

Relatório - Experimento 00

Fausto Emrich Brenner

I. INTRODUÇÃO

O experimento realizado foi uma introdução ao GNURadio. Para isso, foram utilizados alguns blocos fundamentais do software em configurações simples para a realização de análises básicas sobre sinais analógicos no domínio do tempo e da frequência.

II. ATIVIDADES

A. AR 01

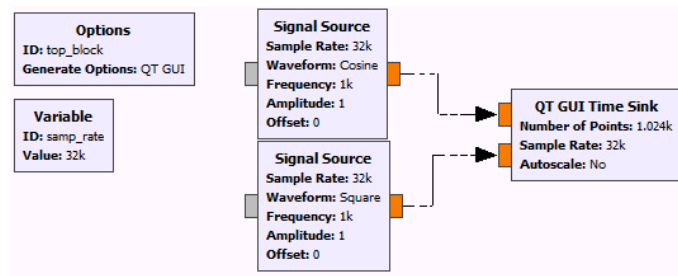


Figura 1: Configuração da AT para a AR 01.

Na primeira atividade, utilizamos um gerador de ondas (*Signal Source*) com sua saída ligada a um osciloscópio (*QT GUI Time Sink*). Em todo o experimento, utilizaremos sinais reais, logo a configuração do tipo de todos os instrumentos foi mantida em *Float*. O sinal foi configurado como senoidal, com frequência de 1 kHz e amplitude igual a 1 V.

Com o painel de controle do osciloscópio ativado, ao executarmos o código, temos a seguinte janela.

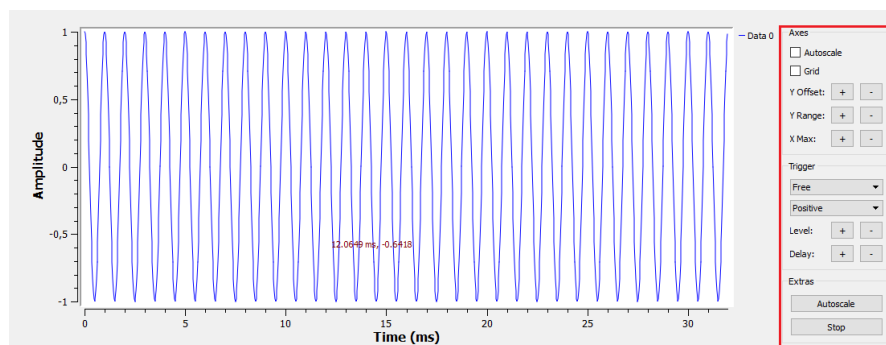
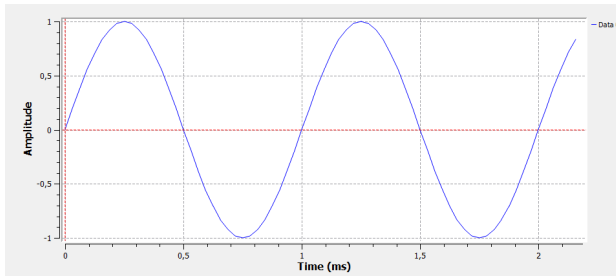


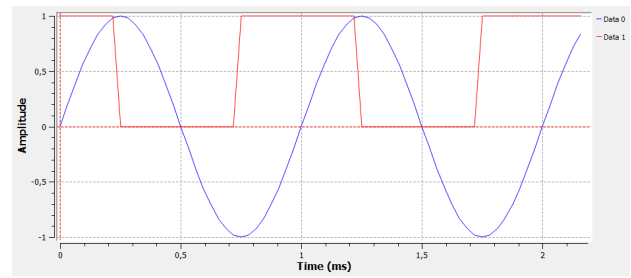
Figura 2: Resultado da execução da Atividade 01.

O painel destacado corresponde ao painel de controle do osciloscópio. Ele possui diversas funcionalidades como: *Autoscale*, ajuste dos limites dos eixos X e Y e da posição de offset do eixo Y, além de configurações de *Trigger*. Diminuindo o valor de Xmax podemos mostrar apenas dois ciclos do sinal, como mostra a Figura 3(a).

Podemos ainda ajustar o osciloscópio para receber 2 entradas, alterando o valor de *number of inputs* em suas propriedades. Criando um novo gerador de sinais com as mesmas propriedades do inicial, mas gerando uma onda quadrada, podemos visualizar os dois sinais no osciloscópio (Figura 3(b)). A área de trabalho final pode ser visualizada na Figura 1.



(a) Ajuste do limite do eixo do tempo (eixo X).



(b) Osciloscópio mostrando os dois sinais.

Figura 3: Resultado do osciloscópio para a AR01.

B. AR 02

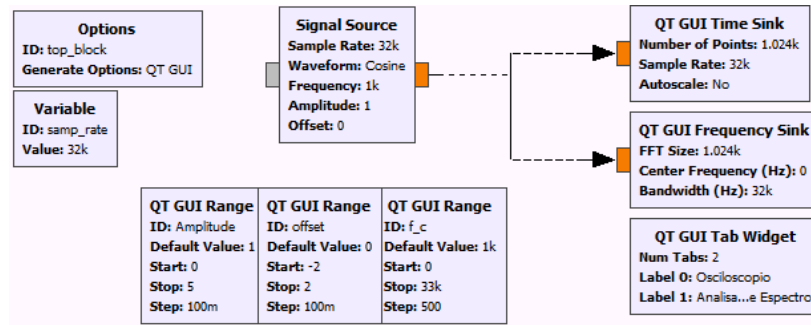


Figura 4: Configuração da AT para a AR 02.

Nas atividades 2 e 3, aprendemos a criar variáveis que controlam propriedades do nosso sinal, como amplitude e frequência. Agora, adicionaremos uma variável para controlar o *offset* do sinal senoidal. Para isso, foi criado um elemento *QT GUI Range* em nossa AT que foi nomeado de *offset*. Seus limites máximo/mínimo foram definidos em $-2/+2V$ e o *step* em $0.1V$. Para criar a dependência da propriedade do sinal com a variável, nas propriedades de nosso gerador de sinais, o campo de *offset* foi preenchido com o nome da nossa variável: *offset*.

Para analisar o efeito do *offset*, tanto no domínio do tempo quanto no da frequência, foram realizadas 3 medidas com 3 valores diferentes de *offset*: 0 (Figura 5), $+2$ (Figura 6), -1 (Figura 7).

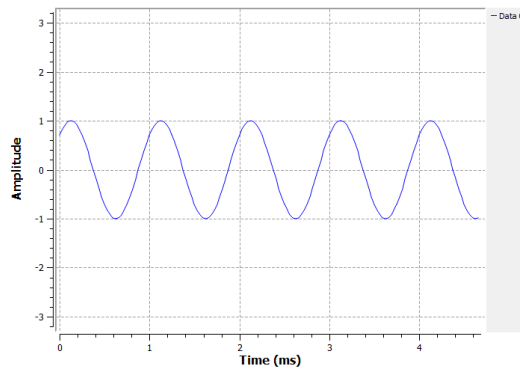
Percebe-se que, a variação no valor de *offset* gera um deslocamento da onda no eixo Y. Esse deslocamento, como pode-se perceber no domínio da frequência, corresponde ao surgimento de uma componente DC (frequência nula) no espectro.

C. AR 03

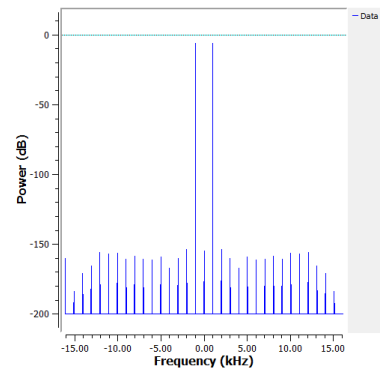
Com a mesma configuração da Figura 4, mantendo o sinal senoidal com amplitude $1V$, frequência $1kHz$ e *offset* $0V$, os resultados em domínio do tempo e da frequência são os mesmos mostrados na Figura 5. O valor da DEP nas raízes de interesse do espectro foram medidas e encontram-se na Tabela I.

Offset	$-1kHz$	$0kHz$	$1kHz$
$0.0V$	$-6.02dB$	$-154.71dB$	$-6.02dB$
$0.5V$	$-6.02dB$	$-6.02dB$	$-6.02dB$
$1.0V$	$-6.02dB$	$0.00dB$	$-6.02dB$

Tabela I: Valores das raízes de interesse para diferentes offsets

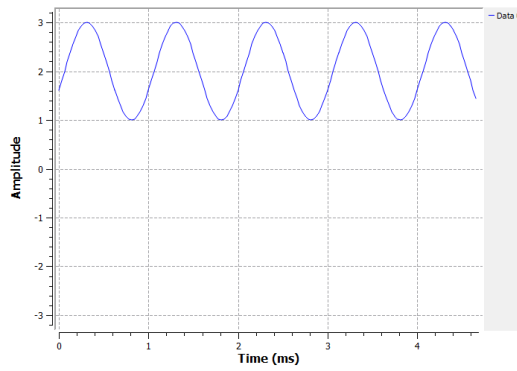


(a) Domínio do tempo

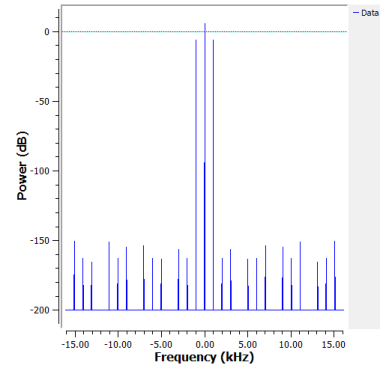


(b) Domínio da frequência

Figura 5: offset = 0

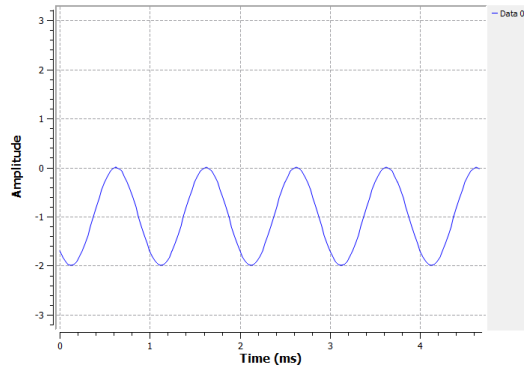


(a) Domínio do tempo

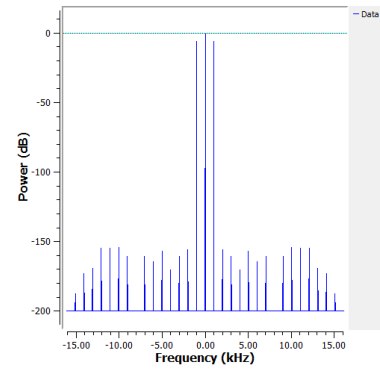


(b) Domínio da frequência

Figura 6: offset = 2



(a) Domínio do tempo



(b) Domínio da frequência

Figura 7: offset = -1

Podemos explicar esses valores quantitativamente calculando a transformada de Fourier do sinal gerado. Para isso, vamos definir um sinal $g(t)$ tal que

$$g(t) = A \cos(2\pi f_0 t) + B, \quad f_0 = \frac{1}{T_0}$$

Temos então que

$$G(f) = \mathcal{F}(g) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) e^{-j2\pi f_0 t} dt$$

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} (A \cos(2\pi f_0 t) + B) e^{-j2\pi f_0 t} dt = A \int_{-\infty}^{+\infty} \cos(2\pi f_0 t) e^{-j2\pi f_0 t} + B \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j2\pi f_0 t}$$

$$G(f) = A \cdot 0.5[\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)] + B\delta(f)$$

Substituindo os valores de A e B em cada caso

$$G_0(f) = 0.5[\delta(f - 1 \text{ kHz}) + \delta(f + 1 \text{ kHz})], \quad A = 1.0 \text{ e } B = 0.0$$

$$G_1(f) = 0.5[\delta(f - 1 \text{ kHz}) + \delta(f + 1 \text{ kHz})] + 0.5\delta(f), \quad A = 1.0 \text{ e } B = 0.5$$

$$G_2(f) = 0.5[\delta(f - 1 \text{ kHz}) + \delta(f + 1 \text{ kHz})] + \delta(f), \quad A = 1.0 \text{ e } B = 1.0$$

Resolvendo cada função para as frequências de interesse, obtêm-se a Tabela II

	$f = -1 \text{ kHz}$	$f = 0 \text{ kHz}$	$f = 1 \text{ kHz}$
$G_0(f)$	0.5 V	0.0 V	0.5 V
$G_1(f)$	0.5 V	0.5 V	0.5 V
$G_2(f)$	0.5 V	1.00 V	0.5 V

Tabela II: Valores no domínio da frequência do sinal em cada um dos casos

Porém, como o espectro de frequências se encontra em decibéis, então, é necessário fazer a conversão.

$$dB = 20 \log(G(f))$$

Aplicando em todos os valores, têm-se a Tabela III

	$f = -1 \text{ kHz}$	$f = 0 \text{ kHz}$	$f = 1 \text{ kHz}$
$G_0(f)$	-6.02 dB	N/D	-6.02 dB
$G_1(f)$	-6.02 dB	-6.02 dB	-6.02 dB
$G_2(f)$	-6.02 dB	0.00 dB	-6.02 dB

Tabela III: Valores no domínio da frequência (em dB) do sinal em cada um dos casos

Percebe-se que o único valor divergente entre as Tabelas I e III é o caso da frequência 0 kHz quando o offset é nulo. Essa divergência surge pela indefinição de $\log(0)$, que leva o software a pequenas divergências nesses casos. Porém, é importante notar que o valor de -154.71 dB corresponderia a $1.84 \times 10^{-8} \text{ V}$, um erro desprezível. Os demais valores todos foram de acordo com os cálculos.

D. AR 04

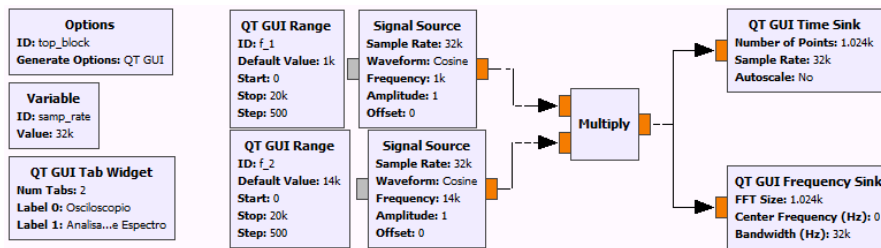


Figura 8: Configuração da AT para a AR 04.

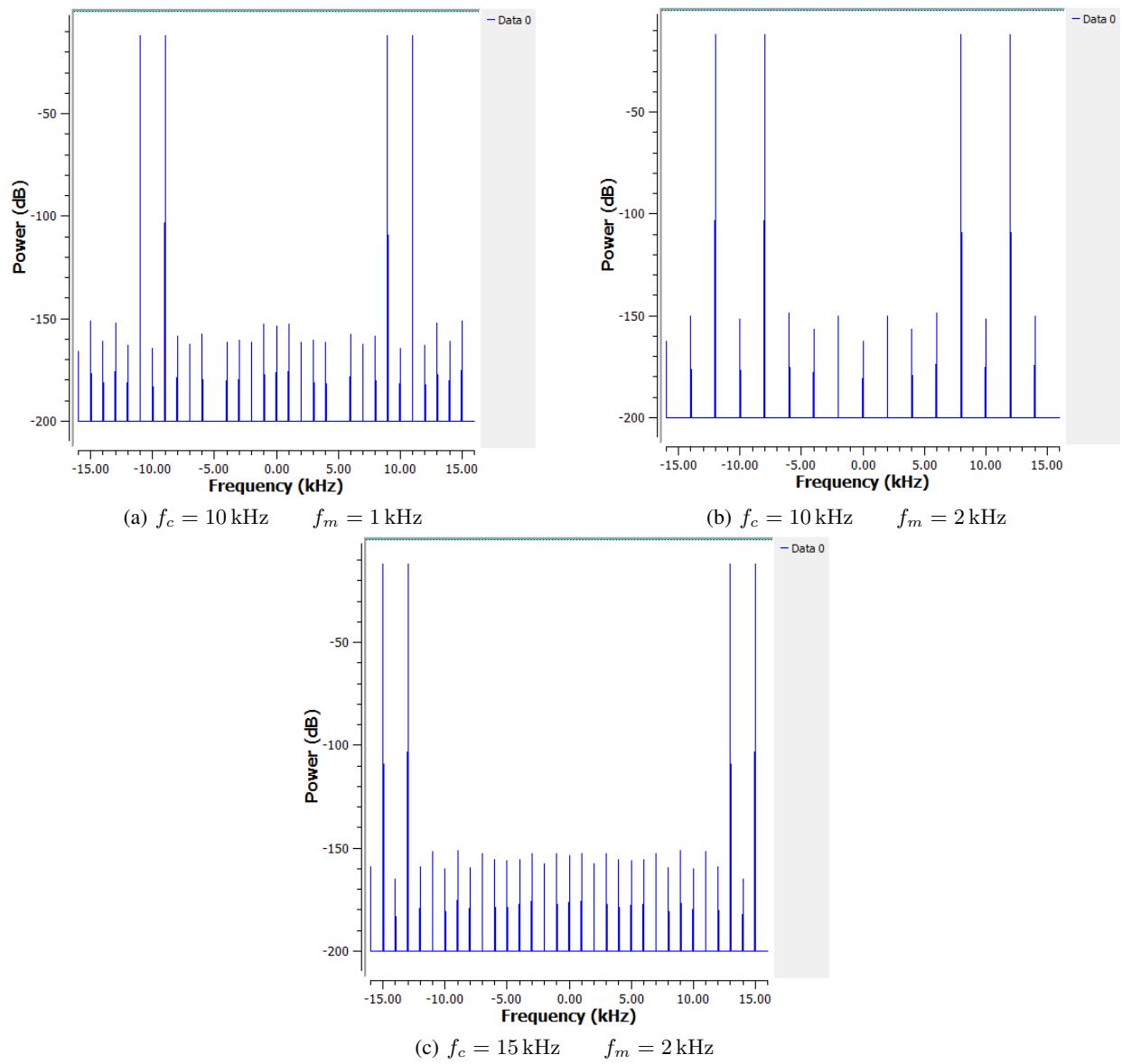


Figura 9: Resposta no espectro das frequências para cada caso proposto

Seguindo as orientações do roteiro, utilizando o bloco *multiply*, a AT foi configurada conforme a Figura 8. O resultado dos espectros para cada um dos casos propostos pode ser visualizado na Figura 9.

Percebe-se pelas Figuras 9 (a) e (b) que o mixer criou novos sinais nas somas e nas diferenças das frequências originais, como já era esperado. Porém, no terceiro caso, nota-se que, ao invés de um sinal surgir em 17 kHz, ele surgiu em 15 kHz. Isso ocorre por conta de um efeito chamado *Aliasing*, que faz com que diferentes sinais se tornem indistinguíveis quando amostrados.

Esse efeito ocorre quando o Teorema da Amostragem não é satisfeito:

A mínima frequência de amostragem para recuperação perfeita do sinal é $f_{\text{sample}}/2 = f_{\text{signal}}$ [1]

No caso, a taxa de amostragem do GNURadio foi mantida em 32 k. Dessa forma, temos uma janela periódica dentro da qual podemos recuperar o sinal de $[-16 \text{ kHz}; 16 \text{ kHz}]$. Uma componente de frequência 17 kHz nesse caso cai na próxima janela, em -15 kHz . Por isso vemos na Figura 9 (c) o surgimento de uma componente nessa frequência e em 15 kHz.

III. CONCLUSÃO

Durante este experimento foi realizada uma introdução ao software GNURadio, com a utilização de blocos fundamentais como gerador de sinais, osciloscópio, espectro de frequências e *mixer*. A partir dessas simples configurações, também foi possível fazer análises sobre o comportamento do sistema nos domínios do tempo e da frequência e sobre efeitos relacionados à taxa de amostragem.

REFERÊNCIAS

- [1] B. P Lathi and Z. Ding, *Sistemas de Comunicações Analógicos e Digitais Modernos*, 4th ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.