

# Segundo Relatório de Lab de Circuitos II

Henrique da Silva  
hpsilva@proton.me

16 de fevereiro de 2023

## Sumário

1	Introdução	
2	Análise preliminar	
2.1	O Circuito	
2.2	WxMaxima	
2.3	LTSpice	
2.3.1	Análise em $40Hz$	
2.3.2	Análise em $100Hz$	
2.3.3	Análise em $200Hz$	
2.3.4	Análise em $400Hz$	
2.3.5	Análise em $480Hz$	
2.3.6	Análise em $550Hz$	
2.3.7	Análise em $1100Hz$	
2.3.8	Análise em $2200Hz$	
2.3.9	Análise em $5500Hz$	
2.3.10	Análise em $11000Hz$	
2.3.11	Tabela de resultados	
3	Medicoes em laboratorio	
3.1	Tabela de componentes	
3.2	Medicoes no osciloscopio	
3.2.1	Análise em $100Hz$	
3.2.2	Análise em $200Hz$	
3.2.3	Análise em $400Hz$	
3.2.4	Análise em $480Hz$	
3.2.5	Análise em $550Hz$	
3.2.6	Análise em $1100Hz$	
3.2.7	Análise em $2200Hz$	
3.2.8	Análise em $5500Hz$	
3.2.9	Análise em $11000Hz$	
3.2.10	Tabela de resultados	
3.3	Comparacao com valores teoricos	
3.4	Graficos	
3.4.1	Escala log-log da magnitude de $H(j\omega)$ e $f$	
3.4.2	Escala semilog da fase de $H(j\omega)$ e $f$	

## 4 Conclusões

## 1 Introdução

Neste relatório, vamos discutir a funcao transferencia na resposta em regime permanente senoidal de um circuito.

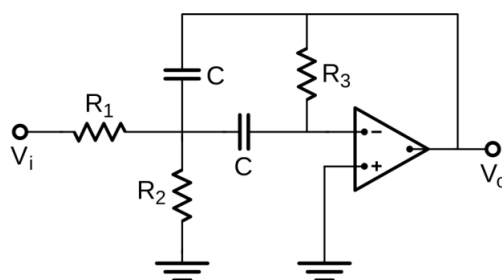
Todos arquivos utilizados para criar este relatorio, e o relatorio em si estão em: [https://github.com/Shapis/ufpe\\_ee/tree/main/5thsemester/ElectromagneticMeasurements/Relatorios](https://github.com/Shapis/ufpe_ee/tree/main/5thsemester/ElectromagneticMeasurements/Relatorios)

## 2 Análise preliminar

Utilizarei o WxMaxima e LTSpice para fazer a analise teorica do circuito antes de montá-lo fisicamente.

Apos terminar as analises compararei os resultados obtidos entre os dois para ver se os resultados sao coerentes.

### 2.1 O Circuito



## 2.2 WxMaxima

Primeiro fiz manualmente a análise nodal do circuito que vamos construir, e passei ele para o domínio da frequência.

$$\begin{aligned} \text{eq1: } 0 &= ((V_a - V_i)/R_1) + V_a/R_2 + (V_a / (1/(s \cdot C))) + ((V_a - V_0) / (1/(s \cdot C))) \\ \text{eq2: } 0 &= -V_a / (1/(s \cdot C)) - V_0 / R_3 ; \end{aligned}$$

$$0 = C (V_a - V_0) s + C V_a s + \frac{V_a - V_i}{R_1} + \frac{V_a}{R_2}$$

$$0 = -C V_a s - \frac{V_0}{R_3}$$

Apos isso resolvi para  $V_a$  e  $V_0$

$$\text{results: linsolve}([\text{eq1}, \text{eq2}], [V_a, V_0]) ;$$

$$V_a = \frac{R_2 V_i}{C^2 R_1 R_2 R_3 s^2 + 2 C R_1 R_2 s + R_2 + R_1}$$

$$V_0 = - \frac{C R_2 R_3 V_i s}{C^2 R_1 R_2 R_3 s^2 + 2 C R_1 R_2 s + R_2 + R_1}$$

Daqui criamos nossa função transferência  $H$ .

$$H: \text{at}(V_0/V_i, \text{results});$$

$$- \frac{C R_2 R_3 s}{C^2 R_1 R_2 R_3 s^2 + 2 C R_1 R_2 s + R_2 + R_1}$$

Apos isso fiz a substituição  $S = iw$  para poder calcular a magnitude e seu ângulo de fase.

$$\begin{aligned} \text{cabs}(Hw); \\ \text{carg}(Hw); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{|C| |R_2| |R_3| |w|}{\sqrt{(-C^2 R_1 R_2 R_3 w^2 + R_2 + R_1)^2 + 4 C^2 R_1^2 R_2^2 w^2}} \\ & - \text{atan2}\left(\frac{2 C R_1 R_2 w}{\sqrt{(-C^2 R_1 R_2 R_3 w^2 + R_2 + R_1)^2 + 4 C^2 R_1^2 R_2^2 w^2}}, \frac{-C^2 R_1 R_2 R_3 w^2 + R_2 + R_1}{\sqrt{(-C^2 R_1 R_2 R_3 w^2 + R_2 + R_1)^2 + 4 C^2 R_1^2 R_2^2 w^2}}\right) + \text{atan2}(0, w) + \text{atan2}(0, R_3) + \text{atan2}(0, R_2) + \\ & \text{atan2}(0, C) - \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

Agora com a função  $Hw$  em mãos podemos substituir os valores dos resistores e do capacitor pelos que utilizaremos.

$$Hw: \text{at}(Hw, [C = 10^{-7}, R_1=470, R_2=470, R_3=47000]);$$

$$- \frac{2209 \% i w}{1000 \left( - \frac{103823 w^2}{1000000000} + \frac{2209 \% i w}{50000} + 940 \right)}$$

Como nosso objetivo é analisar a magnitude e o ângulo de fase da função transferência, podemos extrair disto a parte real e imaginária da equação acima.

$$\begin{aligned} \text{mod: float(cabs}(Hw)); \\ \text{arg: float(carg}(Hw)); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{2.209 |w|}{\sqrt{(940.0 - 1.03823 \cdot 10^{-4} w^2)^2 + 0.0019518724 w^2}} \\ & - 1.0 \text{atan2}\left(\frac{0.04418 w}{\sqrt{(940.0 - 1.03823 \cdot 10^{-4} w^2)^2 + 0.0019518724 w^2}}, \frac{940.0 - 1.03823 \cdot 10^{-4} w^2}{\sqrt{(940.0 - 1.03823 \cdot 10^{-4} w^2)^2 + 0.0019518724 w^2}}\right) + \text{atan2}(0.0, w) - 1.570796326794897 \end{aligned}$$

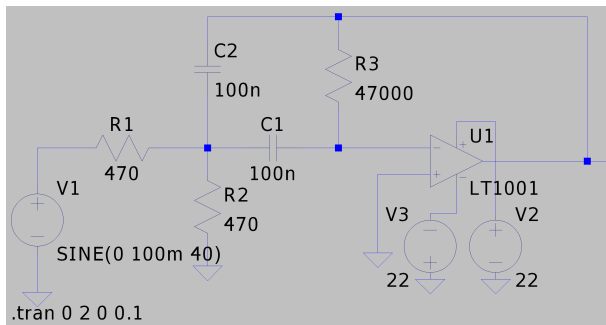
E Finalmente com estas funções em mãos, substituí a frequência com as frequências pedidas.

$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 40));$	0.5947268235758381
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 40));$	-1.582691143757437
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 100));$	1.543131753306023
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 100));$	-1.601663863417098
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 200));$	3.567859702321201
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 200));$	-1.642214216696675
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 400));$	18.19564498373385
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 400));$	-1.943261736655792
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 480));$	49.97330118029696
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 480));$	-3.174273654878822
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 550));$	22.68537225346826
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 550));$	-4.241467736328001
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 1100));$	3.787439578929809
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 1100));$	-4.636567561550356
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 2200));$	1.614934630493625
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 2200));$	-4.680084669441065
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 5500));$	0.6203421045354849
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 5500));$	-4.699981819974953
$\text{float(at(mod, } w = 2 \cdot \pi \cdot 11000));$	0.308421927263176
$\text{float(at(arg, } w = 2 \cdot \pi \cdot 11000));$	-4.706220502720951

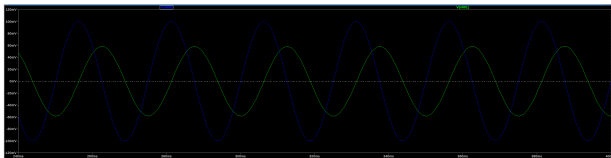
Com isto temos em mãos as magnitudes e ângulos de fase da função transferência para um gama de frequências.

## 2.3 LTSpice

No LTSpice montaremos o circuito e mediremos novamente o ângulo de fase e sua magnitude.

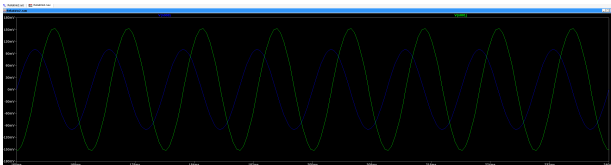


### 2.3.1 Analise em 40Hz



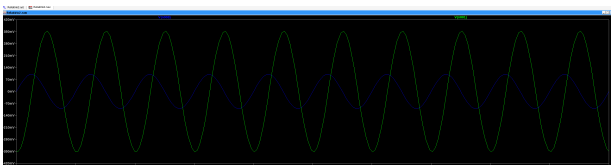
$$\begin{aligned} V_f &= 117.10115mV \\ V_i &= 199.76772mV \\ Magnitude(H) &= 0.586186547 \\ Fase &= -1.68605608 \end{aligned}$$

### 2.3.2 Analise em 100Hz



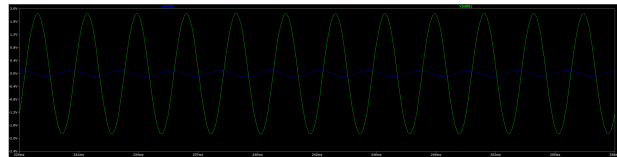
$$\begin{aligned} V_f &= 303.64554mV \\ V_i &= 199.34196mV \\ Magnitude(H) &= 1.52323946 \\ Fase &= -1.60226153 \end{aligned}$$

### 2.3.3 Analise em 200Hz



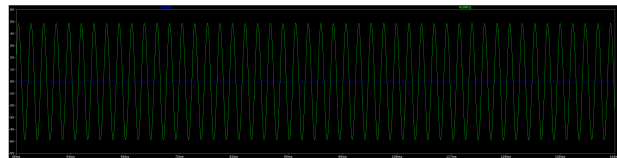
$$\begin{aligned} V_f &= 704.6312mV \\ V_i &= 199.46039mV \\ Magnitude(H) &= 3.53268737 \\ Fase &= -1.67119113 \end{aligned}$$

### 2.3.4 Analise em 400Hz



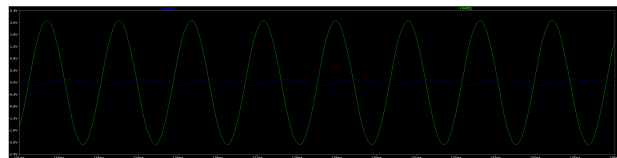
$$\begin{aligned} V_f &= 3.7148299V \\ V_i &= 199.72118mV \\ Magnitude(H) &= 18.6104333 \\ Fase &= -2.06820459 \end{aligned}$$

### 2.3.5 Analise em 480Hz



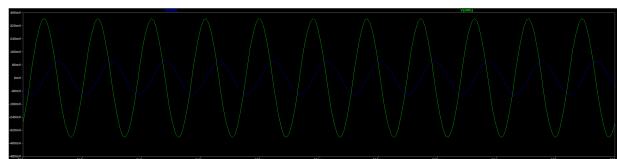
$$\begin{aligned} V_f &= 9.7253442V \\ V_i &= 199.42436mV \\ Magnitude(H) &= 48.7670824 \\ Fase &= -3.13491022 \end{aligned}$$

### 2.3.6 Analise em 550Hz



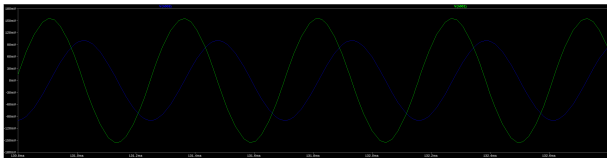
$$\begin{aligned} V_f &= 4.1496957V \\ V_i &= 199.35122mV \\ Magnitude(H) &= 20.8160035 \\ Fase &= -2.01155708 \end{aligned}$$

### 2.3.7 Analise em 1100Hz



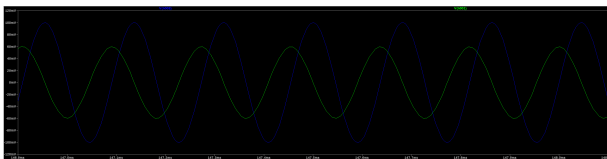
$$\begin{aligned} V_f &= 724.81506mV \\ V_i &= 199.55853mV \\ Magnitude(H) &= 3.6320926 \\ Fase &= -1.65494612 \end{aligned}$$

### 2.3.8 Analise em 2200Hz



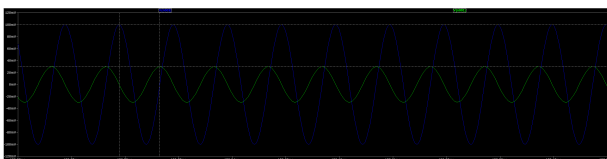
$$\begin{aligned} V_f &= 310.31854mV \\ V_i &= 199.32175mV \\ Magnitude(H) &= 1.55687244 \\ Fase &= -4.68032157 \end{aligned}$$

### 2.3.9 Analise em 5500Hz



$$\begin{aligned} V_f &= 118.93005mV \\ V_i &= 199.79451mV \\ Magnitude(H) &= 0.595261852 \\ Fase &= 1.60939706 \end{aligned}$$

### 2.3.10 Analise em 11000Hz



$$\begin{aligned} V_f &= 59.198177mV \\ V_i &= 199.57788mV \\ Magnitude(H) &= 0.296616925 \\ Fase &= -4.65829159 \end{aligned}$$

### 2.3.11 Tabela de resultados

Freq (Hz)	— H (jw) —	Fase (H)
40	0.586186547	-1.68605608
100	1.52323946	-1.60226153
200	3.53268737	-1.67119113
400	18.6104333	-2.06820459
480	48.7670824	-3.1349102
550	20.8160035	-2.01155708
1100	3.6320926	-1.65494612
2200	1.55687244	-4.68032157
5500	0.595261852	1.60939706
11000	0.296616925	-4.65829159

## 3 Medicoes em laboratorio

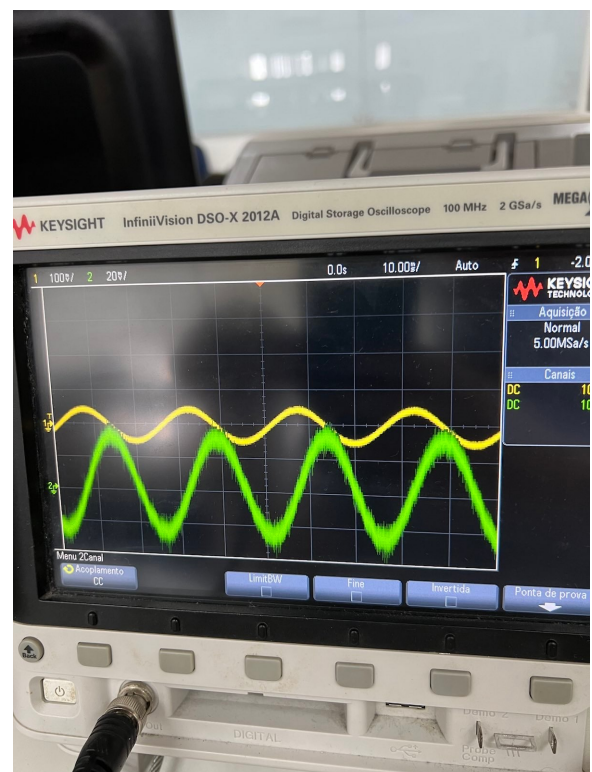
Vamos inicialmente fazer as medicoes dos componentes a serem usados.

### 3.1 Tabela de componentes

$$\begin{aligned} C_1 &= 104.89nF \\ C_2 &= 101.28nF \\ R_1 &= 465.1\omegaega \\ R_2 &= 473.7\omegaega \\ R_3 &= 46.25\omegaega \end{aligned}$$

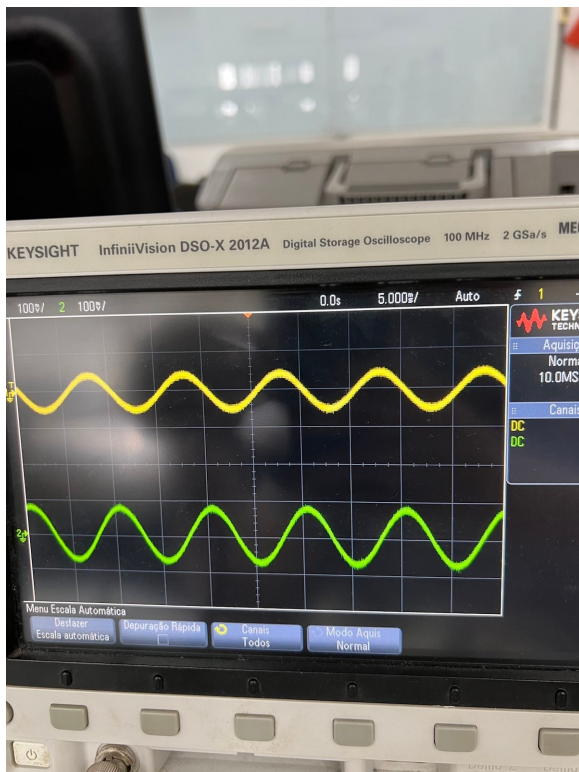
### 3.2 Medicoes no osciloscopio

Analise em 40Hz



$$\begin{aligned} V_f &= 0.565V \\ V_i &= 0.092V \\ Magnitude(H) &= 0.473 \\ Fase &= -1.5833627 \end{aligned}$$

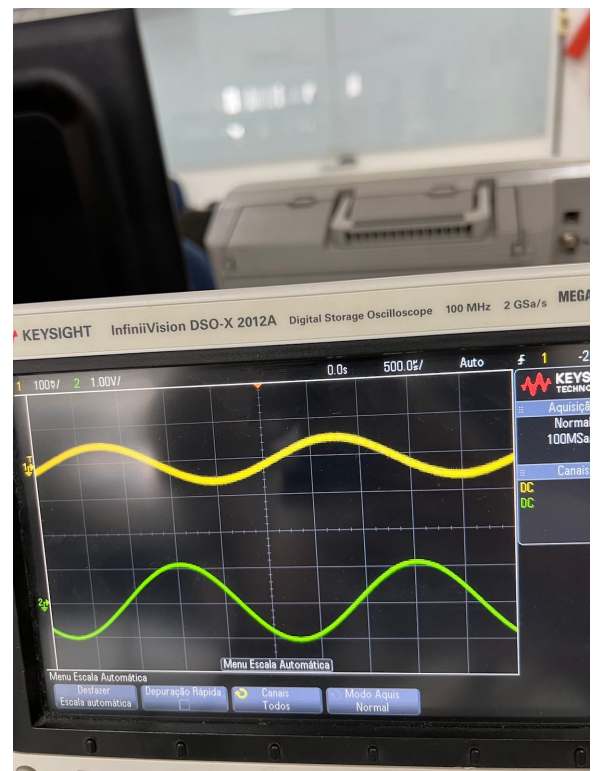
### 3.2.1 Análise em 100Hz



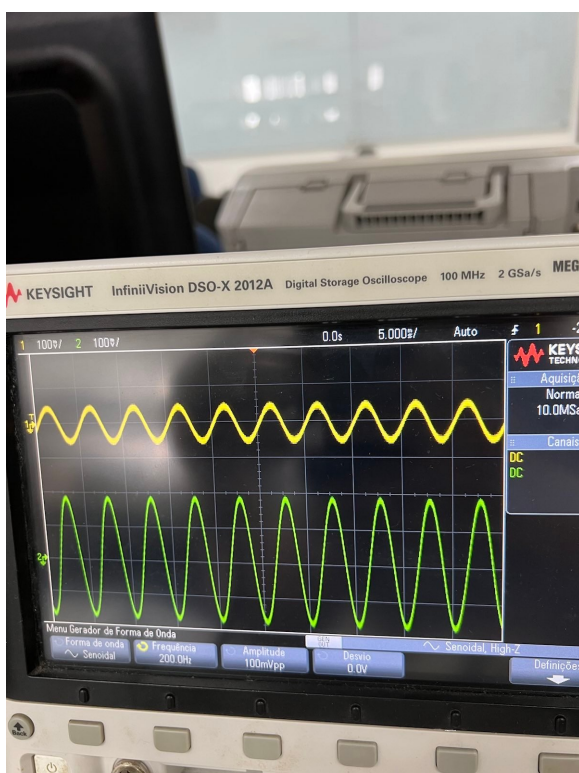
$$\begin{aligned} V_f &= 3.5425V \\ V_i &= 0.097V \\ \text{Magnitude}(H) &= 3.4455 \\ \text{Fase} &= -1.55822996 \end{aligned}$$

### 3.2.3 Análise em 400Hz

$$\begin{aligned} V_f &= 1.52V \\ V_i &= 0.09425V \\ \text{Magnitude}(H) &= 1.42575 \\ \text{Fase} &= -1.57079633 \end{aligned}$$



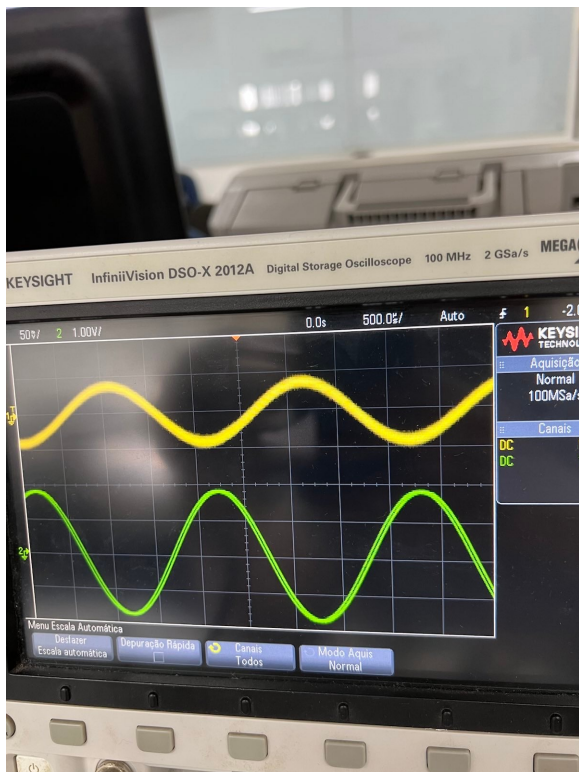
### 3.2.2 Análise em 200Hz



$$\begin{aligned} V_f &= 21.5V \\ V_i &= 0.106V \\ \text{Magnitude}(H) &= 21.394 \\ \text{Fase} &= -1.98548656 \end{aligned}$$

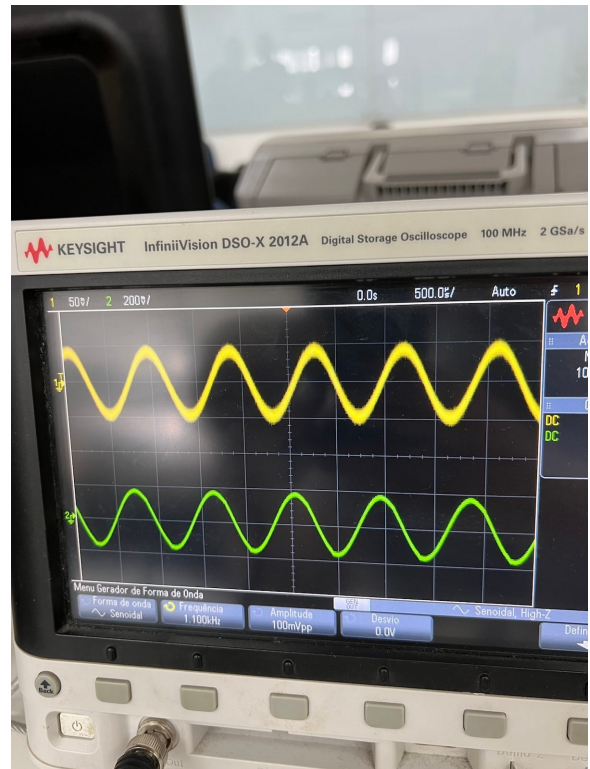


### 3.2.4 Analise em 480Hz



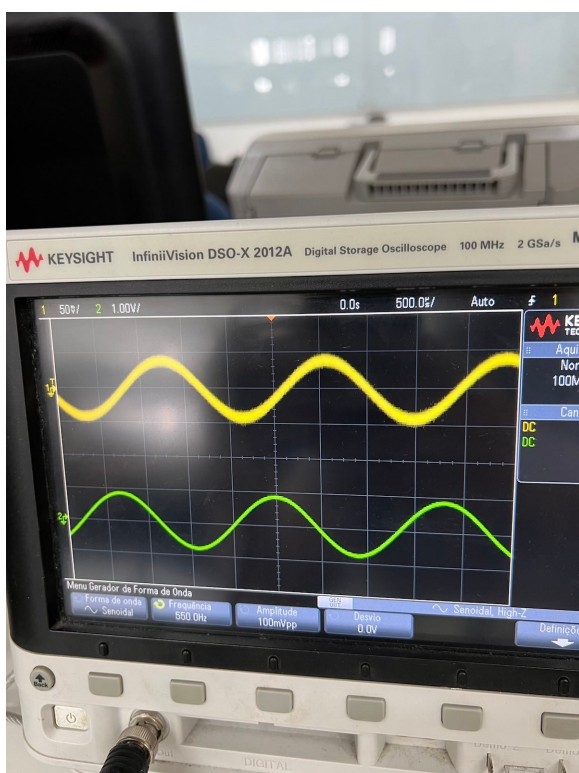
$$\begin{aligned} V_f &= 16.8V \\ V_i &= 0.082V \\ \text{Magnitude}(H) &= 16.71800 \\ \text{Fase} &= 2.07345115 \end{aligned}$$

### 3.2.6 Analise em 1100Hz



$$\begin{aligned} V_f &= 36.75V \\ V_i &= 0.1V \\ \text{Magnitude}(H) &= 36.65 \\ \text{Fase} &= -3.40799971 \end{aligned}$$

### 3.2.5 Analise em 550Hz



$$\begin{aligned} V_f &= 3.3175V \\ V_i &= 0.088V \\ \text{Magnitude}(H) &= 3.2295 \\ \text{Fase} &= 1.58964588 \end{aligned}$$

### 3.2.7 Analise em 2200Hz

Eu achei que tinha tirado fotos das frequências 2200Hz e 11000Hz mas não consegui achá-las na confecção do relatório.

$$\begin{aligned} V_f &= 1.4675V \\ V_i &= 0.8925V \\ \text{Magnitude}(H) &= 0.575 \\ \text{Fase} &= 1.65876092 \end{aligned}$$

### 3.2.8 Analise em 5500Hz

$$\begin{aligned} V_f &= 0.7V \\ V_i &= 0.09V \\ \text{Magnitude}(H) &= 0.61 \\ \text{Fase} &= 0.552920307 \end{aligned}$$

### 3.2.9 Analise em 11000Hz

$$\begin{aligned} V_f &= 0.09V \\ V_i &= 199.57788mV \\ \text{Magnitude}(H) &= 0.04325V \\ \text{Fase} &= 1.24407069 \end{aligned}$$

### 3.2.10 Tabela de resultados

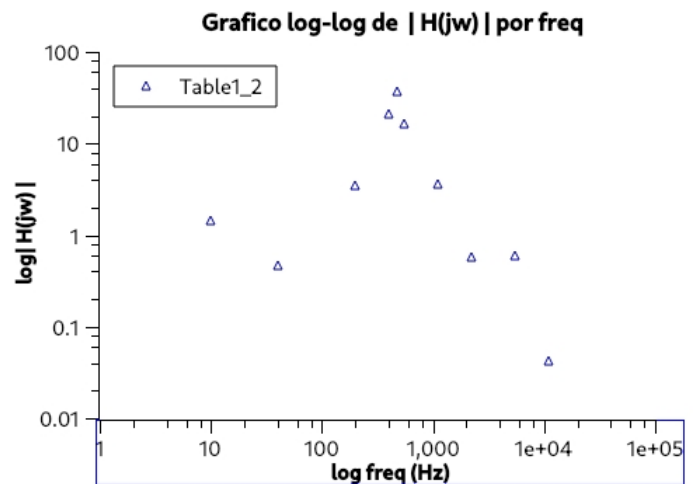
Freq (Hz)	H (jw)	Fase (H)
40	0.473	-1.5833627
100	1.42575	-1.57079633
200	3.4455	-1.55822996
400	21.394	-1.98548656
480	36.65	-3.40799971
550	16.71800	2.07345115
1100	3.6320926	1.58964588
2200	0.575	1.65876092
5500	0.61	0.552920307
11000	0.04325	1.24407069

## 3.3 Comparacao com valores teóricos

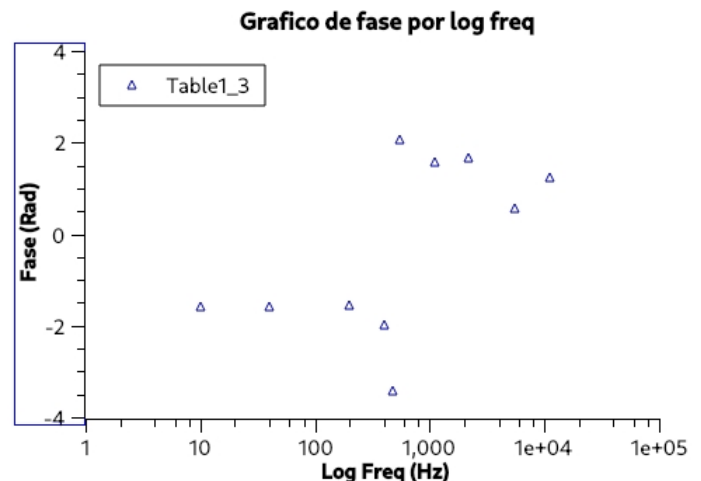
Podemos ver que os valores de magnitude ficaram coerentes com ambas analises teóricas, e os de fases pra frequencias baixas tambem, mas tive problemas pra entender o sentido do sinal da fase a medida que a frequencia subia.

## 3.4 Graficos

### 3.4.1 Escala log-log da magnitude de H(jw) e f



### 3.4.2 Escala semilog da fase de H(jw) e f



## 4 Conclusões

Conseguimos com sucesso fazer a analise numerica por dois meios, utilizando o LTSpice e WxMaxima, e comparamos os resultados.

Nos resultados praticos, a magnitude da funcao transferencia foi coerente com os resultados esperados, porem a fase em frequencias baixas se manteve coerente, porem em frequencias altas ela se tornou inconsistente.

Creio que por erros das minhas medidas, eu nao fui consistente em usar o mesmo cursor na mesma onda de entrada ou saida.

A frequencia de saida comecou adiantada em relacao a frequencia de entrada, e a medida que aumentamos a frequencia ela se atrasa ate que eh ultrapassada pela entrada.

Creio que isso faria com que a fase se inverta.

Mas em suma creio que tivemos sucesso em nos familiarizar com as ferramentas de analise de circuitos eletricos numericos.