکل زیر در دو فرکانس 48 هرتز و 534 هرتز مقدار دامنه خروجی به عدد 1.2 رسیده است که همان رادیکال دو دوم مقدار ماکزیممش است. پس توانستیم فرکانس های قطع بالا و قطع پایین را پیدا کنیم:

فرکانس قطع پایین = 48 هرتز

فرکانس قطع بالا = 534 هرتز

مقدار دامنه خروجی را نیز با کرسر Y2 مشخص کرده ایم که در هر دو شکل مقدار Y2 برابر با 1.2 ولت است.





همچنین مقدار پهنای باند که اختلاف دو فرکانس قطع بالا و قطع پایین می باشد برابر است با :

$$\text{مقدار پهنای باند} = 534 - 486 = 48$$

روابط تئوری نیز به شکل زیر است که با مقادیر به دست آمده همخوانی دارد :

$$\frac{d|A_r|}{d\omega} = 0 \rightarrow \omega = \frac{1}{RC} \xrightarrow{\omega=2\pi f_0} f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \approx \frac{1}{2 \times 3,14 \times 8,2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9}} = 161,824 \text{ Hz}$$

$$A_r(f_0) = \frac{i}{1+3i-1} = \frac{1}{3} \rightarrow \frac{|V_o|_{\max}}{|V_i|} = \frac{1}{3} \rightarrow |V_o|_{\max} = \frac{1}{3} |V_i| = \frac{5}{3} \approx 1,666 \text{ V}$$

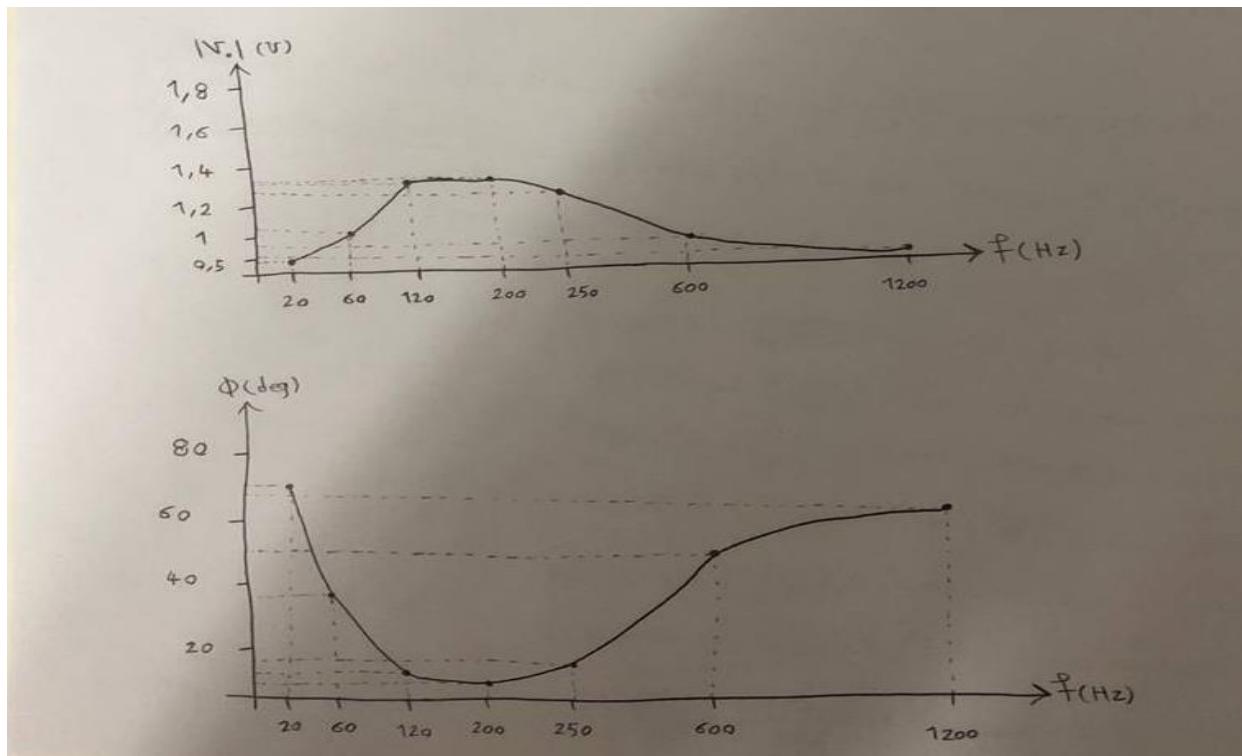
$$|A_r| = \frac{\sqrt{2}}{6} \rightarrow \begin{cases} \omega_1 = \frac{3,3}{RC} & \xrightarrow{\omega=2\pi f_1} f_1 = \frac{3,3}{2\pi RC} = \frac{3,3}{2 \times 3,14 \times 8,2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9}} \approx 534,022 \text{ Hz} \\ \omega_2 = \frac{0,3}{RC} & \xrightarrow{\omega=2\pi f_2} f_2 = \frac{0,3}{2\pi RC} = \frac{0,3}{2 \times 3,14 \times 8,2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9}} \approx 48,547 \text{ Hz} \end{cases}$$

$$\rightarrow BW = f_1 - f_2 = 534,022 - 48,547 = 485,475 \text{ Hz}$$

روش دم برای $f_0 = \sqrt{f_1 f_2} = \sqrt{534,022 \times 48,547} \approx 161,012 \text{ Hz}$

(۵) منحنی دامنه و فاز بر حسب فرکانس را برای موج خروجی به کمک اعداد جدول به صورت تقریبی

رسم می کنیم :



(۵) ϕ و V_o محاسبه شده از طریق روابط تئوری:

$$A_{\text{v}_s} = \frac{\text{V}_s}{\text{V}_i} = \frac{i\omega RC}{1 + 3i\omega RC - (\omega RC)^2} \rightarrow |A_{\text{v}_s}| = \frac{|\text{V}_s|}{|\text{V}_i|} = \frac{\omega RC}{\sqrt{(1 - (\omega RC)^2)^2 + (3\omega RC)^2}}$$

$$|\text{V}_i| = 5, \omega = 2\pi f \Rightarrow |\text{V}_s| = \frac{10\pi f RC}{\sqrt{(1 - (2\pi f RC)^2)^2 + (6\pi f RC)^2}}$$

$$R = 8,2 \times 10^3, C = 120 \times 10^{-9} \rightarrow |\text{V}_s| = \frac{10 \times 3,14 \times \pi \times 8,2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9}}{\sqrt{(1 - (2 \times 3,14 \times \pi \times 8,2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9})^2)^2 + (6 \times 3,14 \times \pi \times 8,2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9})^2}}$$

$$\Rightarrow |\text{V}_s| = \frac{0,0308976\pi}{\sqrt{(1 - 38,186467\pi^2)^2 + 343,678206\pi^2}}$$

$$f = 20 \text{ Hz} \rightarrow |\text{V}_s| \approx 0,47004 \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz} \rightarrow |\text{V}_s| \approx 1,05392 \text{ V}$$

$$f = 120 \text{ Hz} \rightarrow |\text{V}_s| \approx 1,30694 \text{ V}$$

$$f = 200 \text{ Hz} \rightarrow |\text{V}_s| \approx 1,3199 \text{ V}$$

$$f = 250 \text{ Hz} \rightarrow |\text{V}_s| \approx 1,27725 \text{ V}$$

$$f = 500 \text{ Hz} \rightarrow |\text{V}_s| \approx 0,87634 \text{ V}$$

$$f = 1200 \text{ Hz} \rightarrow |\text{V}_s| \approx 0,50774$$

$$\Phi = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{3\omega RC}{1 - (\omega RC)^2}\right) \quad \omega = 2\pi \rightarrow \Phi = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{6\pi f RC}{1 - (2\pi f RC)^2}\right)$$

$$R = 8,2 \times 10^3, C = 120 \times 10^{-9} \rightarrow \Phi = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{6 \times 3,14 \times \pi \times 8,2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9}}{1 - (2 \times 3,14 \times \pi \times 8,2 \times 10^3 \times 120 \times 10^{-9})^2}\right)$$

$$\Rightarrow \Phi \approx 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0,018538\pi}{1 - 0,000038\pi^2}\right)$$

$$f = 20 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0,37076}{0,9848}\right) \approx 69,369^\circ$$

$$f = 60 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{1,11228}{0,8632}\right) \approx 37,813^\circ$$

$$f = 120 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{2,22456}{0,4528}\right) \approx 11,505^\circ$$

$$f = 200 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{3,7076}{-0,52}\right) \approx -8,121^\circ$$

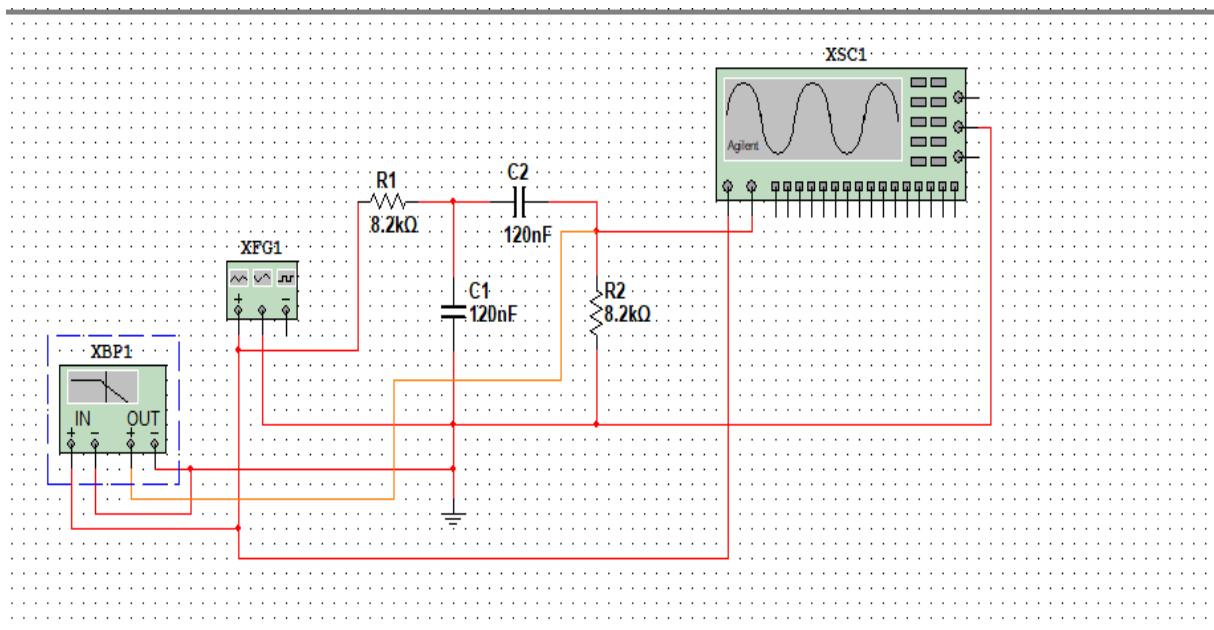
$$f = 250 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{4,6345}{-1,375}\right) \approx -16,525^\circ$$

$$f = 500 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{11,1228}{-12,68}\right) \approx -48,744^\circ$$

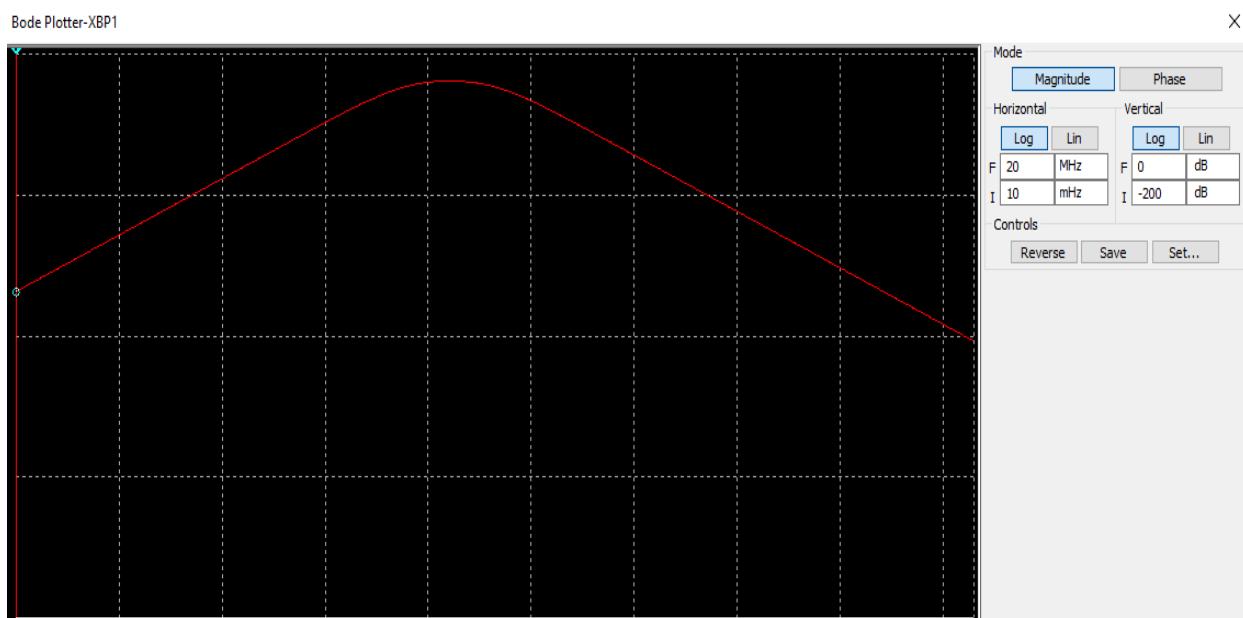
$$f = 1200 \text{ Hz} \rightarrow \Phi \approx 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{22,2456}{-53,72}\right) \approx -67,506^\circ$$

اگر مشاهده کنیم می بینیم که مقادیر تئوری تئوری V_0 و Φ با مقادیر شبیه سازی شده در قسمت الف و ب هموارانی بسیار زیادی دارد.

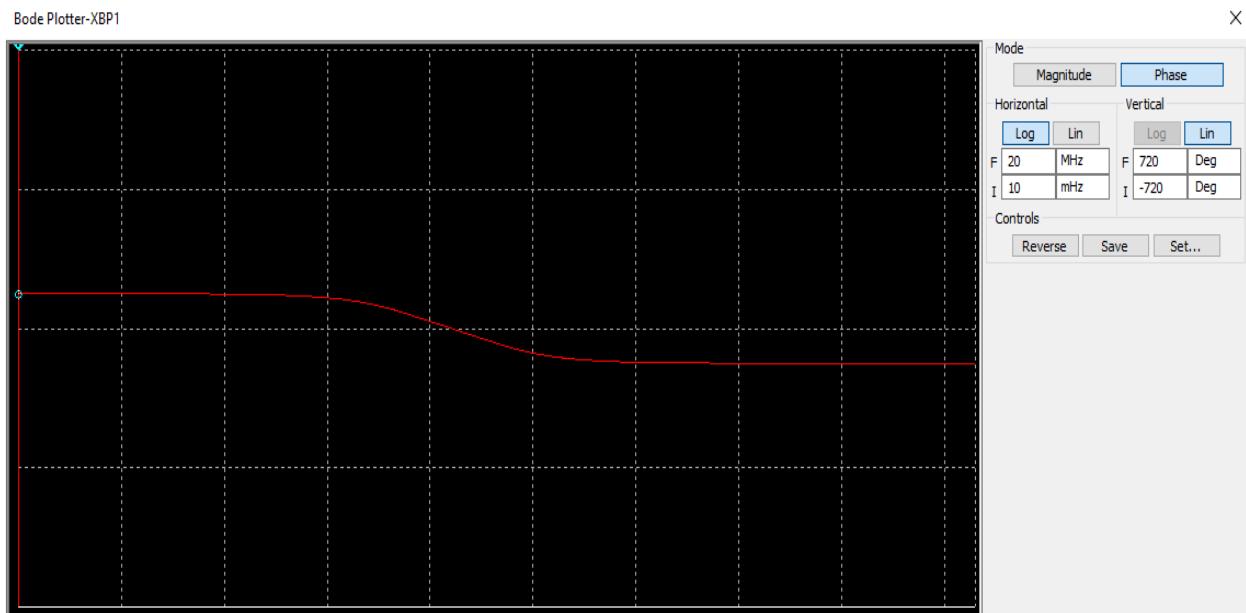
و) از دستگاه bode plotter که در نرم افزار استفاده می کنیم:



شکل زیر نیز منحنی دامنه موج خروجی بر حسب فرکانس است :

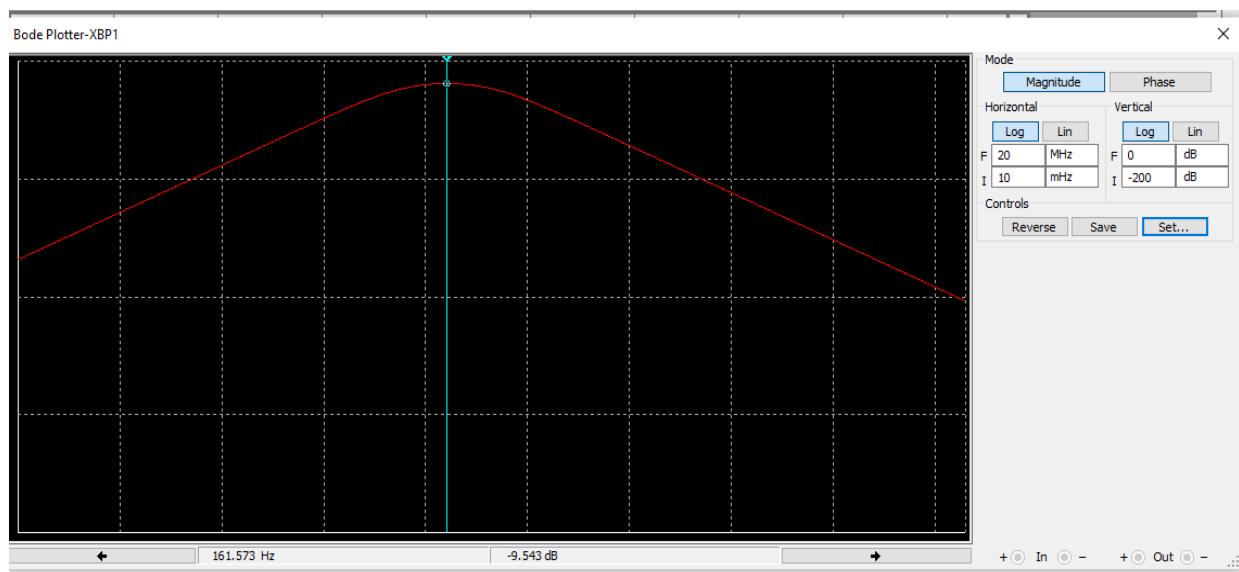


همچنین شکل زیر فاز بر حسب فرکانس برای خروجی می باشد :

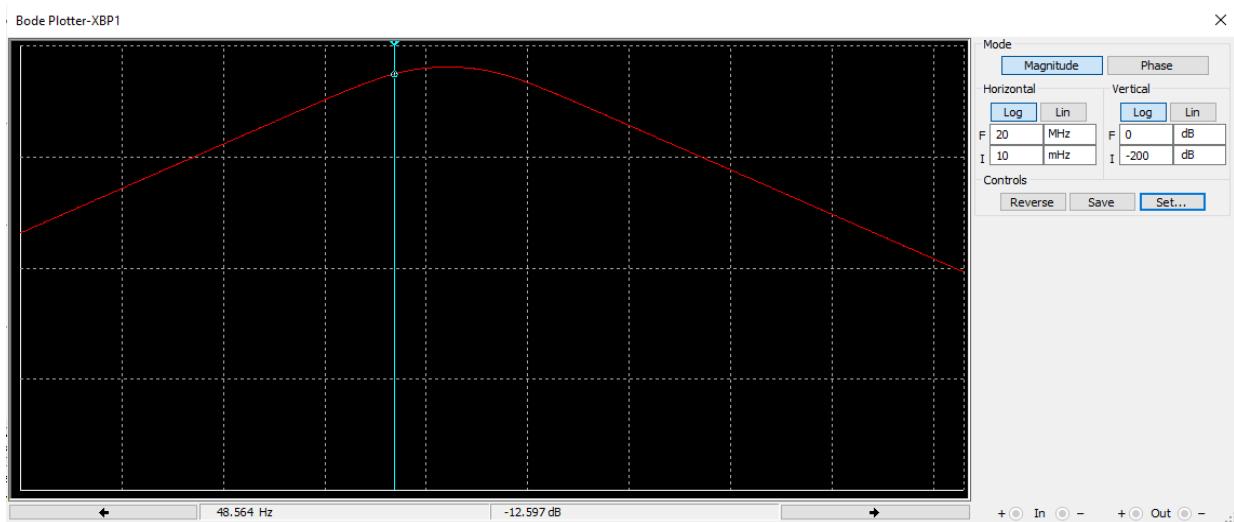


ماکزیمم دامنه خروجی نیز در 161 هرتز رخ می دهد که قبلا نیز به این مقدار رسیده بودیم.

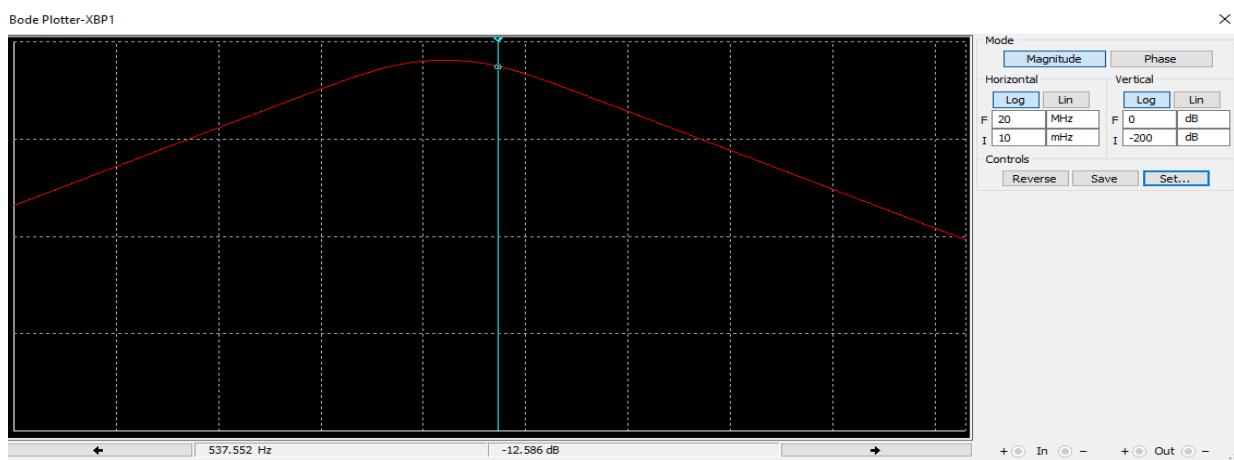
همچنین مقدار ماکزیمم دامنه در شکل برابر است با 9.5 دسی بل ولت است.



حال برای رسیدن به فرکانس قطع پایین آنقدر روی نمودار عقب می رویم تا مقدار دسی بل ما مفهی 3 شود یعنی از مقدار 9.5- به مقدار 12.5- دسی بل برسد . که مشاهده می کنیم فرکانس قطع پایین مقدار 48.5 هرتز دارد که با مقدار به دست آمده قبلی همخوانی دارد. (مقدار به دست آمده در قبل 48 هرتز بود).



همچنین برای فرکانس قطع بالا به مقدار دسی بل 3 واحد اضافه می کنیم یعنی باید از مقدار 9.5- به مقدار 6.5- دسی بل برویم . که مشاهده می کنیم فرکانس قطع بالا ما مقدار 537.5 هرتز دارد که با مقدار قبلی به دست آمده همخوانی دارد. (مقدار به دست آمده در قبل 534 هرتز بود).



که پهنهای باند همان اختلاف فرکانس قطع بالا و پایین است که برابر است با :

$$\text{پهنهای باند} = 537.5 - 48.5 = 489 \text{ hz}$$

که این مقدار به مقدار قبلی به دست امده بسیار نزدیک است که مقدار قبلی برای پهنهای باند 486 هرتز بود.