

Disciplina: Eletrônica 3 | Professor(a): Luis Carlos Martinhago Schlichting

Curso: Engenharia Eletrônica

Câmpus Florianópolis

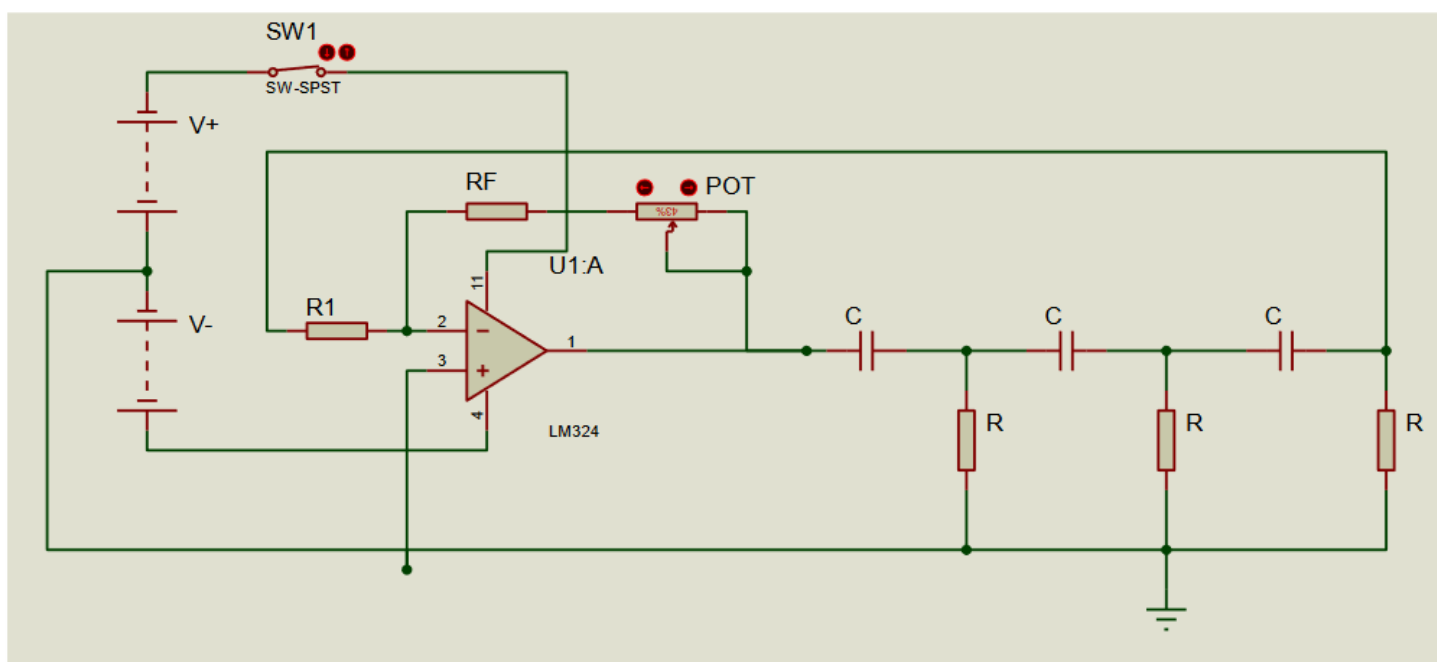
Aluno: Rafael Suzin

# Osciladores RC por defasamento

## Objetivo

A criação de um oscilador por defasamento que oscile na frequência de 950 Hz

## Circuito fornecido

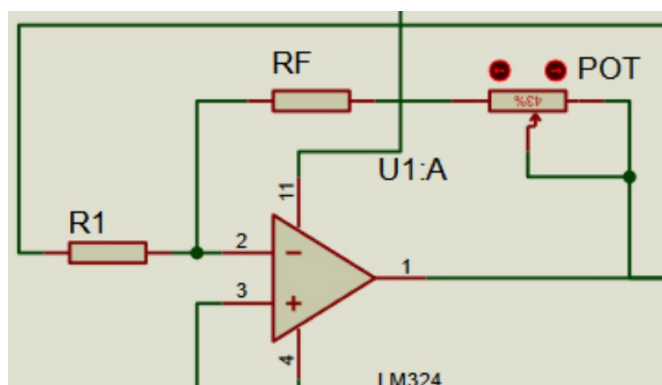


Oscilador RC por defasagem

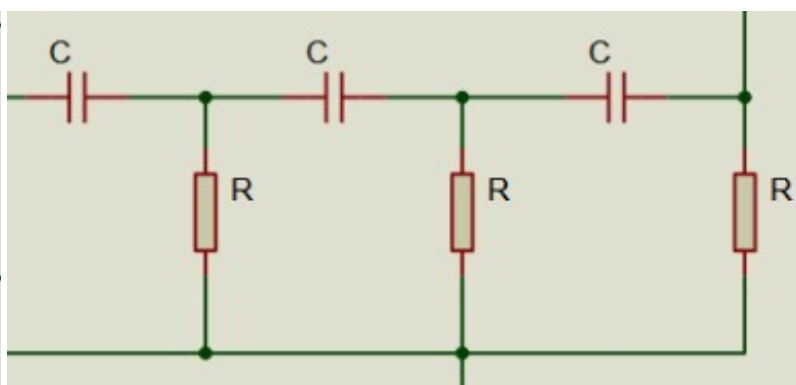
## Introdução

Para que o circuito oscile na frequência desejada de 950 Hz é necessário que para essa frequência os critérios de Brakhausen sejam cumpridos, a soma das defasagens dos dois blocos deve resultar em 0° ou 360° e o produto entre o ganho dos blocos deve resultar em 1.

O circuito fornecido é formado de dois blocos, sendo o primeiro um amplificador não inversor que utiliza um LM324 e será chamado de bloco A, o segundo é formado por uma associação de resistores e capacitores e será chamado de bloco B.



Bloco A



Bloco B

## Definição dos componentes

Para garantir que o circuito cumpra os critérios e assim oscile, e considerando que o bloco A é um amplificador inversor e sendo assim defasa em 180°, o Bloco B deve também defasar em 180°, considerando inicialmente, por simplicidade, todos os resistores e capacitores do bloco iguais, e com essa restrição, através da função de transferência do bloco B a seguinte fórmula foi obtida para que a frequência de oscilação fosse 950 Hz:

$$f := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{6} \cdot R \cdot C}$$

Essa fórmula estabelece a relação entre os resistores e capacitores do bloco RC e foi usada para a primeira tentativa de definir seus valores.

Primeiro foi escolhido o valor dos capacitores como 100 nF e dessa forma se obteve os valores de resistor sendo:

$$C := 100 \text{ nF}$$

$$R := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{6} \cdot f \cdot C} = 683.9445624857 \text{ } \Omega$$

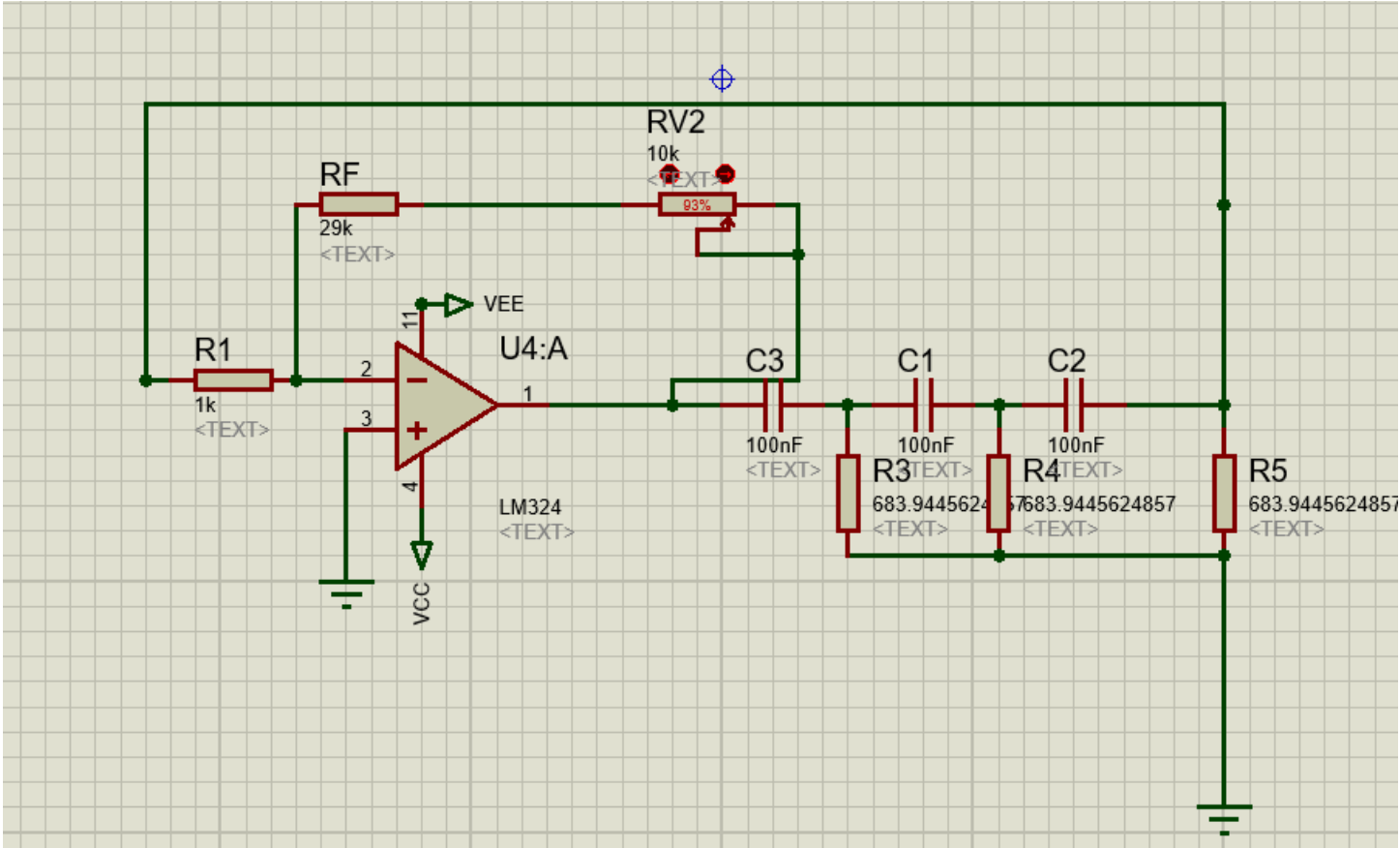
Outra informação obtida no bloco B através das restrições feitas anteriormente é de que o ganho desse bloco é:  $G_B = \frac{1}{29}$

E mais uma vez para que os critérios sejam cumpridos, o ganho do bloco A deve ser de 29, assim os valores dos resistores do bloco A foram inicialmente decididos por simplicidade sendo:

$$R_1 := 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_f := R_1 \cdot 29 = 29 \text{ k}\Omega$$

Dessa forma o primeiro circuito foi o seguinte

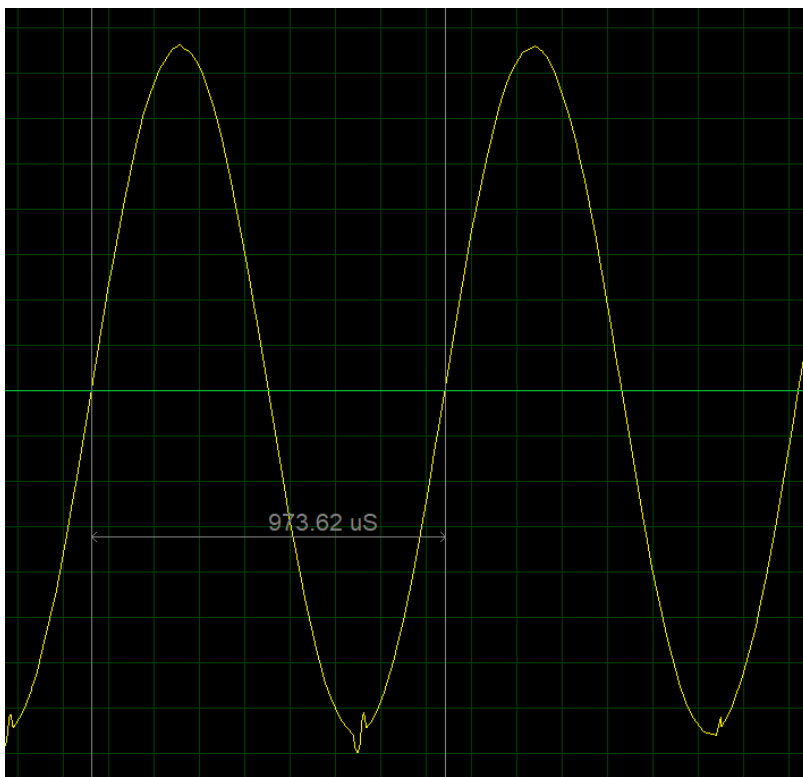


## Primeira tentativa

No bloco do amplificador há um potenciômetro que permite ajustar o ganho do bloco e assim aumentar o ganho até que o sinal pare de “morrer”, mas na primeira tentativa esse potenciômetro deve que ser colocado quase no máximo e era um de 10 k $\Omega$ , o que já mostrou um grande número de erros acontecendo com o circuito.

O ganho do bloco A era próximo de 39, o que indicava que não estava acontecendo o ganho do bloco B ser de 1/29, e dessa forma a frequência não seria a certa também.

Sinal da saída do bloco B/entrada do Bloco A para a primeira tentativa



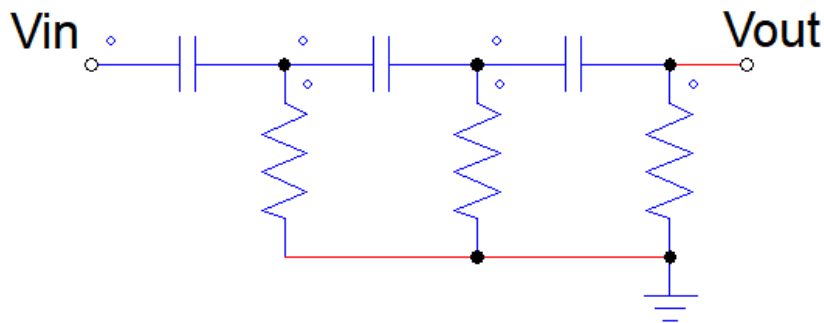
$$T := 973.62 \mu\text{s}$$

$$f := \frac{1}{T} = 1027.0948 \text{ Hz}$$

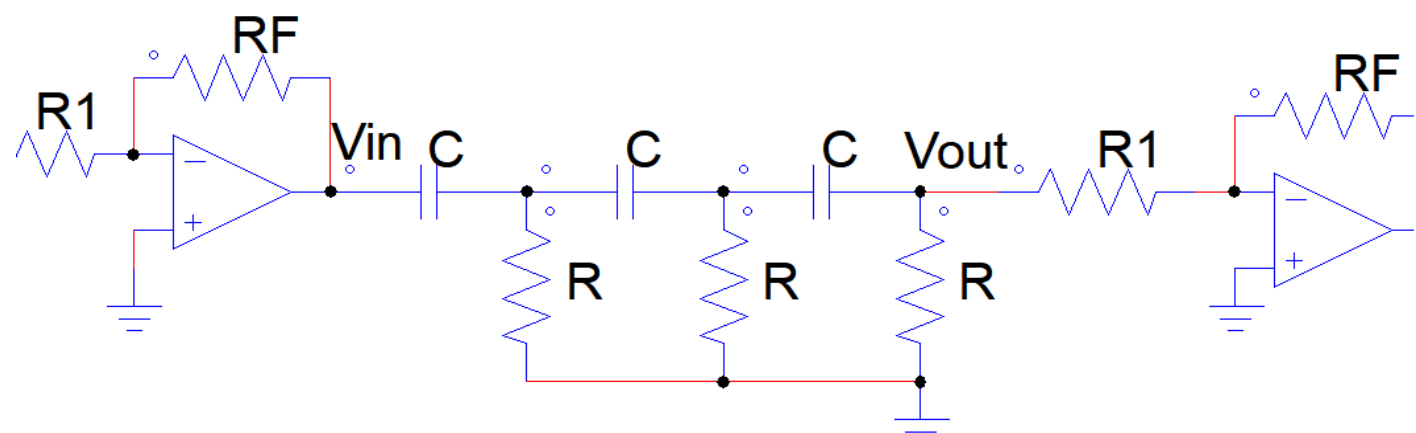
A frequência que cumprir o critério de Brakhausen foi a de 1027 Hz e não o esperado de 950 Hz.

O motivo do valor da frequência de oscilação ter sido tão diferente da esperada é devido ao acoplamento entre os dois blocos, a fórmula da frequência foi criada com base em um circuito, mas o circuito real era outro.

O circuito em que a fórmula foi criada



Circuito Visto pelo bloco B

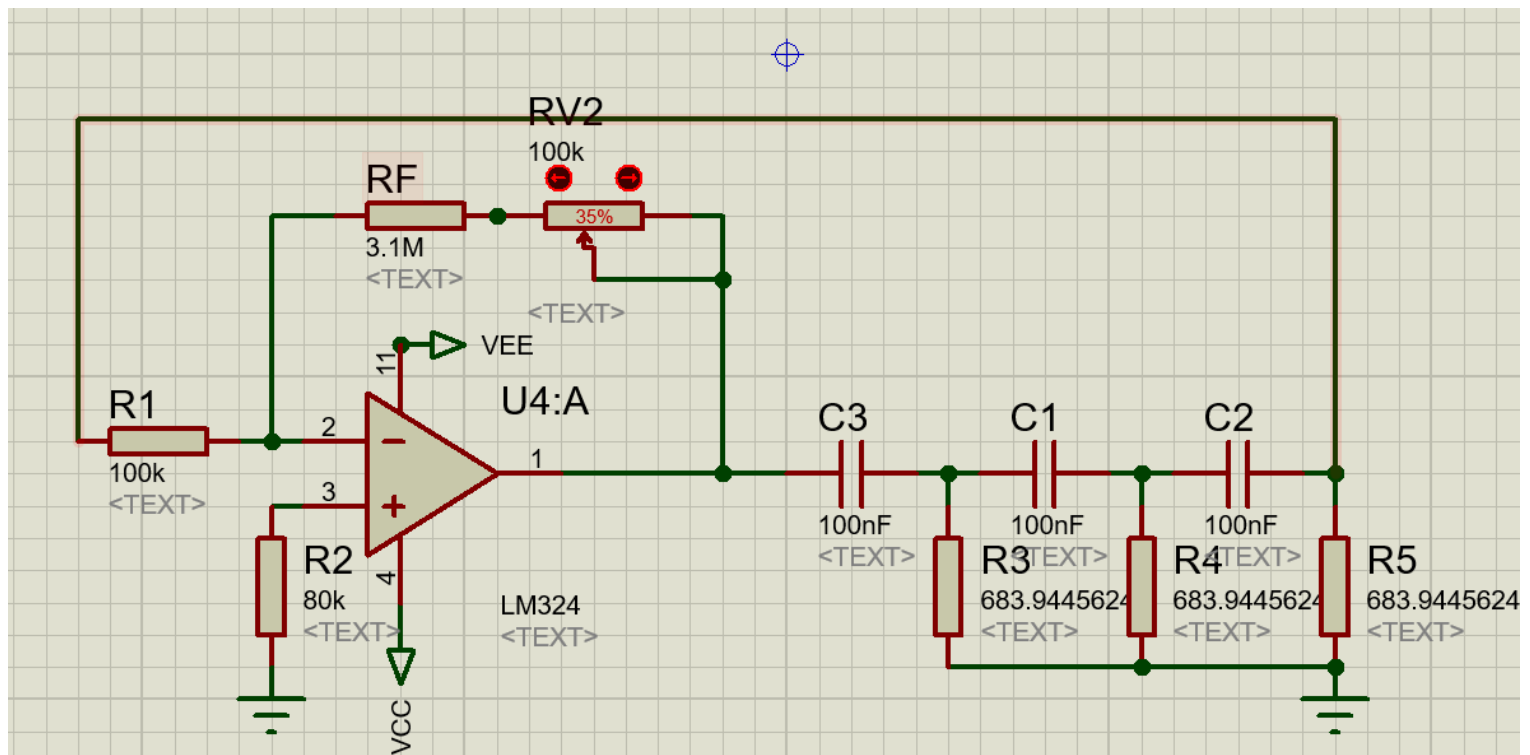


Há um acoplamento que não pode ser ignorado na entrada do Bloco A, o último resistor do Bloco B está em paralelo com o resistor  $R_1$ , assim alterando tanto o ganho do bloco A, e a frequência por alterar o bloco B, da mesma forma que pode ser visto como se o  $R_F$  estivesse na entrada do Bloco B.

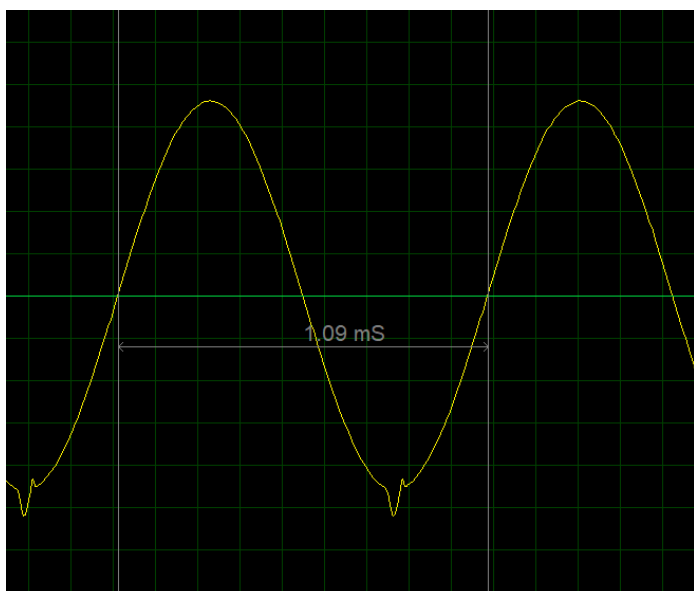
A forma encontrada de diminuir o efeito desse acoplamento foi usar resistores muito maiores no Bloco A, outra solução seria ter dado o valor desses dois resistores sendo iguais e valendo  $2R$ , assim no paralelo o bloco B viria apenas o resultado, mas isso dificultaria o uso do bloco A já que o  $R_1$  seria o mesmo

valor que R e dessa forma haveria muitos componentes com um valor não muito agradável.

O novo circuito agora é esse, foram feitas algumas modificações, como colocar parte do valor do potenciômetro no RF, adicionar uma resistência na entrada não inversora a fim de reduzir o offset, e multiplicar todos os resistores do bloco A por 100 e assim minimizar o efeito do acoplamento entre os dois blocos.

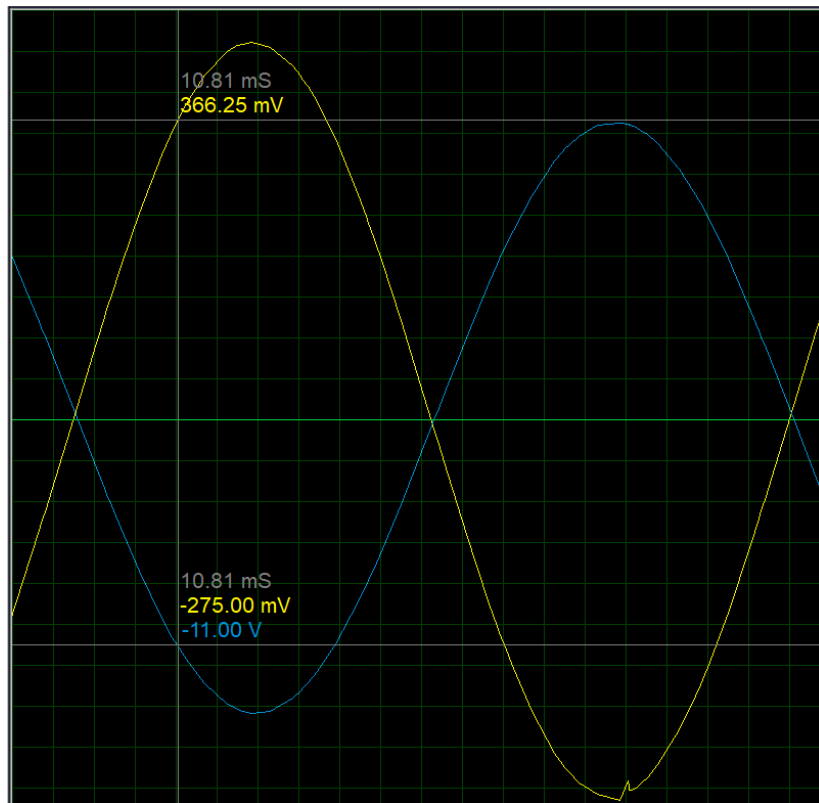


Sinal da saída do bloco B/entrada do Bloco A para a segunda tentativa



$$T := 1.09 \text{ ms}$$

$$f := \frac{1}{T} = 917.4312 \text{ Hz}$$



$$V_A := -11 \text{ V}$$

$$V_B := 366.25 \text{ mV}$$

$$G_A := \frac{V_A}{V_B} = -30.0341$$

Agora a frequência que cumpriu os critérios de Brakhausen foi a de 917 Hz, o que mostra que alguma das afirmações feitas anteriormente não estão sendo compridas por esse circuito

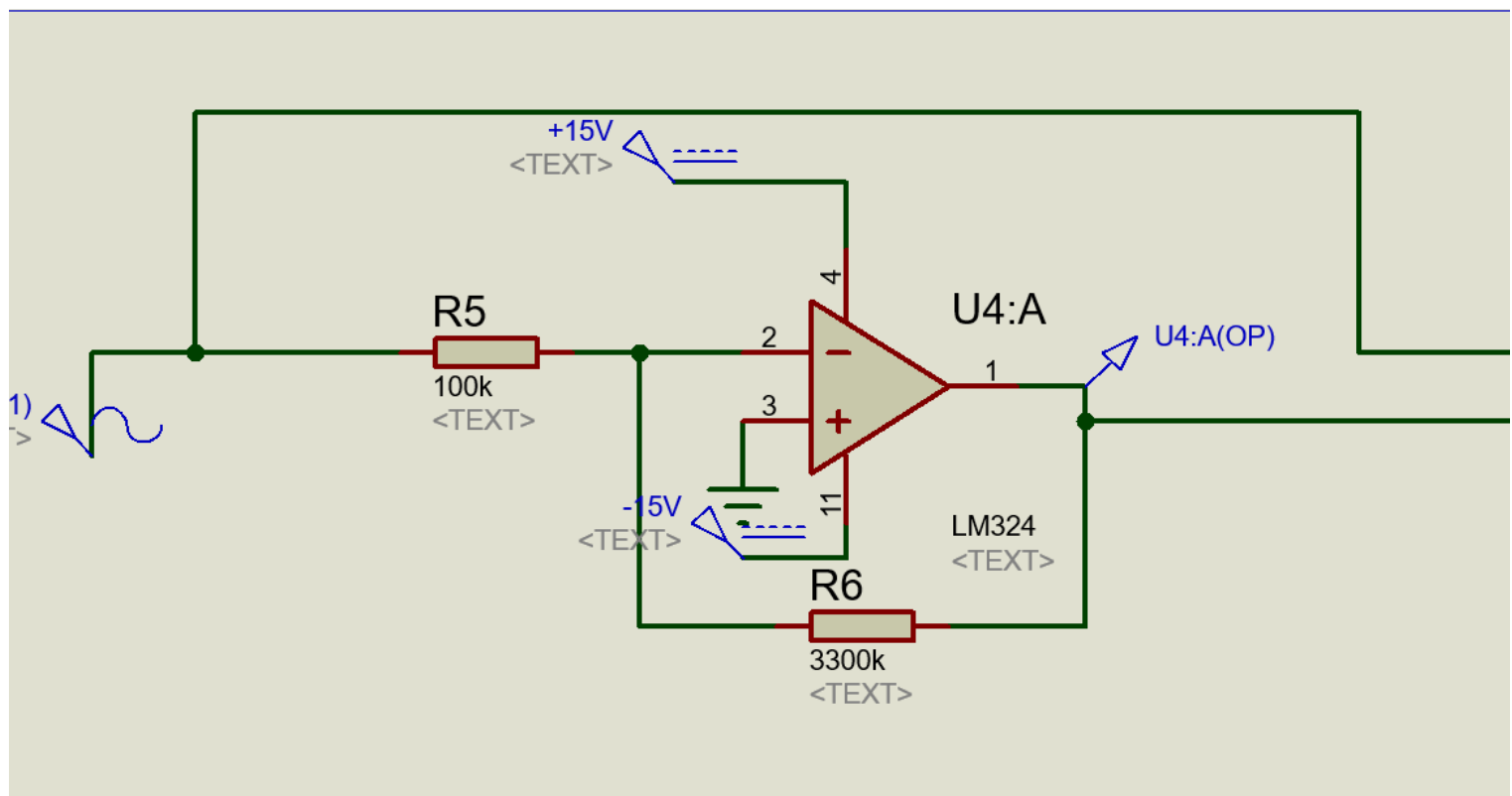
O bloco que controla a frequência é o RC, para o circuito oscilar a soma das defasagens dos dois blocos deve resultar em  $0^\circ$  ou  $360^\circ$ , o Bloco B foi calculado para que tivesse um ganho de  $1/29$  e que defase em  $180^\circ$ , como o ganho foi de 30 e não de 29 não houve o defasamento de  $180^\circ$ , e o responsável por isso é o Bloco A, que era para manter o defasamento fixo em  $180^\circ$  mas permitir qualquer valor de ganho, ele na verdade defasou mais que deveria, e assim para compensar o Bloco B deve que defasar menos e assim atenuou mais o sinal.



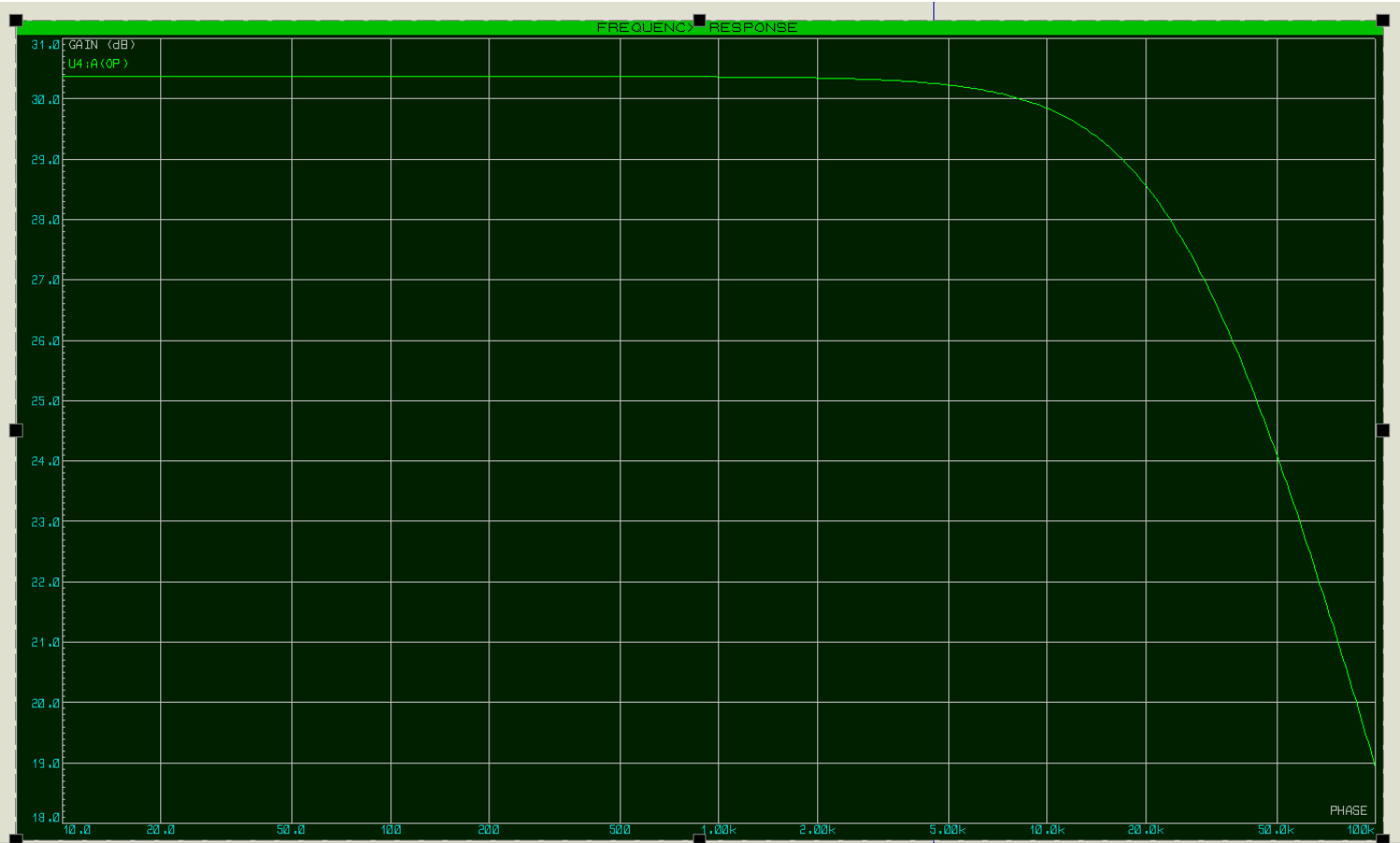
## Análise em frequência do amplificador LM324

A defasagem de um ampOp é influenciada pelo ganho e pela frequência, essa pequena variação na fase do sinal normalmente não resulta em problemas significativos, mas para circuitos em que é necessário que aja um valor preciso de fase, sem que ele varie com a frequência ou o ganho como é o caso de um oscilador por defasagem essa não idealidade altera muito o comportamento do circuito.

Para realizar a análise em frequência do circuito usado foi configurado o amplificado para que houvesse o mesmo ganho.

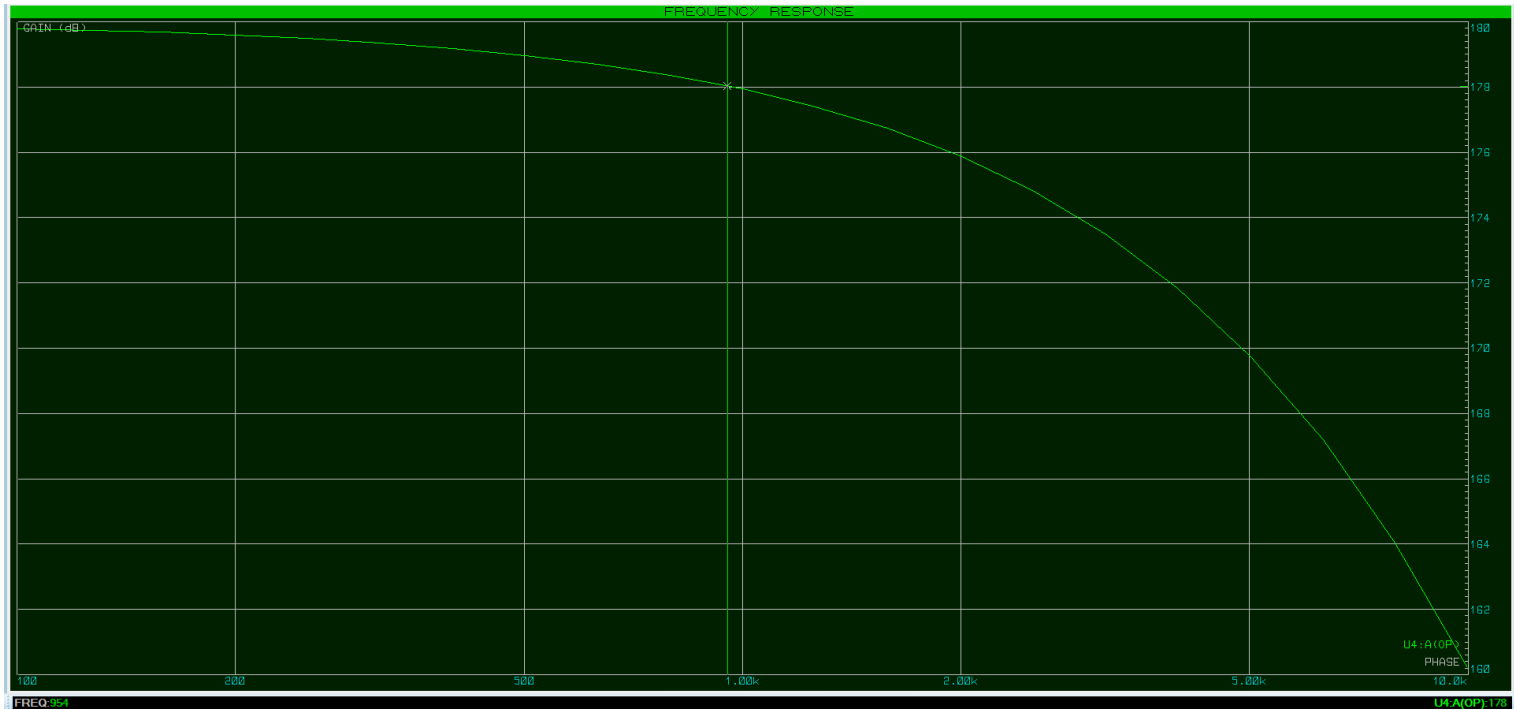


## Ganho em função da frequência



O ganho variar com a frequência normalmente é uma não idealidade mais significativa, mas nesse caso para 950 Hz a ganho se mantém no valor esperado

## Fase em função da frequência



Para a frequência de 950 Hz o amplificado defasa em  $178.039^\circ$  (medida feita exportando os dados do gráfico)

Esses  $2^\circ$  são o motivo da frequencial de oscilação ter sido 917 Hz em vez dos 950 Hz, para compensar um bloco ter defasado em  $178^\circ$  o outro bloco deve defasar em  $182^\circ$ , mas os componentes foram inicialmente calculados pensando nos  $180^\circ$  graus, a frequência que gera o  $182^\circ$  é diferente e possui um ganho diferente.

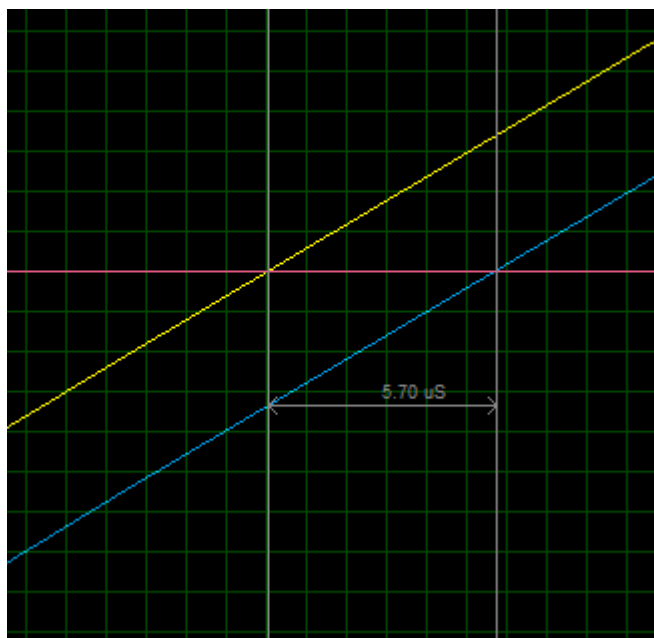
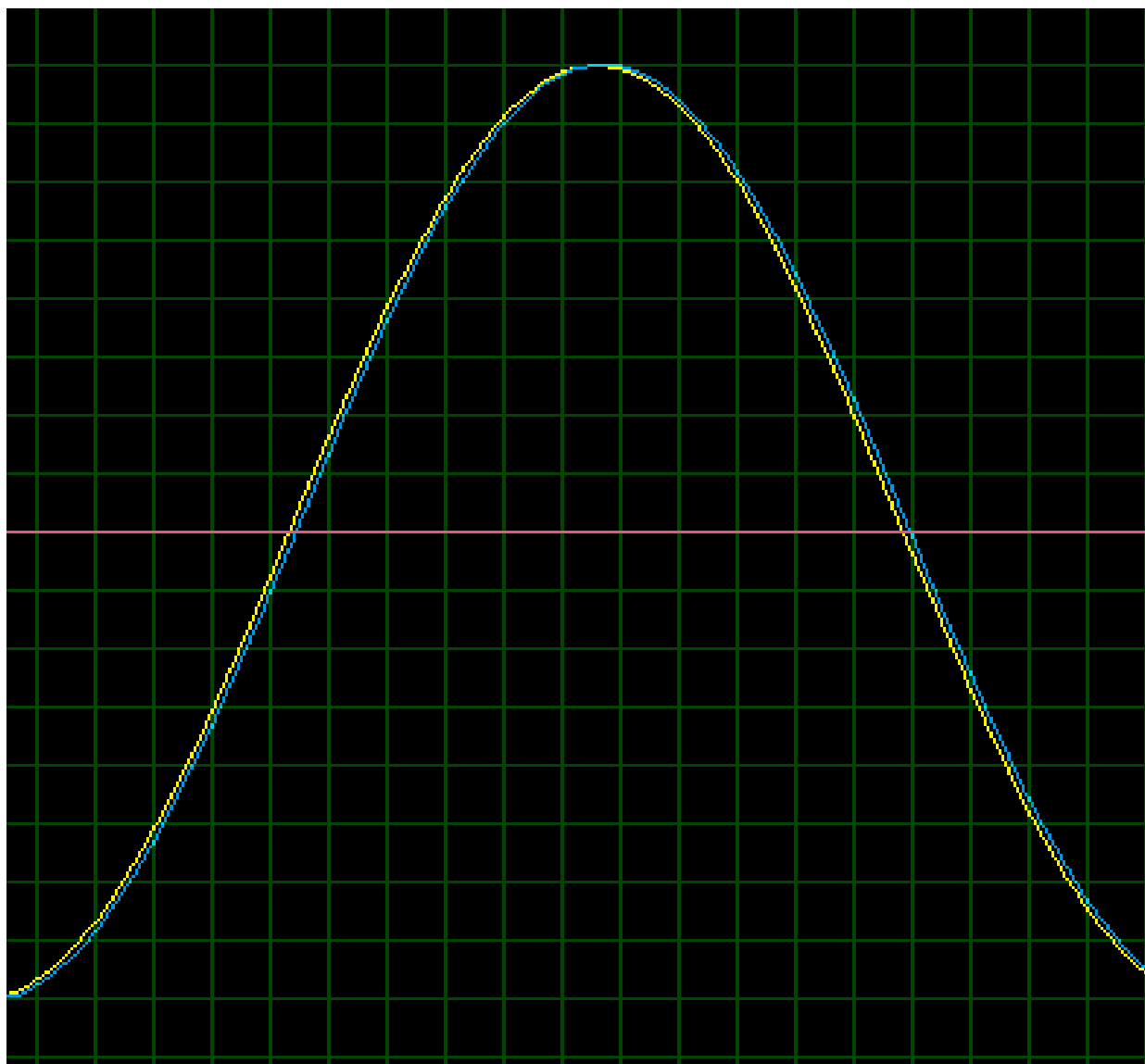
Dessa forma foi por isso que a frequência de 917 Hz oscilou em vez da  $950^\circ$ , pois é ela que garantiu a defasagem de  $182^\circ$  necessária para a soma das defasagens resulte em  $360^\circ$ .

## Testes AB e BA

Os testes AB e BA são uma forma de verificar se o circuito cumpre os critérios de Brakhausen para uma frequencial. O sinal que entra no primeiro bloco deve ser o mesmo que sai do segundo bloco, como a mesma amplitude e fase

Esse teste foi feito para o circuito original para mostrar a defasagem entre a entra e a saída para os 950 Hz.

Teste A-B com 200mV, para 950Hz



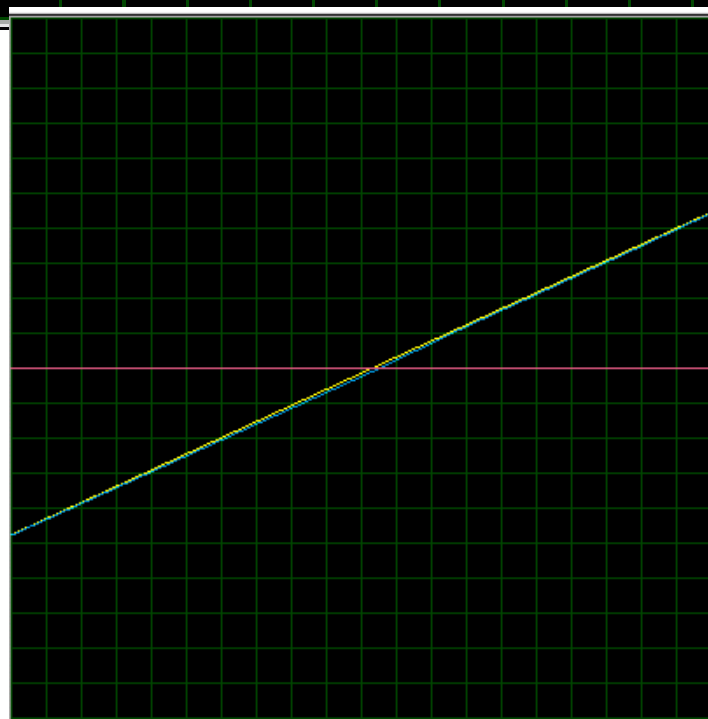
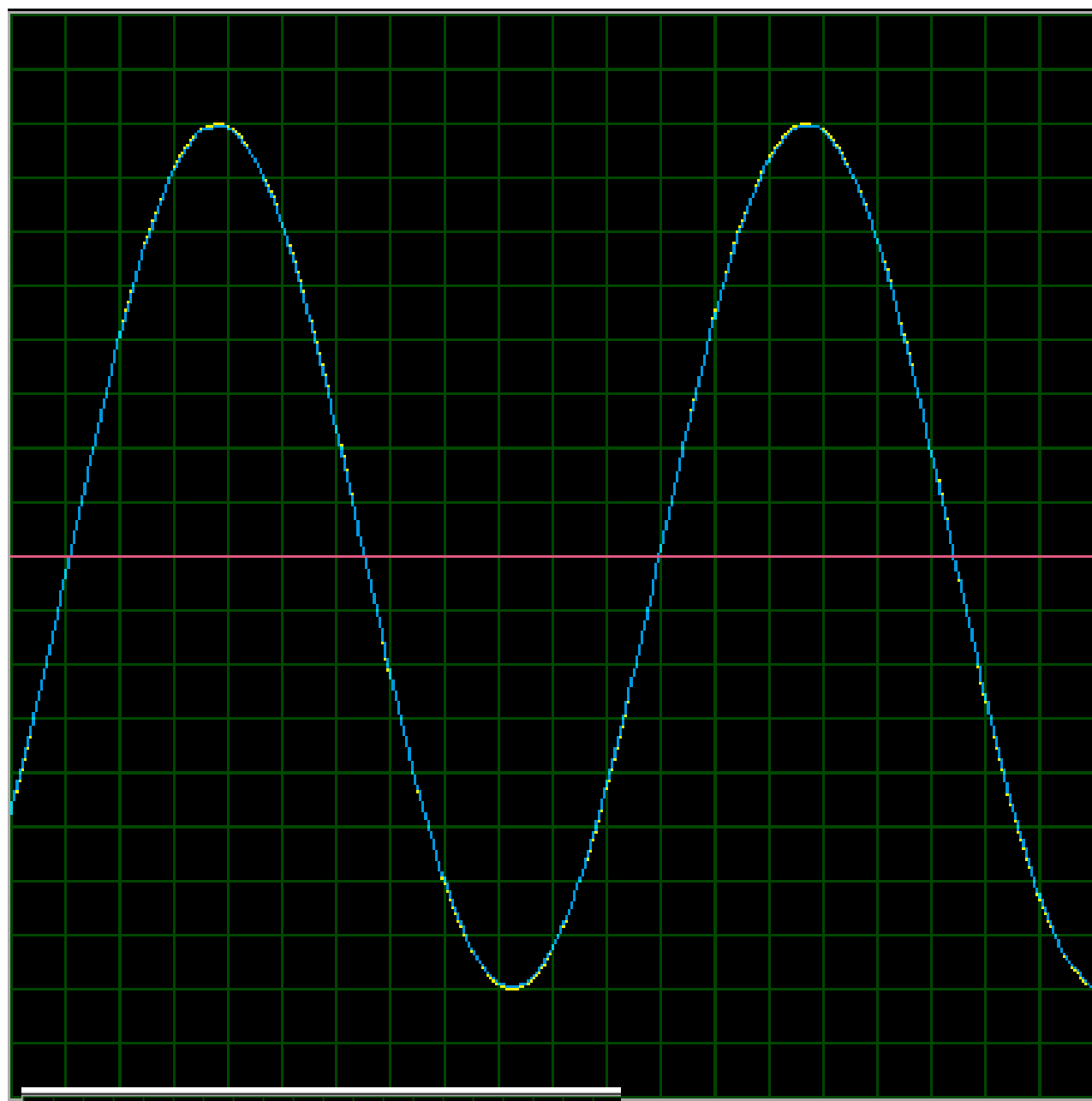
$$T = 5.7 \text{ } \mu\text{s}$$

$$fase = 1.9494^\circ$$

$$G_A := 31$$

$$G_B := \frac{1}{31}$$

Teste A-B do circuito original que cumpre os critérios com 917.43Hz. 200mV

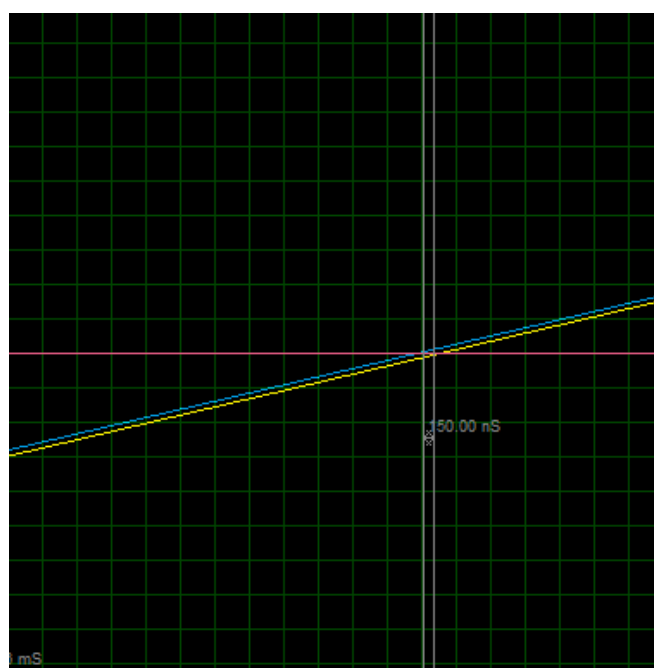
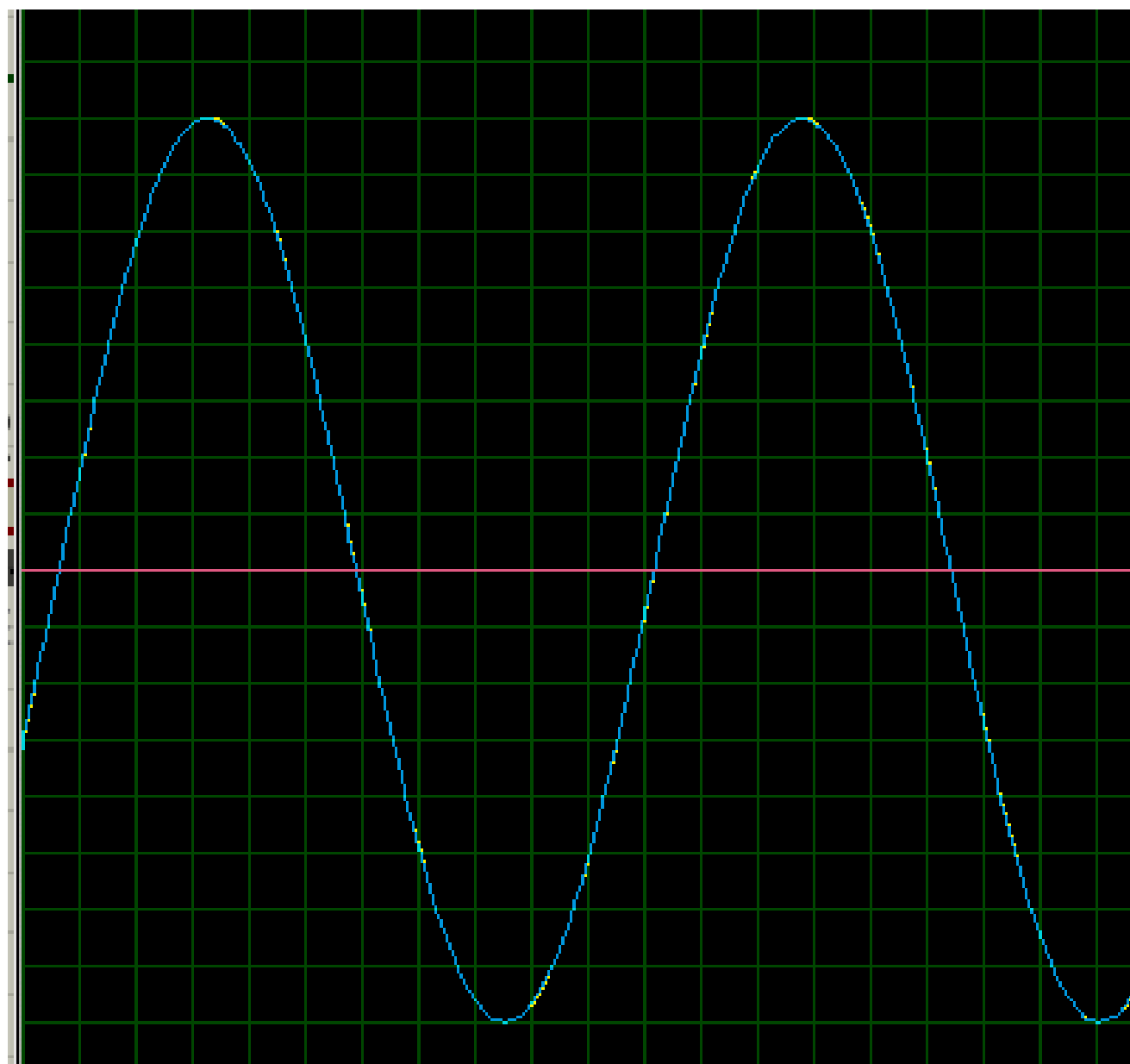


$$fase = 0^\circ$$

$$G_A := 31$$

$$G_B := \frac{1}{31}$$

Teste A-B do circuito final para 950Hz



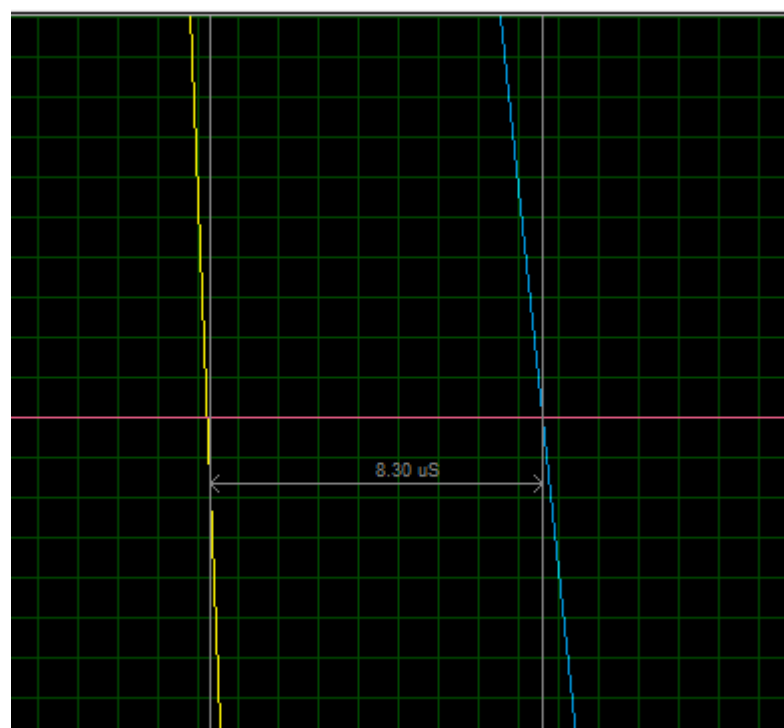
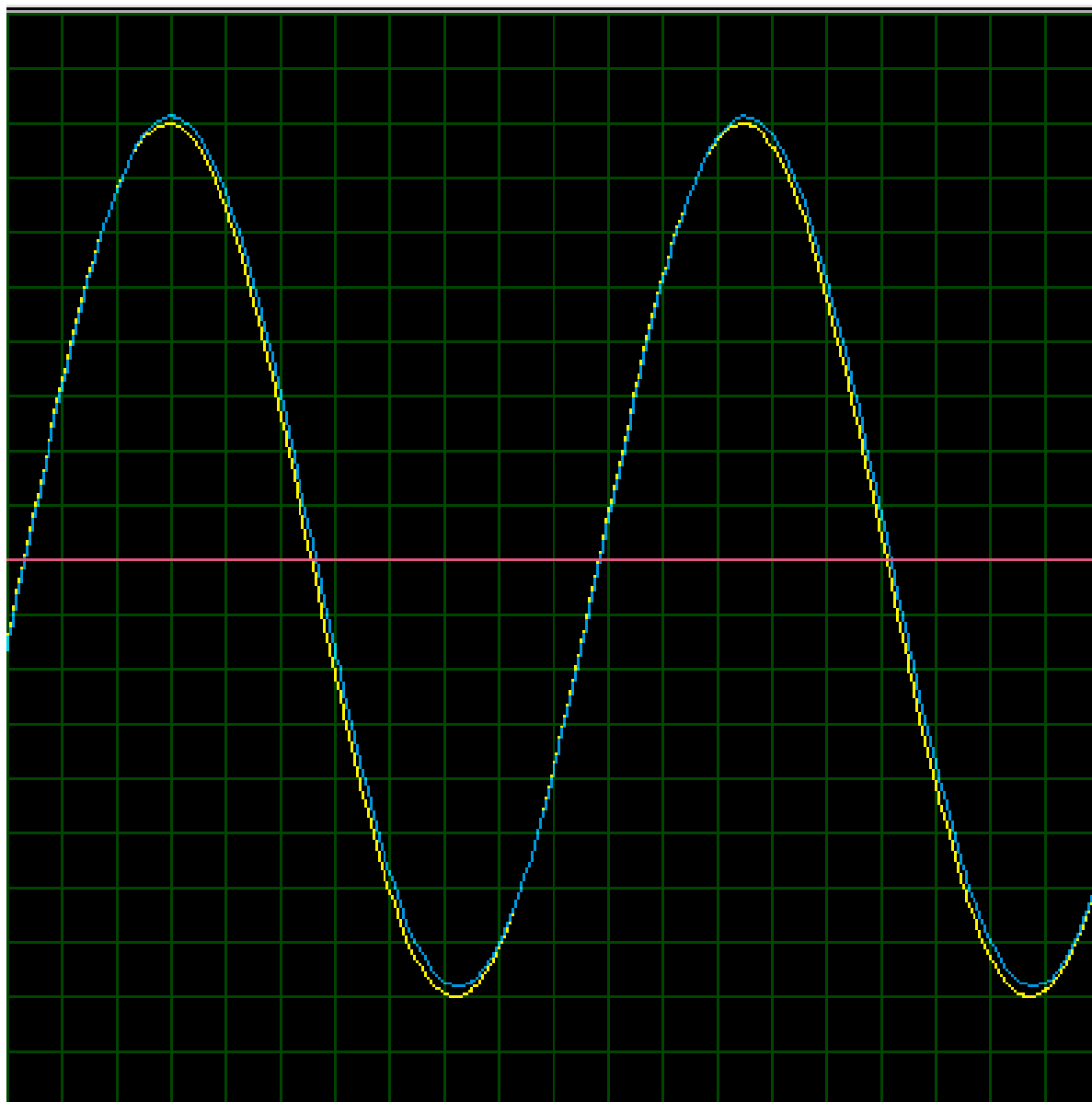
$$T = 0.15 \mu s$$

$$fase = 0.0513^\circ$$

$$G_A := 33$$

$$G_B := \frac{1}{33}$$

Para o teste B-A para o circuito original a 950 Hz 10V



$$T = 8.3 \mu s$$

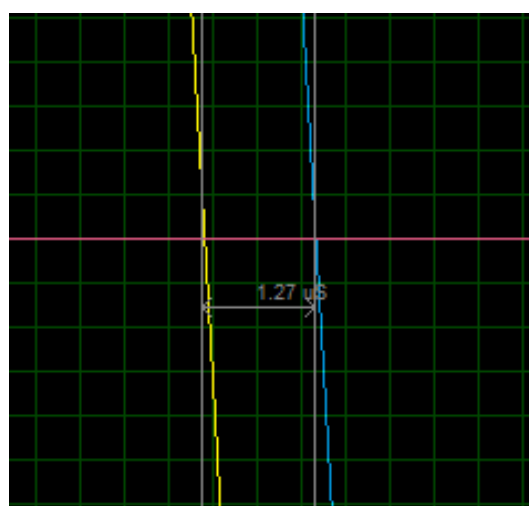
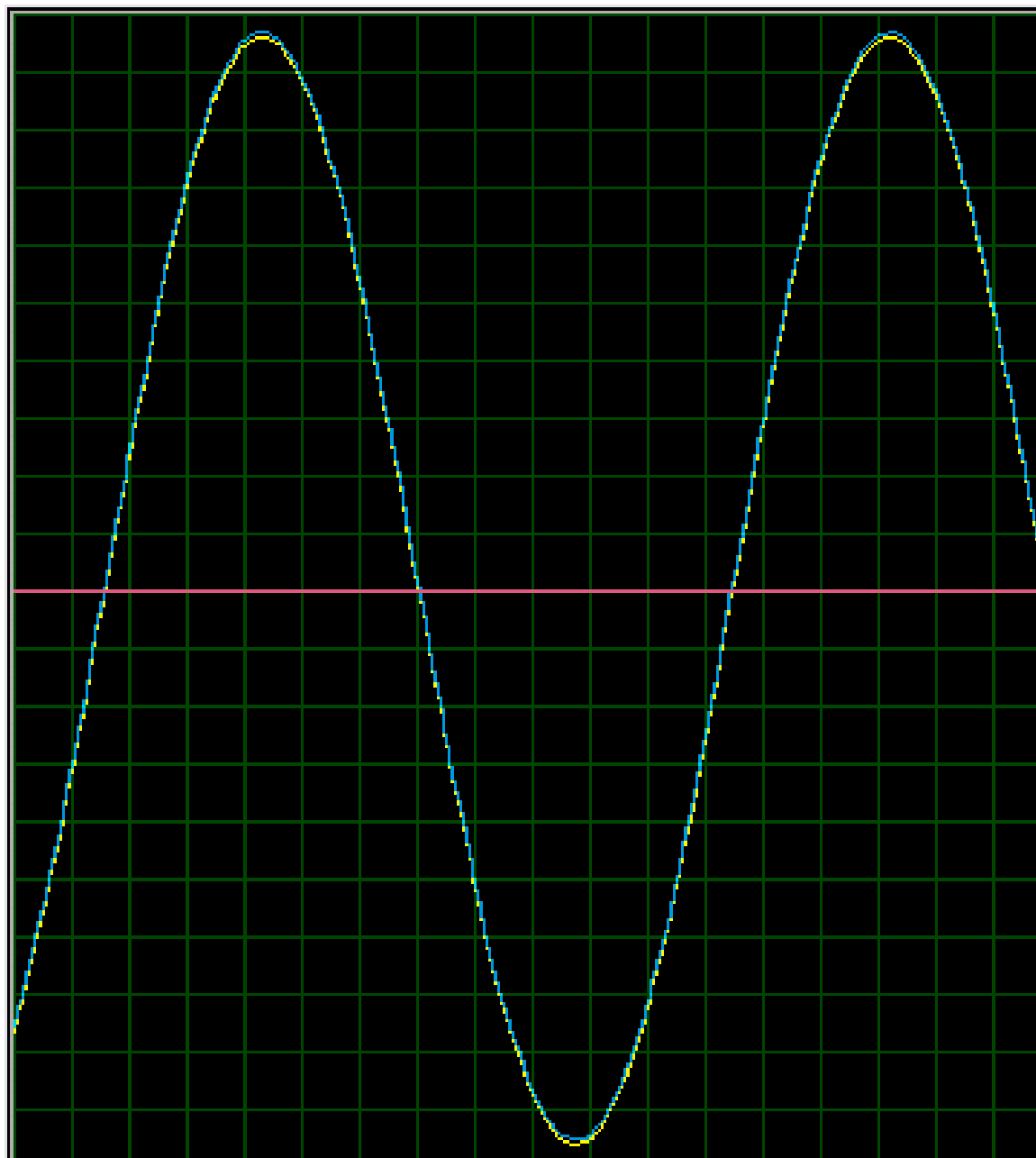
$$fase = 2.8386^\circ$$

$$G_A := 29$$

$$G_B := \frac{1}{29}$$



Para o teste B-A para 917.43 Hz 10V



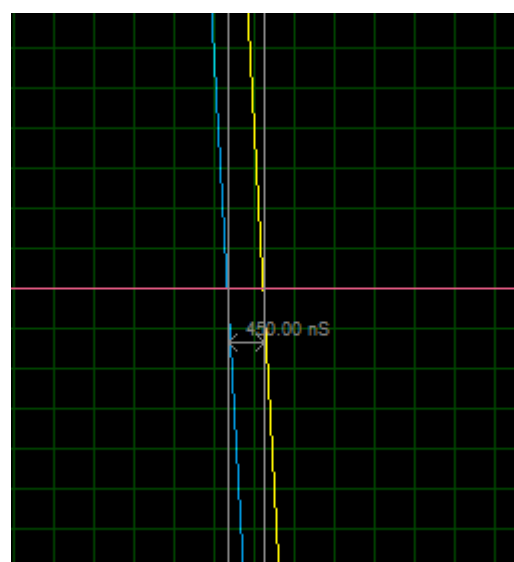
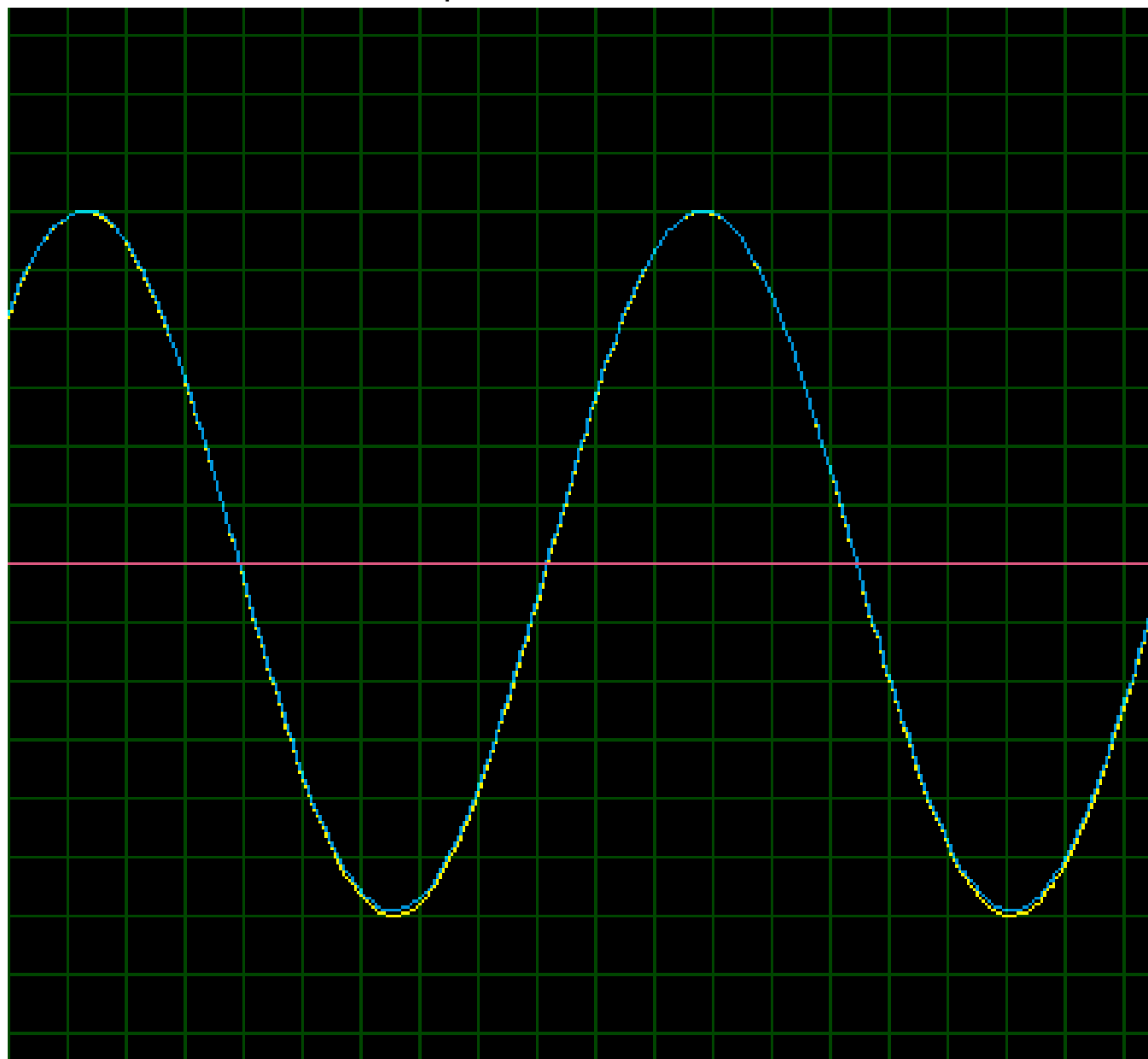
$$T = 1.27 \mu s$$

$$fase = 0.4343^\circ$$

$$G_A := 31$$

$$G_B := \frac{1}{31}$$

Teste A-B do circuito final para 950Hz, 10V



$$T = 0.45 \mu s$$

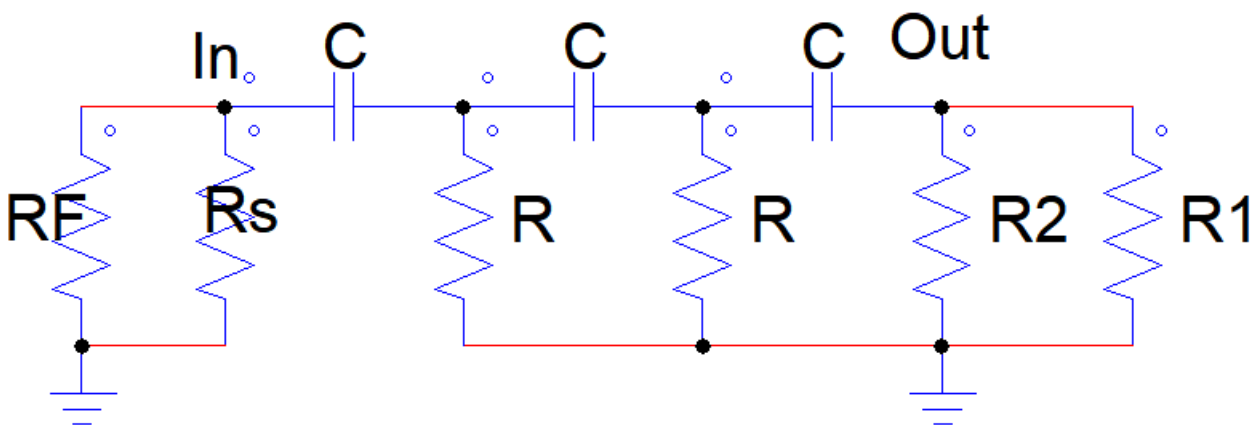
$$fase = 0.1539^\circ$$

$$G_A := 33$$

$$G_B := \frac{1}{33}$$

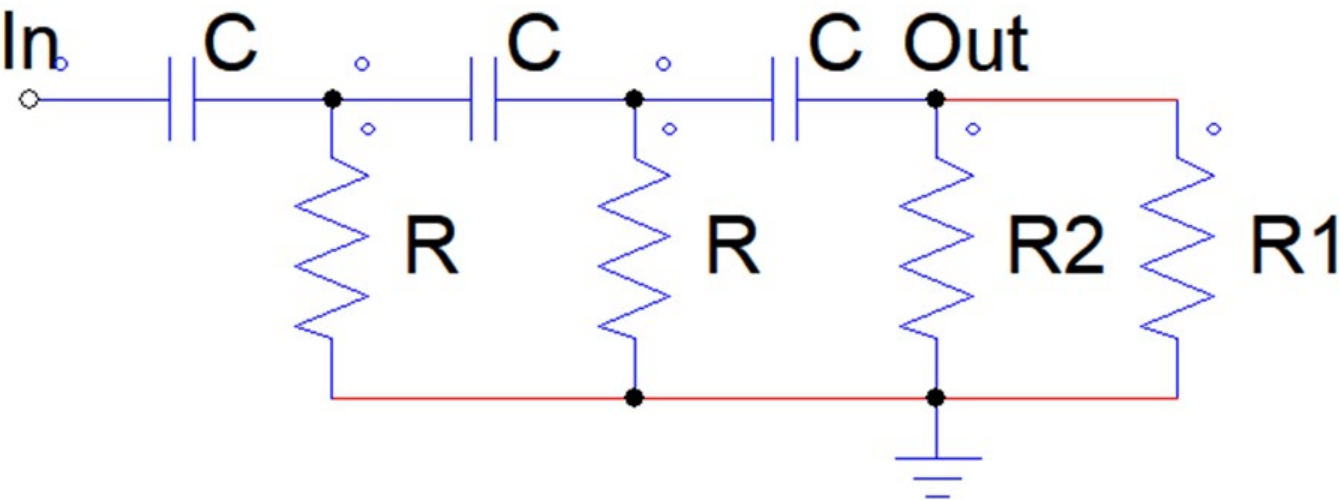
Impedâncias dos blocos

Para o Bloco B as impedâncias vistas em torno do bloco são:



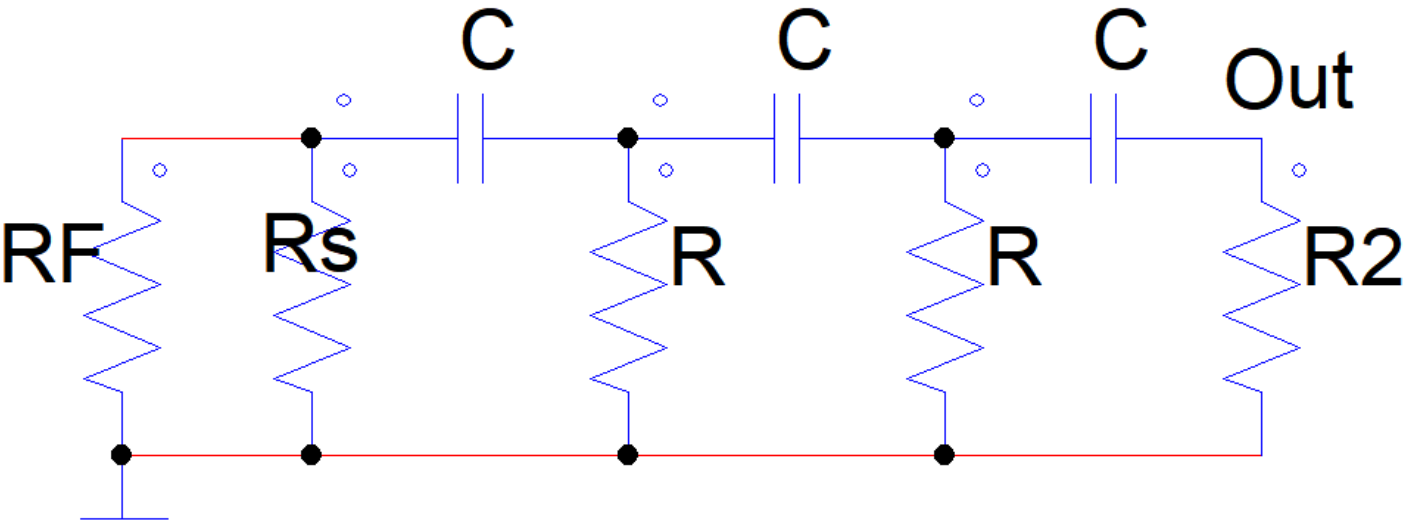
Em que  $R_s$  é a impedância de saída do ampOp, que foi informada sendo próxima de  $300\ \Omega$  e  $R_F$  e  $R_{in}$  são as resistências do Bloco A.

Para a impedância de entrada do Bloco B é visto o seguinte circuito



$$Z_{Bin} := \left( \left( R_1 \parallel R + Z_C \right) \parallel R + Z_C \right) \parallel R + Z_C = (566.7336 - 1850.7995 \cdot i) \ \Omega$$
$$Z_{Bin} = 1935.6254 \ \Omega \angle -72.9749^\circ$$

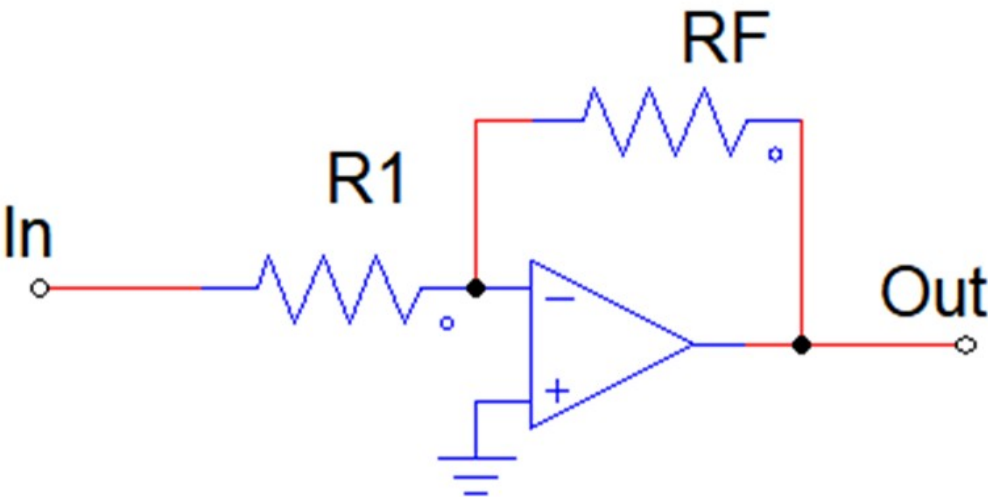
Para a impedância de saída do Bloca B é visto o seguinte circuito



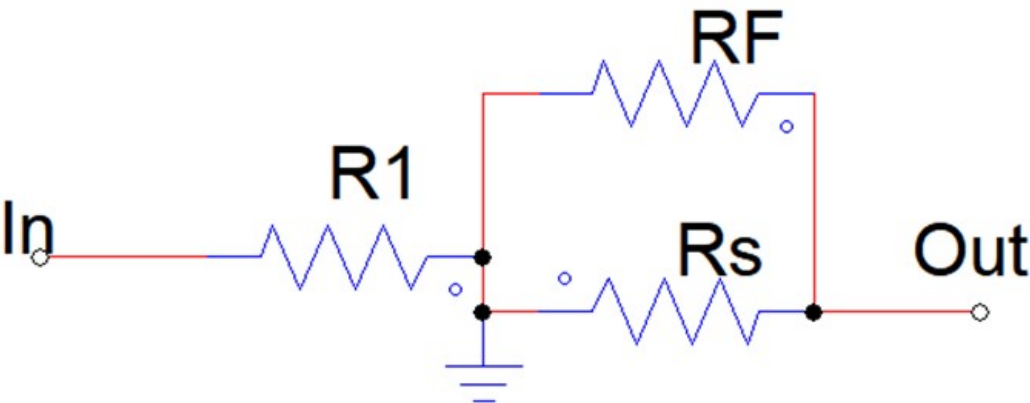
$$Z_{Bout} := \left( \left( \left( R_F \parallel R_s + Z_C \right) \parallel R + Z_C \right) \parallel R + Z_C \right) \parallel R_2 = (566.3576 - 173.3559 \cdot i) \, \Omega$$

$$Z_{Bout} = 592.2948 \, \Omega \angle -17.0188^\circ$$

Para o bloco A é as impedâncias vistas em torno do bloco são:



O circuito equivalente para as resistências é



Sendo assim, a impedância de entrada do bloco é o próprio R1 e a de saída é o RF em paralelo com o Rs, que por conta do valor extremamente alto de resulta em apenas Rs.

$$Z_{Ain} := R_1 = 100.0000 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{Aout} := R_F || R_s = 299.9690 \text{ }\Omega$$

Esses valores não mudaram muito para o circuito montado em bancada, o bloco A não mudou em nada e o bloco B deve pequenas alterações com os valores comercias e o valor do último resistor sendo trocado para que o circuito oscile na frequência certa.

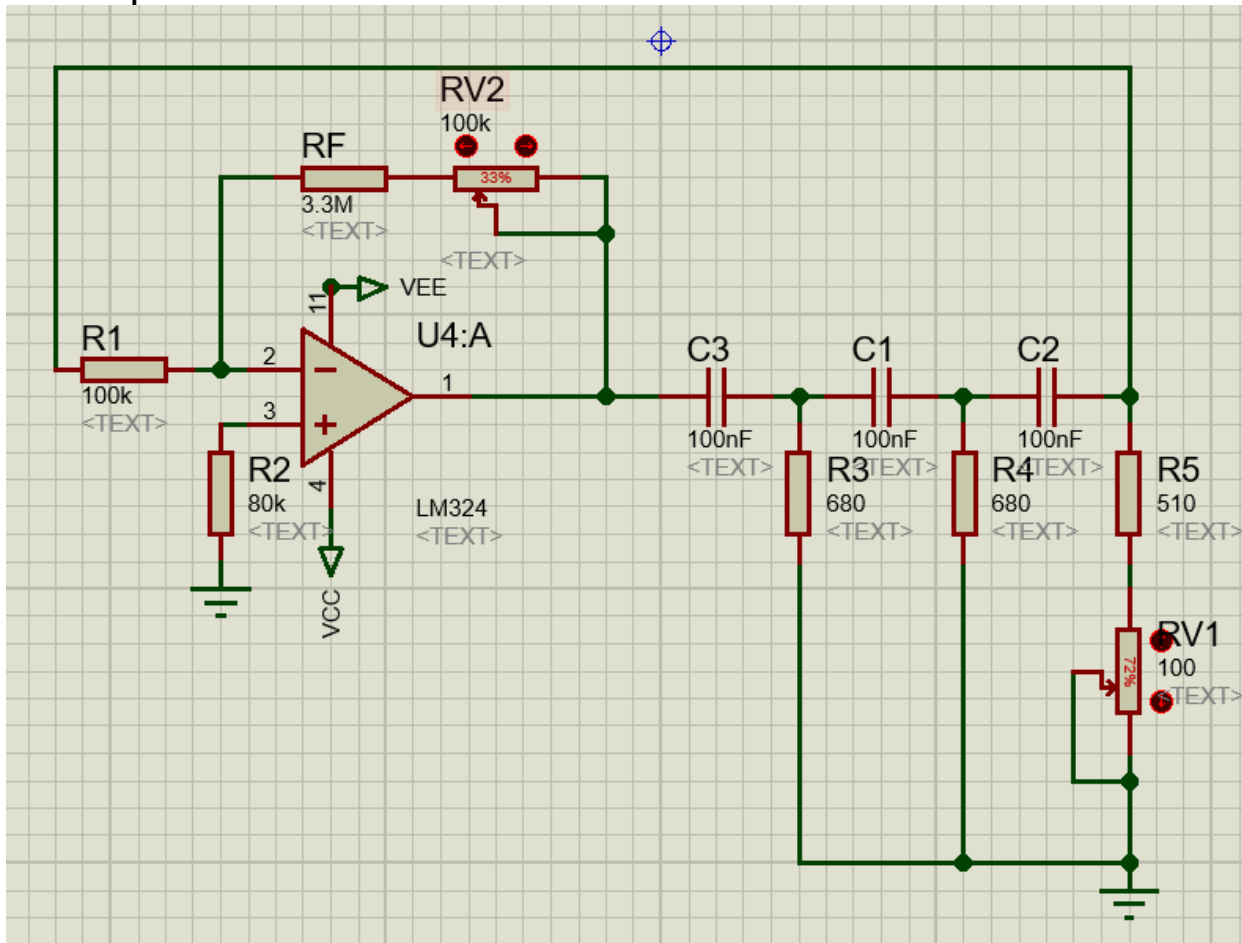
$$Z_{Bin} = 1933.2065 \text{ }\Omega \angle -73.0065^\circ$$

$$R_2 := 582 \text{ }\Omega$$

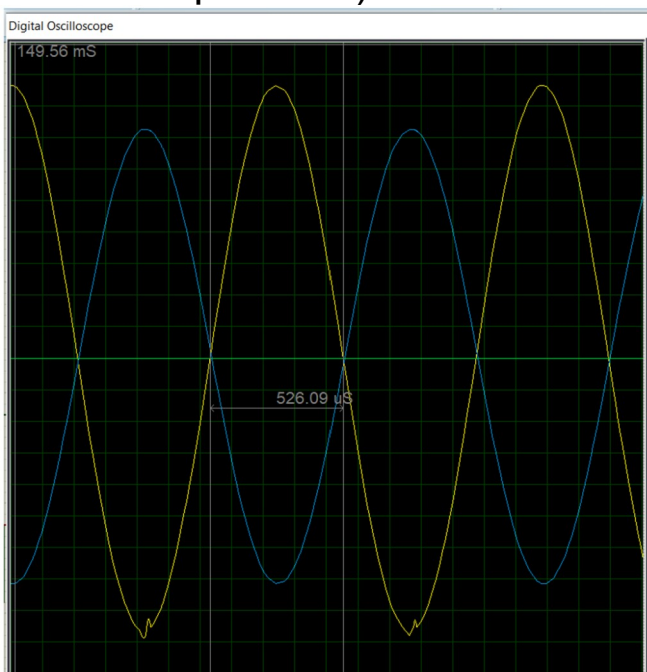
$$Z_{Bout} = 516.9234 \text{ }\Omega \angle -14.8210^\circ$$

## Circuito Montado

O circuito que foi montado foi, tirando ajustes feitos por conta das variações dos componentes



Que segundo a simulação, na condição ideal dos valores dos potenciômetros, era pra ter uma frequência de 950.4 Hz (foi medido metade do período para uma maior precisão).



período ideal

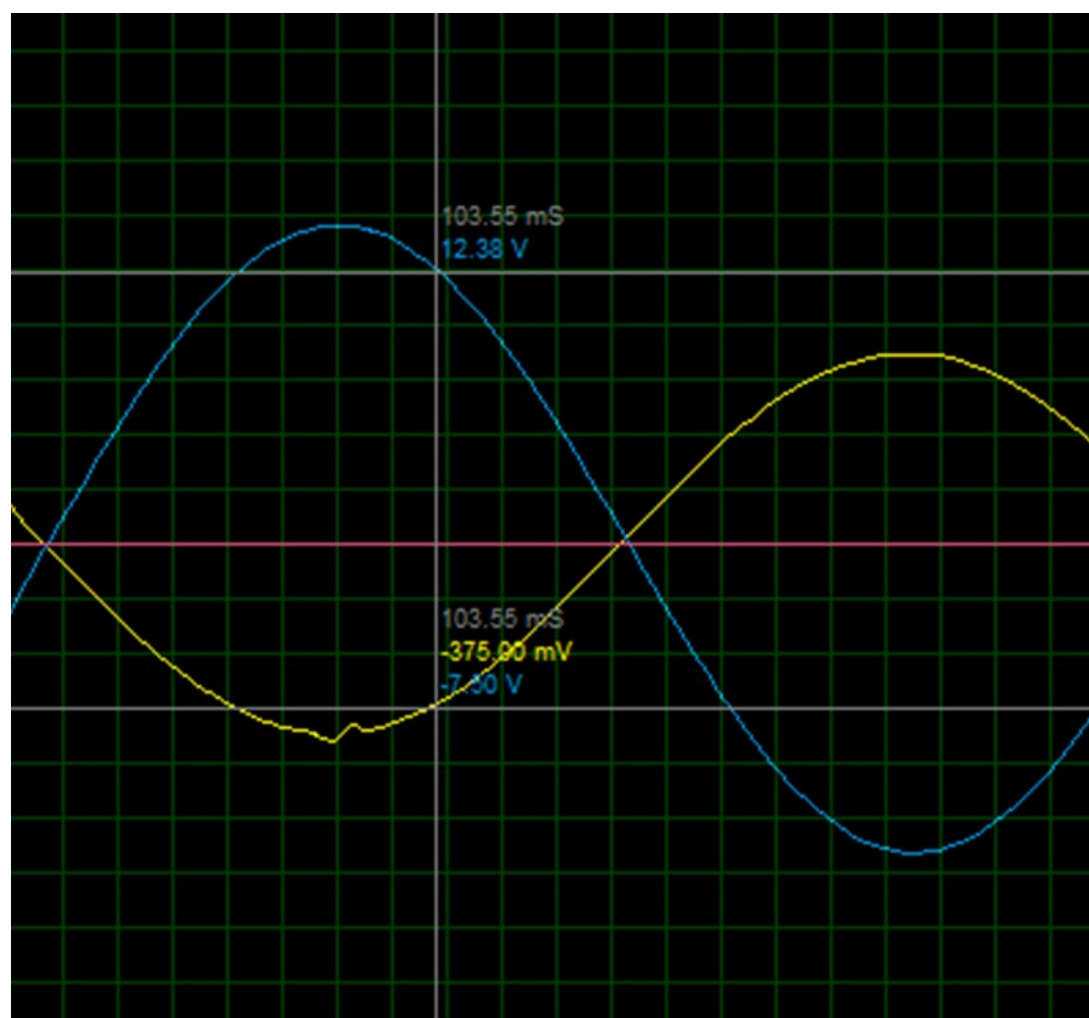
$$\frac{1}{2 \cdot (950 \text{ Hz})} = 526.3158 \mu\text{s}$$

$$T := 526.09 \mu\text{s}$$

frequência encontrada

$$\frac{1}{T \cdot 2} = 950.4077 \text{ Hz}$$

## Ganho simulado do amplificador

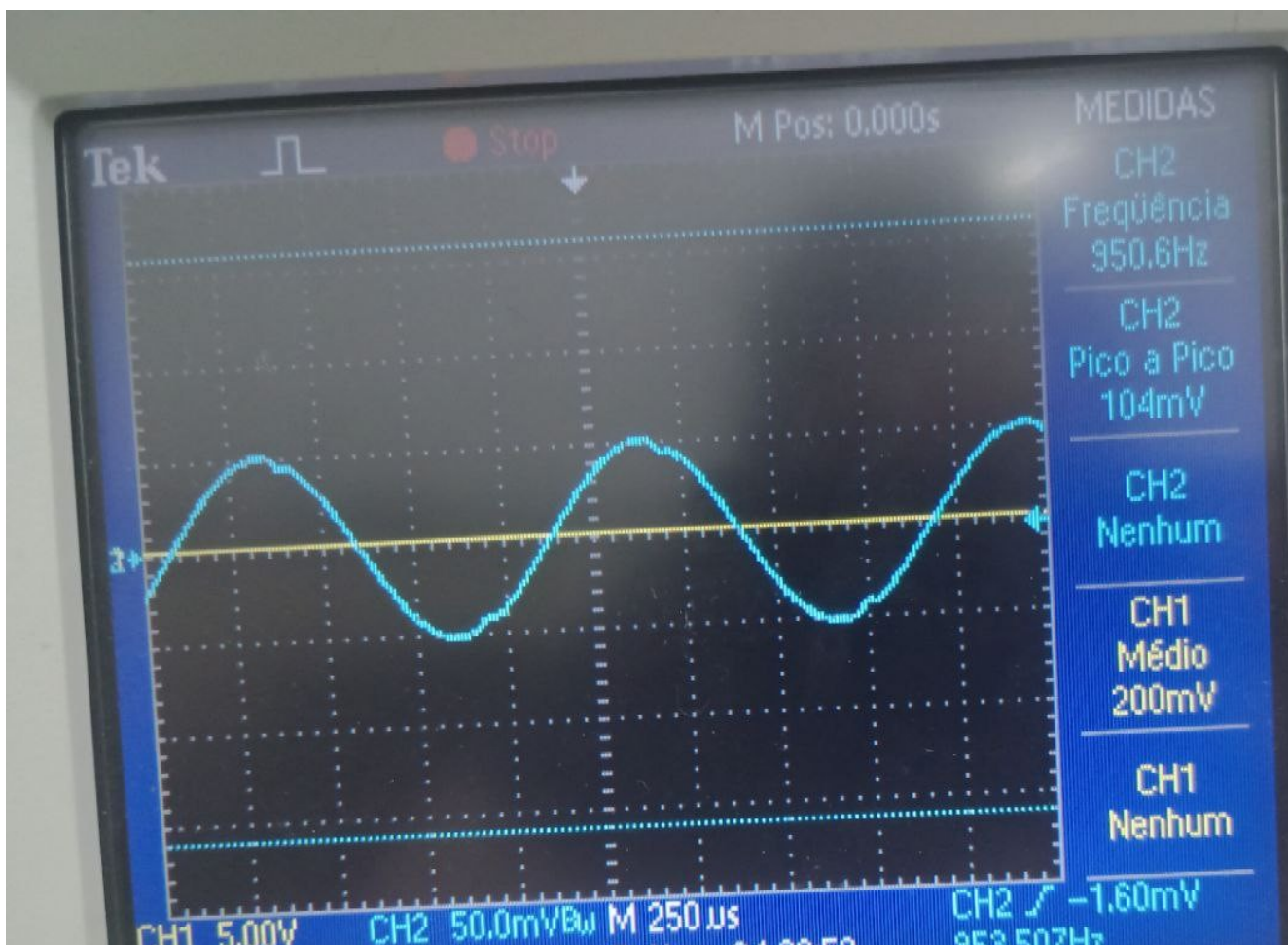


$$V_A := 12.38 \text{ V}$$

$$V_B := 375 \text{ mV}$$

$$G := \frac{V_A}{V_B} = 33.0133$$

Na bancada com o circuito montado houve algumas diferenças, a incerteza nos valores dos componentes criou uma grande variação nos valores dos potenciômetros, para garantir que a frequência de oscilação estivesse na faixa de possíveis valores. E a segunda grande mudança foi que diferente da simulação, há muitas fontes de ruído na vida real, o que em parte é bom, pois o circuito oscilava quase que instantaneamente ao ser ligado, já que só de ligar já era a maior fonte de ruído possível, mas durante o funcionamento o ruído interferia de formas não esperadas, diferente da simulação onde caso o produto dos ganhos fosse menor que 1 o sinal “lentamente morrer”, na bancada o lentamente era imediato mas as vezes não acontecia, parte do sinal poderia sobreviver devido a ruídos (mas com amplitude muito menor) como foi o caso da primeira vez que o circuito oscilou em 950 Hz, onde a amplitude na saída do ampOp era apenas 100 mVpp em vez dos mais de 10 V esperados devido a saturação que é necessária quando o ganho é maior que 1.



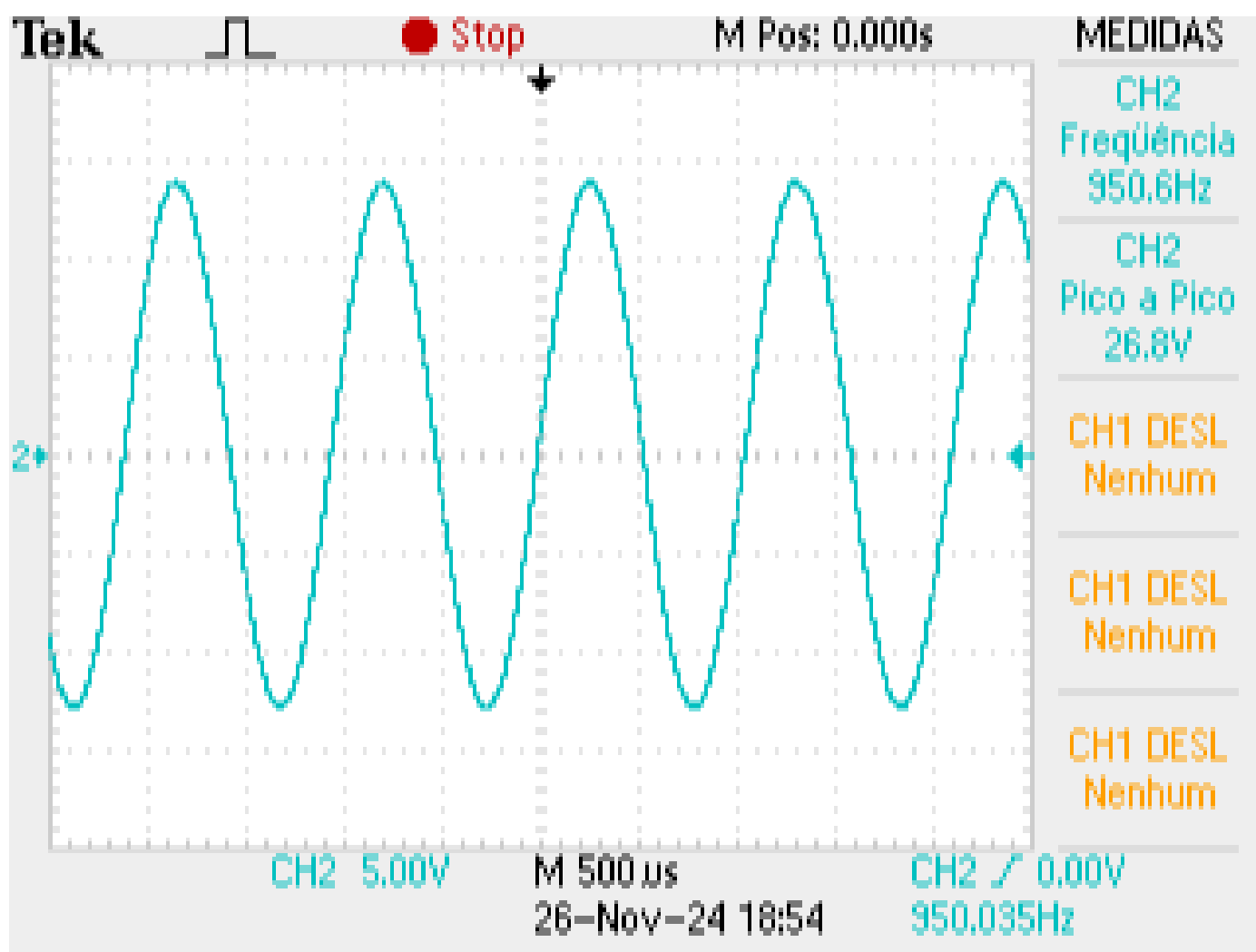


Esse sinal foi gerado enquanto meu dedo estava em contato com o potenciômetro. Inicialmente, eu acreditava que o comportamento observado era apenas um mau contato no potenciômetro, pois o circuito parecia funcionar "melhor" quando eu o tocava. No entanto, a verdade era que ao tocar o circuito, meu dedo estava fornecendo energia adicional, o que aumentava o ganho e mantinha o sinal vivo.

## Resultados práticos e conclusões

O circuito montado em bancada precisou de potenciômetros maiores do que eram na simulação para permitir o ajuste, o bloco do amplificador precisou de um ganho maior que o simulado, o motivo disso é que na prática os componentes possuem tolerâncias e o que foi visto durante o projeto desse circuito é que pequenas variações no componente resultam em grandes mudanças.

Saída do bloco amplificador, frequência de 950.6Hz e 25.6Vpp



TDS 2024C - 18:53:15 26/11/2024

O maior problema enfrentado ao projetar o circuito foi a variação da defasagem do ampOp com o aumento do ganho, caso o amplificador tivesse defasado exatamente os  $180^\circ$  que deveria o ganho do Bloco B teria sido  $1/29$ , mas como a defasagem acabava ficando em próxima  $177^\circ$ , o bloco B tinha um ganho ainda menor o que fazia ser necessário um ganho maior do bloco A para compensar e assim alterava ainda mais o quanto ele defasava, essa relação dificulta muito determinar a frequência de oscilação do circuito e praticamente impossibilitou que cálculos fossem feitos, sobrando apenas a tentativa e erro feita por simulações para determinar os componentes, e a necessidade de potenciômetros para ajustar o circuito em bancada.

Caso a ganho do amplificador fosse menor sua defasagem também seria e assim haveria um impacto menor com a no funcionamento do circuito