



Faculdades Metropolitanas Unidas  
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da  
Informação

# Engenharia Elétrica

Atividade Prática Supervisionada

Sinais e Sistemas

**Amanda Silva de Oliveira - RA: 8903775**

**Henrique Matheus Alves Pereira - RA: 8486961**

**Natã Rodrigo dos Santos Pereira - RA: 1784190**

**Yasmin de Cássia Thums - RA: 8041925**

Turma 127206A16

Sexto Semestre

**Prof. Dr. Vinicius Vono Peruzzi**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
ATIVIDADE 1.....	4
ATIVIDADE 2.....	4
OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM - COMPETÊNCIAS RELACIONADAS.....	4
<b>FILTRO PASSA ALTA.....</b>	<b>5</b>
DESCRITIVO E DIMENSIONAMENTO .....	5
TRANSIENTES: 3kHz – FREQUÊNCIA INFERIOR.....	7
<i>Gráfico 1 e 2 .....</i>	<i>7</i>
TRANSIENTES: 15kHz – FREQUÊNCIA SUPERIOR.....	8
<i>Gráfico 3 e 4 .....</i>	<i>8</i>
TRANSIENTES: 30kHz – FREQUÊNCIA DE CORTE.....	9
<i>Gráfico 5 e 6 .....</i>	<i>9</i>
GANHO DE TENSÃO.....	10
<i>Transientes: 3kHz – Frequência Inferior .....</i>	<i>10</i>
<i>Transientes: 15kHz – Frequência Superior .....</i>	<i>10</i>
<i>Transientes: 30kHz – Frequência de Corte .....</i>	<i>10</i>
ANÁLISE MATEMÁTICA DO CIRCUITO.....	11
<i>Código no Octave Online .....</i>	<i>13</i>
Resultado do Octave Online: $f = 3\text{kHz}$ – Frequência Inferior.....	13
Resultado do Octave Online: $f = 15\text{kHz}$ – Frequência Superior.....	13
Resultado do Octave Online: $f = 30\text{kHz}$ – Frequência de Corte.....	13
FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA.....	14
<i>Transformada de Laplace.....</i>	<i>14</i>
<i>Transformada Inversa de Laplace .....</i>	<i>15</i>
<b>APLICAÇÃO DE FILTRO PASSA BAIXA NO SETOR DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA.....</b>	<b>17</b>
INTRODUÇÃO.....	17
DESCRITIVO.....	17
DIMENSÕES DO PROJETO.....	19
<b>PROCESSO DE FILTRAGEM NA IMAGEM DIGITAL.....</b>	<b>20</b>
FILTRO PASSA-BAIXA.....	20
FILTRO PASSA-ALTA.....	20
TRANSMISSÃO DAS ESTAÇÕES DE RÁDIO E TELEVISÃO .....	21
REDE DE TELEVISÃO.....	21
RADIODIFUSÃO DE SONS.....	21
<i>Diferença entre rádio FM e AM.....</i>	<i>21</i>
SISTEMA DE TELEFONIA MÓVEL 4G.....	22
AMPLIFICADOR DE SINAL .....	22
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>23</b>

## LISTA DE FIGURAS

[1] - Figura 1 – Dimensionamento matemático do filtro passa alta. ....	5
[2] - Figura 2 – Circuito elétrico do filtro passa alta no multisim online. ....	5
[1] - Figura 3 – Ganho de tensão – 3kHz. ....	10
[1] - Figura 4 – Ganho de tensão – 15kHz. ....	10
[1] - Figura 5 – Ganho de tensão – 30kHz. ....	10
[2] - Figura 6 – Esquema elétrico do filtro passa alta. ....	11
[1] - Figura 7 – Demonstração da impedância total do circuito. ....	11
[1] - Figura 8 – Cálculo da impedância total e corrente em 3kHz. ....	12
[1] - Figura 9 – Conversão para polar. ....	12
[3] - Figura 10 – Código para cálculo da impedância no Octave Online. ....	13
[3] - Figura 11 – Resultado do Octave para 3kHz. ....	13
[3] - Figura 12 – Resultado do Octave para 15kHz. ....	13
[3] - Figura 13 – Resultado do Octave para 30kHz. ....	13
[1] - Figura 14 – Redesenhando o circuito. ....	14
[1] - Figura 15 – Fórmula do divisor de tensão. ....	14
[1] - Figura 16 – Tensão de saída em transformada de laplace. ....	15
[1] - Figura 17 – Simplificação para Transformada inversa de Laplace. ....	15
[3] - Figura 18 – Comprovação da conversão no symbolab. ....	15
[1] - Figura 19 – Relação de tensão na Transformada inversa de Laplace. ....	16
[1] - Figura 20 – Tensão de saída na Inversa de Transformada de Laplace. ....	16
[4] - Figura 21 – Aplicação – Filtro passa baixa -circuito elétrico de uma rede de distribuição ....	18
[4] - Figura 22 – Aplicação – Filtro passa baixa - Circuito do projeto. ....	19
[5] - Figura 23 - Imagem original. ....	20
[5] - Figura 24 - Imagem processada e filtrada pelo filtro passa-baixa. ....	20
[5] - Figura 25 – Imagem processada e filtrada pelo passa alta. ....	20
[5] - Figura 26 – Imagem final. ....	20
[6] - Figura 27 - Nomenclaturas das faixas de frequências permitidas pela ANATEL. ....	21
[7] - Figura 28 - Circuito elétrico do amplificador de RF. ....	22

## INTRODUÇÃO

---

Apresentamos neste trabalho duas aplicações: uma para filtro passa alta e outra para filtro passa baixa. A primeira aplicação, demonstramos o dimensionamento matemático, simulação do circuito, cálculo de Transformada de Laplace, e Inversa de Laplace no *Octave Online*. A segunda aplicação consiste na análise de um artigo técnico sobre filtro passa baixa para filtro de harmônicas.

Enunciado do Atividade Prática Supervisionada:

### ATIVIDADE 1

Pesquisa: Apresentação de aplicações práticas dos diversos sistemas lineares estudados na disciplina, como por exemplo filtros.

### ATIVIDADE 2

Pesquisa na literatura internacional de um artigo relacionado ao avanço tecnológico no projeto de filtros. Apresentar um texto com suas conclusões sobre a importância do artigo analisado do ponto de vista econômico e tecnológico.

## OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM - COMPETÊNCIAS RELACIONADAS

- 1- Aplicar a transformada de Laplace para a resolução de circuitos elétricos;
- 2- Compreender e traçar a resposta em frequência de sistemas;
- 3- Projetar e calcular filtros passivos e ativos.

## FILTRO PASSA ALTA

### DESCRIPTIVO E DIMENSIONAMENTO

Deseja-se projetar um circuito de filtro que seja possível atenuar em 100 vezes um sinal de entrada com frequência igual a **3kHz**, permitindo a passagem de um sinal com frequência igual a **15kHz** sem atenuação.

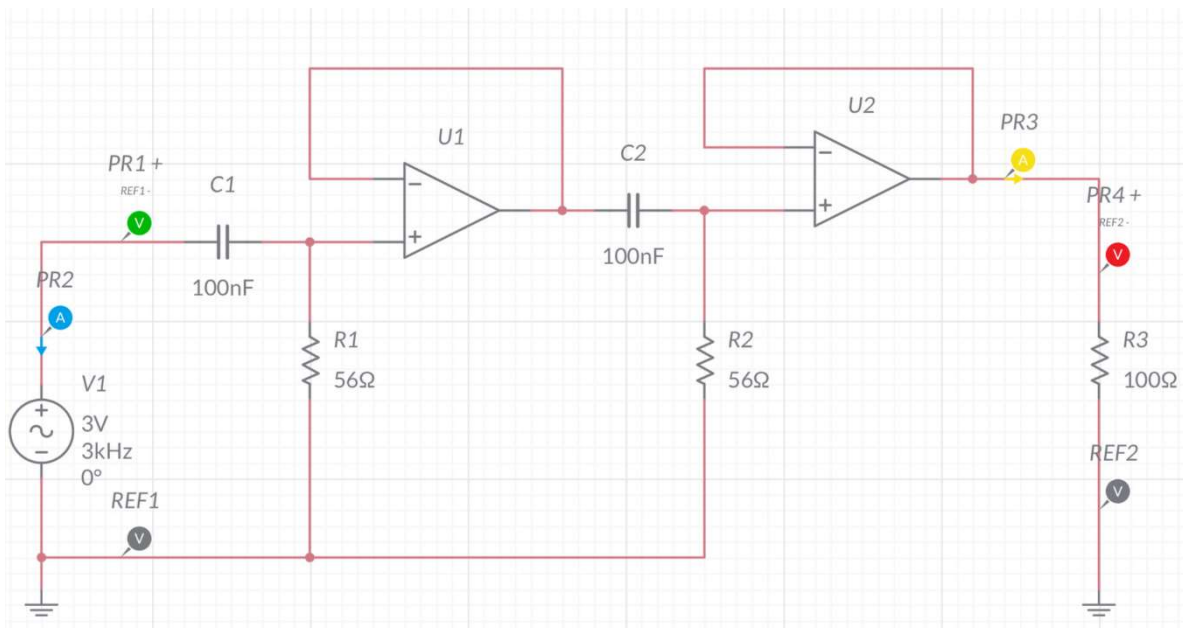
Abaixo segue a demonstração matemática da configuração do circuito.

$$\begin{aligned}
 A_{fx} &= 20 \cdot \log(G) \rightarrow A_{fx} = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{100}\right) \rightarrow A_{fx} = -40 \text{ dB} \rightarrow 2 \text{ circuitos de filtro} \\
 Ef &= [\log(f_s) - \log(f_i)] \rightarrow Ef = [\log(15 \cdot 10^3) - \log(3 \cdot 10^3)] \rightarrow Ef = 0,6989 \text{ d c.} \\
 A_{ff} &= \left(\frac{A_{fx}}{Ef}\right) \rightarrow A_{ff} = \frac{-40}{0,6989} \rightarrow A_{ff} = -57,23 \text{ dB/d c.} \quad \eta = \left(\frac{A_{fx}}{A_{ff}}\right) \rightarrow \eta = \left(\frac{-40}{-57,23}\right) = 1 \\
 f_c &= f_x \cdot 10^\eta \rightarrow f_c = (3 \cdot 10^3) \cdot (10^1) = 30 \cdot 10^3 \text{ Hz} \quad \text{Adotamos arbitrariamente que } C = 100 \text{ nF} \\
 R &= \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C)} \rightarrow R = \frac{1}{[2 \cdot \pi \cdot (30 \cdot 10^3) \cdot (100 \cdot 10^{-9})]} \rightarrow R = 53,05 \, \Omega \\
 &\quad \text{Não é um valor comercial} \\
 &\quad \text{Vamos considerar } R = 56 \, \Omega, \text{ porque   comercial}
 \end{aligned}$$

[1] - FIGURA 1 – DIMENSIONAMENTO MATEMÁTICO DO FILTRO PASSA ALTA.

Note que estamos considerando arbitrariamente um capacitor de **100nF**, e também arredondamos o valor do resistor para o modelo comercial mais próximo.

Abaixo segue o esquema elétrico, conforme dimensionado. Utilizamos uma resistência, com valor simbólico de **100 ** para análise dos sinais de saída, variando a frequência do sinal de entrada.



[2] - FIGURA 2 – CIRCUITO ELÉTRICO DO FILTRO PASSA ALTA NO MULTISIM ONLINE.

A configuração do filtro é de passa alta, conforme mostrado na figura 2. Note que estamos utilizando amplificadores operacionais de três terminais somente, e não de cinco, visto que não há necessidade de controle do ganho de tensão, porque a saída do mesmo está “curto-circuitada” com o terminal de entrada inversora.

Assim, temos a certeza que a tensão recebida pela segunda malha (U1, C2, R2) é igual a queda de tensão no resistor R1. Ou seja, temos então a primeira configuração de um divisor de tensão. O segundo divisor de tensão pode ser visto no amplificador U2, do qual recebe a mesma tensão que o resistor R2, e “alimenta” a carga simbólica R3 com a mesma tensão VR2.

Para frequências de sinal de entrada de 0 a 3kHz, a tensão de saída será quase igual a 0 Volts. Para sinais maiores que 3kHz, tensão da saída será menor que a de entrada, conforme abordaremos a seguir.

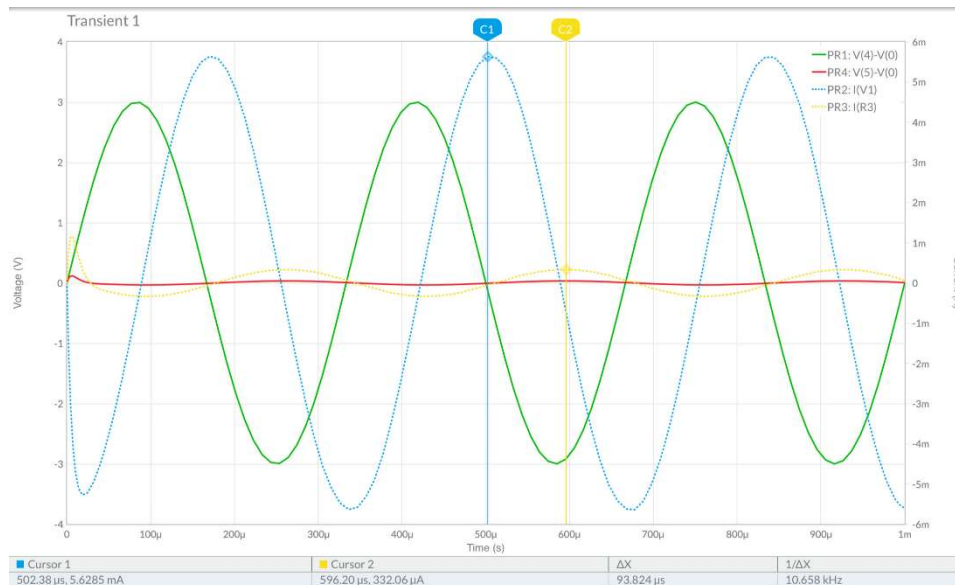
O circuito foi simulado no *MultiSim Live Online*. [1]

## TRANSIENTES: 3KHZ – FREQUÊNCIA INFERIOR

Os dois gráficos a seguir são exatamente iguais, mas o primeiro mostra o valor da corrente máxima do circuito (cursor C1, em azul), em relação a corrente de saída do filtro (cursor C2, em amarelo). Definimos como **3Vca** como tensão de entrada para o circuito em todas as simulações, em que somente a frequência do sinal de entrada será alterada.[1]

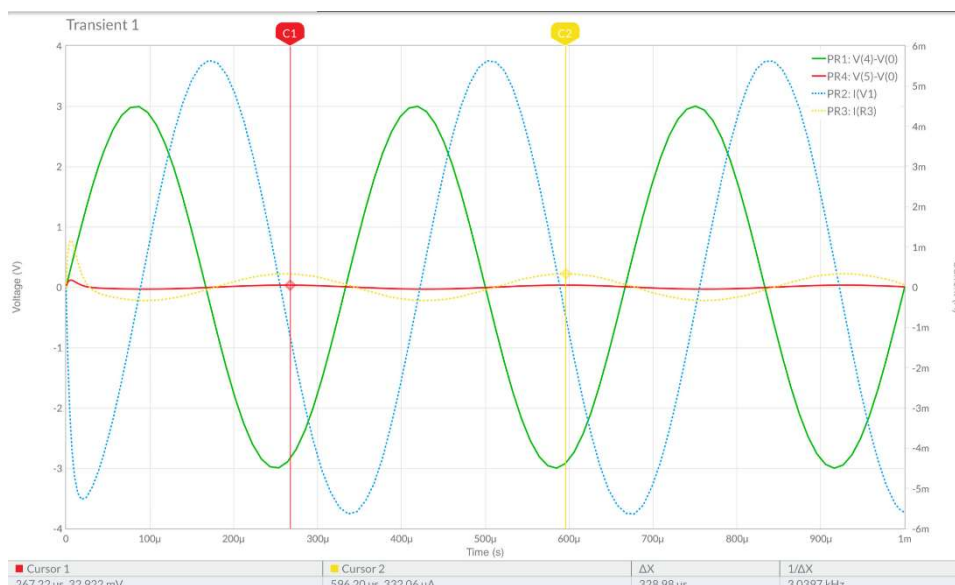
### GRÁFICO 1 E 2

Vemos que, neste caso, a corrente máxima é **5,6285 miliAmpère** (aproximadamente), enquanto a corrente de saída é **332,06 microAmpère**. A corrente de saída equivale a **5,89%** da corrente máxima.



[2] - GRÁFICO 1 – TRANSIENTES DE TENSÃO E CORRENTE DO CIRCUITO – 3KHZ.

Como foi citado acima, sabemos que a tensão de entrada é igual a **3Vca**, e conforme indica no gráfico a seguir (no cursor C1, em vermelho), a tensão de saída é **32,922 miliVolts** (aproximadamente). A tensão de saída equivale a **1,09%** da tensão de entrada. Sabemos que a solicitação era que a atenuação deveria ser de 100 vezes, e podemos considerar que está realmente acontecendo, já que a tensão foi “diminuída” em **98,90%**, e está muito próxima de zero.



[2] - GRÁFICO 2 – TRANSIENTES DE TENSÃO E CORRENTE DE SAÍDA – 3KHZ.

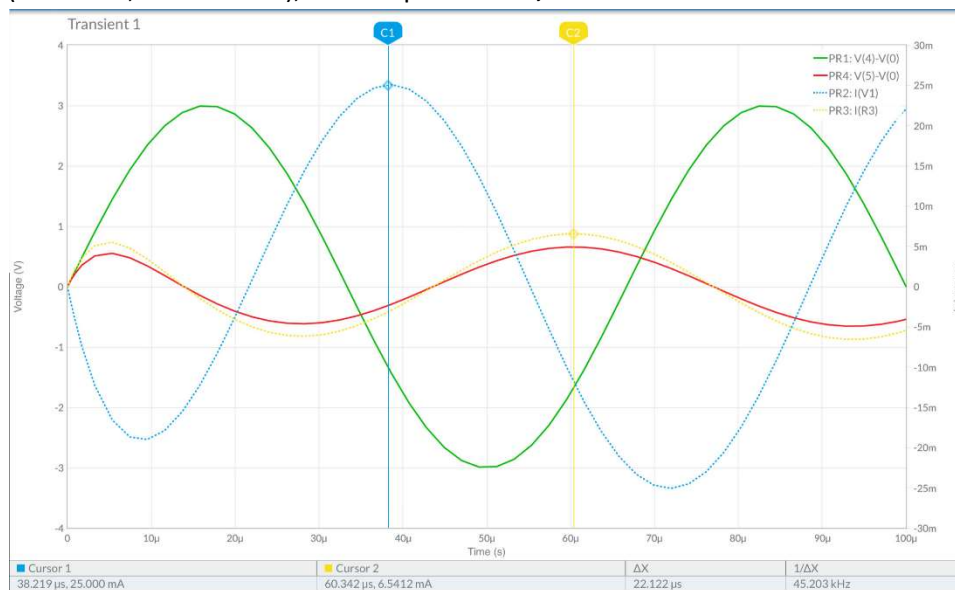


## TRANSIENTES: 15KHZ – FREQUÊNCIA SUPERIOR

### GRÁFICO 3 E 4

Seguindo o mesmo padrão das análises dos gráficos anteriores, neste caso, a corrente máxima é **25 miliAmpère** (cursor C1, em azul). Isso ocorre porque o aumento da frequência do sinal de entrada no sistema diminui a reatância capacitiva, e consequentemente a impedância total do sistema. Ou seja, a frequência do sinal de entrada é inversamente proporcional à reatância capacitiva. Mais à frente demonstraremos os cálculos feitos no **Octave Online**, dos quais mostram essa diminuição.

Assim, a corrente de saída também é maior que a análise de frequência anterior. Nesta situação, a corrente de saída é **6,5412 miliAmpère** (cursor C2, em amarelo), e corresponde a **26,16%** da corrente máxima.



[2] - GRÁFICO 3 – TRANSIENTES DE TENSÃO E CORRENTE DO CIRCUITO – 15KHZ.

A tensão de saída também aumenta, quando aumenta-se a frequência do sinal de entrada. Temos então, a tensão de saída igual a **614,83 miliVolts** (cursor C1, em vermelho), que corresponde a **20,49%** da tensão de entrada.



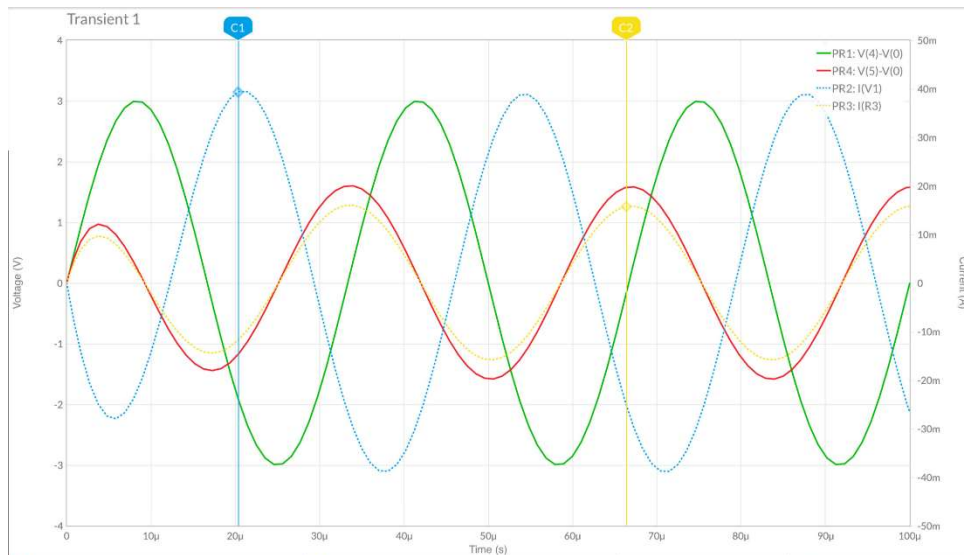
[2] - GRÁFICO 4 – TRANSIENTES DE TENSÃO E CORRENTE DE SAÍDA – 15KHZ.



## TRANSIENTES: 30KHZ – FREQUÊNCIA DE CORTE

### GRÁFICO 5 E 6

Como última análise de variação de frequência do sinal de entrada, podemos ver que a corrente máxima do circuito também aumentou, em relação a análise anterior. Conforme explicado anteriormente, esse aumento também é causado pela diminuição da reatância capacitiva. A corrente do circuito, que é a mesma que a máxima, é igual a **39,303 miliAmpère** (cursor C1, em azul). A corrente de saída é **15,22 miliAmpère** (cursor C2, em amarelo), e corresponde a **38,72%** da corrente do circuito.



**[2] - GRÁFICO 5 – TRANSIENTES DE TENSÃO E CORRENTE DO CIRCUITO – 30KHz.**

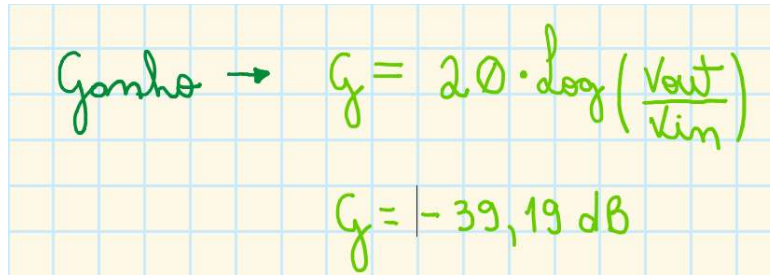
Se a corrente de saída é maior que o caso anterior, a tensão de saída também. Nesta situação, a tensão de saída é igual a **1,5613 Volts** (cursor C1, em vermelho), e equivale a **52,04%** da tensão de entrada. O restante da tensão foi utilizada pela impedância do sistema.



**[2] - GRÁFICO 6 – TRANSIENTES DE TENSÃO E CORRENTE DE SAÍDA – 30KHz.**

## GANHO DE TENSÃO

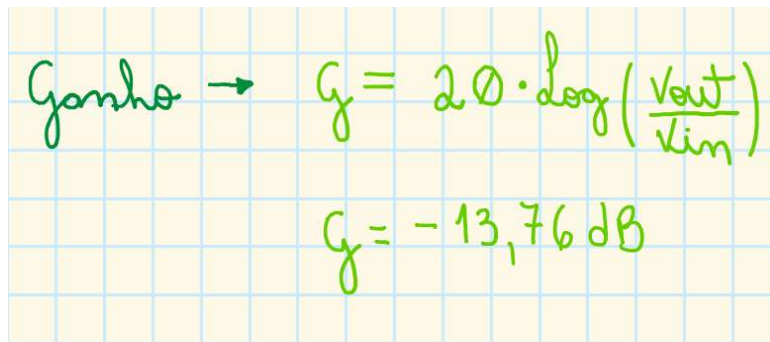
### TRANSIENTES: 3KHZ – FREQUÊNCIA INFERIOR



Handwritten calculation on a grid background. The text 'Ganho' is followed by an arrow pointing to the formula  $G = 20 \cdot \log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$ . Below this, the result is given as  $G = -39,19 \text{ dB}$ .

[1] - FIGURA 3 – GANHO DE TENSÃO – 3kHz.

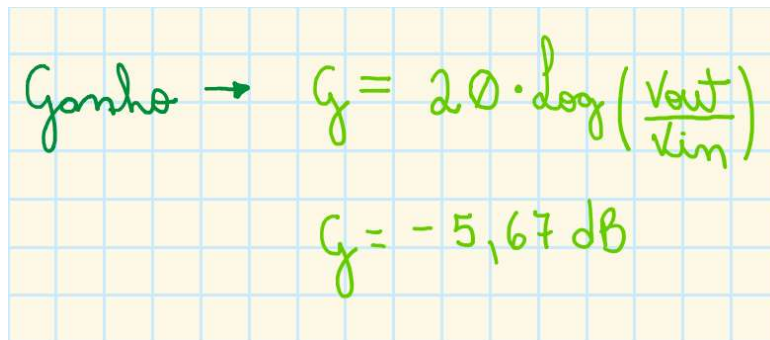
### TRANSIENTES: 15KHZ – FREQUÊNCIA SUPERIOR



Handwritten calculation on a grid background. The text 'Ganho' is followed by an arrow pointing to the formula  $G = 20 \cdot \log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$ . Below this, the result is given as  $G = -13,76 \text{ dB}$ .

[1] - FIGURA 4 – GANHO DE TENSÃO – 15kHz.

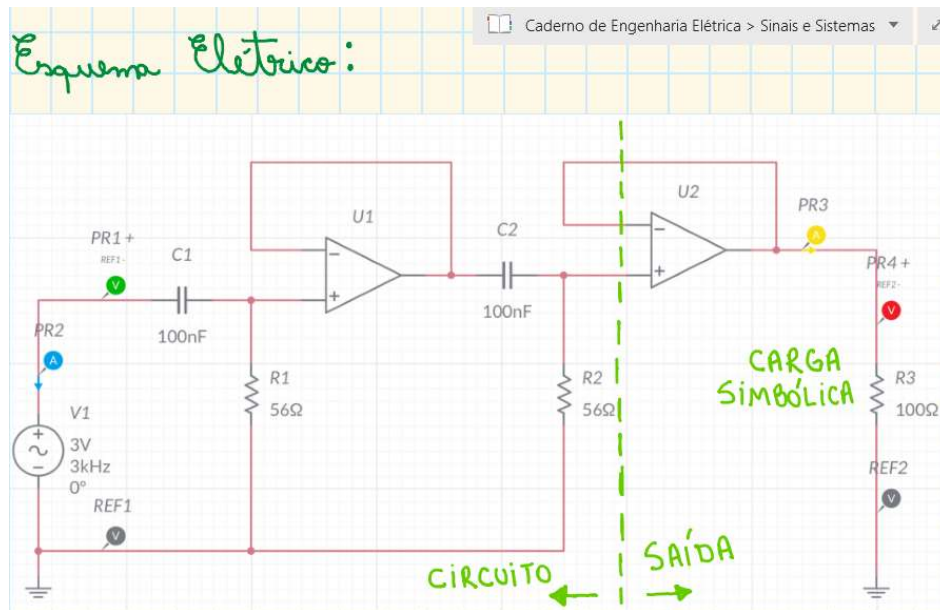
### TRANSIENTES: 30KHZ – FREQUÊNCIA DE CORTE



Handwritten calculation on a grid background. The text 'Ganho' is followed by an arrow pointing to the formula  $G = 20 \cdot \log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$ . Below this, the result is given as  $G = -5,67 \text{ dB}$ .

[1] - FIGURA 5 – GANHO DE TENSÃO – 30kHz.

## ANÁLISE MATEMÁTICA DO CIRCUITO



[2] - FIGURA 6 – ESQUEMA ELÉTRICO DO FILTRO PASSA ALTA.

A seguir calcularemos a impedância do circuito por partes, iniciando pela reatância capacitiva de cada capacitor, dos quais podemos afirmar que  $Z_{C1} = Z_{C2}$ . Todos os cálculos matemáticos foram feitos no OneNote.

Impedância total do circuito:

$$Z_2 = (R_2 + Z_{C2}) \rightarrow Z_{C2} = \left( -j \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \right)$$

$$Z_2 = (a + bi)$$

$\downarrow$  real       $\downarrow$  imaginários

$$Z_2 = (\text{abs e ângulo})$$

$$Z_T = Z_{C1} + \left[ \frac{(R_1 \cdot Z_2)}{(R_1 + Z_2)} \right]$$

$\uparrow$  Polar  
 $\downarrow$  Complexo  
 $\downarrow$  Converter p/ Polar

$$Z_T = \text{Real} + \text{Polar}$$

[1] - FIGURA 7 – DEMONSTRAÇÃO DA IMPEDÂNCIA TOTAL DO CIRCUITO.

Inicialmente, calcularemos apenas para o valor de frequência do sinal de entrada igual a **3kHz**, para não prolongar muito com as demonstrações. Assim, conseguiremos utilizar o *Octave Online* para comprovar matematicamente os valores simulados no *MultiSim Live Online*.

Calculando: \*  $f = 3000 \text{ Hz}$

$$Z_{C1} = Z_{C2} = -j 530,5164 \Omega$$

$$Z_2 = 56 - j 530,5164 \Omega$$

$$Z_2 = 533,4638 \angle -83,9743^\circ$$

$$Z_T = -j \cdot 530,5164 + \left[ \frac{(56 \angle 0^\circ \cdot 533,4638 \angle -83,9743^\circ)}{(56 + 56 - j \cdot 530,5164)} \right]$$

$$Z_T = (530,5164 \angle -90^\circ) + \left[ \frac{(29\,873,9728 \angle -83,9743^\circ)}{(542,2099 \angle -78,0790^\circ)} \right]$$

$$Z_T = (530,5164 \angle -90^\circ) + (55,0966 \angle -5,8953^\circ)$$

$$Z_T = 585,613 \Omega \angle -95,8953^\circ$$

$$Z_T = -60,1488 - j \cdot 582,5158 \Omega$$

Portanto:  $I_T = \frac{V}{Z_T} \rightarrow I_T = \frac{3 \angle 0^\circ}{585,613 \angle -95,8953^\circ}$

$$I_T = 5,1228 \text{ mA} \rightarrow \text{É o mesmo valor de corrente calculado no MultiSim.}$$

[1] - FIGURA 8 – CÁLCULO DA IMPEDÂNCIA TOTAL E CORRENTE EM 3KHz.

Como a figura 8 demonstra, conseguimos encontrar o mesmo valor de corrente máxima do circuito do filtro, conforme a simulação realizada anteriormente.[1]

\*  $Z = a + bi$

$$\downarrow$$

$$p = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} a = p \cdot \cos \theta \\ b = p \cdot \sin \theta \end{array} \right\} \quad p (\cos \theta + j \cdot \sin \theta)$$

$$Z = 56 - j \cdot 530,5164 \quad \left\{ \begin{array}{l} p = 533,4638 \\ a = 533,4638 \cdot \cos 83,9743^\circ \\ b = 533,4638 \cdot \sin 83,9743^\circ \end{array} \right.$$

[1] - FIGURA 9 – CONVERSÃO PARA POLAR.



### CÓDIGO NO OCTAVE ONLINE

Para desenvolver o código a seguir, foi necessário realizar a demonstração matemática, mostrada anteriormente.

```

1 Vi = 3;
2 C1 = 100*(10**(-9));
3 C2 = 100*(10**(-9));
4 f= 30000;
5 R1 = 56;
6 R2 = 56;
7 ZC1 = -j * (1/(2*pi*f*C1));
8 ZC2 = -j * (1/(2*pi*f*C2));
9 Z2 = ZC2 + R2;
10 rho2 = abs(Z2);
11 delta2 = radtodeg(acos(R2/rho2));
12 num = (R1*rho2);
13 den = (R1)+(Z2);
14 rho1 = abs(den);
15 delta1 = radtodeg(angle(den));
16 polarNum = (num)/(rho1);
17 polarDen = -((delta2)+(delta1));
18 polarSomaABS = "Valor absoluto da Impedância Total"
19 polarSomaABS = abs(ZC1)+(polarNum)
20 polarSomaAngle = "Valor do ângulo da Impedância Total"
21 polarSomaAngle = radtodeg(angle(ZC1))+(polarDen)
22 IT = "Corrente total do circuito"
23 IT = (Vi/polarSomaABS)

```

[3] - FIGURA 10 – CÓDIGO PARA CÁLCULO DA IMPEDÂNCIA NO OCTAVE ONLINE.

### RESULTADO DO OCTAVE ONLINE: F = 3KHZ – FREQUÊNCIA INFERIOR

Não conseguimos mostrar o valor absoluto e o ângulo da Impedância total do sistema numa única variável. Na simulação no *MultiSim*, a corrente máxima correspondia a **5,6285 miliAmpère**, enquanto aqui equivale a **5,1228 miliAmpère**, conforme é mostrado a seguir.

```

octave:2> source("teste1.m")
polarSomaABS = Valor absoluto da Impedância Total
polarSomaABS = 585.61
polarSomaAngle = Valor do ângulo da Impedância Total
polarSomaAngle = -95.895
IT = Corrente total do circuito
IT = 0.0051228

```

[3] - FIGURA 11 – RESULTADO DO OCTAVE PARA 3KHZ.

### RESULTADO DO OCTAVE ONLINE: F = 15KHZ – FREQUÊNCIA SUPERIOR

Na simulação no *MultiSim*, a corrente máxima correspondia a **25 miliAmpère**, enquanto aqui equivale a **20 miliAmpère**, conforme é mostrado na figura 12.

```

octave:3> source("teste1.m")
polarSomaABS = Valor absoluto da Impedância Total
polarSomaABS = 149.65
polarSomaAngle = Valor do ângulo da Impedância Total
polarSomaAngle = -108.72
IT = Corrente total do circuito
IT = 0.020047

```

[3] - FIGURA 12 – RESULTADO DO OCTAVE PARA 15KHZ.

### RESULTADO DO OCTAVE ONLINE: F = 30KHZ – FREQUÊNCIA DE CORTE

Na simulação no *MultiSim*, a corrente máxima correspondia a **39,303 miliAmpère**, enquanto aqui equivale a **34,126 miliAmpère**, conforme é mostrado na figura 13.

```

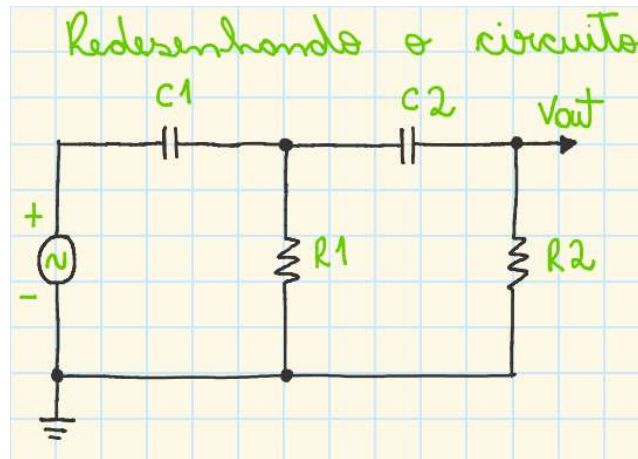
octave:4> source("teste1.m")
polarSomaABS = Valor absoluto da Impedância Total
polarSomaABS = 87.909
polarSomaAngle = Valor do ângulo da Impedância Total
polarSomaAngle = -108.11
IT = Corrente total do circuito
IT = 0.034126

```

[3] - FIGURA 13 – RESULTADO DO OCTAVE PARA 30KHZ.

## FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

Sabemos que o circuito vai se comportar como um divisor de tensão para o capacitor C2 e o resistor R2, dos quais receberão a tensão do resistor R1. A tensão na saída será igual a tensão no resistor R2, que é proveniente de um segundo divisor de tensão.[1]



[1] - FIGURA 14 – REDESENHANDO O CIRCUITO.

## TRANSFORMADA DE LAPLACE

Considerando o sentido de corrente partindo da fonte geradora do sinal para a “primeira malha”, composta pelo capacitor C1 e pelo resistor R1, encontraremos a Transformada de Laplace que define esse sistema. A tensão de saída “Vo” considerada nessa etapa será a que alimenta o capacitor C2, ou seja, a tensão VR1.

Consideramos ainda que ZC1 é a reatância capacitiva do capacitor C1.

**Fórmula do Divisor de Tensão:**

- Partindo da fonte geradora do sinal

$$V_o(s) = \left[ \frac{R_1}{(R_1 + Z_{C1})} \right] \cdot V_i(s) \rightarrow \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \left[ \frac{R_1}{(R_1 + Z_{C1})} \right]$$

- Para o capacitor, sabemos que:

Impedância fasorial:  $\frac{1}{j\omega C}$

Impedância em Laplace:  $\frac{1}{sC}$  → Simplif.

[1] - FIGURA 15 – FÓRMULA DO DIVISOR DE TENSÃO.

Sabemos que as duas malhas do circuito compõem a mesma configuração de filtro RC passa alta e, portanto, decidimos lidar primeiro com uma delas, e depois considerar a outra somente no final dos cálculos.

Veja que após substituírmos a impedância do capacitor em Laplace, simplificamos a expressão (em azul) para restar somente os termos necessários para calcularmos a transformada Inversa de Laplace.[1]

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \left[ \frac{R1}{(R1 + (1/sC1))} \right] \cdot \left( \frac{sC1}{sC1} \right) \rightarrow \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \left[ \frac{R1sC1}{(R1sC1 + 1)} \right] \cdot \left( \frac{1/R1C1}{1/R1C1} \right)$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \left[ \frac{s}{(s + (1/R1C1))} \right] \rightarrow \text{Só substituir os valores}$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s}{s + 5,6 \cdot 10^{-6}} \rightarrow \text{Próximo passo: Transformada Inversa de Laplace}$$

[1] - FIGURA 16 – TENSÃO DE SAÍDA EM TRANSFORMADA DE LAPLACE.

### TRANSFORMADA INVERSA DE LAPLACE

Perceba na figura abaixo que, na primeira expressão, estamos comparando o valor encontrado da Transformada de Laplace com um modelo padrão da tabela de conversão, e a partir disso encontramos uma forma de modificar para uma forma que seja possível de aplicar a Inversa.

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s}{s + 5,6 \cdot 10^{-6}} \neq \frac{1}{s - a}, \text{ portanto:}$$

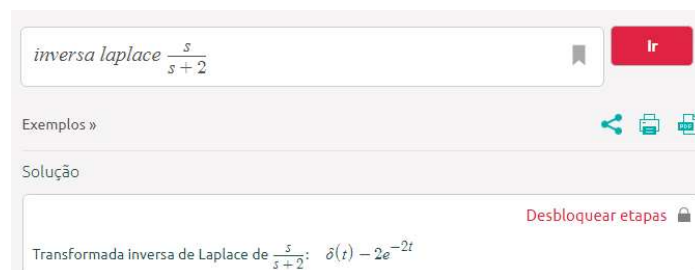
$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s + a - a}{s + a} = \frac{(s + a) - a}{s + a}$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{(s + a)}{(s + a)} - \frac{a}{(s + a)} = 1 - \frac{a}{(s + a)}$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = 1 - a \cdot \frac{1}{s + a} = 1 - 5,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{s + 5,6 \cdot 10^{-6}}$$

[1] - FIGURA 17 – SIMPLIFICAÇÃO PARA TRANSFORMADA INVERSA DE LAPLACE.

Antes de prosseguir com o resultado final, testamos essa simplificação no *Symbolab Online*, considerando o valor de  $a=2$ .



[3] - FIGURA 18 – COMPROVAÇÃO DA CONVERSÃO NO SYMBOLAB.



Assim, temos a Transformada Inversa de Laplace que explica o comportamento de tensão no tempo, conforme figura abaixo.

A Transformada Inversa de Laplace é:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s}{s+a} = 1 - \frac{a}{s+a}$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s}{s+5,6 \cdot 10^{-6}} = 1 - \frac{5,6 \cdot 10^{-6}}{s+5,6 \cdot 10^{-6}}$$

[1] - FIGURA 19 – RELAÇÃO DE TENSÃO NA TRANSFORMADA INVERSA DE LAPLACE

Anteriormente foi definido que a tensão “Vo”, a princípio seria igual a tensão que sai da primeira malha em direção da segunda, ou seja, a tensão que o capacitor C2 recebe do resistor R1. Definimos a relação de impedância da segunda malha e também com a verdadeira saída do filtro, a tensão “Vo” que aparece na segunda expressão abaixo.

Como sabemos a Transformada Inversa de Laplace da primeira malha, e a segunda malha possui a mesma configuração que a primeira, podemos considerar a mesma expressão de Laplace.[1]

$$V_o(s) = \left[ \frac{R_1}{R_1 + Z_{C1}} \right] \cdot V_i(s) \rightarrow V_i(s) = \left[ \frac{(R_1 + Z_{C1})}{R_1} \right] \cdot V_o(s)$$

$$V_i(s) = \left[ \frac{(R_1 + Z_{C1})}{R_1} \right] \cdot \left[ \frac{(R_2 + Z_{C2})}{R_2} \right] \cdot V_o(s)$$

$$\left[ \frac{R_1}{R_1 + Z_{C1}} \right] \cdot \left[ \frac{R_2}{R_2 + Z_{C2}} \right] = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \left[ 1 - \frac{a}{s+a} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{a}{s+a} \right]$$

Inversa de Laplace

$$\frac{V_o(t)}{V_i(t)} = \left[ \delta(t) - 5,6 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-5,6 \cdot 10^{-6}t} \right]^2$$

[1] - FIGURA 20 – TENSÃO DE SAÍDA NA INVERSA DE TRANSFORMADA DE LAPLACE.

## APLICAÇÃO DE FILTRO PASSA BAIXA NO SETOR DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

### INTRODUÇÃO

Para extrair o conteúdo de informação fundamental de um sinal é necessário um dispositivo que selecione as frequências de interesse que compõe o sinal. Este dispositivo é denominado de filtro, cuja resposta em frequência é caracterizada por uma faixa de passagem, e uma faixa de rejeição, as quais estão separadas por uma faixa de transição ou de guarda.

Tais aplicações são múltiplas como: telecomunicação, transmissão de energia, processamento de sinais, vídeo, áudio e dados.[4]

### DESCRIPTIVO

Nos sistemas de distribuição de energia elétrica encontra-se a maior causa dos desequilíbrios de tensão, devido à distribuição irregular de cargas por fase. Na transmissão, a causa mais importante de desequilíbrios está relacionada com a distribuição das fases ao longo de grandes trechos das linhas com irregularidades na sua transposição.

Um outro ponto importante a ser citado é o emprego excessivo de transformadores monofásicos, o que é comum para as concessionárias que utilizam sistemas de distribuição primária a quatro fios com o neutro aterrado, sendo que em cada fase é conectado um transformador monofásico para suprir cargas monofásicas, tais como residências e iluminação pública. Variações nas cargas monofásicas fazem com que as correntes nos condutores das três fases sejam diferentes, o que resulta em quedas de tensões diferentes, provocando desequilíbrios.

Tendo em vista que esse desequilíbrio muitas vezes acontece por:

- **Atenuação:** consiste numa redução da potência do sinal ao longo do meio de transmissão. A atenuação resulta da perda de energia do sinal por absorção, ou por fuga de energia. Nos meios de transmissão não guiados (espaço livre), a dispersão da energia pelo espaço pode também ser vista como uma forma de atenuação, uma vez que a potência do sinal que atinge o receptor é menor que a potência emitida. Na Figura 1 está representado o efeito da atenuação em um sinal.
- **Distorção:** consiste numa alteração da forma do sinal durante a sua propagação, desde o emissor até ao receptor. Pode resultar do comportamento não-linear de alguns dos componentes que compõem o percurso do sinal, ou pela simples resposta em frequência do meio de transmissão. Na Figura 2 é apresentado um exemplo da distorção sofrida por um sinal digital. Em alguns casos, os efeitos da distorção podem ser corrigidos ou minimizados através de técnicas de condicionamento de sinal tais como filtragem.
- **Ruído:** consiste numa alteração de alguma das características do sinal transmitido por efeito de um outro sinal exterior ao sistema de transmissão, ou gerado pelo próprio sistema de transmissão. Ao contrário da interferência, estes sinais indesejados são de natureza aleatória, não sendo possível prever o seu valor.

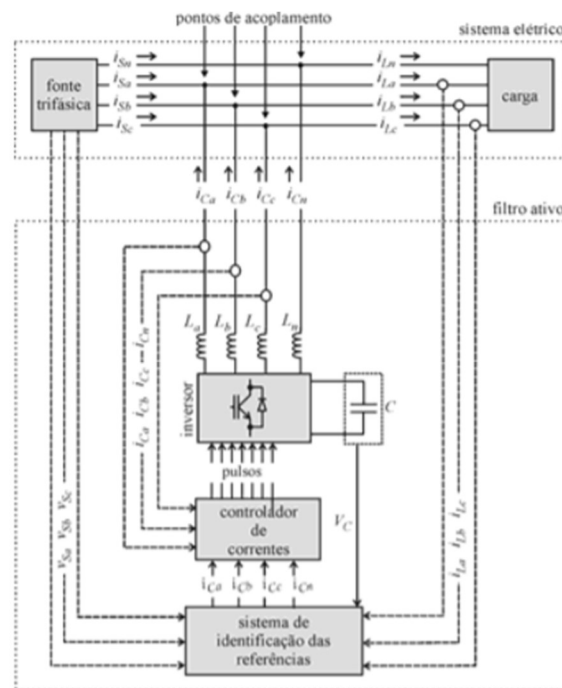
Atualmente, é imprescindível manter os níveis de desequilíbrio dentro de limites que garantam a operação regular dos sistemas de energia a custos aceitáveis. Desta forma, esgotam-se as ações operacionais para a minimização do desequilíbrio de tensão.

Um estudo recente, feito pelas concessionárias de energia sobre a utilização de filtro nos transformadores, diz que a filtração poderia ajudar na qualidade de energia e minimizar os desequilíbrios.

O filtro é conectado à instalação elétrica através **de indutores de acoplamento**, pelo qual circulam as correntes sintetizadas pelos controladores de corrente, caracterizando o filtro como fonte de corrente controlada. A estratégia para

produzir o correto controle compõe-se de duas partes básicas: **um sistema de identificação das referências e um sistema de controle de correntes.**

Conforme mostrado na figura a seguir, o circuito que será tratado nesse trabalho e a posição do filtro.



**[4] - FIGURA 21 – APLICAÇÃO – FILTRO PASSA BAIXA - CIRCUITO ELÉTRICO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

É feita de forma a satisfazer critérios e funções específicas, tais como: limitar a ondulação da corrente na saída do conversor, operando como filtro passa-baixa sem provocar uma queda de tensão sobre seus terminais. Adicionalmente, o indutor não deve limitar a de variação da corrente do conversor, o que reduziria a atuação do filtro para compensação das correntes.

Os sinais de tensão são gerados pelos controladores com base nos erros entre as correntes de referência e as correntes medidas. Estes sinais são aplicados aos interruptores do inversor, neste caso, são transistores. O sistema opera em malha fechada, procurando fazer com que as correntes nos indutores sejam o mais próximo possível das correntes de referência. Os controladores operam no sentido de minimizar os erros entre as referências e as correntes.

A compensação das componentes harmônicas presentes na corrente da rede é feita de forma que o filtro forneça as componentes harmônicas solicitadas pela carga não-linear, deixando que a rede forneça somente a componente fundamental da corrente: o sistema de controle, no referencial.

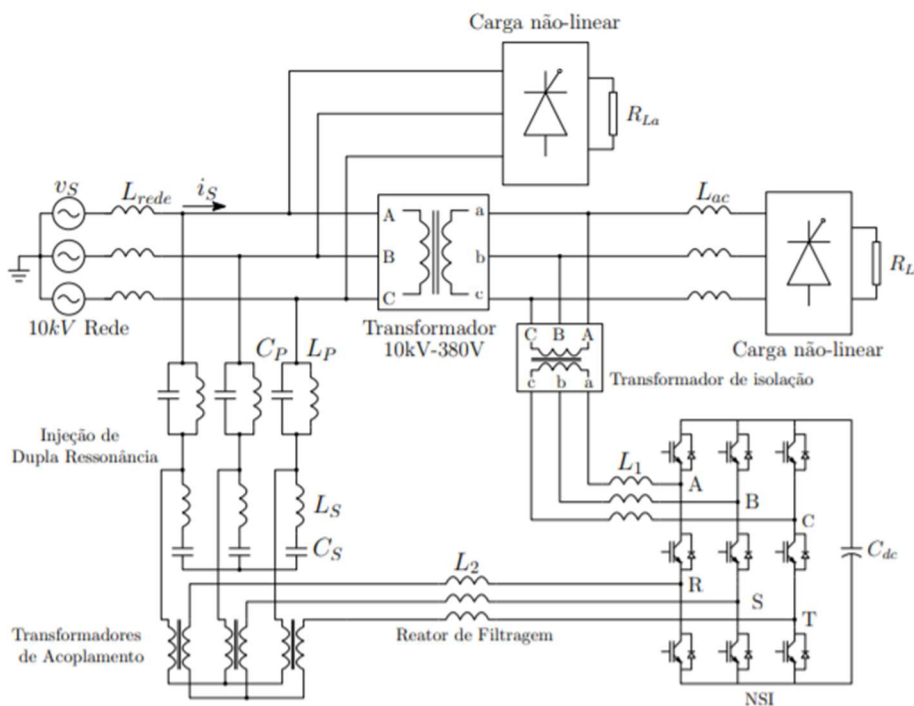
A estratégia de controle deve sintetizar uma corrente (**if**) na saída do filtro, que assegure uma baixa distorção a corrente (**is**) considerando que a corrente na carga (**ic**) possua distorção de até 50%. Para manter alto fator de potência, o sinal de tensão é utilizado como referência. A tensão no capacitor C do inversor é monitorada para garantir o balanço de potência do sistema.[4]

## DIMENSÕES DO PROJETO

O básico para o dimensionamento é considerar os componentes do filtro paralelo, as condições em que o filtro é utilizado e que tipo de carga é capaz de compensar.

O sistema é trifásico com condutor neutro. A tensão de fase da rede  $V_a = 127\text{ V}$  e frequência de 60 Hz. As cargas não-lineares produzem correntes com até 50% de distorção harmônica e desequilíbrios de sequência negativa. As cargas apresentam uma potência de aproximadamente 10 kVA. O que resulta em uma previsão de correntes da ordem de 26 A.

Desse modo apresento o projeto, simulação e implementação prática de um filtro para compensação de harmônicas, com balanceamento das fases e compensação de reativo, uma vez que o filtro é projetado para uma determinada condição nominal. Assim, o estudo do tipo de carga a ser compensada é fundamental para o correto dimensionamento deste filtro.[4]



[4] - FIGURA 22 – APLICAÇÃO – FILTRO PASSA BAIXA - CIRCUITO DO PROJETO.

## PROCESSO DE FILTRAGEM NA IMAGEM DIGITAL

O princípio do uso de filtros no processamento de imagem digital é tornar a imagem o mais próximo do original durante uma transmissão mesmo com mudanças nos pixels a intenção é se juntar as frequências vizinhas em torno do seu caminho da imagem original saída de um aparelho até a entrada de outro e eliminando os ruídos encontrados pelo caminho.

### FILTRO PASSA-BAIXA

O filtro passa baixa permite a passagem sem modificações de frequência baixa e faz a atenuação frequências altas. No processamento de imagem ajuda na suavização da imagem recebida ("*smoothing*"), mas deixa a imagem um pouco desbalanceada, sem nitidez, foco e menor definição.



[5] - FIGURA 23 - IMAGEM ORIGINAL.



[5] - FIGURA 24 - IMAGEM PROCESSADA E FILTRADA PELO FILTRO PASSA-BAIXA.

### FILTRO PASSA-ALTA

Permite a passagem de frequências altas sem modificação no sinal e faz a atenuação das frequências baixas. No processamento de imagem o filtro passa-alta ajuda na nitidez da imagem ("*sharpering*"), a função é realçar os detalhes da imagem incluindo os ruídos dela, mas os ruídos necessários para chegar o mais próximo do original.



[5] - FIGURA 25 – IMAGEM PROCESSADA E FILTRADA PELO PASSA ALTA.



[5] - FIGURA 26 – IMAGEM FINAL.

As figuras 25 e 26 mostram a imagem após a filtragem do passa-alta, figura 25 mostrando o quanto enfatizam os detalhes como as linhas e na figura a imagem final e nítida, o mais próximo da original.

Exemplos de imagens que podemos tirar que usam os dois tipos de filtros são nossas próprias câmeras dos celulares atuais, uma única foto podemos focar em um ponto que haverá mais nitidez, ao fundo ou na lateral, ou ficar suavizado sem foco.



## TRANSMISSÃO DAS ESTAÇÕES DE RÁDIO E TELEVISÃO

Número da faixa	Símbolo	Faixa de frequência (excluindo o limite baixo, incluindo o limite alto)	Subdivisão métrica correspondente
4	VLF	3 à 30 kHz	Ondas Mirimétricas
5	LF	30 à 300 kHz	Ondas Quilométricas
6	MF	300 à 3000 kHz	Ondas Hectométricas
7	HF	3 à 30 MHz	Ondas Decamétricas
8	VHF	30 à 300 MHz	Ondas Métricas
9	UHF	300 à 3000 MHz	Ondas Decimétricas
10	SHF	3 à 30 GHz	Ondas Centimétricas
11	EHF	30 à 300 GHz	Ondas Milimétricas
12		300 à 3000 GHz	Ondas Decimilimétricas

NOTA 1: "Faixa N" (N= número da faixa) estende-se de  $0,3 \times 10^N$  Hz à  $3 \times 10^N$  Hz.

NOTA 2: Prefixo: k = quilo ( $10^3$ ), M = mega ( $10^6$ ), G = giga ( $10^9$ ).

[6] - FIGURA 27 - NOMENCLATURAS DAS FAIXAS DE FREQUÊNCIAS PERMITIDAS PELA ANATEL.

Faixa passa-faixa permite a passagem somente da frequência pré-determinada.

### REDE DE TELEVISÃO

Faixas de frequências dentro do VHF e UHF são especialmente destinadas a rede de televisão e rádio no país, em sua determinada região. O filtro usado mais representativo é o passa-faixa, os canais de televisão e rádio entram num acordo com a Anatel e outros órgãos do governo para qual atenuação será passada na sua transmissão.

Por exemplo, na cidade de São Paulo, o canal do grupo Globo usa o canal fixo 18 UHF e canal virtual 5.1 com a faixa de frequência de 497MHz, e outro exemplo em São Paulo é o SBT, canal fixo 28 e canal virtual 4.1 com a faixa de frequência de 557MHz. Pode haver interferências nos canais não só pelas frequências de outros canais, mas também por qualquer sinal que emita algum tipo de sinal, seja rádio, satélite ou telefonia. Mas, a predeterminação dos canais e faixas de frequências junto a ANATEL é uma forma de deixar com espaços entre as estações de faixas tendo menores ruídos e problemas em qualquer tipo de transmissão.

Em um receptor de televisão, na estrutura dele, o filtro passa-baixa auxilia que o mesmo receptor possa, ao mesmo tempo, verificar o VHF, UHF e a cabo, limitando a faixa de frequência para sintonizar somente o que é necessário ao aparelho. E o filtro passa-banda tem a função de deixar o canal desejado que será assistido, naquele momento, com o sinal mais "forte" sem que outros canais, mesmo que sintonizados no aparelho, atrapalhem aquele determinado canal de ter sua transmissão mais limpa.

### RADIODIFUSÃO DE SONS

#### DIFERENÇA ENTRE RÁDIO FM E AM

- **Rádios com faixas AM (Amplitude Modulada):** podem ser usadas nas faixas de frequência MF, que tem melhor sinal de distância da sua distribuição, mas não tem boa nitidez nos seus áudios transmitidos, já que durante o caminho da onda é mais fácil de captar os ruídos indesejados.
- **Rádios com faixas FM (Frequência Modulada):** não tem uma qualidade de distância tão boa quanto a AM, além de ser mais burocrático fazer a contratação sobre a faixa, mas contém uma qualidade superior nos seus áudios, com pouco ruídos sobre as faixas e, em alguns lugares, esses ruídos não são nem perceptíveis. Como é o tipo de sinal mais usado atualmente pelos ouvintes, apesar de suas burocracias para contratar uma faixa, por questão de audiência, é o tipo mais procurado para transmissão de rádio.

É fácil reconhecer a faixa de frequência de uma rádio que já temos o costume de sintonizar o canal desejado direto pela faixa de frequência, por exemplo em 2012 e até o atual ano 2020, a Rádio Transamérica de São Paulo LTDA fica sintonizada na faixa de frequência 100,1 MHz.

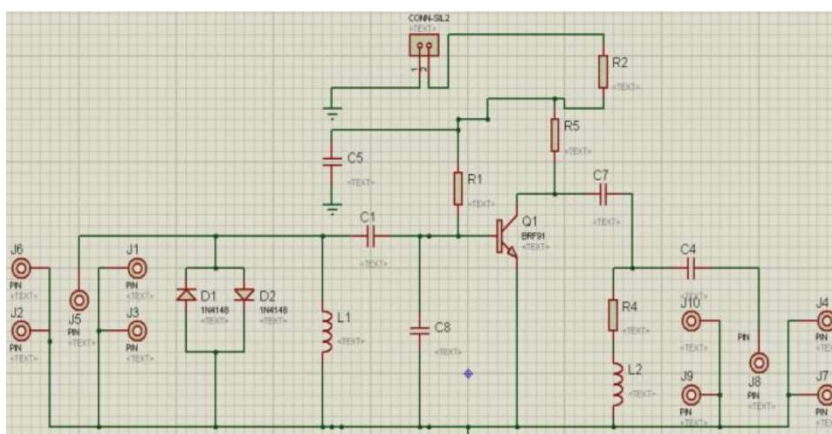
Os filtros usados nas rádios não são diferentes das redes de televisão, já que os mesmos precisam ser separados por faixa para não ocorrer grandes interferências. Passa-faixa e passa-banda são os principais, e extremamente necessários para a separação e controle de ruídos nos equipamentos, como o receptor de rádio também.

## SISTEMA DE TELEFONIA MÓVEL 4G

Atualmente, com o sistema 4G no sistema de telefonia, a faixa de frequência utilizada é o de 700MHz. Com essa aquisição de faixa de frequência, os filtros dentro das estruturas receptor de sinal de rádio e Tv tiveram que ser atualizados para melhor filtragem, já que a interferência da tecnologia foi o principal tópico de discussões para novos modelos de receptores e transmissores que consigam separar as faixas sem ruídos.

## AMPLIFICADOR DE SINAL

Além de haver amplificador de sinal na transmissão, a amplificação mais investida é dentro do próprio receptor de sinal porque, além de ser um projeto menor, é mais eficaz para a ênfase dada ao canal. O sinal entra pela base do transistor, que o amplifica saindo pelo coletor, experiência feita pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Abaixo modelo do circuito usado em um receptor na experiência que, segundo os autores, é notória a diferença e qualidade após a amplificação do sinal do receptor de TV digital.



[7] - FIGURA 28 - CIRCUITO ELÉTRICO DO AMPLIFICADOR DE RF.



## BIBLIOGRAFIA

---

- [1] – Criado pelos autores deste trabalho;
- [2] – MULTISIM Live Online: Filtro Passa Alta. [S. I.]. Disponível em:  
<https://www.multisim.com/content/MqMARsZZoM4VdvmuHj8ba/aps-sinais-e-sistemas/>. Acesso em: 23 maio 2020;
- [3] – SYMBOLAB – solucionador matemático. [S. I.]. Disponível em: [https://pt.symbolab.com/solver/laplace-transform-calculator/inversa%20laplace%20%5Cleft%5B%5Cfrac%7Bs%7D%7B%5Cleft\(s%2B2%5Cright\)%7D%5Cright%5D](https://pt.symbolab.com/solver/laplace-transform-calculator/inversa%20laplace%20%5Cleft%5B%5Cfrac%7Bs%7D%7B%5Cleft(s%2B2%5Cright)%7D%5Cright%5D). Acesso em: 23 maio 2020;
- [4] – BIANCHIN, Carlos Gabriel; DEMONTI, Rogers; OMORI, Julio Shigeaki. FILTRO ATIVO TRIFÁSICO PARA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA:: COMPENSAÇÃO E BALANCEAMENTO. **Companhia Paranense de Energia Elétrica, LATEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento**, ANEEL - Biblioteca, p. 1-8, 13 fev. 2007. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it03.pdf>. Acesso em: 23 maio 2020.
- [5] - ALBUQUERQUE, M.p. de. **Processamento de Imagens: Métodos e Análises**. 2000. Disponível em: <http://www.cbpf.br/~mpa/curso2.htm>. Acesso em: 27 maio 2020.
- [6] - BRASÍLIA. Juarez Quadros do Nascimento. Anatel - Agência Nacional de Telecomunicação (org.). **PLANO DE ATRIBUIÇÃO, DESTINAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS NO BRASIL**. 2017. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=347196>. Acesso em: 20 maio 2020.
- [7] - ESPACIAIS, DPI Instituto Nacional de Pesquisas. **Teoria: Processamento de Imagens**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/filtrage/filtragem.htm>. Acesso em: 27 maio 2020.
- [8] - FILTRAGEM DIGITAL: Processamento de imagem. Processamento de imagem. UTFPR. Disponível em: [http://hpc.ct.utfpr.edu.br/~charlie/docs/PID/PID\\_AULA\\_08.pdf](http://hpc.ct.utfpr.edu.br/~charlie/docs/PID/PID_AULA_08.pdf). Acesso em: 27 maio 2020.
- [9] - STROSKI, Pedro Ney. **AM e FM, entenda a diferença**. 2017. Disponível em: <https://www.electricalibrary.com/2017/12/10/am-e-fm-entenda-diferenca/>. Acesso em: 20 maio 2020.
- [10] - ANATEL. **CANAIS DE RADIODIFUSÃO DISTRIBUÍDOS**. 2012. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documentoVersionado.asp?numeroPublicacao=271201&documentoPath=271201.pdf&Pub=&URL=/Portal/verificaDocumentos/documento.asp>. Acesso em: 24 maio 2020.
- [11] - MOURA, Diego, CEZÁRIO, Ingrid C., RAIZER, Adroaldo. **Desenvolvimento de Sistema de Recepção com Amplificação do Nível de Sinal Digital de Alta Definição**. 2015. Disponível em: <https://set.org.br/setep/pdfs/artigo13.pdf>. Acesso em: 29 maio 2020.