



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos - PSI - EPUSP

PSI3031 - LABORATÓRIO DE ELETRICIDADE

ANÁLISE DE FOURIER DE SINAIS ARBITRÁRIOS

Guia Experimental

L.Q. Orsini, Denise Consonni
Vitor Nascimento
Leopoldo Yoshioka, Elisabete Galeazo

Edição 2017

Lista de Material

1 gerador de funções HP 33120A
1 osciloscópio digital DSO-X-2000A
1 computador com interface GPIB e programa **Análise Espectral I**
1 microfone
1 alto-falante

Demonstração

1 analisador de espectro Tektronix 2712
1 gerador de funções HP33120A

Análise espectral de sinais

A aquisição e processamento dos sinais, cálculo da TDF, composição de tabela e gráficos, e armazenamento dos dados serão feitos através do programa **Análise Espectral I**, baseado no LabVIEW¹.

O objetivo desta experiência será analisar os espectros de tres tipos de sinais. 1) sinais de duração ilimitada; 2) sinais de duração limitada (transitório) e 3) sinais acústicos.

1. Sinais de duração ilimitada

Atenção: Neste item recomendamos que velocidade de varredura do osciloscópio seja ajustada para visualizar 5 ~6 períodos na tela.

a) **Sinal 1:** sinal senoidal de 1 kHz, 2Vpp, 1000 amostras, janela retangular, duração de 1 período.

No software de análise espectral, utilizando a função de controle do gerador de sinais siga os seguintes passos:

- selecione: sinal senoidal, frequência de 1 kHz, e amplitude de 2 Vpp.
- após a seleção das características do sinal, ative “ENVIAR COMANDOS” e “SAIR”.
- selecione um total de 1000 amostras, e acione a tecla de aquisição do sinal.

¹ Labview – ferramenta de programação gráfica da National Instruments muito utilizada no desenvolvimento de aplicações de aquisição e processamento de dados de sistemas de medição, monitoramento e controle.

- observe a forma de onda transferida à tela do computador, e posicione os cursores cuidadosamente, de forma a selecionar exatamente um período do sinal (dentro da precisão da amostragem).
- com a janela retangular especifique 10 raias e acione a tecla da Análise de Fourier.
- observe os resultados da análise quanto ao módulo e fase do espectro.
- anote e calcule se for necessário os valores solicitados na **Tabela 1** do relatório da experiência.
- varie a posição dos cursores, sempre tomando um período completo do sinal, e observe como varia a fase da componente fundamental do espectro.

b) Sinal 2: sinal senoidal de 1 kHz, 2Vpp, 2000 amostras, janela retangular, duração de 1 período.

- selecione agora um total de 2000 amostras, e
- repita os procedimentos de aquisição e análise do sinal senoidal, com janela retangular de duração igual a um período.
- Anote na **Tabela 2** os valores dos parâmetros listados no item a).
- Repita os cálculos do item a).

Perguntas: Avaliação dos resultados de análise espectral dos Sinais 1 e 2:

- i. Quais os efeitos observados ao se aumentar o número de amostras do sinal a ser analisado?
- ii. Dado um número N de amostras entre os cursores, qual é o número de raias (espectros) calculados pela TDF ? Qual é o número de raias que efetivamente pode ser usado? Explique.
- iii. Qual é o efeito, sobre o espectro obtido para o sinal (módulo e fase), ao se deslocar a janela de aquisição mudando-se a posição dos cursores e mantendo sempre um período completo entre eles ?

c) Sinal 3: sinal senoidal de 1 kHz, 2Vpp, 2000 amostras, janela retangular, duração de 2 e 3 períodos.

- Mantendo o número de amostras em 2000, faça a aquisição e análise do sinal senoidal contínuo, delimitando 2 e depois 3 períodos exatos do sinal, entre os cursores.
- Em ambos casos utilize a mesma base de tempo no osciloscópio.
- Observe o que ocorre nos gráficos do espectro do sinal.
- Anote os parâmetros na **Tabela 3** do relatório e repita os cálculos do item a) para cada caso.
- Visualize a “tabela de resultados” (primeiras 20 harmônicas).
- Não se esqueça de clicar na tecla “SAIR” após cada um dos procedimentos (se você não usar esta tecla, o programa poderá "travar").

d) Observação do Efeito do Vazamento:

- Para observar os efeitos do erro de vazamento espectro de sinais contínuos, você deverá agora posicionar os cursores do programa **Análise Espectral**, de modo a selecionar aproximadamente 3,5 períodos do sinal senoidal.
- Realize a análise de Fourier e observe os resultados.
- Qual é o efeito do vazamento ? Explique o efeito cerca neste caso.

e) Observação do Efeito das Janelas:

- Para as mesmas condições, aplique agora uma das janelas disponíveis no programa sobre o sinal (use uma janela diferente da retangular e não flattop).
- Realize a análise espectral e observe os resultados.
- Interprete os resultados.

f) Observação do Efeito do aumento do número de períodos:

- Agora, aumente para aproximadamente 12,5 períodos do sinal senoidal, o trecho delimitado pelos cursores.
- Faça a análise espectral : **sem janela** (janela retangular), e com a mesma janela utilizada no item e.

g) Medição de amplitude

- Varie o número de raias para poder observar melhor o espectro.
- Repita a análise usando também a **janela flattop**.

2. Sinais de duração limitada (Transitórios)

Utilizando trens de onda senoidais, verifique como se faz para realizar as seguintes operações:

- variar a frequência da senóide dos *bursts*
- variar a taxa de repetição dos *bursts* (*burst rate*)
- variar o número de ciclos senoidais dos *bursts*
- variar a fase dos *bursts* (*burst phase*).

Note que a sincronização do osciloscópio neste caso depende da relação entre a frequência da onda e do período do *burst*. Para visualizar melhor o sinal, use o **sincronismo externo** do osciloscópio

Nesta experiência, os sinais “transitórios” serão representados pelos sinais do tipo *burst*. Os resultados obtidos com a análise espectral através da TDF deverão ser interpretados com base nos espectros teóricos que deverão ser calculados para cada um dos sinais analisados. Neste processo, levar em conta: o teorema da convolução, o caráter discreto e periódico da TDF, os efeitos do janelamento e da amostragem do sinal para possibilitar a análise espectral por TDF.

a) Sinal 4: pulso retangular, largura 0,5ms e amplitude de 2V

Realize o procedimento a seguir:

- Configure o gerador de funções para obter um pulso retangular (como o da Figura 6 – Introdução Teórica).
- Ajuste a largura igual a 0,5ms e amplitude igual a +2V, ativando o modo “BURST” do gerador (com forma de onda quadrada).
- Escolha os valores de frequência e de burst rate convenientes.
- Para incluir o nível DC no sinal (para garantir a variação de amplitude de 0 a +2V) passe o gerador para o modo local (tecla *Shift/Local*) e ajuste o valor do *off-set*.
- Faça a aquisição com 2000 amostras e janela retangular.
- Realize a análise espectral.
- Interprete os resultados, de acordo com a teoria apresentada.

b) Sinal 5: um ciclo isolado de senóide, período de repetição de 100ms

Realize o procedimento a seguir:

- Coloque na tela do osciloscópio um sinal composto por um só ciclo (isolado) de senóide de 1kHz, com período de repetição de 10ms.
- Faça a aquisição com 2000 amostras.
- Certifique-se de que sua janela (retangular) de amostragem (intervalo entre os cursores) contém um período de 10ms, com o ciclo de senóide centralizado neste espaço.
- Acione a análise de Fourier, com 50 raias. Observe e interprete o espectro obtido
- Identifique a frequência da harmônica de maior amplitude e os zeros do espectro.
- Armazene os dados e gráficos.
- Determine o espectro de um trem de ondas, constituído por 2 ciclos de senóide de 1kHz, com período de repetição de 10ms.
- Após a aquisição do sinal, posicione os cursores de forma a abranger somente um trem de ondas (i.é. intervalo entre os cursores menor que 10 ms), com início da janela (cursor zero) posicionado em $t = 0$, no gráfico da Figura 7.
- Realize a análise de Fourier. Varie o número de raias para observar melhor o espectro.
- Aumente o período de repetição dos bursts e a largura da janela retangular. Observe o espectro e interprete os resultados.
- Interprete os resultados comparativamente ao espectro teórico esperado.

3. Sinais Acústicos

O objetivo desta é detectar um tom em meio ao ruído ambiente.

Realize o procedimento a seguir:

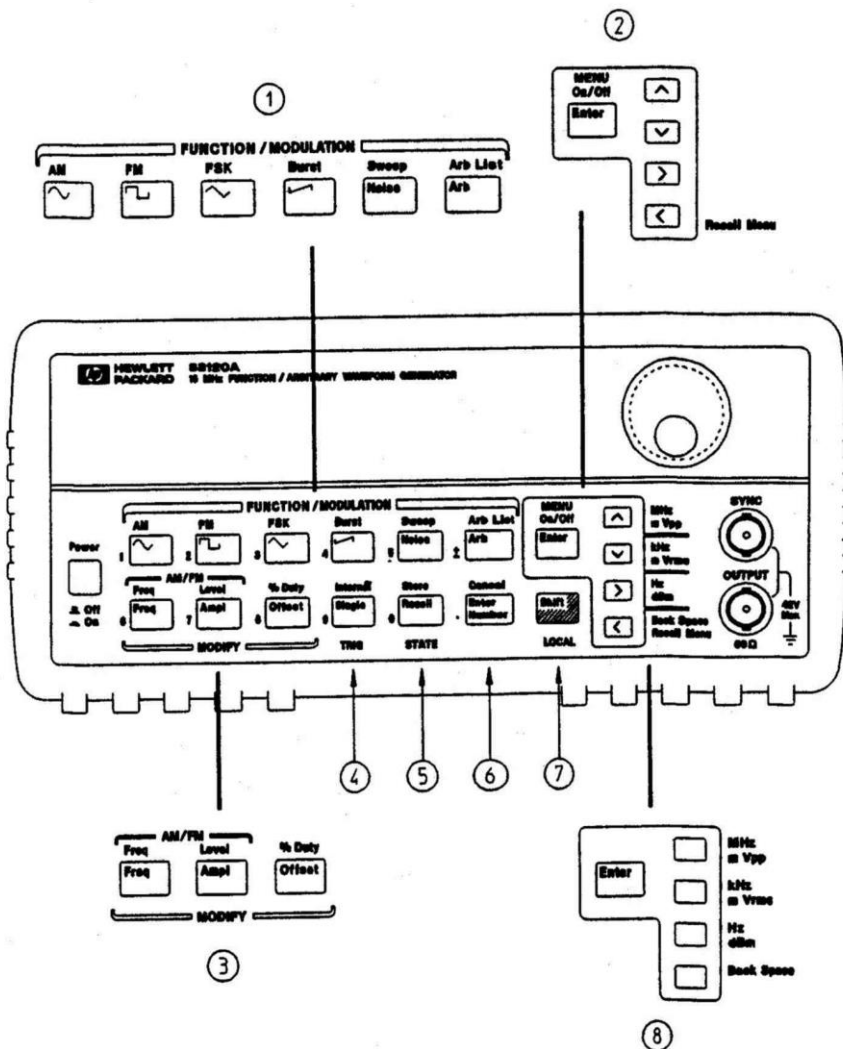
- Selecione no quadro de controle do gerador um sinal senoidal de frequência 1kHz, com amplitude de 2 Vpp.
- Aplique a saída do gerador ao alto-falante disponível. Observe que o tom emitido pelo alto-falante soma-se ao ruído ambiente.
- Use o microfone para observar esta composição no osciloscópio.
- Procure condições de sinal/ruído tais que a presença do tom não seja identificável por inspeção visual da forma de onda no osciloscópio (se necessário, diminua a amplitude do sinal do gerador e aumente o ganho vertical do osciloscópio).
- Faça a análise espectral do sinal (utilizando as 2000 amostras totais).
- A presença do tom ficou mais evidente no espectro do sinal + ruído ? (Aumente o número de raias, até visualizar o tom no gráfico do espectro).
- Calcule a partir dos seus resultados a frequência do sinal “escondido” no ruído.

- APÊNDICE I -

Características e Procedimentos para uso do Gerador de Funções HP33120A

(Retirado do "User's Guide"- HP33120A Function Generator/ Arbitrary Waveform Generator - Hewlett Packard, 1996)

The Front Panel at a Glance

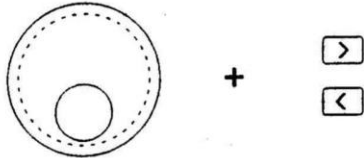


- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 Function / Modulation keys | 5 Recall / Store instrument state key |
| 2 Menu operation keys | 6 Enter Number key |
| 3 Waveform modify keys | 7 Shift / Local key |
| 4 Single / Internal Trigger key
(Burst and Sweep only) | 8 Enter Number "units" keys |

Front-Panel Number Entry

You can enter numbers from the front-panel using one of three methods.

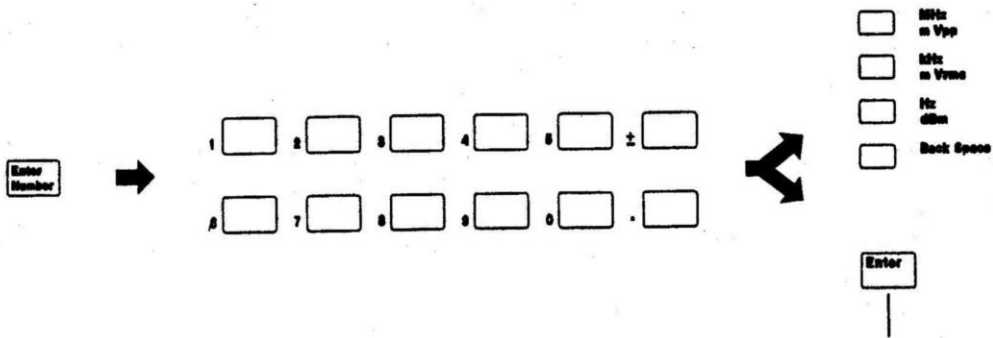
Use the knob and the arrow keys to modify the displayed number.



Use the arrow keys to edit individual digits.

- ^ Increments the flashing digit.
- v Decrements the flashing digit.
- > Moves the flashing digit to the right.
- < Moves the flashing digit to the left.

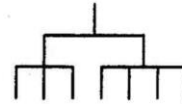
Use the "Enter Number" mode to enter a number with the appropriate units.



Use "Enter" for those operations that do not require units to be specified (AM Level, Offset, % Duty, and Store/Recall State).

The Front-Panel Menu at a Glance

The menu is organized in a top-down tree structure with three levels.



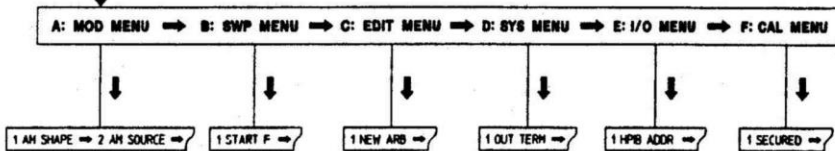
To turn on menu press:



To move
up or down



To move
right or left



To enter command press:



A: MODulation MENU

1: AM SHAPE → 2: AM SOURCE → 3: FM SHAPE → 4: BURST CNT → 5: BURST RATE →
 ↳ 6: BURST PHAS → 7: BURST SRC → 8: FSK FREQ → 9: FSK RATE → 10: FSK SRC

B: SWP (Sweep) MENU

1: START F → 2: STOP F → 3: SWP TIME → 4: SWP MODE

C: EDIT MENU*

1: NEW ARB → [2: POINTS] → [3: LINE EDIT] → [4: POINT EDIT] → [5: INVERT] → [6: SAVE AS] → 7: DELETE

* The commands enclosed in square brackets ([]) are "hidden" until you make a selection from the NEW ARB command to initiate a new edit session.

D: SYSTEM MENU

1: OUT TERM → 2: POWER ON → 3: ERROR → 4: TEST → 5: COMMA → 6: REVISION

E: Input / Output MENU

1: HPB ADDR → 2: INTERFACE → 3: BAUD RATE → 4: PARITY → 5: LANGUAGE

F: CALibration MENU*

1: SECURED → [1: UNSECURED] → [2: CALIBRATE] → 3: CAL COUNT → 4: MESSAGE

* The commands enclosed in square brackets ([]) are "hidden" unless the function generator is UNSECURED for calibration.

Front-panel menu reference

A: MODulation MENU

1: AM SHAPE ➔ 2: AM SOURCE ➔ 3: FM SHAPE ➔ 4: BURST CNT ➔ 5: BURST RATE ➔

↳ 6: BURST PHAS ➔ 7: BURST SRC ➔ 8: FSK FREQ ➔ 9: FSK RATE ➔ 10: FSK SRC

1: AM SHAPE	Selects the shape of the AM modulating waveform.
2: AM SOURCE	Enables or disables the internal AM modulating source.
3: FM SHAPE	Selects the shape of the FM modulating waveform.
4: BURST CNT	Sets the number of cycles per burst (1 to 50,000 cycles).
5: BURST RATE	Sets the burst rate in Hz for an internal burst source.
6: BURST PHAS	Sets the starting phase angle of a burst (-360 to +360 degrees).
7: BURST SRC	Selects an internal or external gate source for burst modulation.
8: FSK FREQ	Sets the FSK "hop" frequency.
9: FSK RATE	Selects the internal FSK rate between the carrier and FSK frequency.
10: FSK SRC	Selects an internal or external source for the FSK rate.

B: SWP (Sweep) MENU

1: START F ➔ 2: STOP F ➔ 3: SWP TIME ➔ 4: SWP MODE

1: START F	Sets the start frequency in Hz for sweeping.
2: STOP F	Sets the stop frequency in Hz for sweeping.
3: SWP TIME	Sets the repetition rate in seconds for sweeping.
4: SWP MODE	Selects linear or logarithmic sweeping.

C: EDIT MENU *

1: NEW ARB ➔ [2: POINTS] ➔ [3: LINE EDIT] ➔ [4: POINT EDIT] ➔ [5: INVERT] ➔ [6: SAVE AS] ➔ 7: DELETE

1: NEW ARB	Initiates a new arb waveform or loads the selected arb waveform.
2: POINTS	Sets the number of points in a new arb waveform (8 to 16,000 points).
3: LINE EDIT	Performs a linear interpolation between two points in the arb waveform.
4: POINT EDIT	Edits the individual points of the selected arb waveform.
5: INVERT	Inverts the selected arb waveform by changing the sign of each point.
6: SAVE AS	Saves the current arb waveform in non-volatile memory.
7: DELETE	Deletes the selected arb waveform from non-volatile memory.

* The commands enclosed in square brackets ([]) are "hidden" until you make a selection from the NEW ARB command to initiate a new edit session.

D: SYStem MENU

1: OUT TERM ➔ 2: POWER ON ➔ 3: ERROR ➔ 4: TEST ➔ 5: COMMA ➔ 6: REVISION

1: OUT TERM	Selects the output termination (50Ω or high impedance).
2: POWER ON	Enables or disables automatic recall of the power-down state.
3: ERROR	Retrieves errors from the error queue (up to 20 errors).
4: TEST	Performs a complete self-test.
5: COMMA	Enables or disables a comma separator between digits on the display.
6: REVISION	Displays the function generator's firmware revision codes.

E: Input / Output MENU

1: HPIB ADDR ➔ 2: INTERFACE ➔ 3: BAUD RATE ➔ 4: PARITY ➔ 5: LANGUAGE

1: HPIB ADDR	Sets the HP-IB bus address (0 to 30).
2: INTERFACE	Selects the HP-IB or RS-232 interface.
3: BAUD RATE	Selects the baud rate for RS-232 operation.
4: PARITY	Selects even, odd, or no parity for RS-232 operation.
5: LANGUAGE	Verifies the interface language: SCPI.

F: CALibration MENU *

1: SECURED ➔ [1: UNSECURED] ➔ [2: CALIBRATE] ➔ 3: CAL COUNT ➔ 4: MESSAGE

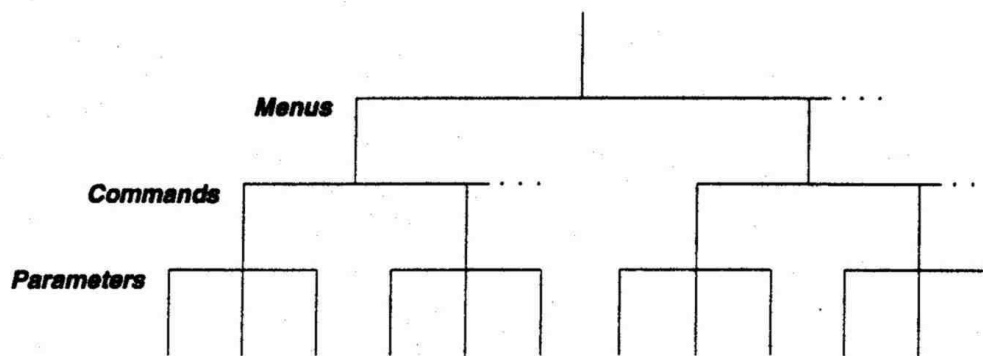
1: SECURED	The function generator is secured against calibration; enter code to unsecure.
1: UNSECURED	The function generator is unsecured for calibration; enter code to secure.
2: CALIBRATE	Performs individual calibrations; must be UNSECURED.
3: CAL COUNT	Reads the total number of times the function generator has been calibrated.
4: MESSAGE	Reads the calibration string (up to 11 characters) entered from remote.

* The commands enclosed in square brackets ([]) are "hidden" unless the function generator is UNSECURED for calibration.

A front-panel menu tutorial

This section is a step-by-step tutorial which shows you how to use the front-panel menu. We recommend that you spend a few minutes with this tutorial to get comfortable with the structure and operation of the menu.

The menu is organized in a top-down tree structure with three levels (*menus*, *commands*, and *parameters*). You move down or up the menu tree to get from one *level* to the next. Each of the three levels has several horizontal *choices* which you can view by moving left or right .

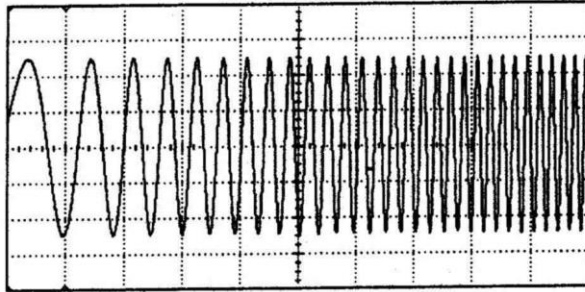


The menu is organized in a top-down tree structure with three levels.

- To *turn on* the menu, press .
- To *turn off* the menu, press .
- To *execute* a menu command, press .
- To *recall* the last menu command that was executed, press .
- To *turn off* the menu at any time without saving changes, press .

To output a frequency sweep

In the frequency sweep mode, the function generator “steps” from the *start frequency* to the *stop frequency* at a *sweep rate* which you specify. You can sweep up or down in frequency, and with either linear or logarithmic spacing. *For this example, you will output a swept sine wave from 50 Hz to 5 kHz. You will not change the other parameters from their default settings: internal sweep trigger, linear spacing, and 1 second sweep time.*



1 Select the function and amplitude for the sweep.

For sweeps, you can select sine, square, triangle, ramp, or arbitrary waveforms. *For this example, select a sine wave with a 5 Vpp amplitude.*

Shift

Sweep

2 Enable the sweep mode.

Notice that the Swp annunciator turns on.

Shift

3 Use the menu to select the start frequency.

<

Recall Menu

After you enable the sweep mode, the “recall menu” key will automatically take you to the START F command in the SWP MENU.

1: START F

**4 Move down a level and set the start frequency to 50 Hz.**

Notice that the **Swp** annunciator flashes, indicating that the displayed parameter is for the sweep mode. *For more information on editing numbers in the menu, refer to "Menu Example 3" earlier in this chapter.*

^50.00 Hz

**5 Save the change and turn off the menu.**

The start frequency is now set to 50 Hz.

**6 Use recall menu to return to the START F command.**

The "recall menu" key returns you to the START F command, which was the last command used before you exited the menu.

1: START F

**7 Move across to the STOP F command.**

2: STOP F

**8 Move down a level and set the stop frequency to 5 kHz.**

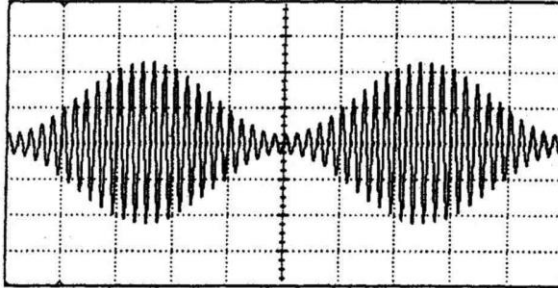
^5.000 KHz

**9 Save the change and turn off the menu.**

At this point, the function generator outputs a continuous sweep from 50 Hz to 5 kHz.

To output a modulated waveform

A modulated waveform consists of a *carrier* and a *modulating* waveform. In AM (amplitude modulation), the amplitude of the carrier is varied by the amplitude of the modulating waveform. *For this example, you will output an AM waveform with 80% modulation depth. The carrier will be a 5 kHz sine wave and the modulating waveform will be a 200 Hz sine wave.*



1 Select the function, frequency, and amplitude of the carrier.

For the carrier waveform, you can select a sine, square, triangle, ramp, or arbitrary waveform. *For this example, select a 5 kHz sine wave with an amplitude of 5 Vpp.*



2 Select AM.

Notice that the **AM** annunciator turns on.



3 Use the menu to select the shape of the modulating waveform.



After you enable the AM function, the "recall menu" key will automatically take you to the AM SHAPE command in the MOD MENU.

1: AM SHAPE

**4 Move down a level and verify that "SINE" is selected.**

For the modulating waveform, you can select a sine, square, triangle, ramp, noise, or arbitrary waveform. For this example, you will modulate the carrier with a sine waveform. Notice that the AM annunciator flashes, indicating that the displayed parameter is for AM.

SINE

**5 Save the change and turn off the menu.**

The modulating waveform is now a sine waveform.

ENTERED

**6 Set the modulating frequency to 200 Hz.**

Notice that the AM annunciator flashes, indicating that the displayed frequency is the modulating frequency for AM. Also notice that the modulating frequency is displayed with fewer digits than the carrier frequency. *For more information on editing numbers in the menu, refer to "Menu Example 3" earlier in this chapter.*

MOD 200.0 Hz



This message appears on the display for approximately 10 seconds. Repeat this step as needed.

**7 Set the modulation depth to 80%.**

Notice that the AM annunciator flashes, indicating that the displayed percentage is the AM depth (also called *percent modulation*).

080 % DEPTH

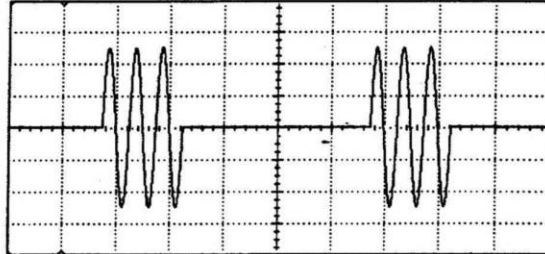


This message appears on the display for approximately 10 seconds. Repeat this step as needed.

At this point, the function generator outputs the AM waveform with the specified modulation parameters.

To output a burst waveform

You can configure the function generator to output a waveform with a specified number of cycles, called a *burst*. You can output the burst at a rate determined by the internal rate generator or the signal level on the rear-panel *Ext Trig* terminal. *For this example, you will output a three-cycle sine wave. You will not change the other parameters from their default settings: internal burst source, 0 degree starting phase, and 100 Hz burst rate.*



1 Select the function, frequency, and amplitude for the burst.

For bursts, you can select sine, square, triangle, ramp, or arbitrary waveforms. *For this example, select a 1 kHz sine wave with an output amplitude of 5 Vpp.*

Shift

Burst

2 Enable the burst mode.

Notice that the **Burst** annunciator turns on.

Shift

3 Use the menu to set the burst count.

<

Recall Menu

After you enable the burst mode, the "recall menu" key will automatically take you to the BURST CNT command in the MOD MENU.

4: BURST CNT

v

4 Move down to the parameter level and set the count to "3".

Notice that the **Burst** annunciator flashes, indicating that the displayed parameter is for the burst mode. *For more information on editing numbers in the menu, refer to "Menu Example 3" earlier in this chapter.*

^00003 CYC

You can also select an infinite burst count. Press the right or left arrow keys until the "CYC" units are flashing. Then, press the down arrow key to display "INFINITE".

Enter

5 Save the change and turn off the menu.

The function generator beeps and displays a message to show that the change is now in effect. You are then exited from the menu.

ENTERED

At this point, the function generator outputs a continuous three-cycle burst.

PROCEDIMENTO PARA IMPRIMIR OU ARQUIVAR GRÁFICOS DOS PROGRAMAS EDITADOS COM O LabVIEW

Para armazenar e/ou imprimir seus gráficos, pressione a tecla “MOSTRAR GRÁFICO”.

Você poderá imprimir esta tela no Laboratório (“File”, “Print window”), e/ou armazená-la para impressão posterior e apresentação no Relatório. Neste caso, siga as instruções :

- Pressione “Print Screen” (para copiar a tela).
- No Linux, será aberto o KSnapshot.
- Neste programa você pode salvar ou imprimir a imagem da tela.
- No caso de gravar a imagem, procure salvar como uma imagem JPEG na pasta /Dados ou no seu pen-drive.

Exercício Pré-Laboratório

Atenção: Este exercício deverá ser resolvido **antes** da aula de Laboratório, e entregue individualmente ao professor no início da aula correspondente a esta experiência. O exercício Pré-Lab não contará nota no Relatório da Experiência, mas poderá ajudar na avaliação final do aluno na disciplina.

O objetivo deste exercício é explorar o efeito das janelas sobre um sinal cujo espectro é bem conhecido: o sinal senoidal. Para tanto vamos no primeiro exercício construir o espectro discreto de amplitudes de um sinal senoidal regular. No segundo exercício, vamos aplicar uma janela ao sinal senoidal e repetir a construção do espectro.

1. Sinal senoidal regular

Considere um sinal senoidal $s(t) = A \sin(2\pi ft)$ com $A = 1$ V e $f = 1$ kHz. Façamos a amostragem durante um intervalo de tempo $t = 1$ ms, equivalente a 1 período do sinal, com taxa de amostragem de 8000 amostras / segundo.

a) Complete a tabela 1 abaixo

Tabela 1

f = Freqüência do sinal , Hz	
T = Período do Sinal, ms	
T_D = Duração da amostragem, ms	
f_a = Freqüência de amostragem, kHz	
T_a = Intervalo entre amostras, ms	
N = Número de amostras	
n_{\max} = Número máximo de componentes espectrais na análise	
f_D = Resolução espectral da análise, kHz	

b) Preencha as duas primeiras colunas da tabela 2 a seguir e faça um gráfico em escala das amostras s_k do sinal em função do tempo $k.T_a$

c) Calcule as componentes do espectro discreto de amplitudes tomando o módulo da expressão (1) abaixo, para cada valor de $n \in \{ 0, n_{\max} \}$, sendo n_{\max} o número máximo de componentes espectrais na análise, descontada a componente contínua. Preencha a tabela 2 a seguir

Tabela 2

k	sk	$e^{-j 0 \left(\frac{2\pi}{N} \right) k}$	$e^{-j 1 \left(\frac{2\pi}{N} \right) k}$	$e^{-j 2 \left(\frac{2\pi}{N} \right) k}$	$e^{-j 3 \left(\frac{2\pi}{N} \right) k}$	$e^{-j 4 \left(\frac{2\pi}{N} \right) k}$
$\sum s_k \cdot e^{-j n \left(\frac{2\pi}{N} \right) k}$						

$$S(n) = \sum_{k=0}^{N-1} s_k \cdot e^{-j n \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{N} \right) \cdot k} \quad \text{expressão (1)}$$

d) Construa um gráfico em escala das amplitudes das componentes do espectro discreto do sinal amostrado. (*Elas correspondem ao módulo dos valores na última linha da tabela 2, onde você preencheu com as somatórias de cada coluna multiplicada pelos respectivos s_k de cada linha, de acordo com a expressão 1 acima.*)

e) O gráfico tem o aspecto esperado ? Justifique.

2.Sinal senoidal janelado

Considere um sinal senoidal $s(t) = A \sin 2\pi f (t - 0,5)$ (V, ms) com $A = 1$ V e $f = 1$ kHz. Multipliquemos esse sinal por uma janela retangular $w(t)$ dada por:

$$w(t) = \begin{cases} 1 & \text{para } 0,5 < t < 1,5 \text{ (ms)} \\ 0 & \text{para } t < 0,5 \text{ ms e } t > 1,5 \text{ ms} \end{cases}$$

obtendo o sinal $sw(t) = s(t) \cdot w(t)$. Façamos a amostragem de $sw(t)$ durante um intervalo de tempo $t = 2$ ms, com taxa de amostragem de 8000 amostras / segundo.

a) Complete a tabela 3 abaixo

Tabela 3

$T_D =$ Duração da amostragem, ms	
$f_a =$ Frequência de amostragem, kHz	
$T_a =$ Intervalo entre amostras, ms	
$N =$ Número de amostras	
$n_{\max} =$ Número máximo de componentes espectrais na análise	
$f_D =$ Resolução espectral da análise, kHz	

Monte a tabela 4, equivalente à tabela 2, com um número de linhas e colunas adequado para seu presente número de amostras e componentes espectrais.

b) Preencha as duas primeiras colunas da tabela 4 a seguir e faça um gráfico em escala das amostras s_k do sinal em função do tempo $k.T_a$

c) Calcule as componentes do espectro discreto de amplitudes tomando o módulo da expressão (1) anterior, para cada valor de $n \in \{ 0, n_{\max} \}$, sendo n_{\max} o número máximo de componentes espectrais na análise, descontada a componente contínua. Preencha a tabela 4.

d) Construa um gráfico em escala das amplitudes das componentes do espectro discreto do sinal amostrado.

e) O gráfico tem o aspecto esperado ? Justifique.