

# Terceiro Relatório de Lab de Circuitos II

Henrique da Silva  
hpsilva@proton.me

19 de março de 2023

## Sumário

1	Introdução	
2	Análise preliminar	
2.1	O Circuito	...
2.2	Maxima	...
2.2.1	Análise do circuito 1	...
2.2.2	Análise do circuito 2	...
2.2.3	Análise do circuito 3	...
3	Medições em laboratório	
3.1	Tabela de componentes	...
3.2	Circuito 1	...
3.2.1	Tabela de valores	...
3.2.2	Função transferência	...
3.2.3	Estimativas experimentais de $ H(jw) $	...
3.2.4	Valores de corte	...
3.3	Circuito 2	...
3.3.1	Tabela de valores	...
3.3.2	Função transferência	...
3.3.3	Estimativas experimentais de $ H(jw) $	...
3.3.4	Valores de corte	...
4	Conclusões	

## 1 Introdução

Neste relatório, vamos discutir filtros passa-baixa, e como utilizar um amp op como buffer de corrente para reduzir o efeito do filtro na carga.

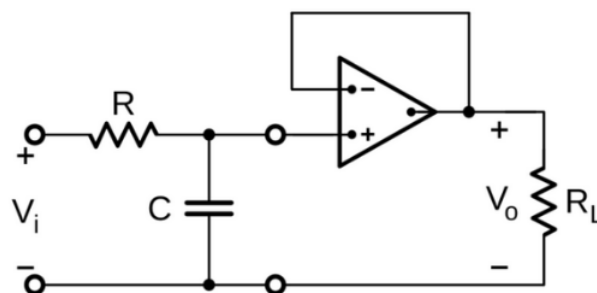
Todos arquivos utilizados para criar este relatório, e o relatorio em si estão em: [https://github.com/Shapis/ufpe\\_ee/tree/main/5thsemester/CircuitsII/](https://github.com/Shapis/ufpe_ee/tree/main/5thsemester/CircuitsII/)

## 2 Análise preliminar

Utilizarei o Maxima para fazer a análise teórica do circuito antes de montá-lo fisicamente.

Após terminar as análises compararei os resultados obtidos nas análises numéricas e em laboratório para verificar sua coerência.

### 2.1 O Circuito



## 2.2 Maxima

### 2.2.1 Análise do circuito 1

Primeiro fiz manualmente a análise circuito que vamos construir, utilizei um divisor de tensão, passei o circuito para o domínio da frequência e fiz a função transferência.

```
>>> eq1: Vo = Vi*(1/(S*C))/(R+(1/(S*C)));
      Vo = Vi/(C*(1/(C*S)+R)*S)
>>> sols1: solve([eq1],[Vo,Vi]);
      [[Vo = %r2, Vi = %r2*C*R*S+%r2]]
>>> H1: at(Vo/Vi, eq1);
      1/(C*(1/(C*S)+R)*S)
>>> H1: ratsimp(H1);
      1/(C*R*S+1)
```

Para obter o ganho vi o que acontecia com a função transferência quando a frequência tendia a zero.

```
>>> H1: ratsimp(H1);
      1/(C*R*S+1)
```

Podemos ver que quando o  $s$  tender a 0, o ganho tenderá a 1.

Já da função transferência observamos que a frequência de corte é  $\frac{1}{RC}$

Logo para projetar um filtro que tenha frequência de corte  $50Hz$  fazemos:

$$2\pi f = \frac{1}{RC}$$

$$f = 2\frac{1}{RC\pi}$$

Resolvendo para  $f = 50Hz$  e  $C = 100nF$  temos:

```
>>> freq1: (1/(R*C))/(2*pi);
      1/(2*pi*C*R)
>>> var: at(freq1, C=100 * 10^-9);
      5000000/(pi*R)
>>> R1: float(solve(50 = var, R));
      [R = 31830.98861837907]
```

O valor da resistência está próximo ao resistor comercial de  $33k\Omega$ .

Utilizando o resistor de  $33k\Omega$ , obtemos uma nova frequência de corte de  $f = 48Hz$ .

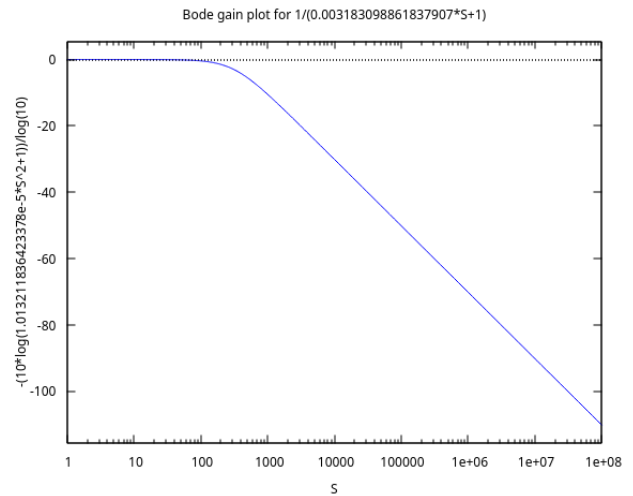


Figura 1: Magnitude de  $H(s)$  do circuito 1.

E por fim, geramos o diagrama de Bode do ganho do circuito

### 2.2.2 Análise do circuito 2

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

```
>>> eq1: 0 = (Vo-Vi)/R + Vo/(1/(s*C)) + Vo / R_L;
      0 = C*Vo*s+(Vo-Vi)/R+Vo/R_L
>>> sols: solve(eq1,[Vo]);
      [Vo = (R_L*Vi)/(C*R*R_L*s+R_L+R)]
>>> H: at(Vo/Vi, sols);
      R_L/(C*R*R_L*s+R_L+R)
```

Para obter o ganho vi o que acontecia com a função transferência quando a frequência tendia a zero.

```
>>> Hmax : at(H, s = 0);
      R_L/(R_L+R)
>>> ganho: at(Hmax, [R_L=22*10^3, R = 33*10^3]);
      2/5
```

Podemos ver que quando o  $s$  tender a 0, o ganho tenderá a  $\frac{2}{5}$ .

Com o ganho em mãos podemos achar a frequência  $w$ , fazendo o seguinte:

$$Ganho = \frac{|H(jw)|}{\sqrt{2}} = \frac{2}{5}$$

```
>>> Hw: at(H, [s = %i*w]);
Hw: at(Hw, [R_L = 22*10^3, R = 33*10^3, C=100*10^-9]);
R_L/(%i*C*R*R_L*w+R_L+R)
22000/((363*%i*w)/5+55000)
>>> eq2: cabs(Hw) = ganho/(sqrt(2));
22000/sqrt((131769*w^2)/25+3025000000) = sqrt(2)/5
>>> float(solve(solve(eq2,w),w));
[w = -757.5757575757576, w = 757.5757575757576]
>>> 757.5757575757/(2*3.141592);
120.5719516690423
```

Achamos uma nova frequência de corte de  $120\text{Hz}$ , podemos observar que adicionando a carga, a nossa frequência de corte foi alterada.

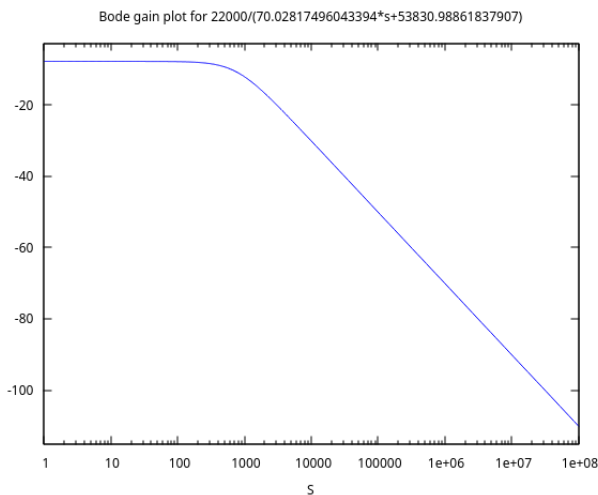


Figura 2: Magnitude de  $H(s)$  do circuito 2.

E por fim, geramos o diagrama de Bode do ganho do circuito

### 2.2.3 Análise do circuito 3

Observamos que neste caso, as equações que regem o circuito, são as mesmas do circuito 1. Já que o terra virtual, isola as duas partes do circuito. Insulando a carga de afetar o seu comportamento. Logo, não haverá  $R_L$  na sua função transferência.

Fiz manualmente a análise do circuito que vamos construir, utilizei um divisor de tensão, passei o circuito para o domínio da frequência e fiz a função transferência.

```
>>> eq1: Vo = Vi*(1/(S*C))/(R+(1/(S*C)));
Vo = Vi/(C*(1/(C*S)+R)*S)
>>> sols1: solve([eq1],[Vo,Vi]);
[[Vo = %r2, Vi = %r2*C*R*S+%r2]]
>>> H1: at(Vo/Vi, eq1);
1/(C*(1/(C*S)+R)*S)
>>> H1: ratsimp(H1);
1/(C*R*S+1)
```

Para obter o ganho  $v_i$  o que acontecia com a função transferência quando a frequência tendia a zero.

```
>>> H1: ratsimp(H1);
1/(C*R*S+1)
```

Podemos ver que quando o  $s$  tender a 0, o ganho tenderá a 1.

Já da função transferência observamos que a frequência de corte é  $\frac{1}{RC}$

Observamos que este circuito tem exatamente a mesma frequência de corte e ganho do circuito 1.

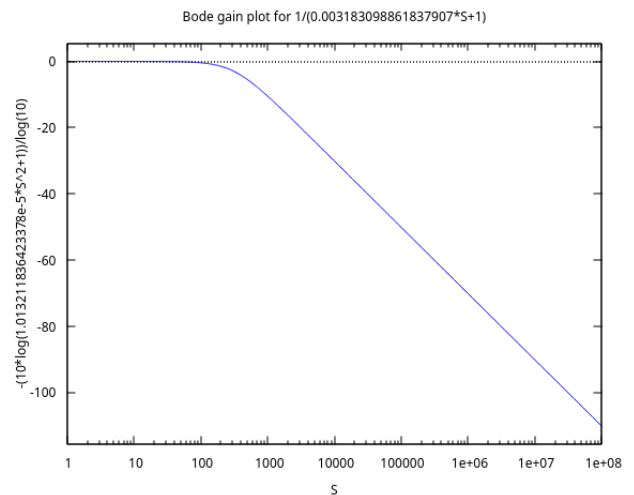


Figura 3: Magnitude de  $H(s)$  do circuito 3.

E por fim, geramos o diagrama de Bode do ganho do circuito

### 3 Medições em laboratório

Vamos inicialmente fazer as medições dos componentes a serem usados.

#### 3.1 Tabela de componentes

$$\begin{aligned} C_1 &= 101.0nF \\ C_2 &= 10.5nF \\ R_1 &= 46.6k\Omega \\ R_2 &= 464.5k\Omega \\ R_3 &= 474.2k\Omega \end{aligned}$$

#### 3.2 Circuito 1

##### 3.2.1 Tabela de valores

Encontrei  $f_1 = 3$ , daí segue os seguintes valores:

Múltiplos	Freq (Hz)	Entrada (V)	Saída (V)
0.15	0.5	1.67	15.7
0.4	1.2	1.67	14.6
0.6	1.8	1.67	13.4
0.8	2.4	1.67	12.1
1.0	3.0	1.67	10.9
1.2	3.6	1.67	9.9
1.4	4.2	1.67	8.9
1.8	5.4	1.67	7.4
2.5	7.5	1.67	5.8
4	12	1.67	3.6
6	18	1.67	2.4
10	30	1.67	1.3

##### 3.2.2 Função transferência

H1: `at(H, [C1 = 101·10^-9, C2 = 10.5·10^-9, R1=46600, R2=464500, R3=474200]);`

$$\frac{464500}{10.88538659187 s^2 + 2772.09786 s + 46600}$$

Figura 4: Função transferência do circuito 1.

##### 3.2.3 Estimativas experimentais de $|H(jw)|$

Múltiplos	Freq (Hz)	$ H(jw) $
0.15	0.5	9.4011
0.4	1.2	8.7425
0.6	1.8	8.0239
0.8	2.4	7.2455
1.0	3.0	6.5269
1.2	3.6	5.9281
1.4	4.2	5.3293
1.8	5.4	4.4310
2.5	7.5	3.4730
4	12	2.1796
6	18	1.4371
10	30	0.7844

Escala log-log da magnitude de  $H(jw)$  nos pontos experimentais

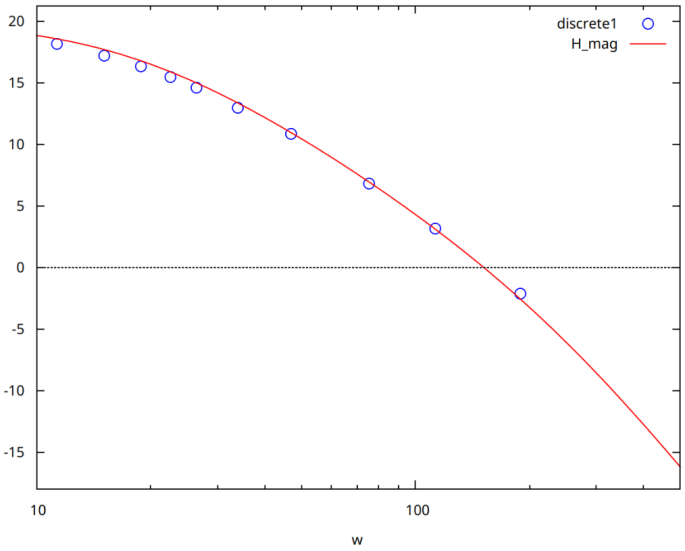


Figura 5:  $|H(jw)|$  por  $w$  em escala log-log.

##### 3.2.4 Valores de corte

Com entrada de  $0.8V$  encontrei os seguintes valores de tempo para a onda atingir 10% e 90% do valor máximo respectivamente:

$$\begin{aligned} 10\% &= 8.8ms \\ 90\% &= 128.0ms \end{aligned} \tag{1}$$

3.3 Circuito 2

3.3.1 Tabela de valores

Encontrei  $f_{max} = 15$ , daí segue os seguintes valores:

Múltiplos	Freq (Hz)	Entrada (V)	Saída (V)
0.15	2.2	5.07	4.9
0.4	6	5.07	4.94
0.6	9	5.07	4.94
0.8	12	5.07	4.98
1.0	15	5.07	5.03
1.2	18	5.07	4.98
1.4	21	5.07	4.94
1.8	27	5.07	4.66
2.5	37	5.07	3.66
4	60	5.07	1.71
6	90	5.07	0.76
10	150	5.07	0.29

3.3.2 Função transferência

$H2: at(H, [C1 = 101 \cdot 10^{-9}, C2 = 10.5 \cdot 10^{-9}, R3=46600, R2=464500, R1=474200]);$

$$-\frac{464500}{10.88538659187 s^2 + 2772.09786 s + 474200}$$

Figura 6: Função transferência do circuito 1.

3.3.3 Estimativas experimentais de  $|H(jw)|$

Múltiplos	Freq (Hz)	$ H(jw) $
0.15	2.2	0.9667
0.4	6	0.9743
0.6	9	0.9743
0.8	12	0.9822
1.0	15	0.9921
1.2	18	0.9822
1.4	21	0.9743
1.8	27	0.9191
2.5	37	0.7218
4	60	0.3372
6	90	0.1499
10	150	0.0572

Escala log-log da magnitude de  $H(jw)$  nos pontos experimentais

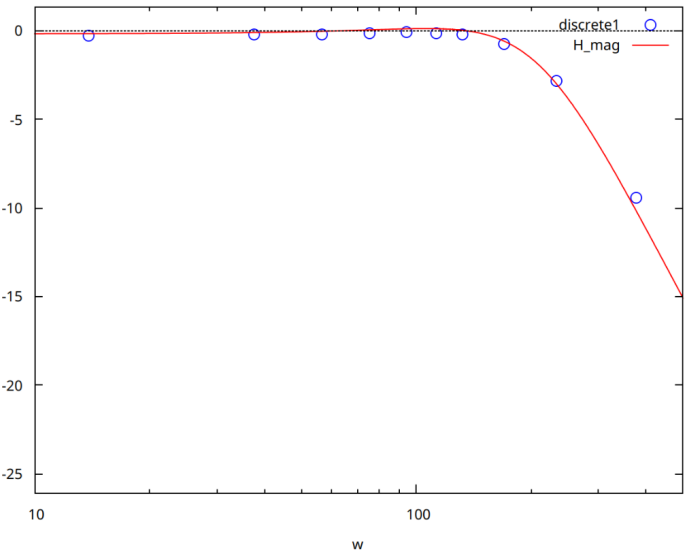


Figura 7:  $|H(jw)|$  por  $w$  em escala log-log.

3.3.4 Valores de corte

Com entrada quadrada de 5V encontrei que apos 11ms a onda se enquadrada exclusivamente entre 90% e 110% do seu valor máximo.

## 4 Conclusões

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

Nos resultados práticos, a magnitude da função transferência foi coerente com os resultados esperados.

Os gráficos que geramos a partir dos resultados experimentais foram coerentes com os gráficos gerados numericamente

Mas em suma creio que tivemos sucesso em nos familiarizar com as ferramentas de análise de circuitos elétricos numéricos.