



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



---

CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
2ELE043 - Princípios de Comunicação

**EXPERIMENTO 6 - Misturador Ativo**

PROFESSOR: Jaime Laelson Jacob

ALUNOS: Daniel Galbes Bassanezi

David Maykon Krepsky Silva

Relatório apresentado a disciplina de Princípios de Comunicação.

Experimentos(s) realizado(s)  
em: 06/08/2015.

Turma: 1011.

Londrina, 20 de agosto de 2015

---

# Sumário

<b>1</b>	<b>RESUMO</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>TEORIA</b>	<b>5</b>
3.1	Misturador ativo . . . . .	5
3.1.1	Frequência intermediária . . . . .	5
3.1.2	Frequência imagem . . . . .	6
3.1.3	Ganho . . . . .	6
3.2	Equação universal da seletividade . . . . .	6
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b>	<b>7</b>
4.1	MATERIAIS . . . . .	7
4.2	MÉTODOS . . . . .	7
4.2.1	Determinação do filtro . . . . .	7
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS</b>	<b>8</b>
5.1	Determinação do filtro . . . . .	8
5.1.1	Fator de mérito do filtro . . . . .	8
5.2	Down-converter . . . . .	8
5.2.1	Fator de qualidade . . . . .	10
5.3	Up-converter . . . . .	10
5.4	Uso de um amplificador seguidor de emissor . . . . .	11
<b>6</b>	<b>DISCUSSÕES E CONCLUSÕES</b>	<b>13</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>14</b>

# 1 RESUMO

Experimento e análise de um circuito modulador balanceado com circuito integrado e misturador ativo baseado em transistor bipolar.

*Palavras-chave: misturador ativo, modulador balanceado*

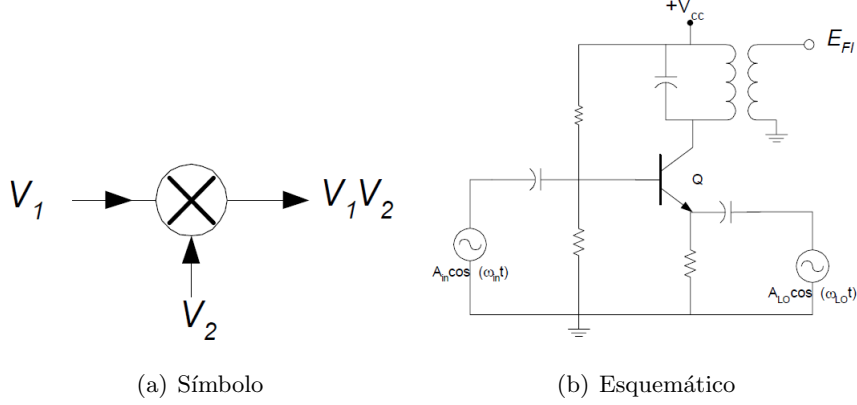
## 2 OBJETIVOS

- Comprovar na prática a validade e limitações de um misturador e um modulador balanceado;
- Determinar o nível de supressão da portadora à saída do modulador balanceado baseado em circuito integrad;
- Avaliar o conteúdo harmônico de um misturador e um modulador a partir do analisador de espectro;

### 3 TEORIA

#### 3.1 Misturador ativo

Um misturador é um elemento capaz de realizar o produto de dois sinais:

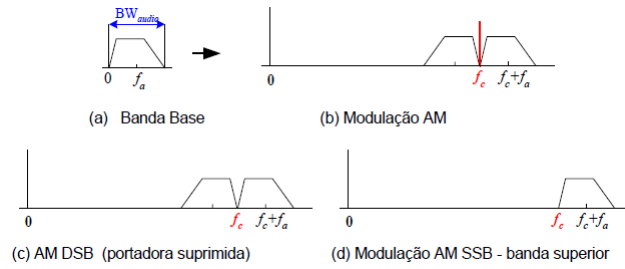


**Figura 1** - Misturador

Caso as entradas sejam senoidais:

$$\begin{cases} V_1 = A_{in} \cdot \text{sen}(\omega_{in} \cdot t) \\ V_2 = A_c \cdot \text{sen}(\omega_c \cdot t) \\ V_1 \cdot v_2 = A_{in} \cdot (\cos[(\omega_{in} - \omega_c) \cdot t] - \cos[(\omega_{in} + \omega_c) \cdot t]) \end{cases} \quad (1)$$

Além de executar a multiplicação dos dois sinais, o circuito possui um filtro passa-faixas na saída do transistor. Assim, uma das componentes senoidais do sinal  $V_1 \cdot V_2$  é suprimida. Esse processo é feito, por exemplo, na modulação do sinal AM-SSB, onde além da portadora ser suprimida, uma das componentes laterais simétricas do espectro da informação é suprimida:



**Figura 2** - modulação AM-SSB

##### 3.1.1 Frequência intermediária

Quando o sinal de saída filtrado possui a frequência  $(\omega_{in} - \omega_c)$ , o mixer é denominado down-converter. Caso contrário, o mixer é denominado up-converter, ou seja, a saída do circuito possui uma frequência  $(\omega_{in} + \omega_c)$ . Tal frequência de saída é denominada frequência intermediária.

Para frequência em hertz:

$$\begin{cases} \text{Down - Converter :} & f_{FI} = f_c - f_{in} \\ \text{Up - Converter :} & f_{FI} = f_c + f_{in} \end{cases} \quad (2)$$

### 3.1.2 Frequência imagem

A frequência imagem introduz um sinal espúrio devido a saída do misturador possuir a soma e subtração das frequências de entrada e saída. Isso gera um ruído indesejável, e deve-se evitar essa situação com um filtro na entrada do misturador.

$$\begin{cases} \text{Down - converter :} & f_{IM} = f_c + 2 \cdot f_{FI} \\ \text{Up - converter :} & f_{IM} = 2 \cdot f_{FI} - f_c \end{cases} \quad (3)$$

### 3.1.3 Ganho

O ganho do circuito é dado por:

$$G_v = g_m \cdot R_L \quad (4)$$

## 3.2 Equação universal da seletividade

A seguinte equação consegue relacionar a atenuação/ganho do sinal em função da frequência de oscilação e do fator de qualidade de um circuito ressonante.

$$\frac{E_0}{E} = \sqrt{1 + Q^2 \cdot \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2} \quad (5)$$

- $f_0$  - frequência de ressonância;
- $f$  - frequência em que se deseja determinar a magnitude do sinal;
- $E_0$  - tensão do sinal na frequência de ressonância;
- $E$  - tensão do sinal na frequência  $f$
- $Q$  - fator de qualidade do circuito.

## 4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 4.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento das atividades propostas pelo experimento foi utilizado o software de simulação OrCAD.

### 4.2 MÉTODOS

A prática no laboratório consistiu no desenho e simulação deste circuito:

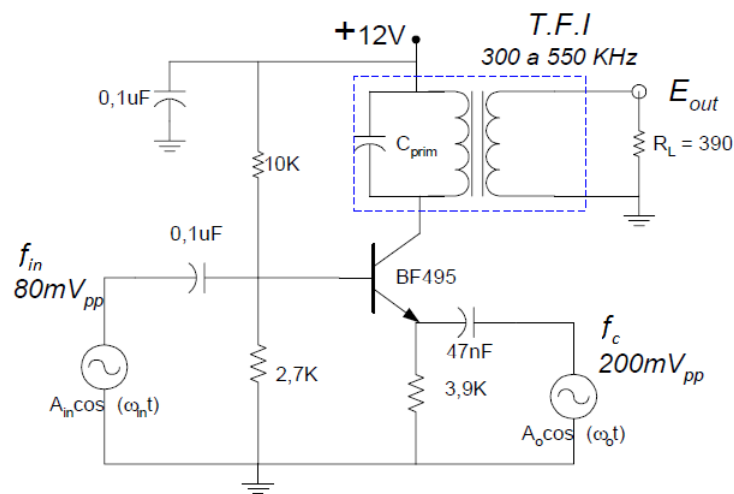


Figura 3 - Circuito 1

- Atividade 1 - Determinação do filtro
- Atividade 2 - Down-Converter e Up-Converter
- Atividade 3 - Uso de um amplificador seguidor de emissor

#### 4.2.1 Determinação do filtro

Foi necessário calcular os valores dos componentes que não estão determinados: o indutor(transformador) e capacitor ligados ao coletor do transistor. Estes elementos formam um filtro passa faixas cuja frequência de oscilação ditará a frequência do sinal de saída. O transformador utilizado tem uma relação de espiras de 8:1, ou seja, o indutor do secundário deve ser 64 vezes menor do que o do primário.

## 5 RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

### 5.1 Determinação do filtro

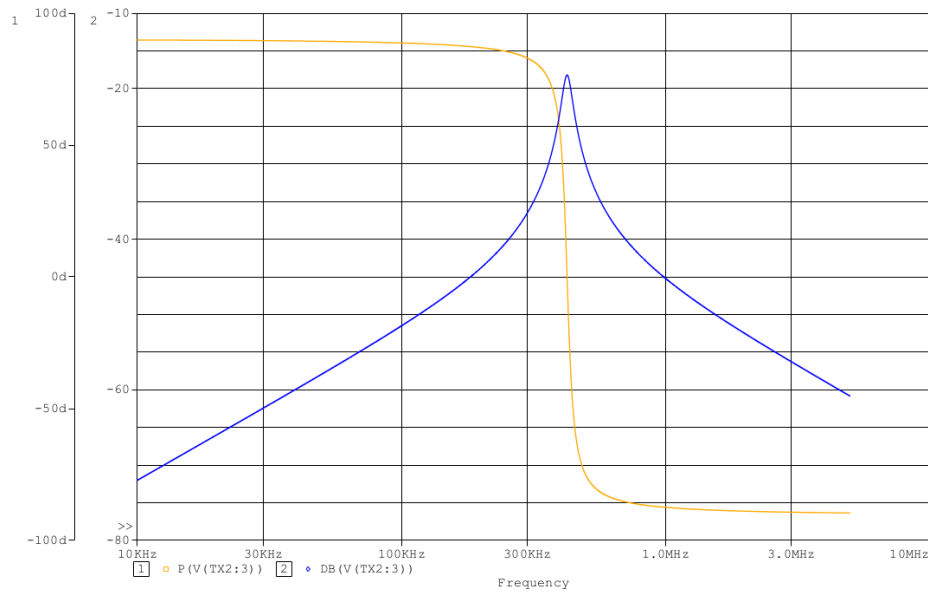
Para um indutor de primário de  $5 [\mu H]$  e uma frequência intermediária de  $425 [kHz]$ , é necessário o seguinte capacitor para o filtro:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \rightarrow C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_0)^2 \cdot L} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 425 \cdot 10^3)^2 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 28,04 [nF] \quad (6)$$

#### 5.1.1 Fator de mérito do filtro

A partir da resposta em frequência do filtro (figura ??), é possível identificar a largura de banda e a frequência de oscilação, os quais foram suficientes para determinar o fator de qualidade do circuito:

$$Q = \frac{f_0}{B_{3dB}} = \frac{424,2 \cdot 10^3}{36,65 \cdot 10^3} = 11,577 \quad (7)$$

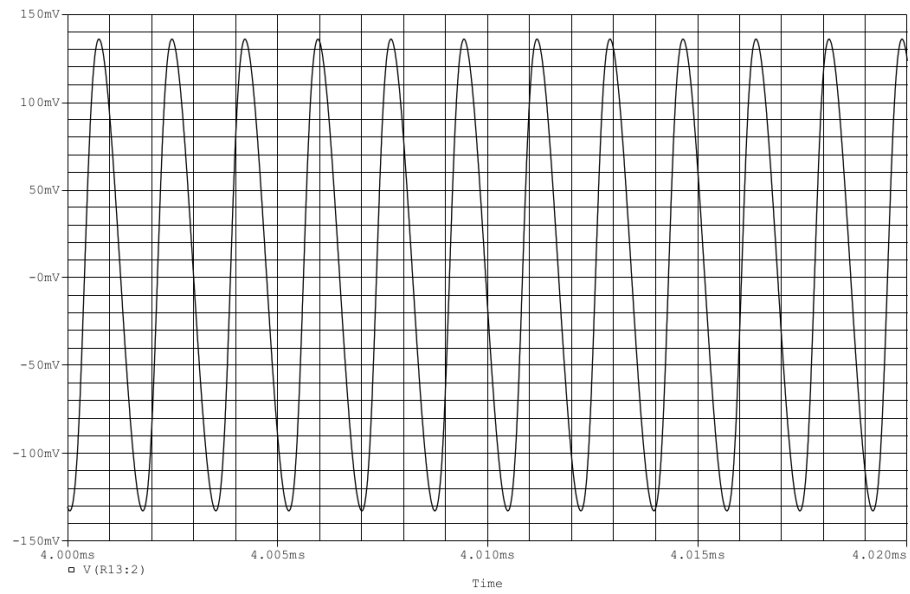


**Figura 4** - Resposta em frequência do filtro.

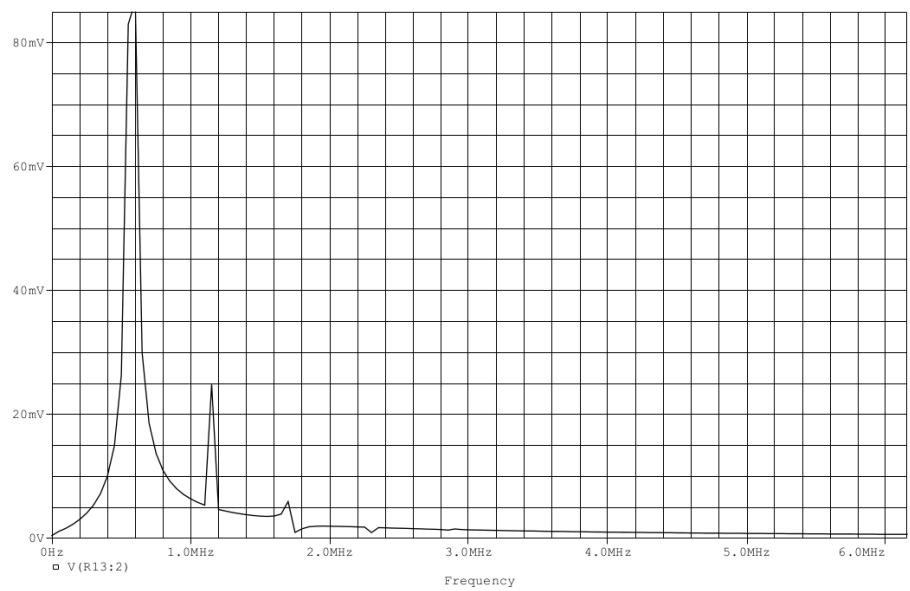
### 5.2 Down-converter

A figura /reff<sub>s</sub>aida<sub>d</sub>ownmostraasaídadomixerparaodown – converter. Já a figura 6 mostra o espectro dos



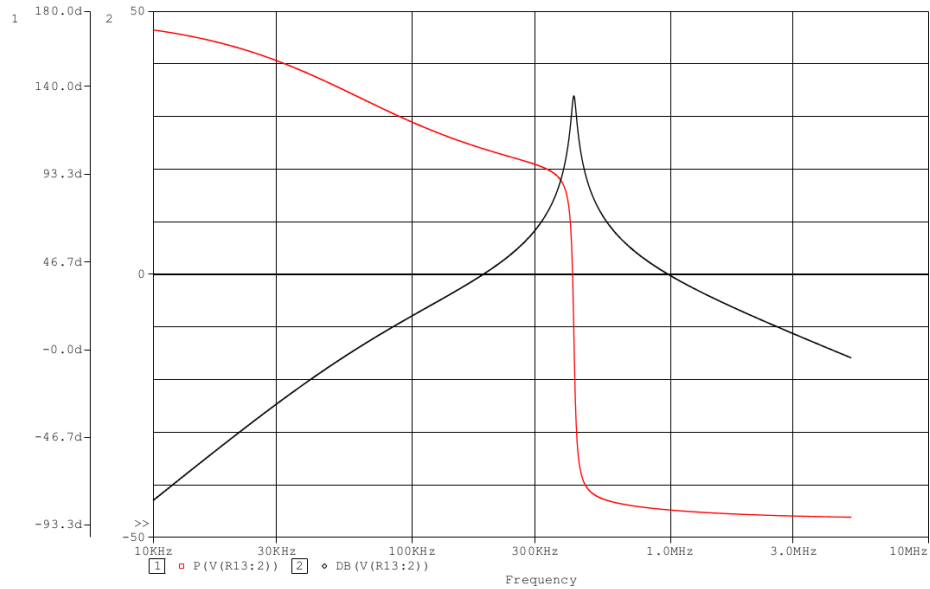


**Figura 5** - Sinal de saída do down-converter.



**Figura 6** - FFT do down-converter.

### 5.2.1 Fator de qualidade



**Figura 7** - Resposta em frequência do down-converter.

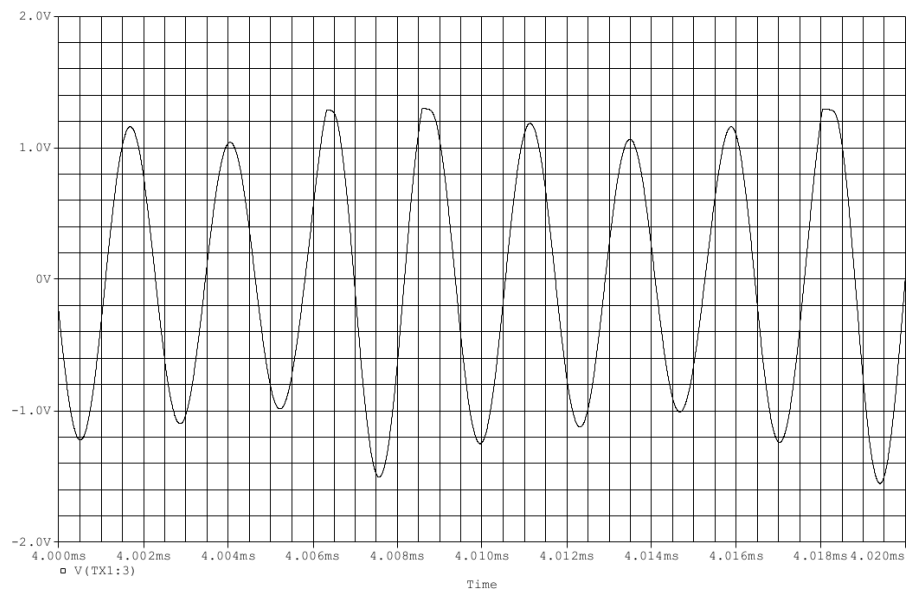
Do gráfico 7, é possível identificar a largura de banda e a frequência de oscilação, os quais foram suficientes para determinar o fator de qualidade do circuito:

$$Q = \frac{f_0}{B_{3dB}} = \frac{423.7 \cdot 10^3}{15.95 \cdot 10^3} = 26,564 \quad (8)$$

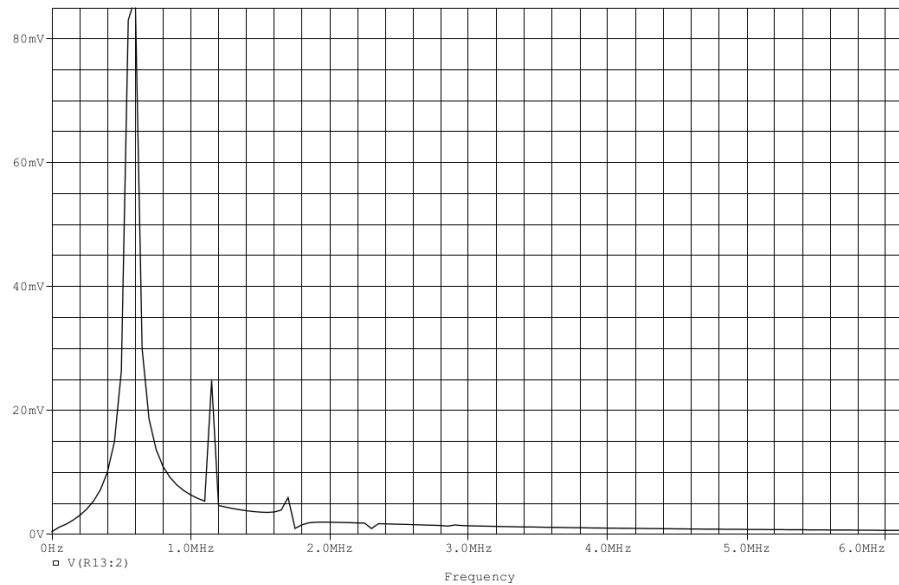
Através do cálculo anterior, foi possível observar grande concordância entre os resultados práticos e os teóricos.

### 5.3 Up-converter

A figura 8 mostra a saída do mixer para o up-converter. Já a figura 9 mostra o espectro do sinal de saída.



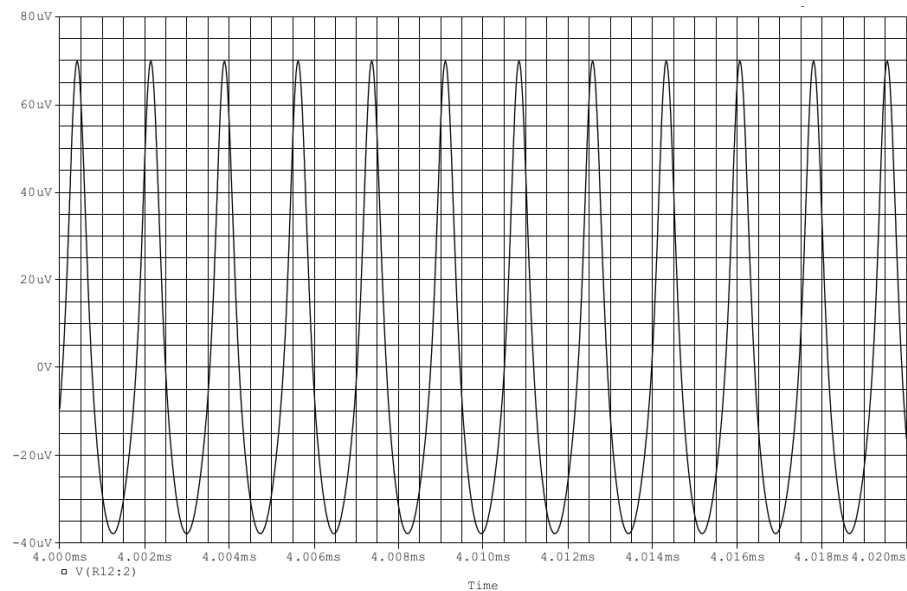
**Figura 8** - Sinal de saída do up-converter.



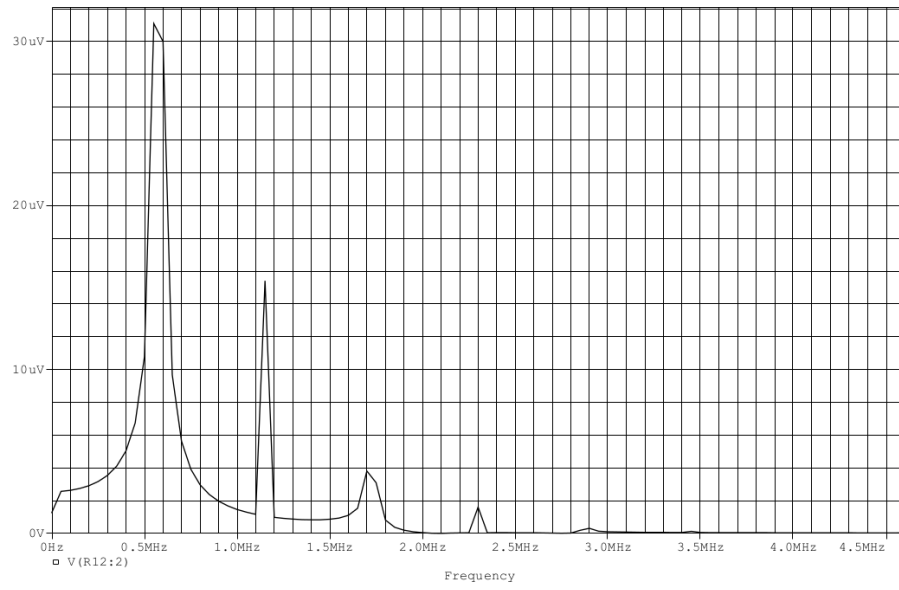
**Figura 9 - FFT do up-converter.**

#### 5.4 Uso de um amplificador seguidor de emissor

O uso do amplificador seguidor de emissor tem a tendência de casar impedâncias, assim, o sinal é conservado. Além disso, tal amplificador permite o uso de cargas maiores, as quais não poderiam ser aplicadas ao estágio anterior. A figura a seguir mostra o comportamento do circuito, através dos sinais de entrada e saída deste estágio:



**Figura 10 - Sinal de saída do mixer com buffer.**



**Figura 11 - FFT do mixer com buffer.**

## 6 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Como foi constatado nos resultados das simulações, o fator de mérito do circuito do mixer é maior que o fator de mérito do filtro. Podemos observar também que, de acordo com a figura 8, o up converter possui uma modulação AM residual. Ao analisar a resposta em frequência tanto do up como do down converter, notamos que o sinal de saída possui uma pequena quantidade de energia na primeira harmônica, porém, as demais possuem uma energia muito baixa, sendo assim, desprezadas. Para o caso do mixer com buffer, podemos notar que há uma nítida distorção no sinal do mixer. Essa distorção gera uma diminuição da energia da frequência FI e aumenta a energia das harmônicas. Vale lembrar que o transistor utilizado não é o mesmo do roteiro, sendo assim, o ponto de operação do buffer está deslocado do centro, causando uma interferência maior na saída do circuito.

## Referências

- [1] T. Abrao, *Notas de aula - Circuitos de Comunica  o*. 2002.