

**ENE - UnB**

167029- Laboratório de Circuitos Elétricos II  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Faculdade de Tecnologia  
Universidade de Brasília

---

## **Experiência N° 7**

# **Série de Fourier**

### **I - Objetivos**

Observar aspectos práticos da decomposição de sinais periódicos em série de Fourier empregando medidas e simulações computacionais. Reconstrução de uma forma de onda no tempo de posse dos coeficientes da série de Fourier.

### **II - Tópicos da Teoria Envolvidos**

- ⇒ Série de Fourier
- ⇒ Expansão em série de Fourier de sinais de onda quadrada e triangular
- ⇒ Transformada de Fourier

### **III - Equipamentos, Componentes e Ferramentas Utilizados**

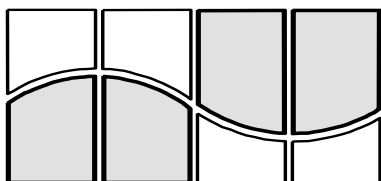
1. Osciloscópio
2. Gerador de função
3. Filtro a cristal passa faixa

### **IV - Procedimento Experimental**

- a) Verifique qual a frequência central do filtro. Use um sinal senoidal de frequência variável na entrada e acompanhe a saída no osciloscópio. Será utilizado um filtro passa-faixa a cristal, de  $Q$  bastante elevado (seletividade extremamente alta). A frequência nominal de ressonância do cristal é de 32768 Hz; portanto varie lentamente a frequência do sinal de entrada, em torno desse valor.  
A configuração do filtro é dada a seguir.

**ATENÇÃO!!!**

O cristal pode queimar com tensões de entrada acima de  $3V_{RMS}$ !



**ENE - UnB**

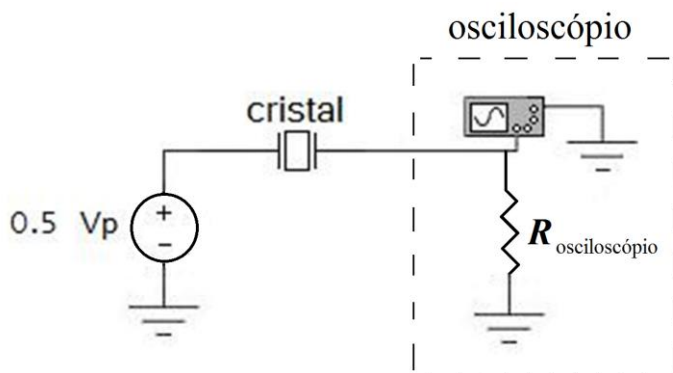


Figura 1: Filtro Passa faixa

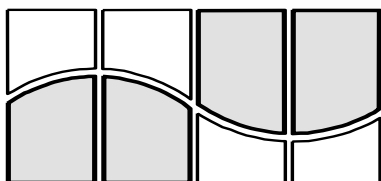
PS. Não inclua a resistência de entrada do osciloscópio em sua montagem.

- b) A seguir, serão verificados os harmônicos presentes nas ondas quadrada e triangular. Adote formas de onda simétricas, com Duty Cycle de 50%, amplitude  $1V_{pp}$  e média zero. Meça os valores de amplitude dos termos e verifique possíveis inversões de fase ( $180^\circ$ ) com respeito ao termo fundamental, representando assim termos negativos da série.

Como a frequência do filtro é fixa, deveremos alterar a fundamental da onda de entrada para verificar os harmônicos. Por exemplo, se o filtro tem frequência central de 100 kHz, para verificarmos a segunda componente da onda de entrada, deveremos gerá-la com frequência fundamental de 50 kHz, para que  $2f_0$  seja igual a 100 kHz, com 33,3 kHz para que  $3f_0$  seja igual a 100 kHz, e assim por diante.

Escolha frequências convenientes para verificação da fundamental e dos harmônicos das ondas quadrada e triangular.

- c) Utilizando o template disponível no Moodle, preencha os coeficientes da série de Fourier experimental conforme o item VI.b. Desenhe no relatório a forma de onda do sinal resultante da soma das componentes informadas.
- d) Verifique o espectro de Fourier e informe o valor das amplitudes das 3 primeiras harmônicas ímpares de uma onda quadrada, utilizando a plataforma NI Elvis que se encontra em cada



## ENE - UnB

bancada. Utilize uma onda simétrica, com Duty Cycle de 50%, amplitude 1 Vpp, DC Offset 0 e frequência de 10KHz.

Conecte m cabo BNC-BNC na saída FGEN a entrada CH0, no lado esquerdo da placa. Na barra de ferramentas NI Elvismx Instrument Launcher abra os instrumentos virtuais FGEN, para configurar o sinal da onda quadrada, e DAS, para a análise do espectro de frequência. No DSA, escolha o canal CH0 e use a seguinte configuração: Frequency span= 100000; window= none; frequency display= linear; mode= peak. Anote o valor da amplitude das 3 primeiras harmônicas (raiz quadrada da valor medido pelo cursor).

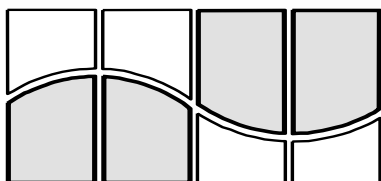
### V - Pré-relatório: Cálculos teóricos

No seu relatório inclua os seguintes itens:

- a) Calcule a amplitude de cada componente do espectro do item VI.a.
- b) Calcule a expansão em série de Fourier para a onda quadrada e para a onda triangular com frequência fundamental 33 kHz, amplitude  $1V_{pp}$  e média nula. Justifique o porquê das ordens harmônicas pares apresentarem padrão diferente das ímpares. Calcule os valores das amplitudes até o 7º harmônico de cada onda.
- c) Considerando a onda quadrada do item anterior, determine seu valor de pico  $\max(|f(t)|)$  e seu valor eficaz  $V_{RMS}$ . Faça o mesmo para a componente harmônica fundamental desta onda quadrada.  
Justifique o porquê de a onda quadrada possuir menor amplitude que a componente fundamental, mas maior valor eficaz.

### VI - Pré-relatório: Parte Computacional

- a) Monte no PSpice um conjunto de fontes ( $\geq 5$ ) em série utilizando VSIN e VDC. Insira uma resistência 50 Ohms em série representando uma impedância interna para todas as fontes. Conecte ao conjunto de fontes uma carga resistiva de alta



## ENE - UnB

impedância ( $>10,0 \times 10^3$  kOhms) e meça a tensão em seus terminais. Considere XY os dois últimos dígitos de sua matrícula na UNB. A configuração das amplitudes e frequências das fontes fica ao seu critério mas devem reconstruir uma forma de onda periódica padrão presente em livros textos da disciplina (indique qual onda desejou reproduzir).

Obs.: *Uma improvável coincidência de conjunto de fontes para diferentes alunos será devidamente penalizada.*

Capture uma imagem da tensão na carga resistiva e aplique a Transformada Rápida de Fourier (FFT) sobre o sinal. Use o zoom do OrCAD para selecionar a parte útil do espectro, e capture uma imagem.

Marque as tensões em cada raia e compare com o valor teórico esperado. Indique no relatório os valores de tensões e frequências escolhidas para as fontes para que sejam comparadas com os resultados encontrados no espectro de frequência.

Dicas: - A FFT possui ícone disponível no OrCAD. A frequência de amostragem é controlada automaticamente pelo software. Para frequências dos sinais muito próximas, a resolução do espectro pode ser melhorada aumentando-se o tempo de observação (Setup Analysis->Transient->Final Time).

- b) Acompanhe a formação da onda quadrada e da onda triangular teórica e experimental através da soma da fundamental, harmônicos e termo DC calculados e obtidos no laboratório. No *template* em anexo (disponível no Moodle) insira os coeficientes adequados para os termos senoidais, cossenoidais e DC, quando for o caso. Limite o número de harmônicos calculados ao mesmo número de harmônicos que foi possível medir em laboratório.

Obs.: Você deve trazer o arquivo do template para preenchimento em laboratório, e poderá desenhar as formas de onda resultantes em seu relatório.

## VII - Relatório

Seu relatório deve contar todas as medições, informações e formas de ondas solicitadas na Seção IV - Procedimento Experimental.