

ARTISAN®
TECHNOLOGY GROUP

Your **definitive** source for quality pre-owned equipment.

Artisan Technology Group
(217) 352-9330 | sales@artisantg.com | artisantg.com

Full-service, independent repair center
with experienced engineers and technicians on staff.

We buy your excess, underutilized, and idle equipment
along with credit for buybacks and trade-ins.

Custom engineering
so your equipment works exactly as you specify.

- Critical and expedited services
- In stock / Ready-to-ship
- Leasing / Rentals / Demos
- ITAR-certified secure asset solutions

Expert team | Trust guarantee | 100% satisfaction

All trademarks, brand names, and brands appearing herein are the property of their respective owners.

Visit our website - *Click HERE*

USER GUIDE

NI Spectral Measurements Toolkit

This document explains how to use the NI Spectral Measurements Toolkit (SMT) in LabVIEW and LabWindows™/CVI™ for frequency-domain measurements.

Contents

Conventions 2
Using the Spectral Measurements Toolkit 3
    Integrating the Spectral Measurements Toolkit 4
    Locating the Spectral Measurements Toolkit 4
SMT Programming Flow Diagram 5
    Advanced-Level VIs 6
Using LabVIEW Spectral Measurements Examples 7
    SMT Simulation Examples 7
        SMT Spectrum Analyzer (simulated) 7
        SMT ACP (simulated) 8
Using LabWindows/CVI Spectral Measurements Examples 9
    Continuous Zoom FFT 9
    Frequency Response Measurement 9
    Cross Power Spectrum Measurement 10
Using Spectral Measurements Toolkit Techniques 10
    Zoom FFT 10
    Continuous Zoom FFT 12
    Block Zoom FFT 14
    Determining When to Use Continuous or Block Zoom FFT 14
    Zoom Spectrogram 15
Configuring Zoom FFT VIs 18
    Center Frequency and Span 18
    Resolution Bandwidth, Spectral Lines, and Window 20
    Choosing Useful Configuration Parameters 22
Spectral Domain Averaging 24
    Averaging Conventions 25
    Averaging Options 26
    Averaged FFT Spectrum 27
    Averaged Power Spectrum 28

NATIONAL INSTRUMENTS™

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Averaged Cross Spectrum 28
Averaged Frequency Response 29
Spectral Domain Measurements 29
Unit Conversion....29
Peak Search and Amplitude/Frequency Estimation 31
Power in Band 32
Adjacent Channel Power (ACP)....32
Occupied Bandwidth (OBW) 33
Where to Go for Support 34

Conventions

The following conventions are used in this manual:

»	The » symbol leads you through nested menu items and dialog box options to a final action. The sequence **Options»Settings»General** directs you to pull down the **Options** menu, select the **Settings** item, and select **General** from the last dialog box.
<>	Italic text enclosed in angle brackets represents directory names and parts of paths that may vary on different computers, such as `<Windows\System>`.
	This icon denotes a note, which alerts you to important information.
bold	Bold text denotes items that you must select or click in the software, such as menu items and dialog box options. Bold text also denotes parameter names and palette names.
italic	Italic text denotes variables, emphasis, a cross-reference, or an introduction to a key concept. Italic text also denotes text that is a placeholder for a word or value that you must supply.
`monospace`	Text in this font denotes text or characters that you should enter from the keyboard, sections of code, programming examples, and syntax examples. This font is also used for the proper names of disk drives, paths, directories, programs, subprograms, subroutines, device names, functions, operations, variables, filenames, and extensions.
`monospace italic`	Italic text in this font denotes text that is a placeholder for a word or value that you must supply.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Using the Spectral Measurements Toolkit

The Spectral Measurements Toolkit contains LabVIEW VIs and LabWindows/CVI functions that perform the following operations:

- Zoom frequency analysis—Zoom fast Fourier transform (FFT) functions and VIs allow you to zoom in on a narrow frequency range in a spectrum.
- Spectrum averaging—The Spectral Measurements Toolkit supports averaging types such as root-mean-square (RMS) averaging, vector averaging, and peak-hold averaging.
- Spectral measurements—The Spectral Measurements Toolkit contains functions and VIs that can measure power-in-band and adjacent channel power.
- Unit conversion—The Spectral Measurements Toolkit unit conversion supports typical radio frequency (RF) units, such as volts RMS squared (V^2_{rms}), decibel (dB), decibel milliwatts (dBm), and dBm per hertz (dBm/Hz). You can use the Spectral Measurements Toolkit to convert a raw FFT spectrum to a power spectrum or power spectral density for noise measurements.
- Peak power and frequency determinations—The Spectral Measurements Toolkit includes a spectrum peak search algorithm that determines peak levels and frequency.
- Zoom processing configuration—The Spectral Measurements Toolkit configuration functions and VIs allow you to use conventional measurement settings, such as center frequency, span, and resolution bandwidth (RBW) to configure zoom processing. The configuration functions and VIs return an acquisition size based on your spectrum settings.
- Spectrogram—The Spectral Measurements Toolkit contains VIs that allow you to compute joint-time and frequency-domain calculations and display the results as a spectrogram. This feature is supported only in LabVIEW.
- Analog modulation—The Spectral Measurements Toolkit supports analog modulation to perform amplitude, frequency, and phase modulation and demodulation. Functions and VIs are included to perform upconversion and downconversion on baseband and passband signals.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Integrating the Spectral Measurements Toolkit

You can use the Spectral Measurements Toolkit for the following applications:

- Frequency-domain measurements
  - Adjacent channel power ratio (ACPR)
  - Channel spectrum
  - Power-in-band measurements
  - Average and peak power
  - Power spectral density
  - Spectrum limit and mask testing
- Modulation-domain measurements
  - Frequency deviation
  - AM modulation index
- Component-level measurements, such as characterization of oscillators, mixers, and filters

Locating the Spectral Measurements Toolkit

The Spectral Measurements Toolkit contains LabVIEW VIs and LabWindows/CVI functions. In LabVIEW, Spectral Measurements Toolkit VIs are located on the **Functions»RF Communications» Spectral Measurements** and **Functions»Addons»Modulation** palettes. SMT functions are located on the LabWindows/CVI function panel under **Library»Spectral Measurements Toolset** and **Library» Analog Modulation**.

Note Some Spectral Measurements Toolkit VIs and functions configure hardware, meaning their operation requires installing specific hardware instrument drivers. For more information about supported hardware, refer to the *NI Spectral Measurements Toolkit Readme*, located at **Start»All Programs»National Instruments» Spectral Measurements**.

For simplicity, this document pertains only to using VIs in the LabVIEW development environment, except in the *Using LabWindows/CVI Spectral Measurements Examples* section. In most cases, the same guidelines apply to using functions in the C programming environment.

Note Documentation for LabWindows/CVI functions can be found in the *NI Spectral Measurements Function Reference Help*, located at **Start»All Programs»National Instruments»Spectral Measurements»CVI Support**.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

SMT Programming Flow Diagram

Programming flow diagrams are flowcharts that depict the most effective order for programming Spectral Measurements Toolkit VIs. Use the programming flow diagram in the SMT Programming Flow VI as a visual guide for the order in which you should call VIs. This VI is located in the `<LabVIEW>\examples\Spectral Measurements Toolset\Simulation` folder. The example is not intended to be executable, but rather to supply an informative block diagram depicting general programming for applications using acquired or simulated data. Figure 1 shows the LabVIEW programming flow diagram for these applications.

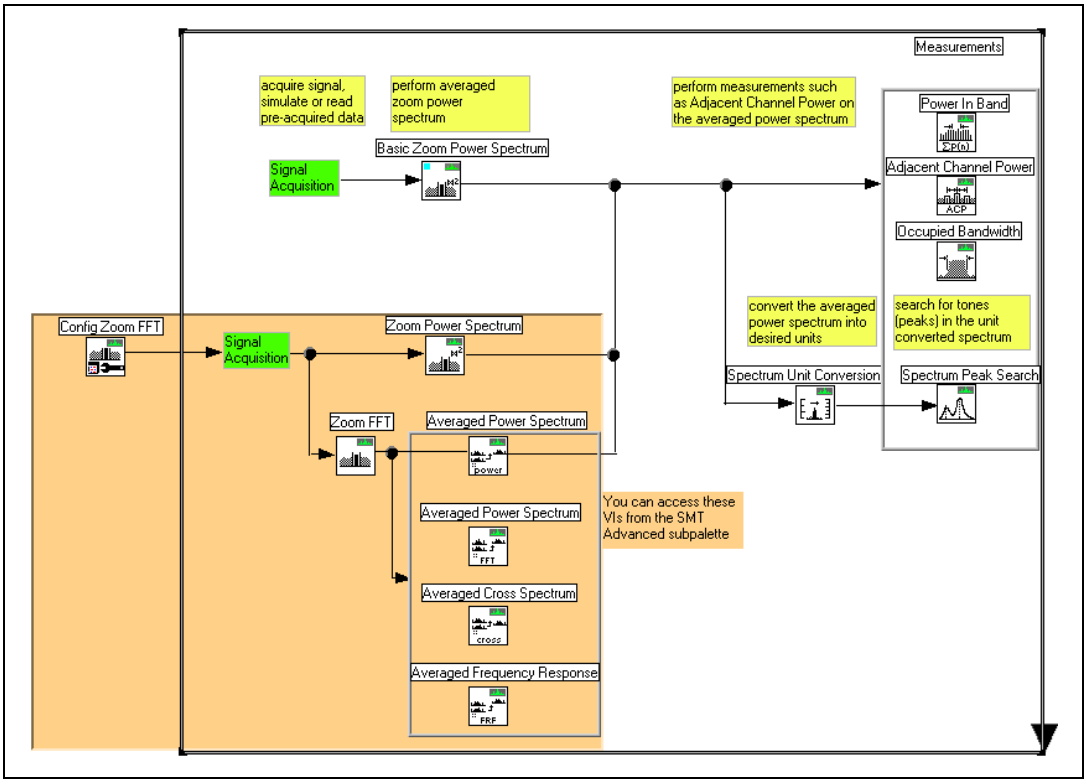


Figure 1. SMT Programming Flow Diagram

The following steps describe the general programming flow of the Spectral Measurements Toolkit.

1. Enter the time-domain data into the SMT Basic Zoom Power Spectrum VI. This VI specifies the zoom settings in terms of only center frequency and span. The VI performs zoom FFT processing and returns a power spectrum in units V^2_{rms}.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

2. Enter the output power spectrum into an SMT measurement VI and/or use the SMT Spectrum Unit Conversion VI as follows:
    a. Enter the output power spectrum into an SMT measurement VI: the SMT Power in Band, the SMT Adjacent Channel Power, or the SMT Occupied Bandwidth VI. These VIs accept a power spectrum with units V^2_{rms} and return the requested measurements. Perform the measurements on only an unscaled power spectrum. You can specify the units in which to view these measurements.
    b. Use the SMT Spectrum Unit Conversion VI to display the power spectrum in units other than the default, V^2_{rms}. The VI allows you to convert the raw data into the following units: watts, volts, or variations of dB such as dBm, dBW, and dBV. You can specify different scaling factors such as RMS or peak.
3. Use the SMT Spectrum Peak Search VI to find specific tones or peaks in the spectrum. The SMT Spectrum Peak Search VI accepts only a unit-converted power spectrum. You must specify the threshold level in the same units as the power spectrum. The VI detects any peak above the threshold level as a valid peak.

Advanced-Level VIs

The zoom processing capability of the SMT Basic Zoom Power Spectrum VI is limited by the size of the data previously acquired. Use the VIs located on the **SMT Advanced** palette to control zoom settings or additional settings, such as window type, RBW, number of spectral lines, and RBW definition.

Complete the following steps when using the advanced-level VIs of the programming flow diagram in the SMT Programming Flow VI:

1. Use the SMT Config Zoom FFT VI to configure the zoom settings. Use the default values for the spectrum settings control if you are unsure of the settings. The VI uses the values you enter to recommend an acquisition size or a data size. The VI also maps measurement-specific settings to classical analysis settings.
2. Enter a time-domain signal of the size recommended by the SMT Config Zoom FFT VI into the SMT Zoom Power Spectrum VI. You must pass the **SMT zoom settings** parameter from the SMT Config Zoom FFT VI to subsequent VIs to ensure accurate data. The SMT Zoom Power Spectrum VI performs zoom FFT processing and returns a power spectrum with units V^2_{rms}.
3. Enter the output power spectrum into subsequent measurement VIs using the guidelines in steps 2 and 3 of the *SMT Programming Flow Diagram* section.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

For an averaged power spectrum with zoom, use the SMT Zoom Power Spectrum VI. For an averaged FFT spectrum, which has a complex output for magnitude and phase calculations, use the SMT Zoom FFT VI first and then the SMT Averaged FFT Spectrum VI. If you have two channels of input time-domain data and want cross power spectrum or frequency-response measurements, use the SMT Zoom FFT Spectrum VI first and then the SMT Averaged Cross Spectrum VI or the SMT Averaged Frequency Response VI.

Using LabVIEW Spectral Measurements Examples

This section describes some of the examples located in the `<LabVIEW>\examples\Spectral Measurements Toolset` folder. If you are programming in C, refer to the *Using LabWindows/CVI Spectral Measurements Examples* section.

SMT Simulation Examples

The `Simulation` folder contains examples that are hardware-independent and use a simulated signal generated by the host computer. All examples contain the word "simulated" in their names.

SMT Spectrum Analyzer (simulated)

The SMT Spectrum Analyzer (simulated) VI demonstrates how to use SMT VIs to build a spectrum analyzer with zoom and averaging capabilities. This VI is located in the `Simulation` folder inside the `Spectral Measurements Toolset` folder.

The SMT Config Zoom FFT VI specifies the zoom settings, returning the **SMT zoom settings** cluster. This cluster is wired to the **SMT zoom settings** parameter of the SMT Zoom Power Spectrum VI. The **spectral info** cluster that the SMT Zoom Power Spectrum VI returns is wired to the **spectral info** parameter on the SMT Spectrum Unit Conversion VI.

In this example, the **spectrum settings** parameter specifies the zoom settings in terms of center frequency, span, and RBW. The example uses the default value for the **resolution bandwidth**, –1.00, which implies that the software calculates the RBW value based on other inputs to the configuration VIs. The SMT Config Zoom FFT VI, located on the **SMT Advanced** palette, uses these settings to recommend an acquisition size. This VI also returns the actual spectrum settings, which appear directly below the spectrum graph. In the example, the SMT Config Zoom FFT VI calculates **span** as 4.96 MHz and the **resolution bandwidth** as 30.88 kHz.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

The **averaging parameters** cluster specifies the following settings:

- Averaging type, such as vector averaging, RMS averaging, or peak hold
- Weighting type, such as linear or exponential
- Averaging size

The **linear weighting mode** parameter specifies a type of linear weighting.

The SMT Zoom Power Spectrum VI, located on the **SMT Advanced** palette, returns the spectrum in units of V^2_{rms}.

The **unit conversion settings** parameter specifies the units in which to display the spectrum. For example, you can set **units** to **dBm**, **peak scaling** to **RMS**, and **psd?** to `on` to view the power spectrum as power spectral density (PSD).

The **spectrum** parameter is a waveform graph that shows the spectrum of the simulated signal, which is a 12.00 MHz sine wave with added white noise. The center of the spectrum appears at 12.00 MHz, the center frequency, and the spectrum spans from 9.523 MHz to 14.483 MHz. Use the **peak search settings** parameter to find the peaks in the example spectrum. In the parameter, specify whether to find **Single Max Peak** or **Multiple Peaks**, and enter the threshold level value above which a peak is valid. The peak threshold level uses the same unit of measurement as the spectrum.

The **number of peaks** parameter shows the number of peaks that meet the threshold criteria, and the **peaks** parameter shows the frequency and Y-axis values for these peaks.

SMT ACP (simulated)

The SMT ACP (simulated) VI demonstrates how to use SMT VIs to perform measurements on a spectrum. This VI is located in the `Simulation` folder. The example shows one specific measurement, the adjacent channel power (ACP). You can also perform other measurements, such as power in band and occupied bandwidth (OBW).

The example uses the SMT Config Zoom FFT VI to configure the zoom FFT. The **SMT zoom settings** parameter from the SMT Config Zoom FFT VI is wired to the **SMT zoom settings** parameter of the SMT Zoom Power Spectrum VI. The example performs the ACP measurement on the raw power spectrum before the unit conversion.



Note Perform the adjacent channel power measurement on an unscaled power spectrum before calling the SMT Spectrum Unit Conversion VI.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

The **channel specification** parameter specifies the **center frequency**, **bandwidth**, and **spacing** for the ACP measurement. The **bandwidth parameter** specifies the width of each channel. The **spacing** parameter specifies the separation between the center frequencies of each channel. The **Units [rms]** parameter specifies the units for the ACP measurement. The **Power Spectrum** parameter is a waveform graph that shows the power spectrum with the three channels, or bands, and the power in each channel. The **Advanced Settings** tab of the example includes some of the same controls as the SMT Spectrum Analyzer (simulated) example, such as **Averaging Parameters**.

Using LabWindows/CVI Spectral Measurements Examples

This section describes some of the LabWindows/CVI programming examples located in the `<LabWindows/CVI>\samples\smt` folder. You can use these example programs as a starting point for your applications. The `simulated` folder contains examples that use a simulated source. Use these examples to explore different features of the Spectral Measurements Toolkit without using a data acquisition device.

Continuous Zoom FFT

The Continuous Zoom FFT example is located at `samples\smt\simulated\smtcz\smtcz.prj`.

This example demonstrates how to configure the zoom FFT, then calculates an averaged power spectrum using the continuous zoom FFT technique. It demonstrates how to display the spectrum in different RF units.

Frequency Response Measurement

The Frequency Response Measurement example is located at `samples\smt\simulated\smtfqres\smtfqres.prj`.

This example demonstrates how to configure the zoom FFT, then calculates the averaged frequency response of a stimulus and response signal from a device under test. The example uses the block zoom FFT technique. The example uses handles to maintain state information between functions, such as `SmtConfigZoomFFT` and `SmtZoomFFT`.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Cross Power Spectrum Measurement

The Cross Power Spectrum Measurement example is located at `samples\smt\simulated\smtcrspwr\smtcrspwr.prj`.

This example demonstrates how to configure the zoom FFT, then calculates the averaged power spectrum of a stimulus and response signal from a device under test and the averaged cross spectrum between these two signals. The example uses the continuous zoom FFT technique and demonstrates how you must create a unique handle for the stimulus data (**handle1**) and response data (**handle2**). Use **handle1** when you calculate the continuous zoom FFT and averaged power spectrum on the stimulus. Use **handle2** when you calculate the continuous zoom FFT and averaged power spectrum on the response. You can use either **handle1** or **handle2** when you calculate the averaged cross power spectrum between the stimulus and the response.

Using Spectral Measurements Toolkit Techniques

The Spectral Measurements Toolkit contains tools for block and continuous zoom processing and spectrum averaging. You can specify the zoom characteristics in terms of center frequency, span, and resolution bandwidth. You can use spectrum averaging to reduce the effect of noise on your measurement system.

Zoom FFT

The Spectral Measurements Toolkit uses the zoom FFT technique to analyze the frequency spectra of stationary signals. This technique allows you to zoom in on a small portion of the frequency spectrum with high-frequency resolution by using fewer calculations than a standard FFT. Figure 2 illustrates how a zoom FFT detects the presence of two tones of closely spaced frequencies. The standard FFT, shown in the upper graph, indicates a single peak, and the zoom FFT, shown in the lower graph, indicates the presence of two separate tones in the signal.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

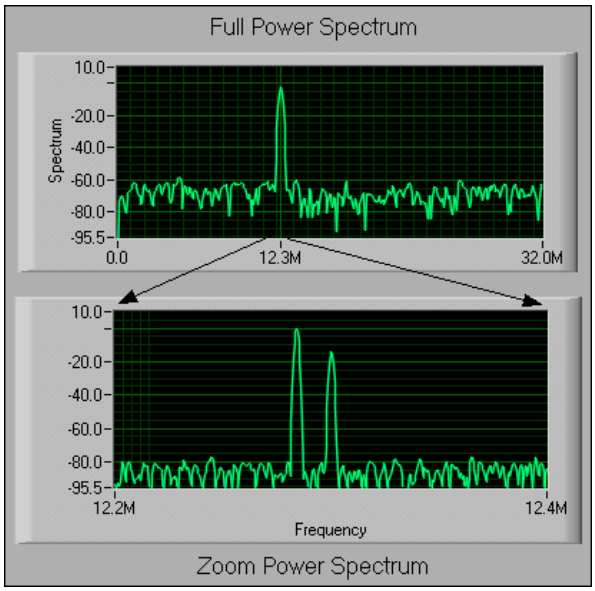


Figure 2. Zoom FFT Technique

FFT algorithms usually perform baseband analysis by displaying the spectrum from zero to the Nyquist frequency. However, a standard FFT might not be effective if you need to obtain a higher frequency resolution over a limited portion of the spectrum or if you need to zoom in on details of a spectral region. The zoom FFT uses algorithms to avoid the amount of calculation required using a long standard FFT to obtain high-frequency resolution over an entire spectrum.

You can define the frequency resolution of an analysis, *df,* using the following formula:

$$df = f_s/N = 1/T$$

where f_s is the frequency of the sampled signal

T is the time duration

N is the number of samples

Only the acquisition time determines the analysis resolution. You can either decrease f_s or increase N to improve df.

The Spectral Measurements Toolkit supports two algorithms for zoom FFT processing: continuous zoom FFT and block zoom FFT.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Continuous Zoom FFT

Continuous zoom FFT is a technique for quickly analyzing data as it arrives. A decimation process reduces the sample rate in real time. After the process acquires all the data and decimates it in time *T*, a relatively small FFT remains. The term *continuous* refers to beginning the process while data arrives. With a standard FFT, you must wait until all the data arrives before beginning calculations.

The continuous zoom FFT first shifts the spectral region of interest into the baseband. The technique then applies a lowpass antialias filter and decimates, or downsamples, the data by a factor of *M*. The zoom factor of *M* yields a new effective sample rate, f_s/M. The antialias filter has a cutoff frequency of $f_s/(2 \square\square M)$ because the Nyquist frequency has decreased by a factor of *M*.

After lowpass filtering, the continuous zoom FFT performs an FFT on the reduced sample rate data to produce the zoom spectrum. This technique is destructive because the original data changes as a result of the filtering and decimation. If you store the data and batch process it later, you lose the primary benefit of the technique, which is its real-time capability. Figure 3 shows the basic steps of frequency shifting, decimation, and FFT.

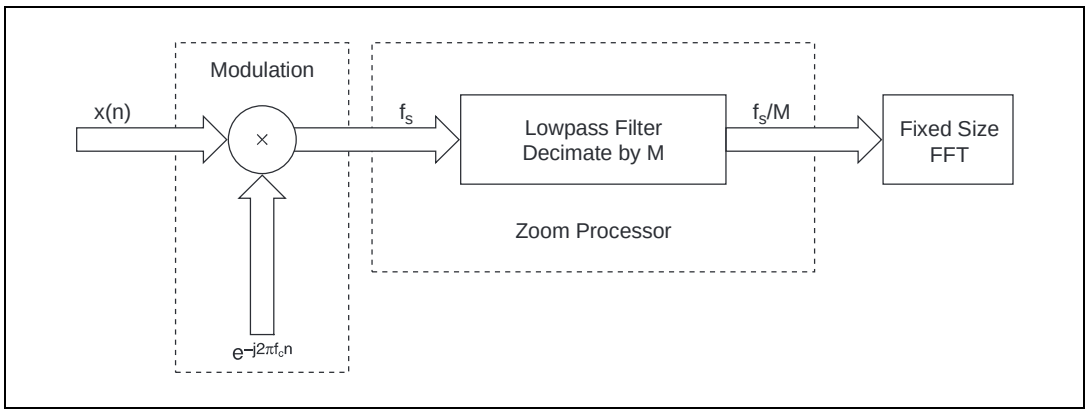


Figure 3. Continuous Zoom FFT Diagram

Although it might seem possible to reduce the sample rate, f_s, to improve frequency resolution, this method does not work. You cannot acquire the data with a lower sample rate to increase resolution because the Nyquist sampling theorem applies. In the original acquisition, you must sample at least twice as fast as the highest frequency of your desired zoom region to obtain the frequency information you need. You cannot reduce the sample rate until after frequency shifting occurs if you want to improve the frequency resolution of the zoom region. The continuous zoom FFT shifts a high-frequency signal into the baseband before adjusting the sample rate.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

The continuous zoom FFT technique is sometimes called the real-time zoom FFT because it continuously performs the frequency shifting, decimation, and filtering processes on the arriving data. The FFT operation itself cannot proceed until you acquire all the data. The FFT operation then occurs in parallel with the next data acquisition.

You can use the SMT Cont Zoom FFT VI to perform the continuous zoom FFT technique. This VI is located on the **Zoom FFT** palette, which is a subpalette of the **SMT Advanced** palette. This VI also passes the complex modulated and filtered time-domain data corresponding to the spectrum. Figure 4 shows the in-phase (I) and quadrature-phase (Q) components of this complex time-domain data plotted on an I versus Q plot. The input signal is a phase-modulation (PM) wave. The PM signal is modulated with a square wave, with a carrier at 70 MHz. The RF signal analyzer is tuned to the carrier frequency.

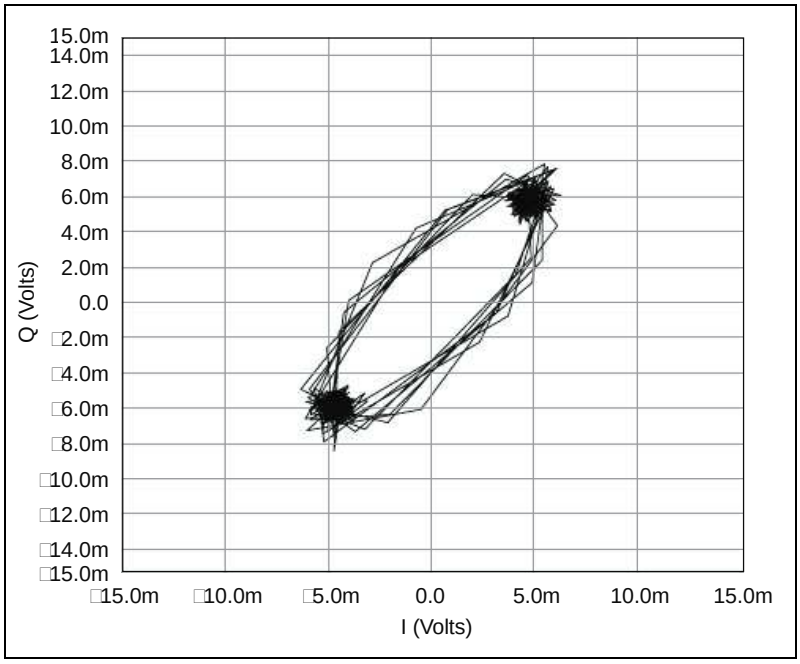


Figure 4. I/Q Plot

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Block Zoom FFT

Use a block zoom FFT in situations when you cannot access data until the data acquisition is complete. The block zoom FFT is a nondestructive zoom FFT because it stores data before processing, so the data is available in its original form if you need it for other operations. The block zoom FFT is an algorithm that calculates a portion of a large FFT. The block zoom FFT also improves the frequency resolution, *df*, by increasing the number of points that the FFT processes.

A block zoom FFT uses only the part of a large FFT that represents the frequency range you analyze. For example, if the input data has a length $L \square M$, an FFT on the original data results in $L \square\square M$ points of the FFT spectrum. To analyze only $1/M$ of the whole spectrum, or L frequency bins, use a block zoom FFT. The block zoom FFT computes L points of the original $L \square M$ point spectrum faster and with fewer calculations than if you perform a large FFT on the entire data set and remove the unwanted portion.

Perform the block zoom FFT technique by using the SMT Zoom FFT VI. This VI is located on the **Zoom FFT** palette, which is a subpalette of the **SMT Advanced** palette.

Determining When to Use Continuous or Block Zoom FFT

Choosing which zoom FFT to use for a particular application depends on many factors, including system speed, memory, acquisition rate, and application requirements.

An advantage of the continuous zoom FFT is that you can update the results continuously to give a smooth display and minimize the time it takes for transients to appear in the displayed spectrum. You can control the update time with the **% overlap** parameter of the **advanced settings** cluster of the SMT Config Cont Zoom FFT VI. This VI is located on the **SMT Advanced** palette. A setting of `0%` updates like a block zoom FFT and waits for the VI to process an entire new data set before returning a result. A setting of `50%` updates twice as fast as a setting of `0%` by reusing the last half of the previous data block to return an updated result after the VI acquires and processes half of the new data set.

You cannot predict whether the continuous zoom FFT can sustain a certain acquisition rate in real time, so the best option is to try running the application using the SMT Cont Zoom FFT VI. If you receive buffer overflow errors from the acquisition VI, either reduce the acquisition rate or use the block zoom technique.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

The block zoom FFT is a general-purpose technique that works best as a post-processing method. The block zoom FFT also is useful for real-time applications where the data rate is too high for a continuous zoom FFT to sustain in real time. To process the entire data set, provide enough memory to store the data until the FFT can process it. If processing every data point is not critical, use the block zoom FFT with the latest data available.

Zoom Spectrogram

A spectrogram is the result of joint time-frequency analysis (JTFA) processing. The Spectral Measurements Toolkit implements the short-time Fourier transform (STFT) with a zoom FFT to give a zoom spectrogram. The SMT Zoom STFT VI calculates FFTs on equivalent segments of your signal at fixed time intervals. This VI applies a window to each signal segment, calculates an FFT on the windowed segment, and arranges the resulting FFTs in chronological order. Figure 5 illustrates the process.

Note STFT VIs are located in the `<LabVIEW>\vi.lib\addons\Spectral Measurements Toolset` folder.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

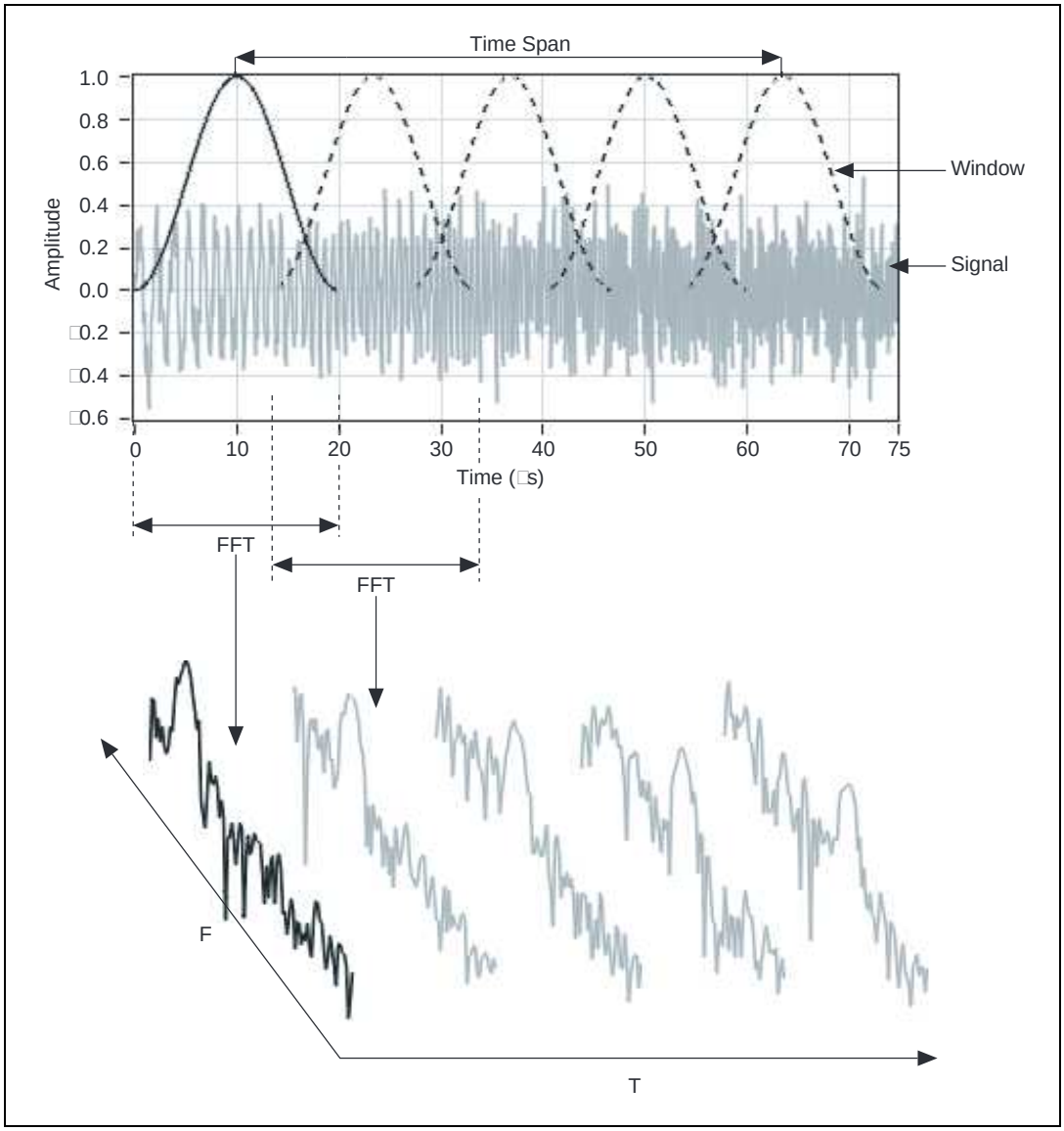


Figure 5. Spectrogram Process Example

The SMT Config Zoom STFT VI specifies the spectrogram in terms of the center frequency, frequency span, and time span. The frequency span controls the FFT zoom. If the center frequency is 10 MHz and the span is 2 MHz, the SMT Config Zoom STFT VI calculates the spectrogram from 9 MHz to 11 MHz. The time span specifies the time interval from the center of the first window to the center of the last window. The VI also has advanced parameters for specifying the spectrogram, including window, resolution bandwidth, RBW definition, frequency points, time points, and

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

effective band specification. If you leave the default advanced parameters, the configuration VI calculates the correct parameters for a spectrogram with evenly distributed time and frequency resolution on a square display area. If the display area is not square, enter an aspect ratio for the display area in the **aspect ratio** parameter. Figure 6 shows an example of a completed spectrogram with a center frequency of 16 MHz and a span of 16 MHz.

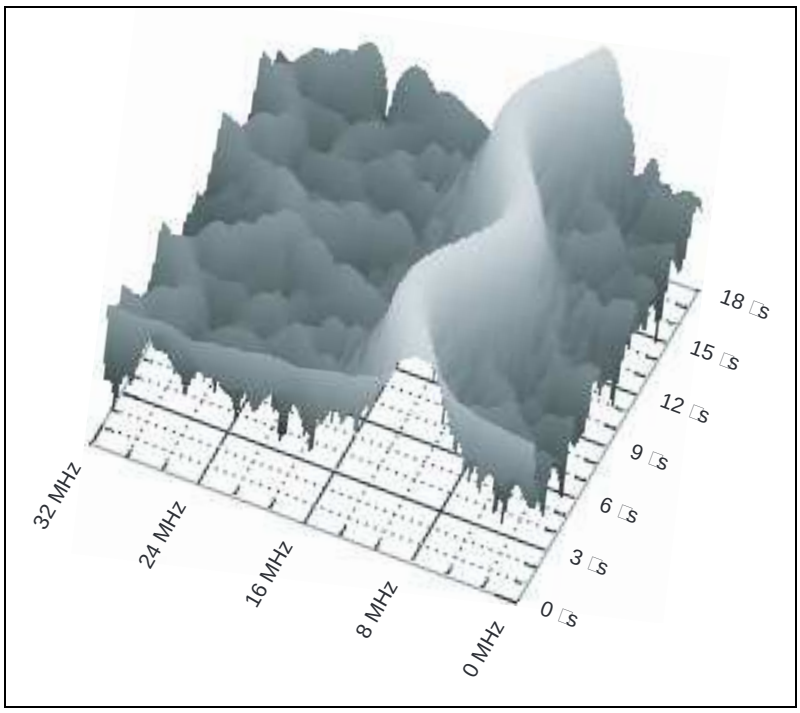


Figure 6. Spectrogram Example

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Configuring Zoom FFT VIs

When using Spectral Measurements Toolkit VIs, you must enter several values to completely specify a zoom FFT. The Spectral Measurements Toolkit provides two configuration VIs that select values for each setting and that require you to enter a minimal number of values. The SMT Config Zoom FFT VI configures the block zoom FFT. The SMT Config Cont Zoom FFT VI configures the continuous zoom FFT. These configuration VIs ensure that the input values are compatible and yield valid results. Enter values for specific settings, and the configuration VIs calculate the rest.

Center Frequency and Span

The two fundamental characteristics of a zoom FFT are *center frequency*, which is the location of the zoom within the spectrum, and *span*, which is the degree to which the FFT zooms in. For basic zoom applications, center frequency and span are often the only values you must enter. The following restrictions apply to the input values for **center frequency** and **span**:

- **center frequency** must fall within the *effective band* of the input signal. The effective band is the frequency band in which the data from the input signal is valid. You can use the effective band to exclude the roll-off region of an analog anti-aliasing filter from consideration. The effective band defaults to the full bandwidth of the input signal, up to half the sample rate. If the specified frequency falls outside the effective band, the configuration VI uses the center of the effective band as the center frequency.
- **span** must be smaller than the effective band because you can only zoom in on the spectrum. You cannot zoom out. If **span** is larger than the effective band, the configuration VI sets the span to the largest value that does not fall outside of the effective band.
- When you combine **center frequency** and **span**, neither endpoint of the desired frequency span can fall outside the frequency range of the effective band. If both **center frequency** and **span** meet the previously stated restrictions, but a portion of the zoom span region falls outside the effective band, the configuration VI moves the center frequency far enough to ensure that the entire span is inside the effective band.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

The left side of Figure 7 shows examples of the four combinations of **center frequency** and **span** that you can encounter in the case of a real input signal. The right side of Figure 7 shows the actual coerced values of **center frequency** and **span** that the VI sets in each example.

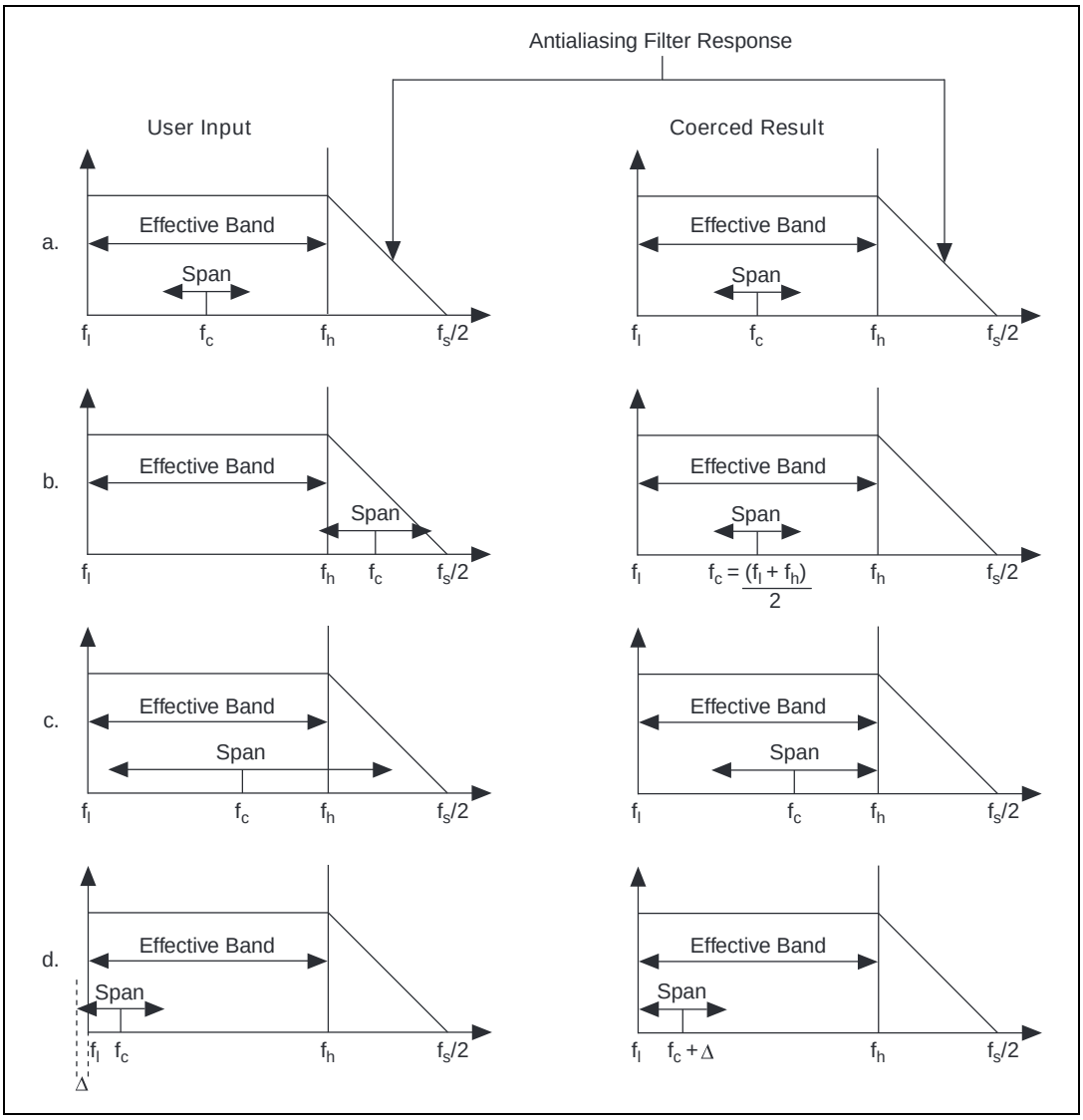


Figure 7. Center Frequency and Span Combinations

Figure 7a demonstrates that if you enter appropriate values for both **center frequency** and **span**, the values do not change. The spectrum represents the frequency response of the input anti-aliasing filter on the data acquisition device. Figure 7b demonstrates that if you enter a center frequency value

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

that is outside the effective band, the span changes to the default value, which is the center of the effective band. Figure 7c demonstrates that if you request a span that is wider than the effective band, the span decreases until it falls entirely within the effective band without moving the center frequency. Figure 7d demonstrates that if you enter center frequency and span values that fall within acceptable limits but a portion of the span falls outside the effective band, the center frequency moves until the span falls entirely within the effective band.

Resolution Bandwidth, Spectral Lines, and Window

The FFT process is equivalent to passing the time-domain signal through a bank of bandpass filters with center frequencies that correspond to frequencies of the FFT bins. The shape of the equivalent filter is determined by the window applied to the time-domain signal. The **resolution bandwidth** control represents the width of an equivalent filter corresponding to a single FFT bin. You can specify this width in one of several ways through the **RBW definition** parameter in the SMT configuration VIs. The options are 3 dB, 6 dB, ENBW, and bin width. Both 3 dB and 6 dB define the resolution bandwidth in terms of the distance between the two points at which the filter response fell by the specified amount as compared to the peak response, as shown in Figure 8. Effective noise bandwidth (ENBW) defines the resolution bandwidth as the bandwidth of an ideal rectangular response filter, which has the same power output as the equivalent bandpass filter for a given white noise input. Bin width defines the resolution bandwidth as the distance from the center of one frequency bin to the next—independent of the equivalent filter shape. The default value of **RBW definition** is 3 dB.

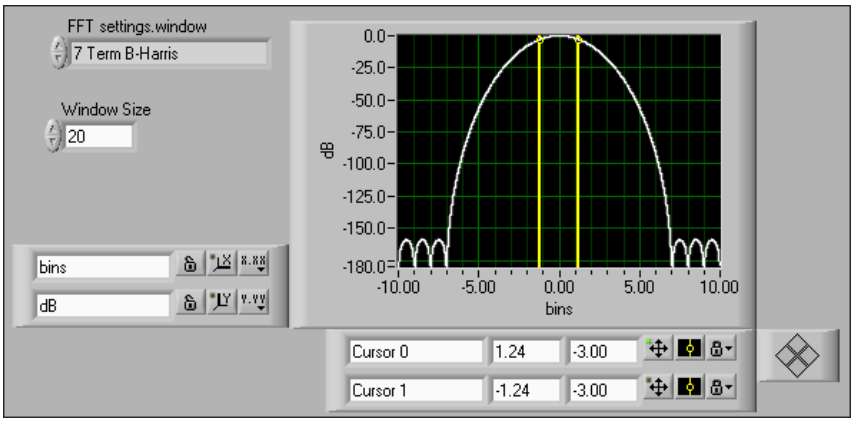


Figure 8. Main and Side Lobes of a 7-Term Blackman-Harris Window

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Figure 8 shows the shape of the equivalent filter corresponding to a 7-Term Blackman-Harris window. The cursors are placed at the 3 dB points of the filter response, and the resolution bandwidth is the distance between the cursors.

spectral lines controls how many frequency bins are present in the zoom spectrum result that the VI displays. If you request more spectral lines than resolution bandwidth requires, the parameter zero-pads the FFT to interpolate the spectrum to the desired number of lines.

window controls the window applied to the time-domain signal. The major benefit of windowing is to confine spectral leakage to the main lobe, thereby reducing it in the side lobes, as shown in Figure 8. The window determines the shape of the equivalent filter of an FFT bin; therefore, the window choice influences any calculations involving the resolution bandwidth.

The configuration VIs use **resolution bandwidth**, **spectral lines**, and **window** to determine the acquisition size, which is the number of points that you must acquire for a particular zoom operation. You must specify a value in at least one of the two parameters: **resolution bandwidth** or **spectral lines**. If you specify a value in only one parameter, the value determines the acquisition size, and the acquisition size value determines the value of the other parameter. If you specify both **resolution bandwidth** and **spectral lines**, the VI compares the acquisition size that each parameter requires and uses the smaller of the two as the actual acquisition size. For a real input signal, the acquisition size that the spectral lines value determines is calculated by the following formula:

$$acquisition\ size = 2 \cdot spectral\ lines \cdot zoom\ factor$$

where *zoom factor* relates the zoom span to the full spectrum as follows:

$$\text{zoom factor} = \frac{f_s \cdot 2}{\text{span}}$$

For a real input signal, the acquisition size that the **resolution bandwidth** value determines is calculated by the following formula:

$$\text{acquisition size} = \frac{\cdot 3\ \text{dB BW} \cdot \cdot f_s}{\text{RBW}}$$

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

The acquisition size comes from the following basic relationship:

$$df = f_s/N = 1/T$$

where N is equal acquisition size

RBW is the frequency resolution df multiplied by the window spectral leakage correction factor of 3 dB bandwidth

If the **spectral lines** value requires a larger acquisition size than the **resolution bandwidth** value requires, the VI uses zero-padding to determine the number of FFT lines you need. If the **resolution bandwidth** value requires a larger acquisition size than the **spectral lines** value requires, the VI coerces **resolution bandwidth** to a value consistent with the acquisition size you need and returns the value as **actual resolution bandwidth**.

Note You might see actual values differ slightly from the values you need in two cases. If the **span** and **sampling frequency** you need correspond to a zoom factor that is not an integer, the VI coerces the zoom factor to an integer value, and the span varies accordingly. The acquisition size also might vary slightly to ensure that you can use an efficient FFT algorithm to optimize performance.

Choosing Useful Configuration Parameters

The choice of center frequency, span, and window type is application dependent. For example, when testing CDMA signals, you might specify a center frequency of 834 MHz and a span of 2 MHz. SMT supports nine window types. 7-Term Blackman-Harris, which is the default window type, has the highest dynamic range and is ideal for signal-to-noise ratio type applications. The choice of spectral lines depends on the display resolution you require on the plot.

The choice of RBW depends on a number of factors, such as the spacing between the two tones that you want to identify and the amplitude of these tones.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Figure 9 shows the spectrum of a multitone signal calculated using two RBW values. The multitone signal consists of two tones, at frequencies 1.0 MHz and 1.1 MHz, separated by 100 kHz. Table 1 shows the trade-offs of using two different RBWs.

Table 1. Larger versus Smaller RBW

Larger RBW (103.5 kHz)	Smaller RBW (9.94 kHz)
Smaller FFT size, requiring less computation time	Larger FFT size, requiring more computation time
Cannot distinguish between the two tones in the spectrum	Can distinguish between the two tones in the spectrum

Note An RBW of 103.5 kHz is not sufficient to distinguish between two tones that are 100 kHz apart.

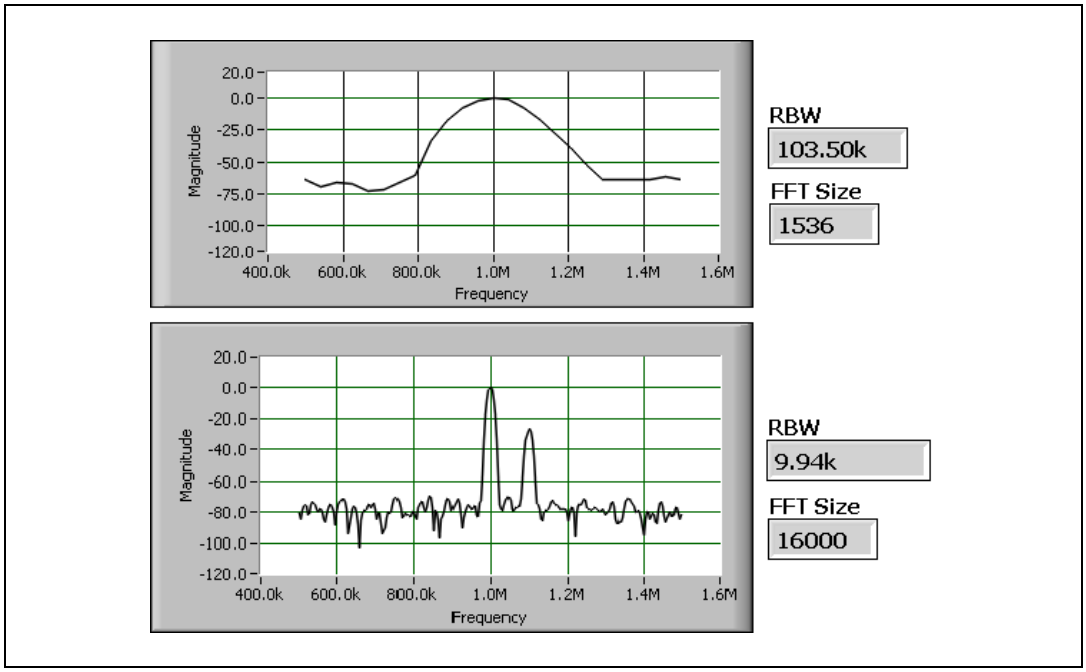


Figure 9. RBW Example

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Spectral Domain Averaging

Averaging is an important part of spectrum-domain measurements because of the effects of noise on a signal and its spectrum. The Spectral Measurements Toolkit includes averaging VIs that average several records of data to reduce the noise effects. You can use the three different averaging types: vector, RMS, and peak-hold.

Vector averaging lowers the noise floor while retaining the signal spectrum. In the time domain, a running average reduces the effect of zero-mean white noise on a signal. The noise is averaged out while the signal is retained. The signal must be triggered, meaning that each data record starts at a consistent point in the periodic signal, preserving the signal integrity during an averaging process. Because the FFT is a linear transform, averaging spectral records in the frequency domain is equivalent to averaging data records in the time domain. The signal must be triggered for vector averaging to work properly. Vector averaging requires a complex spectrum and produces a complex result that you can convert to a real power spectrum.

If the signal is not triggered in the time domain, phase noise appears in the resulting spectrum. You can use *RMS averaging* to eliminate the effect of phase noise. The magnitude of the spectrum is independent of time shifts of the input signal, but the phase can change dramatically with each data record. If you average the power spectra and take the square root of the result, you eliminate the effect of phase variations. You can no longer reduce the noise floor, but you can reduce the magnitude variance of the noise. Reducing the noise variance helps to distinguish small frequency peaks from the largest noise peaks. RMS averaging eliminates all phase information and returns a real spectrum. If the averaging process returns results in a complex data type, the imaginary portion is zero.

Peak-hold averaging refers to a method of retaining the maximum magnitude value of every frequency bin over several data records. Peak-hold averaging is most useful for capturing transient phenomena that do not appear in individual spectra. In a monitoring application, the peak-hold display allows an operator to tell at a glance if a transient at a certain frequency occurred since the last reset. However, peak-hold averaging cannot specify when the transient happened. Like RMS averaging, peak-hold averaging results in a real spectrum.

When you apply a zoom FFT VI to a signal, you receive the complex FFT spectrum. The spectrum domain averaging functions can operate on the FFT spectrum to return different types of spectra, such as averaged FFT spectrum, power spectrum, cross spectrum, and frequency response.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

The averaging VIs require that you enter an FFT spectrum as a complex array. You can perform spectrum unit conversion before or after averaging.

Averaging Conventions

For Spectral Measurements Toolkit VIs, *averaging* refers to the average of several different data sets from the same process. The following list contains averaging operations that apply independently to each frequency bin of the Fourier transform.

$F_R + jF_I$	The complex representation of the Fourier transform of a signal $f(t)$ using real and imaginary values.
$< F >_k = \overline{F}_R + j\overline{F}_I$	For vector averaging, real and imaginary parts of the Fourier transform are averaged separately using either linear or exponential weighting over k data records.
$\lvert F \rvert$	The magnitude of the Fourier transform.
X_k, Y_k	kth instance of input spectrum X and its averaged output Y.
max(X_k, Y_k)	Each complex frequency of spectrum X_k is compared in magnitude to its counterpart in Y_k. The larger value is retained. The result is a real spectrum.
conj( )	Complex conjugate.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Averaging Options

Figure 10 illustrates the options available for spectrum averaging.

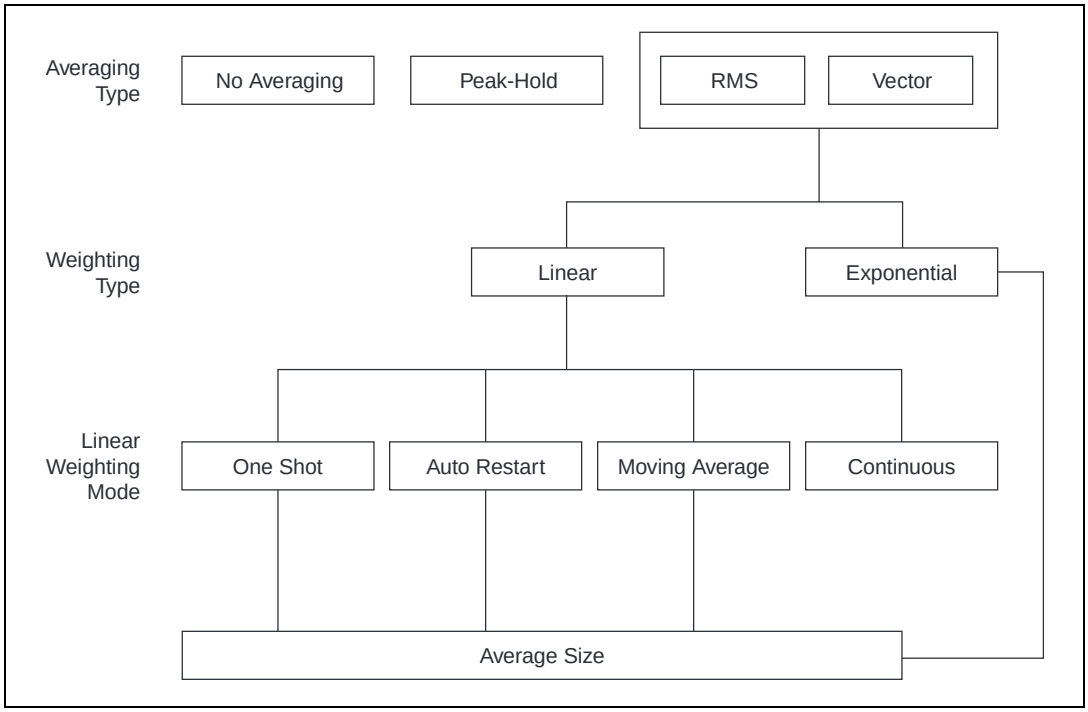


Figure 10. Spectrum Averaging Options

The averaging processes apply weighting to the < > operator in both RMS and vector averaging as shown in the following equation:

$$Y_k = \langle X \rangle_k = a_1 \, Y_{k-1} + a_2 \, X_k$$

where Y_k is the new average, Y_{k-1} is the previous average, and X_k is the new measurement.

For linear weighting,

$$a_1 = (k-1)/k, \text{ and } a_2 = 1/k$$

For exponential weighting,

$$a_1 = (k-1)/k \text{ and } a_2 = 1/N \text{ for } k \, N,$$

$$a_1 = (N-1)/N \text{ and } a_2 = 1/N \text{ for } k > N$$

where N is a user-specified constant that determines how much weight is given to recent data relative to older data. Small values of N place more

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

emphasis on the most recent data. The **averages sofar** parameter stops incrementing at *N* while the averaging continues.

Linear weighting includes the following modes:

- **One-shot linear averaging—**Average one time for the specified duration of *N* measurements. When the duration is over, the averaging stops.
- **Auto–restart linear averaging—**Automatically repeat the one-shot linear averaging after every *N* measurements.
- **Moving average—**Average the most recent *N* measurements.
- **Continuous—**Average all measurements taken with equal weight.

Averaged FFT Spectrum

The following equations describe the three averaging methods applied to a complex FFT spectrum.

Table 2. FFT Averaging Methods and Equations

Averaging Method	Equation
Vector averaging	$Y_k = \langle X \rangle_k$
RMS averaging	$Y_k = \sqrt{\langle X \cdot \mathrm{conj}(X) \rangle_k}$
Peak-hold averaging	$Y_k = \max(X_k, Y_{k-1})$

The RMS and peak-hold averaging methods produce real spectra, and vector averaging produces a complex spectrum.

All the averaging operations in the Spectral Measurements Toolkit operate on a complex FFT input spectrum. Create an averaged FFT spectrum using the SMT Averaged FFT Spectrum VI, located on the **Spectrum Averaging** palette.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Averaged Power Spectrum

The following equations describe the averaging methods you can apply to a complex FFT spectrum to yield an averaged power spectrum. The No averaging method converts the complex FFT spectrum to a real power spectrum.

Table 3. Averaged Power Spectrum Averaging Methods and Equations

Averaging Method	Equation
No averaging	$Y = X \text{ conj}(X)$
Vector averaging	$Y_k = \langle X \rangle_k \text{ conj}(\langle X \rangle_k)$
RMS averaging	$Y_k = \langle X \text{ conj}(X) \rangle_k$
Peak-hold	$Y_k = \max(X_k, Y_{k-1})^2$

The averaged power spectrum is equivalent to the square of the magnitude of the averaged FFT spectrum.

Averaged Cross Spectrum

If you have two FFT spectra, X and Y, the cross spectrum S_{xy} results from multiplying the complex conjugate of spectrum X by spectrum Y as follows:

$$S_{xy} = \text{conj}(X) \cdot Y$$

For RMS averaging, an averaged cross spectrum consists of the average of the individual cross spectra as follows:

$$S_{xy} = \langle \text{conj}(X) \cdot Y \rangle$$

For vector averaging, an averaged cross spectrum consists of the vector average of each spectrum computed before multiplying the two averaged spectra as follows:

$$S_{xy} = \text{conj}(\langle X \rangle) \cdot \langle Y \rangle$$

A cross spectrum has no peak-hold average.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Averaged Frequency Response

If you have a stimulus to a system with spectrum *X* and the system response *Y*, the frequency response *H* of the system is shown by the following equation:

$$H = \frac{Y}{X}$$

You can use the equations shown in the following table to obtain the vector and RMS averaged frequency response.

Table 4. Averaged Frequency Response Settings and Equations

Setting	Equation
RMS averaging	$H = \langle Y\,\mathrm{conj}(X)\rangle / \langle X\,\mathrm{conj}(X)\rangle$
Vector averaging	$H = \langle Y\rangle / \langle X\rangle$

Frequency response has no peak-hold average.

Spectral Domain Measurements

The Spectral Measurements Toolkit contains tools that perform power measurements such as power-in-band, adjacent channel power, and occupied bandwidth. The Spectral Measurements Toolkit also contains VIs that perform searches for single or multiple peaks in a spectrum.

Unit Conversion

You can represent the magnitude scale of a spectrum in many ways, depending on the nature of the measured signal and the aspect of the signal that you need to quantify. The SMT Spectrum Unit Conversion VI converts and scales a spectrum to the representation you need for your application. Unit conversion always returns a real spectrum without phase information.

The basic units associated with a spectrum are volts (V) and watts (W). Watts must always be associated with a specific impedance. If you do not know the impedance, you cannot specify the power in watts. Power spectrum units are typically volts squared (V^2). If you assume an impedance of 1 □, you can represent the same power spectrum in watts. Volts and watts use either a linear or logarithmic scale. Logarithmic scales are in units such as dBV, which means the magnitude of the spectrum is in dB with a reference level of one volt.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Spectrum scaling options are combinations of the following options:

- **RMS or peak—**An FFT returns an amplitude spectrum scaled such that a frequency bin represents the RMS value of a sine wave at that frequency. A bin can also represent the peak value if you scale the spectrum by $\sqrt{2}$.
- **Amplitude or power—**The power spectrum is the squared magnitude of the amplitude spectrum. For example, if an amplitude spectrum has units of V_{rms}, its power spectrum units are in V^2_{rms}. If you divide by the impedance, you get W^2_{rms}.
- **Spectrum or spectral density—**The PSD is the power spectrum divided by the frequency resolution. PSD units are usually V^2_{rms}/Hz or W^2_{rms}/Hz. You can also obtain an amplitude spectral density by choosing units such as $V_{rms}/\sqrt{Hz}$.

Connect the **spectral info output** parameter of the Zoom FFT VIs to the **spectral info input** parameter of the SMT Spectrum Unit Conversion VI. This parameter includes the following subparameters:

- **window** determines the ENBW of the window you use. The ENBW affects the spectral density calculations because of the spectral leakage effect of windowing in the frequency domain.
- The ratio of **window size** and **FFT size** is a value the SMT Spectrum Unit Conversion VI uses to correct any difference between the number of frequency bins in the spectrum and the number of points in the time-domain signal. The correction ensures that you can preserve the energy of the original signal. For example, if you zero-pad a time-domain signal of length *N,* or window size *N,* to a length of 2*N*, the result contains twice as much energy in the 2*N* frequency bins as is in the time-domain signal. Given the two sizes, you can compensate for this effect.

For example, you can use the SMT Spectrum Unit Conversion VI to perform PSD measurements with units dBm/Hz on a signal. Set **units** to **dBm**, **peak scaling** to **RMS**, **psd?** to TRUE, and **impedance** to the system impedance. PSD is calculated using the following formula:

$$\mathrm{dBm}\left(\frac{\mathrm{rms}^2}{\mathrm{Hz}}\right) = 10 \log 10\left(X \cdot \mathrm{Vrms}^2 \cdot \frac{\text{Window size}}{\text{FFT size}} \cdot \frac{1000\left[\frac{\mathrm{mW}}{\mathrm{W}}\right]}{\mathrm{ENBW} \cdot df\,\mathrm{Hz} \cdot \text{impedance}}\right)$$

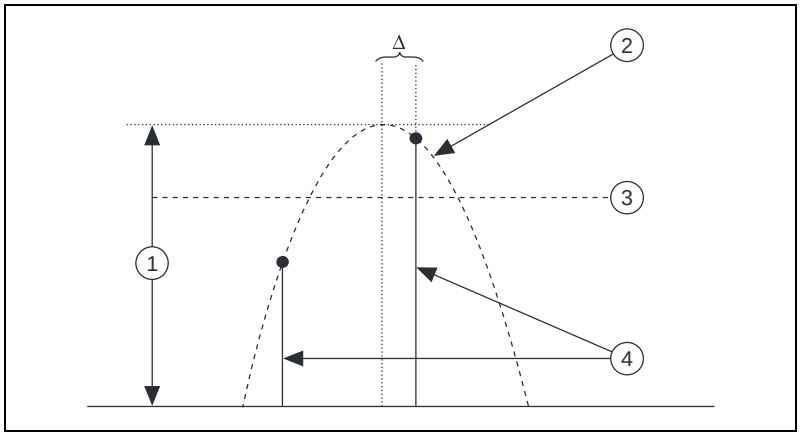
Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Peak Search and Amplitude/Frequency Estimation

The SMT Spectrum Peak Search VI uses interpolation to precisely locate frequency peaks in the amplitude or power spectrum and to estimate the amplitude of each peak. You can enter a real spectrum in any units or scaling. You can also specify whether to locate a single maximum peak or multiple peaks that exceed a specified threshold amplitude.

A single frequency tone appears in the frequency domain as a sampled version of the window the SMT Spectrum Peak Search VI applies to the input signal. If the VI does not apply a window, a finite sample size is equivalent to rectangular windowing. If you specify which window the VI applies to the input signal, the VI uses a curve-fitting algorithm on the two points around each detected peak to estimate true frequency and amplitude.

The amplitude/frequency estimation method works best on an averaged power spectrum because the averaging reduces the noise and provides a more consistent measurement. Figure 11 illustrates the curve-fitting algorithm. None of the two FFT bins falls exactly on the frequency peak, but the VI uses the known frequency response of the applied window to estimate the true peak location, which is offset from the maximum FFT bin by □.



1	Amplitude	3	Threshold
2	Window Shape	4	Two FFT Bins

Figure 11. Amplitude/Frequency Estimation Algorithm

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Power in Band

The SMT Power in Band VI, located on the **SMT Measurements** palette measures the total power within some frequency range or band. *X* is the input power spectrum in V^2_{rms}. Perform this measurement before performing unit conversion. Enter a center frequency and bandwidth in Hz, from which you can derive the low and high bounds, f_l and f_h respectively, of the frequency band. The SMT Power in Band VI computes the total power using the following formula:

$$\text{Power in Band} = \frac{\int_{f_l}^{f_h} X(f)}{\text{ENBW}} \cdot \frac{\text{Window size}}{\text{FFT size}}$$

The SMT Power in Band VI calculates the powers at each of the frequencies lying in the band. The VI then applies a correction for spectral leakage from windowing and for any zero-padding. The SMT Power in Band VI can calculate power in band in units such as W, dBW, and dBm, using an impedance that you supply.

Adjacent Channel Power (ACP)

The SMT Adjacent Channel Power VI, located on the **SMT Measurements** palette, measures the way a center channel and its two adjacent channels distribute power. Use this VI before using the SMT Spectrum Unit Conversion VI. *Channel* refers to a particular frequency band of interest. The parameters **center frequency**, **bandwidth**, and **spacing** describe the three channels. The **center frequency** parameter refers to the center frequency of the middle channel. The **bandwidth** parameter defines the width of each channel. The **spacing** parameter defines the distance between the center of the middle channel and the center of the upper and lower channels. These three parameters fully define three individual frequency bands. You can specify various output units by supplying an impedance input value.

Note You can use the SMT Adjacent Channel Power (Advanced) VI to measure power for an arbitrary number of adjacent channels at user-specified bandwidths and offsets from the center frequency.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Figure 12 illustrates a typical ACP measurement and the three parameters that specify the channels.

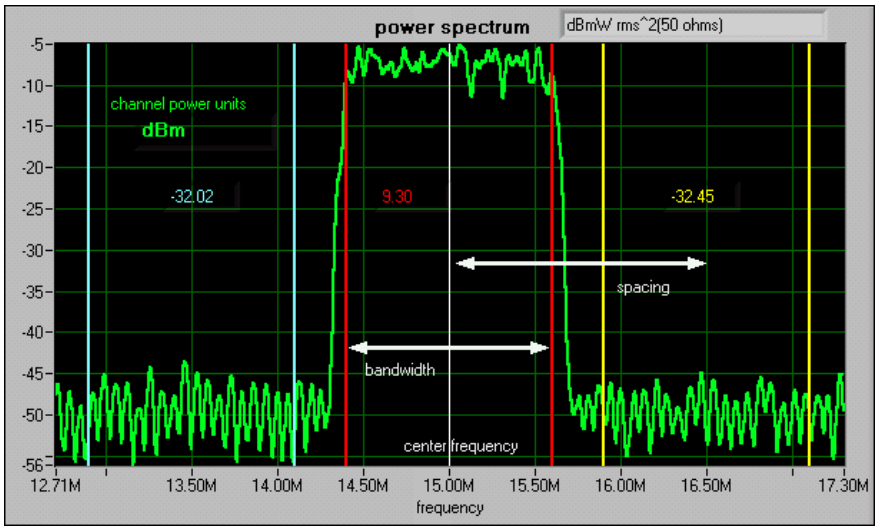


Figure 12. ACP Measurement

Occupied Bandwidth (OBW)

The SMT Occupied Bandwidth VI, located on the **SMT Measurements** palette, returns the bandwidth of the frequency band that contains a specified percentage of the total power of the signal. For a specified percentage *B*, the upper and lower limits of the frequency band are the frequencies above and below which $(100 - B)/2\%$ of the total power is found. This measurement is sometimes known as the 99% bandwidth because $B = 99$ is the most common input value. Use this VI before using the SMT Spectrum Unit Conversion VI.

The SMT Occupied Bandwidth VI is appropriate only for single-channel measurements, such as measurements on signals limited to a single frequency band. For multiple-channel measurements, perform each single-channel measurement separately.

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Figure 13 shows an example of an OBW measurement. The logarithmic amplitude scale gives the appearance of a significant amount of power outside the channel, but only 1% of the signal power is actually located there.

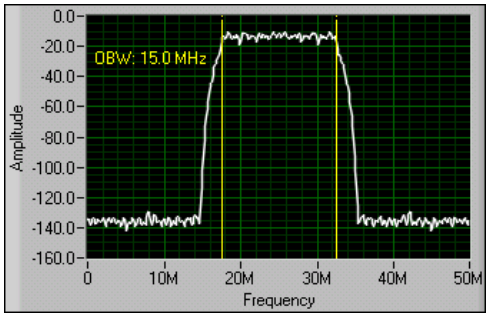


Figure 13. Occupied Bandwidth Measurement

Where to Go for Support

The National Instruments Web site is your complete resource for technical support. At `ni.com/support` you have access to everything from troubleshooting and application development self-help resources to email and phone assistance from NI Application Engineers.

National Instruments corporate headquarters is located at 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504. National Instruments also has offices located around the world to help address your support needs. For telephone support in the United States, create your service request at `ni.com/support` and follow the calling instructions or dial 512 795 8248. For telephone support outside the United States, contact your local branch office:

Australia 1800 300 800, Austria 43 662 457990-0,
Belgium 32 (0) 2 757 0020, Brazil 55 11 3262 3599,
Canada 800 433 3488, China 86 21 5050 9800,
Czech Republic 420 224 235 774, Denmark 45 45 76 26 00,
Finland 358 (0) 9 725 72511, France 01 57 66 24 24,
Germany 49 89 7413130, India 91 80 41190000, Israel 972 3 6393737,
Italy 39 02 41309277, Japan 0120-527196, Korea 82 02 3451 3400,
Lebanon 961 (0) 1 33 28 28, Malaysia 1800 887710,
Mexico 01 800 010 0793, Netherlands 31 (0) 348 433 466,
New Zealand 0800 553 322, Norway 47 (0) 66 90 76 60,
Poland 48 22 328 90 10, Portugal 351 210 311 210,
Russia 7 495 783 6851, Singapore 1800 226 5886,
Slovenia 386 3 425 42 00, South Africa 27 0 11 805 8197,
Spain 34 91 640 0085, Sweden 46 (0) 8 587 895 00,

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Switzerland 41 56 2005151, Taiwan 886 02 2377 2222,
Thailand 662 278 6777, Turkey 90 212 279 3031,
United Kingdom 44 (0) 1635 523545

CVI, LabVIEW, National Instruments, NI, ni.com, the National Instruments corporate logo, and the Eagle logo are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Trademark Information* at `ni.com/trademarks` for other National Instruments trademarks. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering National Instruments products, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or `ni.com/patents`.

© 2001–2011 National Instruments Corporation. All rights reserved.

370355H Feb11

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

ユーザガイド

NI スペクト ル計測ツールキット

このド キュメント には、周波数領域測定を行う 場合に、LabVIEW および LabWindows™/CVI™ で NI スペクト ル計測ツールキット（ SMT）を使用する方法が記載されています。

目次

表記規則 2
スペクト ル計測ツールキット を使用する 3
　スペクト ル計測ツールキット を統合する 3
　スペクト ル計測ツールキット の保存場所を確認する 4
SMTプログラミングフロー図 4
　上級 VI 6
LabVIEW スペクト ル計測ツールキット のサンプルを使用する 6
　SMTシミュレーション サンプル 7
　　SMT Spectrum Analyzer (simulated) 7
　　SMT ACP (simulated) 8
LabWindows/CVI スペクト ル計測ツールキット の
　サンプルを使用する 8
　連続ズーム FFT 9
　Frequency Response Measurement 9
　Cross Power Spectrum Measurement 9
スペクト ル計測ツールキット の技術を利用する 9
　ズーム FFT 9
　連続ズーム FFT 11
　ブロック ズーム FFT 13
　連続またはブロック ズーム FFTを使用する場合を判断する 13
　ズームスペクト ログラム 13
ズーム FFT VI を構成する 16
　中心周波数およびスパン 16
　分解能帯域幅、スペクト ル線、および窓 18
　実用的な構成パラメータ を選択する 20
スペクト ル領域平均化 21
　平均化の表記規則 22
　平均化オプション 23
　平均化 FFTスペクト ル 24

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

平均化パワースペクト ル 24
平均化クロススペクト ル 25
平均化周波数応答 25
スペクト ル領域測定 25
単位変換 26
ピーク検出および振幅 / 周波数推定 27
帯域内電力 28
隣接チャンネル漏洩電力（ ACP） 29
占有帯域幅（ OBW） 30
サポート 情報 31

表記規則

この ド キュメント では以下の表記規則を使用し ます。

→ 矢印（ → ） は、ネスト されたメニュー項目やダイアログボックスのオプショ ンを順に選択する操作を示し ます。**オプショ ン→ 設定→ 一般**と 表記されている場合は、まず**オプショ ン**メニューをプルダウンし 、次に**設定**項目を選択し 、最後にダイアログボックスで**一般**を選択し ます。

<> 括弧で囲まれた斜体のテキスト は、ディ レクト リ 名、およびコンピュータにより 異なるパスの一部（ 例 : `<Windows¥System>`） を示し ます。

 このアイコンは、注意すべき 重要な情報を示し ます。

太字 太字のテキスト は、メニュー項目やダイアログボックスオプショ ンなど、ソフト ウェ アでユーザが選択またはクリ ックする必要がある項目を示し ます。また、太字のテキスト は、パラメータ 名およびパレット 名にも 使用されます。

斜体 斜体のテキスト は、変数、強調、または重要な概念の説明を示し ますまた、斜体のテキスト は、ユーザが入力する必要がある語句または値のプレースホルダも示し ます。

`monospace` このフォント のテキスト は、キーボード から入力する必要があるテキストや文字、コ ード の一部、プログラムサンプル、構文例を示し ます。また、ディ スクド ライブ、パス、ディ レクト リ 、プログラム、サブプログラム、サブルーチンなどの名称、デバイス名、関数、演算、変数、ファイル名および拡張子の引用にも 使用さ れます。

`monospace` *斜体* ユーザが入力する必要がある語または値のプレースホルダを示し ます。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

スペクト ル計測ツールキット を使用する

スペクト ル計測ツールキット に含まれる LabVIEW VI および LabWindows/CVI 関数は、以下の操作を行います。

- ズーム周波数解析 : ズーム高速フーリエ変換（ FFT）関数および VI は、スペクト ルの狭い周波数範囲のデータ のズームインを可能にし ます。
- スペクト ル平均 : スペクト ル計測キット は、二乗平均（ RMS）、ベクト ル平均、およびピークホールド 平均などの平均化タイプをサポート し ています。
- スペクト ル計測 : スペクト ル計測ツールキット には、帯域内電力および隣接チャンネル漏洩電力の測定が可能な関数および VI が含まれています。
- 単位変換 : スペクト ル計測ツールキット の単位変換では、VRMSの二乗（ V^2_{rms}）、デシベル（ dB）、デシベルミリワット（ dBm）、および 1 ヘルツあたりの dBm（ dBm/Hz）など、通常の無線周波数（ RF）の単位がサポート されています。スペクト ル計測ツールキット を使用して、未処理の FFTスペクト ルを、ノイズ測定用にパワースペクト ルまたはパワースペクト ル密度に変換し ます。
- ピークパワーおよび周波数判定 : スペクト ル計測ツールキット には、ピークレベルおよび周波数を決定するスペクト ルピーク検索アルゴリズムが含まれています。
- ズーム処理構成 : スペクト ル計測ツールキット の構成関数および VI は、中心周波数、範囲、および分解能帯域幅（ RBW）など従来の計測設定を使用して、ズーム処理の構成を可能にし ます。構成関数および VI は、スペクト ル設定に基づいて集録サイズを返し ます。
- スペクト ログラム : スペクト ル計測ツールキット には、時間および周波数領域を計算し、結果をスペクト グラムとして表示することを可能にする VI が含まれています。この機能は、LabVIEW のみでサポート されています。
- アナログ変調 : スペクト ル計測ツールキット では、振幅、周波数、および位相変復調を行う アナログ変調関数をサポート し ています。関数および VI は、ベースバンド およびパスバンド 信号でアップコンバージョ ンおよびダウンコンバージョ ンを実行し ます。

スペクト ル計測ツールキット を統合する

スペクト ル計測ツールキット を以下のアプリ ケーショ ンに使用できます。

- 周波数領域測定
  - 隣接チャンネル漏洩電力比（ ACPR）
  - チャンネルスペクト ル
  - 帯域内電力測定
  - 平均およびピーク電力
  - パワースペクト ル密度
  - スペクト ルリミット およびマスクテスト

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

- 変調領域測定
  - 周波数偏差
  - AM 変調指数
- 発振器、ミキサ、およびフィルタの特性解析などのコンポーネントレベル測定

スペクトル計測ツールキットの保存場所を確認する

スペクトル計測ツールキットには、LabVIEW VI および LabWindows/CVI 関数が含まれています。LabVIEW では、スペクトル計測ツールキット VI は、**関数→ RF 通信→ スペクトル計測**および**関数→ アドオン→ 変調**パレットにあります。SMT 関数は、**ライブラリ→ スペクトル計測ツールキット**および**ライブラリ→ アナログ変調**の下の LabWindows/CVI 関数パレットにあります。

メモ 一部のスペクトル計測ツールキット VI および関数は、ハードウェアを構成します。これは、操作に特定のハードウェア計測ドライバをインストールする必要があります。サポートされているハードウェアの詳細については、**スタート→ すべてのプログラム→** National Instruments**→ スペクトル計測**からアクセスできる『NI スペクトル計測ツールキット Readme』を参照してください。

ここでは、「LabWindows/CVI スペクトル計測ツールキットのサンプルを使用する」セクションを除き、LabVIEW 開発環境における VI の使用のみについて記載します。通常、同じガイドラインを C プログラム環境でも使用することができます。

メモ LabWindows/CVI 関数のドキュメントは、**スタート→ すべてのプログラム→** National Instruments**→ スペクトル計測→** CVI Support からアクセスできる『NI Spectral Measurements Function Reference Help』を参照してください。

SMT プログラミングフロー図

プログラミングフロー図は、スペクトル計測ツールキット VI を効果的にプログラミングするための順序を示すフローチャートです。VI を呼び出す順序については、SMT Programming Flow VI のプログラミングフロー図を参照してください。この VI は、`<LabVIEW>¥examples¥Spectral Measurements Toolset¥Simulation` フォルダにあります。このサンプルの目的は、実行することではなく、集録またはシミュレートしたデータを使用するアプリケーションの一般的なプログラミングを示すブロックダイアグラムを提供することです。図 1 は、これらのアプリケーションの LabVIEW プログラミングフロー図を示します。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

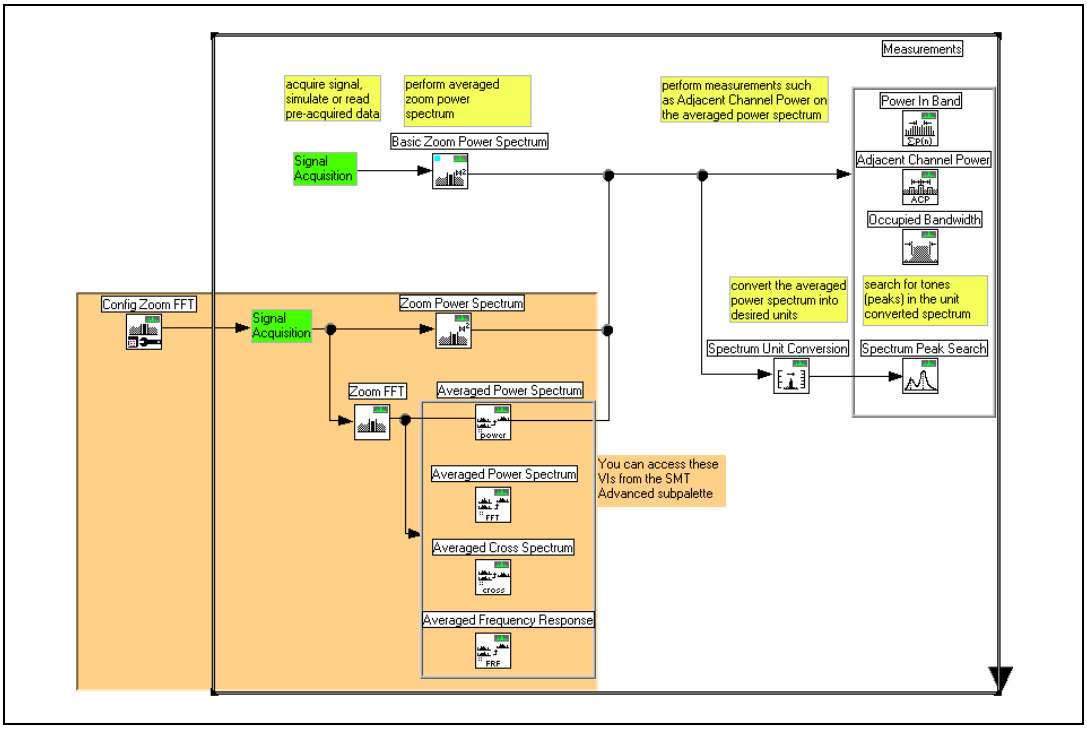


図 1　SMTプログラミングフロー図

以下の手順は、スペクト ル計測ツールキット の一般的なプログラミングフローを示します。

1. 時間領域データを「 SMT基本ズームパワースペクト ル」VI に入力します。この VI は、ズーム設定（ 中心周波数および範囲のみ）を指定します。VI は、ズーム FFT処理を実行し 、パワースペクト ル（ 単位 : V^2_{rms}）を返します。
2. 以下の手順に従い、SMT測定 VI に出力パワースペクト ルを入力するか、「 SMTスペクト ル単位変換」VI を使用します。
   a. 出力パワースペクト ルを、「 SMT帯域内電力」、「 SMT隣接チャンネル漏洩電力」、または「 SMT占有帯域幅」VI などの SMT測定 VI に入力します。これらの VI は、単位が V^2_{rms} のパワースペクト ルを受け入れ、要求された測定を返します。スケールされていないパワースペクト ルのみで測定を実行します。これらの測定を表示する単位を指定することができます。
   b. 「 SMTスペクト ル単位変換」VI を使用して、パワースペクト ルをデフォルト の V^2_{rms} 以外の単位で表示します。この VI により、未処理データをワット 、ボルト などの単位、または dB の一種である dBm、dBW、および dBV などの単位に変換できます。RMSまたはピークなどの異なるスケール係数を指定することもできます。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

3. 「SMTスペクトルピーク検出」VIを使用して、スペクトルで特定のトーンまたはピークを検出します。「SMTスペクトルピーク検出」VIは、単位に変換されたパワースペクトルのみを受け入れます。パワースペクトルと同じ単位でしきい値レベルを指定する必要があります。VIは、しきい値レベルを超えるピークを有効ピークとして検出します。

上級 VI

「SMT基本ズームパワースペクトル」VIのズーム処理機能は、以前に集録されたデータのサイズにより制限されます。SMT**上級**パレットにあるVIを使用して、窓の種類、RBW、スペクトルライン数、およびRBW定義などの追加設定またはズーム設定を制御します。

「SMT Programming Flow」VIのプログラミングフロー図の上級VIを使用するには、以下の手順に従ってください。

1. 「SMTズームFFTを構成」VIを使用して、ズーム設定を構成します。設定が不明な場合は、デフォルト値をスペクトル設定制御器に使用します。VIに入力された値に基づいて、推奨集録サイズまたはデータサイズが決定します。VIはまた、測定特有の設定を従来の解析設定にマップします。
2. 「SMTズームFFTを構成」VIによって推奨されるサイズの時間領域信号を、「SMTズームパワースペクトル」VIに入力してください。
   「SMTズームFFTを構成」VIのSMT**ズーム設定**パラメータを後に続くVIに渡して、データが正確であることを確認する必要があります。
   「SMTズームパワースペクトル」VIは、ズームFFT処理を実行し、パワースペクトル（単位：V^2_{rms}）を返します。
3. 「SMTプログラミングフロー図」セクションの手順2および3のガイドラインを参考にして、出力パワースペクトルを後に続く計測VIに入力します。

ズーム付き平均化パワースペクトルには、「SMTズームパワースペクトル」VIを使用します。振幅および位相計算で複素出力を持つ平均化FFTスペクトルでは、最初に「SMTズームFFT」VI、そして次に「SMT平均化FFTスペクトル」VIを使用します。入力時間領域データに2チャンネルが存在し、クロスパワースペクトルまたは周波数応答測定が必要な場合は、最初に「SMTズームFFTスペクトル」VI、次に「SMT平均化クロススペクトル」VIまたは「STM平均化周波数応答」VIを使用します。

LabVIEWスペクトル計測ツールキットのサンプルを使用する

このセクションでは、`<LabVIEW>¥examples¥Spectral Measurements Toolset`フォルダにあるサンプルの一部について説明します。C言語でプログラミングを行う場合は、「LabWindows/CVIスペクトル計測ツールキットのサンプルを使用する」セクションを参照してください。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Simulation フォルダには、ハード ウェアに依存せず、ホスト コンピュータにより生成されたシミュレーション信号を使用するサンプルが含まれています。すべてのサンプルには、ファイル名に "simulated" が含まれています。

SMT Spectrum Analyzer (simulated)

「SMT Spectrum Analyzer (simulated)」VI は、SMT VI を使用して、ズームおよび平均化機能を使用し、スペクトル アナライザを作成する方法を示します。この VI は、Spectral Measurements Toolset フォルダ内の Simulation フォルダにあります。

「SMT ズーム FFT を構成」VI は、SMT **ズーム設定**クラスタを返して、ズーム設定を指定します。このクラスタは、「SMT ズーム パワースペクトル」VI の SMT **ズーム設定**パラメータに配線されています。「SMT ズーム パワースペクトル」VI が返す **スペクトル情報**クラスタは、「SMT スペクトル単位変換」VI の **スペクトル情報**パラメータに配線されています。

このサンプルでは、**スペクトル設定**パラメータはズーム設定（中心周波数、スパン、RBW）を指定します。サンプルは、**分解能帯域幅**のデフォルト値 –1.00 を使用します。これは、ソフト ウェアが構成 VI の他の入力に基づいて RBW 値を計算することを指します。SMT **上級**パレットにある「SMT ズーム FFT を構成」VI は、これらの設定を使用して、集録サイズを推奨します。この VI はまた、スペクトル グラフの下側に示される実際のスペクトル設定を返します。サンプルでは、「SMT ズーム FFT を構成」VI は **スパン**を 4.96 MHz、**分解能帯域幅**を 30.88 kHz として計算します。

平均化パラメータクラスタは、以下の設定を指定します。

- ベクトル平均、RMS 平均、またはピーク ホールドなどの平均化タイプ
- 線形または指数の重み付けタイプ
- 平均化サイズ

線形重み付けモード パラメータは、線形重み付けタイプを指定します。

SMT **上級**パレットにある「SMT ズーム パワースペクトル」VI は、スペクトル（単位 : V^2_{rms}）を返します。

単位変換設定パラメータは、スペクトルを表示する単位を指定します。たとえば、**単位**を dBm、**ピーク スケール**を RMS、psd? を ON に設定して、パワースペクトルをパワースペクトル密度（PSD）として表示します。

スペクトルパラメータは、ホワイト ノイズが含まれる 12.00 MHz の正弦波シミュレーション信号のスペクトルを表示する波形グラフです。スペクトルの中心は 12.00 MHz、中心周波数およびスペクトルは 9.523 MHz ～ 14.483 MHz の範囲で表示されます。**ピーク検出設定**パラメータを使用して、サンプル スペクトルのピークを検出します。このパラメータで、**単一**

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

最大ピークまたは**複数ピーク**を検出するように指定し、しきい値レベルの値を入力します。この値を超えるとピークが有効になります。ピークしきい値レベルは、スペクトルと同じ測定単位を使用します。

ピーク数パラメータはしきい値の条件を満たすピーク数を表示し、**ピーク**パラメータはこれらのピーク値の周波数およびY軸値を表示します。

SMTACP(simulated)

「SMTACP(simulated)」VIは、SMTVIを使用して、スペクトルで測定を行う方法を示します。このVIは、`Simulation`フォルダにあります。サンプルは、1種類の特定の測定、つまり隣接チャンネル漏洩電力（ACP）を実行しますが、帯域内電力および占有帯域幅（OBW）などのその他の測定も実行できます。

サンプルは「SMTズーム FFTを構成」VIを使用して、ズーム FFTを構成します。「SMTズーム FFTを構成」VIの SMT**ズーム設定**パラメータは、「SMTズームパワースペクトル」VIの SMT**ズーム設定**パラメータに配線されています。サンプルは、単位変換前に未処理のパワースペクトルでACP測定を実行します。

メモ 「SMTスペクトル単位変換」VIを呼び出す前に、スケールされていないパワースペクトルで隣接チャンネル漏洩電力測定を実行します。

チャンネル指定パラメータは、ACP測定の**中心周波数**、**帯域幅**、および**間隔**を指定します。**帯域幅**パラメータは、各チャンネルの幅を指定します。**間隔**パラメータは、各チャンネルの中心周波数間の間隔を指定します。**単位** [rms] パラメータは、ACP測定に使用する単位を指定します。**パワースペクトル**パラメータは、3チャンネル（すなわち帯域）を含むパワースペクトル、そして各チャンネルの電力を示す波形グラフです。サンプルの**上級設定**タブには、**平均化パラメータ**などの SMTSpectrum Analyzer (simulated) サンプルと同じ制御器の一部が含まれています。

LabWindows/CVIスペクトル計測ツールキットのサンプルを使用する

このセクションでは、`<LabWindows/CVI>¥samples¥smt`フォルダにある一部の LabWindows/CVIプログラミングのサンプルについて説明します。これらのサンプルプログラムを、アプリケーションの開始点として使用します。`simulated`フォルダには、シミュレーションソースを使用するサンプルが含まれています。これらのサンプルを使用して、データ集録デバイスを使用せずにスペクトル計測ツールキットのさまざまな機能を確認することができます。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

連続ズーム FFT

Continuous Zoom FFTサンプルは、samples¥smt¥simulated¥smtcz¥smtcz.prjにあります。

このサンプルは、ズーム FFTを構成し、連続ズーム FFTを利用して平均化パワースペクトルを計算します。スペクトルを異なる RF単位で表示する方法も示します。

Frequency Response Measurement

Frequency Response Measurement サンプルは、samples¥smt¥simulated¥smtfqres¥smtfqres.prjにあります。

このサンプルは、ズーム FFTを構成して、検査対象デバイスからの刺激および応答信号の平均化周波数応答を計算する方法を示します。サンプルは、ブロックズーム FFTを使用します。サンプルはハンドルを使用して、SmtConfigZoomFFT および SmtZoomFFT などの関数間で状態情報を維持します。

Cross Power Spectrum Measurement

Cross Power Spectrum Measurement サンプルは、samples¥smt¥simulated¥smtcrspwr¥smtcrspwr.prjにあります。

このサンプルは、ズーム FFTを構成して、検査対象デバイスからの刺激および応答信号の平均化パワースペクトル、そしてこれらの 2つの信号間の平均クロススペクトルを計算する方法を示します。サンプルは、連続ズーム FFT技術を使用して、刺激データ（ handle1）および応答データ（ handle2）の固有ハンドルを作成する方法を示します。刺激の連続ズーム FFTおよび平均化パワースペクトルを計算するには、handle1を使用します。応答の連続ズーム FFTおよび平均化パワースペクトルを計算するには、handle2を使用します。刺激および応答間の平均化クロスパワースペクトルを計算する場合は、handle1または handle2を使用します。

スペクトル計測ツールキットの技術を利用する

スペクトル計測ツールキットには、ブロックおよび連続ズーム処理およびスペクトル平均化用のツールが含まれています。ズーム特性（ 中心周波数、スパン、および分解能帯域幅）を指定します。スペクトル平均化を使用して、測定システムでノイズの影響を抑えることができます。

ズーム FFT

スペクトル計測ツールキットは、ズーム FFT技術を使用して、定常信号の周波数スペクトルを解析します。この技術を利用すると、標準 FFTと比較して、より少ない計算で高周波数分解能の周波数スペクトルのごく一部にズームインすることが可能になります。図 2は、ズーム FFTが間隔の狭

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

い周波数の 2トーンを検出する方法を示します。上のグラフに表示される標準 FFTは単一ピークを示し、下のグラフに表示されるズーム FFTは、信号に個別の 2つのトーンが存在することを示します。

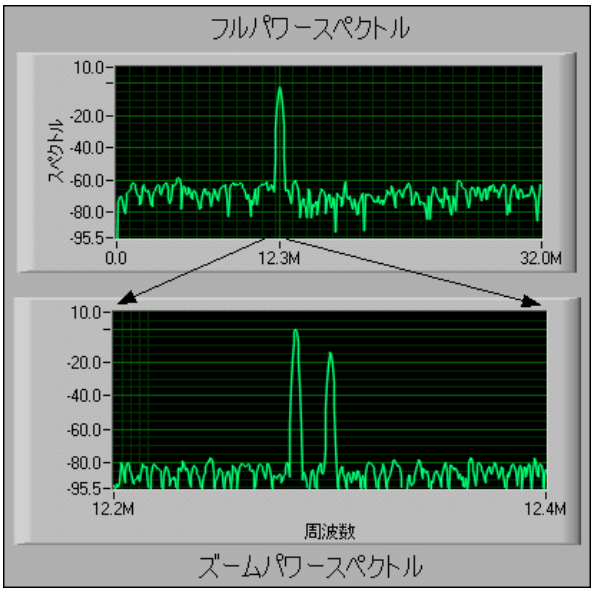


図 2　アンカーズーム FFT技術

FFTアルゴリズムは通常、ゼロ周波数からナイキスト周波数のスペクトルを表示することにより、ベースバンド解析を実行します。ただし、標準 FFTは、スペクトルの制限された部分の高周波数分解能を取得する必要がある、またはスペクトル領域でズームインする必要がある場合には効果的ではない場合があります。ズーム FFTは全スペクトルにおいて高周波数分解能を取得するために、長い標準の FFTを使用して必要となる計算を避けるアルゴリズムを用います。

以下の式を使用して、解析の周波数分解能（ df）を定義することができます。

$$df = f_s/N = 1/T$$

f_s : サンプリングされた信号の周波数

T: 継続時間

N : サンプル数

集録時間のみによって解析分解能が決定されます。f_sを減少するか、Nを増加して、dfを向上することができます。

スペクトル計測ツールキットは、ズーム FFT処理の 2つのアルゴリズム（ 連続ズーム FFTおよびブロックズーム FFT）をサポートしています。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

連続ズーム FFT

連続ズーム FFTは、受信したデータを迅速に解析する技術です。間引き処理は、リアルタイムでサンプルレートを低下させます。処理によりすべてのデータが集録され、時間 Tで間引きされると、比較的小さい FFTが残ります。連続は、データの受信中にプロセスが開始することを指します。標準 FFTでは、計算を開始する前にすべてのデータが受信されるまで待機する必要があります。

連続ズーム FFTではまず、関心スペクトル領域がベースバンドに移動します。そして次に、ローパスアンチエイリアスフィルタが適用され、M の係数でデータを間引きもしくはダウンサンプリングされます。M のズーム係数は、新しい有効なサンプルレート f_s/M を生成します。ナイキスト周波数は M 倍ごとに減少するため、アンチエイリアスフィルタのカットオフ周波数は $f_s/(2 \cdot M)$ となります。

ローパスフィルタの後、連続ズーム FFTは低下したサンプルレート データで FFTを実行し、ズームスペクトルを生成します。この技術は、フィルタ処理および間引きの結果、元のデータが変更されます。データを格納して後でバッチ処理すると、この技術の主な利点であるリアルタイム機能が失われます。図 3は、周波数シフト、間引き、および FFTの基本手順を示します。

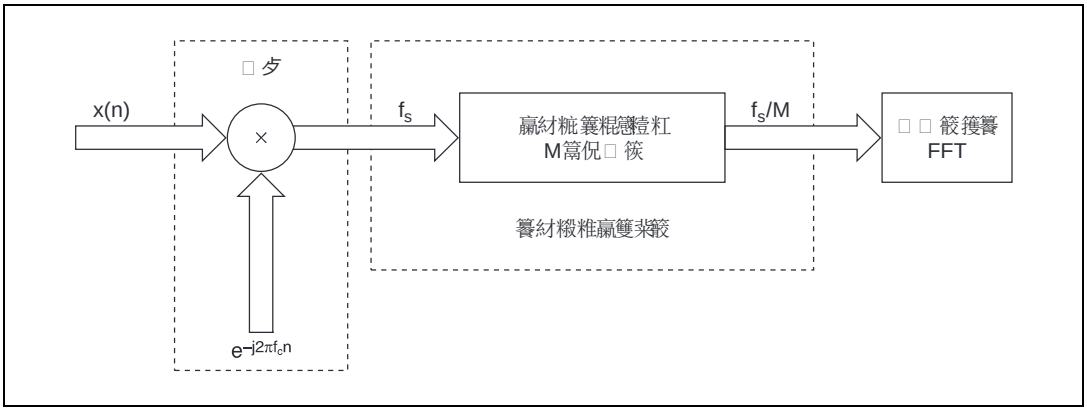


図 3 連続ズーム FFT図

サンプルレート f_s を下げることができるように見えますが、周波数分解能を向上させることはできません。ナイキストのサンプリング定理が適用されるため、より低いサンプルレートでデータを集録することにより、分解能を向上させることはできません。元の集録では、必要な周波数情報を取得するために、ズーム領域の最大周波数の 2倍以上の速度でサンプルする必要があります。ズーム領域の周波数分解能を向上する場合、周波数シフトが起こるまでサンプルレートを低下することはできません。連続ズーム FFTは、サンプルレートを調整する前に高周波数信号をベースバンドにシフトします。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

連続ズーム FFT技術は、受信するデータのフィルタ処理、間引き、および周波数シフトを連続して実行するため、リアルタイムズーム FFTとも呼ばれます。FFT操作自体は、すべてのデータが集録されるまで続行することはできません。FFT操作は、次のデータ集録と並行して行われます。

「SMT連続ズーム FFT」VIを使用して、連続ズーム FFTを実行します。このVIは、SMT**上級**パレットのサブパレット、**ズーム** FFTパレットにあります。このVIはまた、スペクトルに対応する複雑な変調およびフィルタ処理された時間領域データを渡します。図 4は、I/Qプロットにプロットされたこの複素時間領域データの同相（I）および直交位相（Q）成分を示します。入力信号は、位相変調（PM）波です。PM信号は、方形波、または搬送波（70 MHz）で変調されます。RF信号アナライザは、搬送波周波数に同調されています。

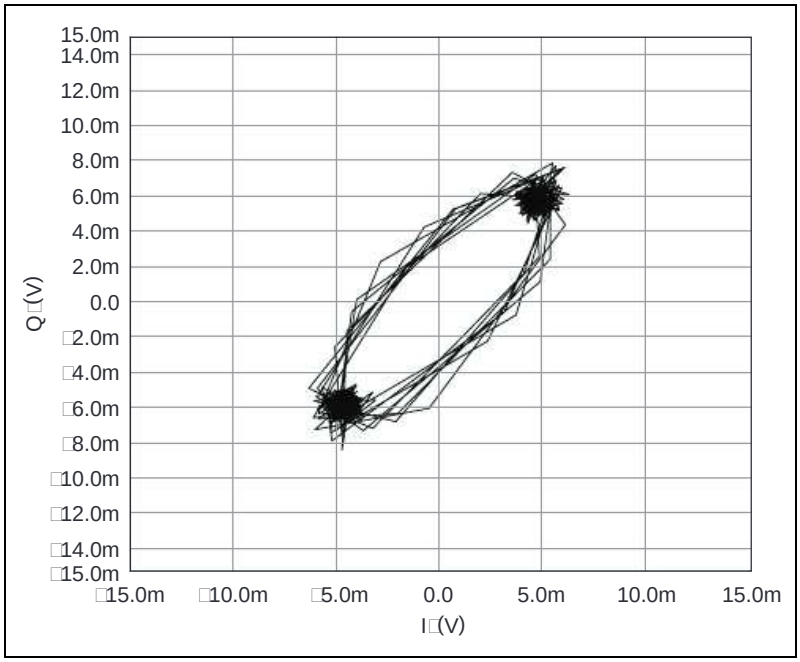


図 4　I/Qプロット

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

ブロックズーム FFT

データ集録が完了するまでデータにアクセスできない場合は、ブロックズーム FFTを使用します。ブロックズーム FFTは、処理する前にデータを格納するため、他の操作で必要な場合に元のデータを利用できる、非破壊的ズーム FFTです。ブロックズーム FFTは、大きな FFTの一部を計算するアルゴリズムです。また、FFTが処理するポイント数を増加することにより、ブロックズーム FFTは周波数分解能 df を向上します。

ブロックズーム FFTは、解析する周波数範囲を示す大きな FFTの一部のみを使用します。たとえば、入力データの長さが L□M の場合、元のデータの FFTは FFTスペクトルの L□M ポイントになります。スペクトル全体の 1/M、または L 周波数ビンのみを解析するには、ブロックズーム FFTを使用します。ブロックズーム FFTは、大きな FFTをデータセット全体を実行して不要な部分を削除する場合と比較して、元の L□M ポイントの L ポイントスペクトルをより迅速に少ない計算量で計算します。

「SMTズーム FFT」VI を使用して、ブロックズーム FFTを実行します。この VI は、SMT**上級**パレットのサブパレット、**ズーム** FFTパレットにあります。

連続またはブロックズーム FFTを使用する場合を判断する

特定のアプリケーションでどのズーム FFTを使用するかは、システムの速度、メモリ、集録レート、およびアプリケーション要件により異なります。

連続ズーム FFTの利点は、結果を連続して更新することで表示をスムーズにし、スペクトルに過渡現象が表示される時間を最小限にすることです。「SMT連続ズーム FFTを構成」VI の**上級設定**クラスタの**オーバーラップ**（%）パラメータで、更新時間を制御できます。この VI は、SMT**上級**パレットにあります。0% 設定は、ブロックズーム FFTと同様に更新し、VI が結果を返す前に新規データセット全体が処理されるのを待機します。50% 設定は、前回のデータブロックの後半分を再利用して、VI が新規データセットの半分を集録および処理した後に更新された結果を返すことにより、0% 設定の 2 倍の速度で更新します。

連続ズーム FFTがリアルタイムで集録レートを維持できるか予測できないため、「SMT連続ズーム FFT」VI を使用してアプリケーションを実行することが最善の方法です。集録 VI からバッファオーバーフローエラーが発生した場合、集録レートを減らすか、ブロックズーム技術を使用してください。

ブロックズーム FFTは、後処理手法として最適な汎用技術です。ブロックズーム FFTはまた、データレートが高すぎるため連続ズーム FFTがリアルタイムで維持できない場合のリアルタイムアプリケーションに役立ちます。データセット全体を処理するには、FFT処理が始まる前までデータを格納できるように十分なメモリを準備してください。各データポイントの処理が重要でない場合は、最新データでブロックズーム FFTを使用します。

ズームスペクトログラム

スペクトログラムは、時間 / 周波数共同領域解析（JTFA）処理の結果です。スペクトル計測ツールキットは、ズーム FFTと短時間フーリエ変換（STFT）を実行し、ズームスペクトログラムを提供します。「SMTズーム STFT」VI は、固定された時間間隔で、信号と同等のセグメントにおいて

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

FFTを計算します。この VI は、各信号セグメント に窓を適用し 、窓処理されたセグメント で FFTを計算し 、結果の FFTを時間順に並べます。図 5 は、処理を示します。

メモ STFT VI は、<LabVIEW>¥vi.lib¥addons¥Spectral Measurements Toolset フォルダにあります。

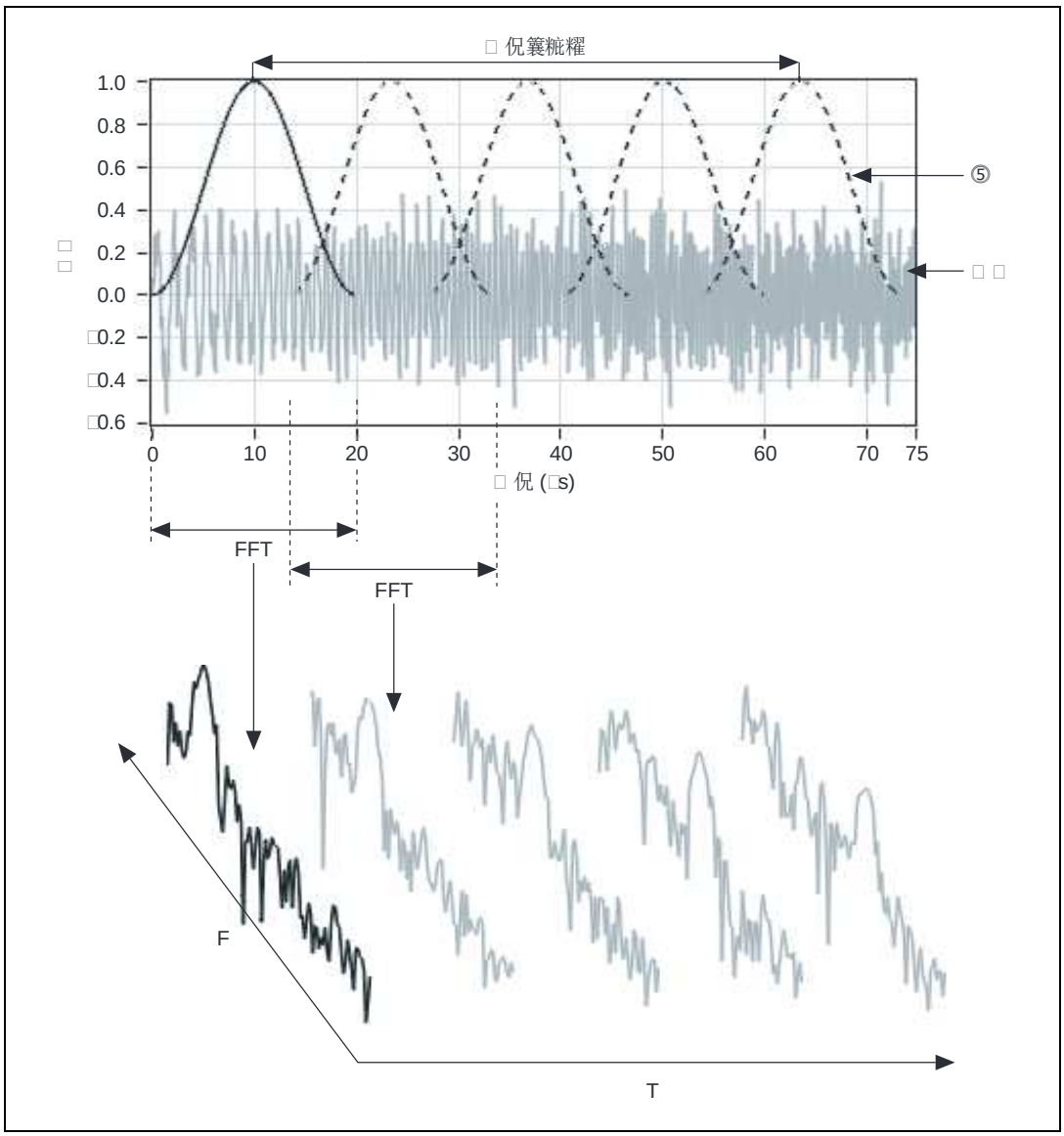


図 5　スペクト ログラム処理の例

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

「SMTズーム STFTを構成」VIは、スペクトログラム（中心周波数、周波数スパン、時間スパン）を指定します。周波数スパンはFFTズームを制御します。中心周波数が10 MHzでスパンが2 MHzの場合、「SMTズーム STFTを構成」VIは、9 MHz～11 MHzでスペクトログラムを計算します。時間スパンは、最初の窓の中心から最後の窓の中心までの時間間隔を指定します。VIにはまた、窓、分解能帯域幅、RBW定義、周波数ポイント、時間ポイント、および有効な帯域仕様などを含む、スペクトログラムを指定する上級パラメータがあります。デフォルトの上級パラメータを変更しない場合、四角形の表示領域で時間および周波数分解能が均一に分布されたスペクトログラムに対して正しいパラメータが構成VIによって計算されます。表示領域が四角形でない場合は、表示領域のアスペクト比を**アスペクト比**パラメータに入力します。図 6は、16 MHzの中心周波数および16 MHzスパンで完了したスペクトログラムの例を示します。

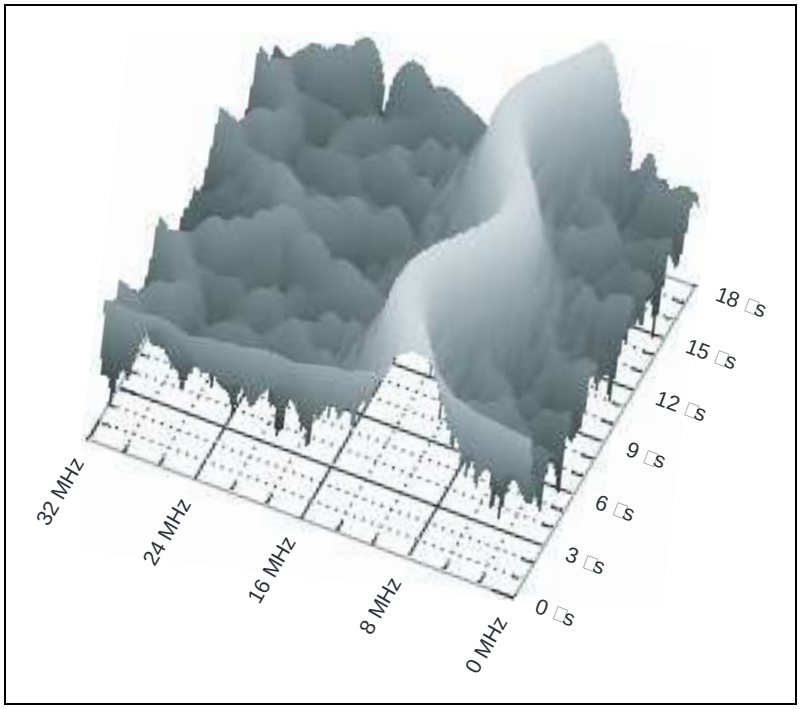


図 6　スペクトログラムの例

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

ズーム FFT VI を構成する

スペクト ル計測ツールキット VI を使用する場合、ズーム FFTを完全に指定するために複数の値を入力する必要があります。スペクト ル計測ツールキット には、各設定に対して値を選択する 2 つの構成 VI があり 、最低限の入力を行う 必要があります。「 SMTズーム FFTを構成」 VI を使用して、ブロックズーム FFTを構成します。「 SMT連続ズーム FFTを構成」 VI を使用して、連続ズーム FFTを構成します。これらの構成 VI は、入力値に互換性があり 、有効な結果が生成できるようにします。特性の設定に値を入力すると 、構成 VI が残りの値を計算します。

中心周波数およびスパン

ズーム FFTの 2 つの基本特性は、スペクト ル内のズーム位置の中心周波数と、FFTがズームインする度合の範囲です。基本的なズームアプリケーションでは通常、中心周波数およびスパンのみの値を入力する必要があります。**中心周波数**および**スパン**の入力値には、以下の制限が適用されます。

- **中心周波数**は、入力信号の有効帯域の範囲内である必要があります。有効帯域は、入力信号からのデータが有効である周波数帯域です。有効帯域を使用して、アナログアンチエイリアスフィルタのロールオフ領域を検討の対象から除外することができます。有効帯域は、デフォルト で入力信号の全帯域幅、つまり サンプルレート の半分までに設定されています。指定した周波数が有効帯域の範囲外の場合、構成 VI は有効帯域の中心を中心周波数として使用します。
- ズームできるのはスペクト ルのみであるため、**スパン**は有効帯域より小さい必要があります。ズームアウト をすることはできません。**スパン**が有効帯域より 広い場合、構成 VI は有効帯域の範囲を超えない最大値に設定します。
- **中心周波数**および**スパン**を組み合わせると 、必要な周波数スパンの両エンド ポイント は、有効帯域の周波数範囲外になりません。**中心周波数**および**スパン**の両方が以前に定義された制限を満たしていても、ズーム範囲領域の一部が有効帯域範囲外の場合、構成 VI はスパン全体が有効帯域内にあることを確実にするために十分な場所まで中心周波数を移動します。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

図 7 の左側は、実際の入力信号で起こる**中心周波数**と**スパン**の 4 種類の組み合わせを示します。図 7 の右側は、VI が各例に設定する**中心周波数**と**スパン**の実際に強制された値を示します。

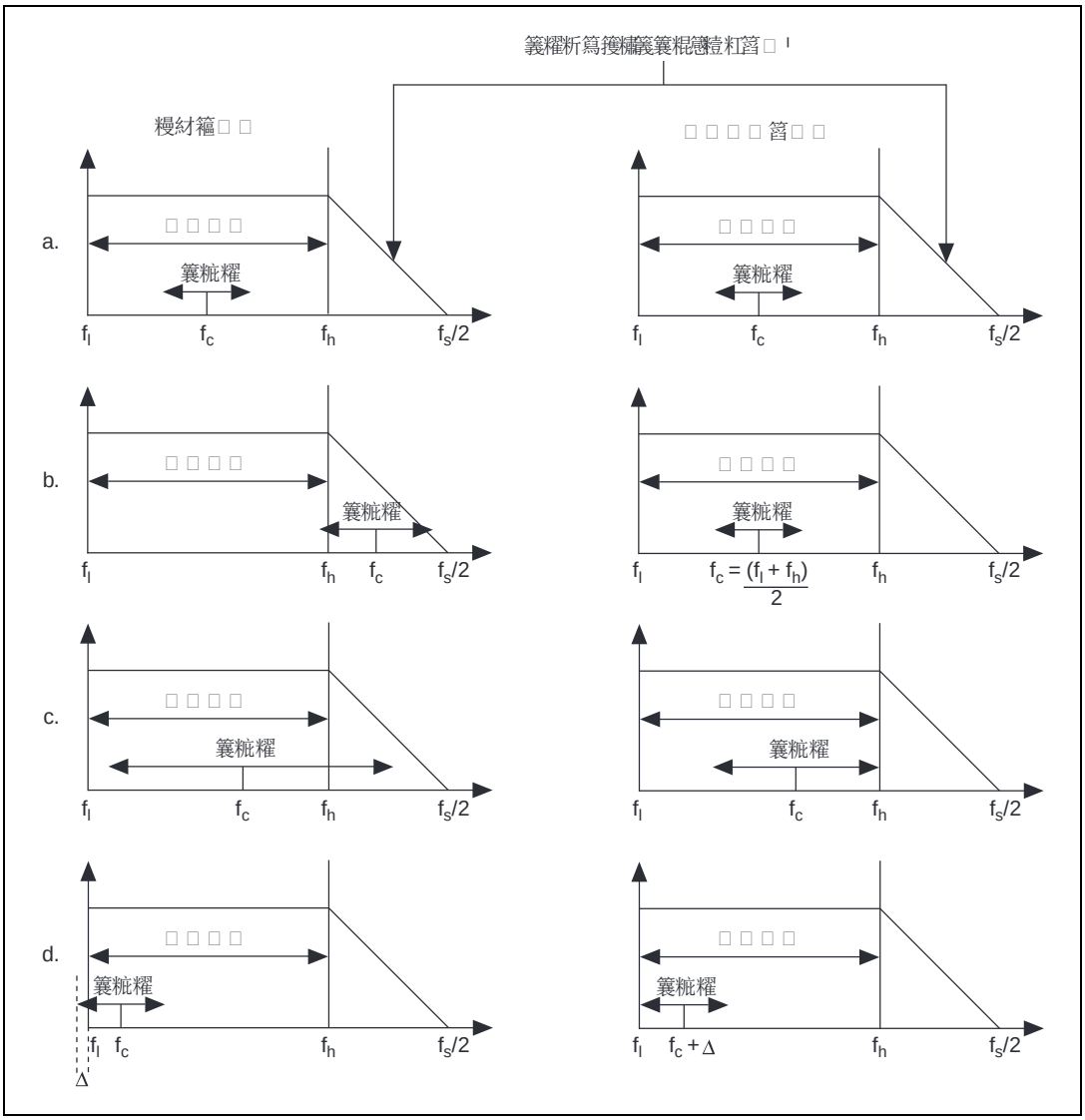


図 7 中心周波数およびスパンの組み合わせ

図 7a は、適切な値を**中心周波数**および**スパン**の両方に入力した場合、値が変更しないことを示します。スペクトルは、データ集録デバイスの入力アンチエイリアスフィルタの周波数応答を示します。図 7b は、中心周波数値を有効帯域の範囲外に入力した場合、スパンが有効帯域の中心であるデフォルト値に変更されることを示します。図 7c は、有効帯域よりも広いスパンを要求した場合、中心周波数を移動せずに有効帯域にスパン全体

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

が収まるまでスパンが減少することを示します。図 7d は、中心周波数およびスパンの値を有効な範囲内に設定しても、スパンの一部が有効帯域の範囲外にある場合、中心周波数はスパン全体が有効帯域内に収まるまで移動することを示します。

分解能帯域幅、スペクトル線、および窓

FFT処理は、FFTビンの周波数に一致する中心周波数で、バンドパスフィルタのバンクを介して時間領域信号を渡すことと同等です。同等のフィルタ形状は、時間領域信号に適用された窓によって決定されます。**分解能帯域幅**制御器は、単一の FFTビンに対応する同等のフィルタ幅を示します。この幅は、SMT構成 VI の RBW**定義**パラメータでいずれかに指定できます。オプションは、3 dB、6 dB、ENBW、およびビン幅です。3 dBおよび 6 dBは、図 8に示されるように、ピーク応答と比較して、フィルタ応答が指定した量の範囲内にある 2ポイント間の距離を基準に帯域幅を定義します。等価ノイズ帯域幅（ ENBW）は、指定されたホワイトノイズ入力に対して同等のバンドパスフィルタと同じパワー出力を持つ、方形応答フィルタの帯域幅で分解能帯域幅を定義します。ビン幅は、ある周波数ビンから次のビンまでの距離（ 同等のフィルタ形状に無関係）で分解能帯域幅を定義します。RBW**定義**のデフォルト値は 3 dBです。

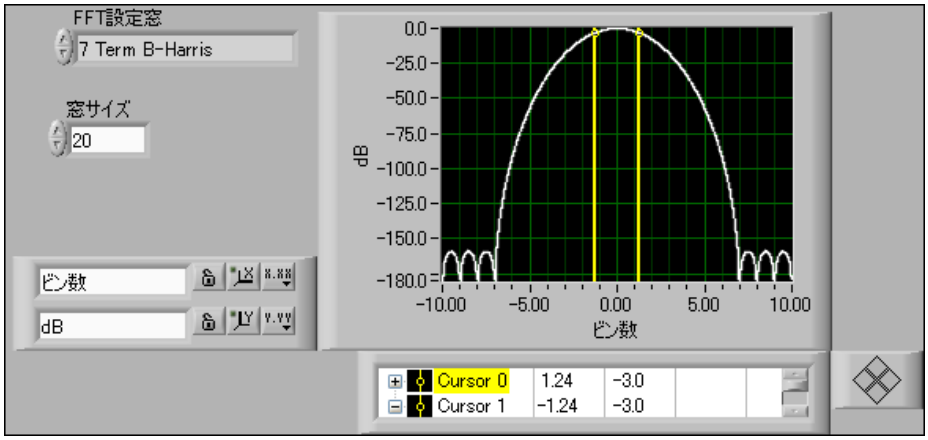


図 8　7 項ブラックマン・ハリス窓のメインおよびサイドローブ

図 8は、7 項ブラックマン・ハリス窓に対応する同等のフィルタ形状を示します。カーソルは、フィルタ応答の 3 dBポイントに配置され、分解能帯域幅はカーソル間の距離です。

スペクトル線制御器は、VI が表示するズームスペクトルの結果に含まれる周波数ビン数を制御します。分解能帯域幅で必要な数より多くのスペクトル線を要求すると、パラメータは FFTをゼロでパディングし、スペクトルを必要な線数に補間します。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

窓は、時間領域信号に適用された窓を制御します。窓処理の主な利点は、スペクトル漏れをメインローブに制限し、図 8に示されるようにサイドローブで減少させることです。窓は、FFTビンの同等のフィルタ形状を決定するため、窓の選択は分解能帯域幅の計算に影響を与えます。

構成 VI は、**分解能帯域幅**、**スペクトル線**、および**窓**を使用して、集録サイズを決定します。集録サイズは、特定のズーム操作において集録する必要があるポイント数です。**分解能帯域幅**または**スペクトル線**の 2つのパラメータのどちらか 1つに、値を指定する必要があります。1つのパラメータのみの値を指定すると、値により集録サイズが決定され、集録サイズ値がその他のパラメータ値を決定します。**分解能帯域幅**および**スペクトル線**の両方を指定すると、VI が各パラメータに必要な集録サイズを比較し、小さい方を実際の集録サイズとして使用します。実際の入力信号では、スペクトル線の値によって決定した集録サイズが以下の式で計算されます。

集録サイズ = 2 □ スペクトル線 □ ズーム係数

ズーム係数は、以下のようにズームスパンを全スペクトルに関連付けます。

$$\text{ズーム係数} = \frac{f_s \square 2}{\text{スパン}}$$

実際の入力信号の場合、**分解能帯域幅**の値により決定した集録サイズが以下の式で計算されます。

$$\text{集録サイズ} = \frac{\square 3\ \text{dB BW} \square\square f_s}{\text{RBW}}$$

集録サイズは、以下の基本的な関係式により求めることができます。

$$df = f_s / N = 1/T$$

N : 集録サイズ

RBW : 周波数分解能 df を 3dB 帯域幅の窓スペクトル漏れ補正係数で乗算したもの

分解能帯域幅値で必要な値よりも大きな値が**スペクトル線**値で必要な場合は、VI はゼロパディングを使用して必要な FFTライン数を決定します。**スペクトル線**値で必要な集録サイズよりもより大きな集録サイズが**分解能帯域幅**値で必要な場合は、VI は**分解能帯域幅**を必要な集録サイズと一致する値に強制変換し、**実際の分解能帯域幅**として値を返します。

メモ 実際の値は、これら 2つの場合で必要な値と多少異なる場合があります。必要な**スパン**および**サンプリング周波数**が整数でないズーム係数に相当する場合、VI はズーム係数を整数値に強制変換し、スパンはそれに従って変更されます。集録サイズはまた、効率的な FFTアルゴリズムを使用して性能を最適化することができることを確認する上で、多少異なる場合があります。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

実用的な構成パラメータを選択する

中心周波数、スパン、および窓タイプの選択は、アプリケーションによって異なります。たとえば、CDMA 信号を試験する場合、834 MHz の中心周波数および 2 MHz のスパンを指定します。SMT は、9 つの窓タイプをサポートしています。デフォルトの窓タイプである 7 項ブラックマン・ハリスは、最も広いダイナミックレンジを持ち、SN 比タイプのアプリケーションに適しています。スペクトル線の選択は、プロットで必要な表示分解能により異なります。

RBW の選択は、識別したい 2 トーン間の間隔、そしてトーンの振幅など要素数によって異なります。

図 9 は、2 つの RBW 値を使用して計算したマルチトーン信号のスペクトルを示します。マルチトーン信号は、100 kHz で区切られる 1.0 MHz および 1.1 MHz の周波数で、2 つのトーンから構成されています。表 1 は、異なる 2 つの RBW を使用する際のトレードオフを示します。

表 1 大きな RBW と小さな RBW

大きな RBW（103.5 kHz）	**小さな** RBW（9.94 kHz）
小さな FFT サイズでは、必要な計算時間がより短い	大きな FFT サイズでは、必要な計算時間がより長い
スペクトルにおける 2 つのトーンが識別不可能	スペクトルにおける 2 つのトーンが識別可能

メモ 103.5 kHz の RBW は、100 kHz 間隔の 2 つのトーンを識別するのに十分ではありません。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

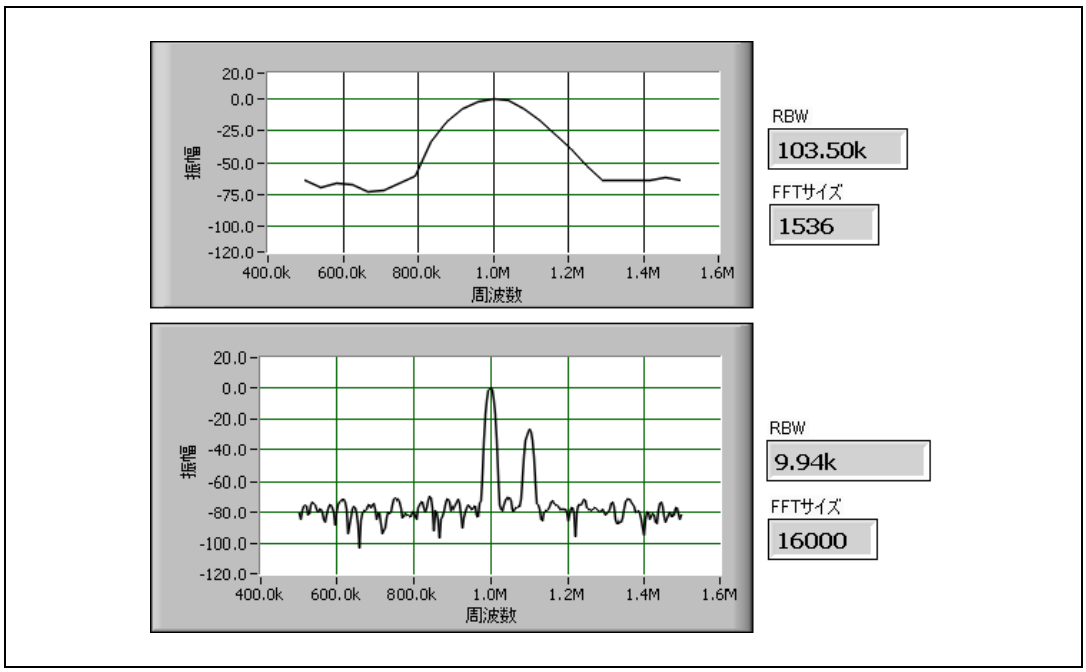


図 9　RBW の例

スペクト ル領域平均化

信号およびスペクト ルではノ イズの影響があるため、平均化はスペクト ル領域測定において重要です。スペクト ル計測ツールキット には、データ の異なるレコード を平均化してノ イズの影響を抑える平均化 VI が含まれています。ベクト ル、RMS、ピークホールド の 3 つの異なる平均化タイプ を使用できます。

「 ベクト ル平均化」は、信号スペクト ルを維持しながらノ イズフロアを減少させます。時間領域では、平均化を実行すると信号のゼロ平均ホワイト ノ イズによる影響が低下します。信号が保持されている間、ノ イズが平均化されます。信号はト リガされる必要があります。これは、各データレコード が平均化処理の間に信号の整合性を維持しながら、周期信号の同じ ポイント で開始するということです。FFT は線形変換であるため、周波数領域におけるスペクト ルレコード の平均化は、時間領域におけるデータレコード の平均化と同じ です。ベクト ル平均化を正確におこなう には、信号をト リガする必要があります。ベクト ル平均化には複素スペクト ルが必要で、実数のパワースペクト ルに変換可能な複素数が結果として生成されます。

信号が時間領域でト リガされない場合、位相ノ イズが結果のスペクト ルに表れます。「 RMS 平均化」を使用して、位相ノ イズを除去することができます。スペクト ルの振幅は、入力信号の時間シフト に影響されませんが、位相は各データレコード で大幅に変更されます。パワースペクト ルを平均

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

化し、結果の平方根を取得すると、位相変化による影響を除去できます。これ以上ノイズフロアを低減できませんが、ノイズの振幅分散を減少することができます。ノイズ分散を減少すると、小さな周波数ピークを最大ノイズピークと区別する上で役立ちます。RMS平均化は、すべての位相情報を除去し、実スペクトルを返します。平均化処理が複素データタイプで結果を返した場合、虚数部分がゼロになります。

「ピークホールド平均化」は、複数のデータレコードで各周波数ビンの最大振幅値を保持する手法です。ピークホールド平均化は、個々のスペクトルに表示されない過渡現象を取得するのに最も適しています。監視アプリケーションの場合、ピークホールド表示は、特定の周波数における過渡が最後のリセット後に発生したかどうかを一目で判断することが可能です。ただし、ピークホールド平均化では過渡が発生したタイミングを指定することができません。RMS平均化と同様に、ピークホールド平均化では結果が実スペクトルになります。

ズーム FFT VI を信号に適用すると、複素 FFT スペクトルが受信されます。スペクトル領域平均化関数は、FFT スペクトルで実行可能で、平均化 FFT スペクトル、パワースペクトル、クロススペクトル、および周波数応答などの異なるタイプのスペクトルを返します。

平均化 VI では、FFT スペクトルを複素配列で入力する必要があります。スペクトル単位変換を平均化の前または後に実行します。

平均化の表記規則

スペクトル計測ツールキット VI では、「平均化」は同じ処理における複数の異なるデータセットの平均を指します。以下の一覧は、フーリエ変換の各周波数ビンに個々に適用される平均化操作です。

$F_R + jF_I$	実部と虚部の値を使用する、信号のフーリエ変換 f(t) の複素数による表記。
$<F>_k = F_R + jF_I$	ベクトル平均化では、フーリエ変換の実部と虚部は、k データレコードで線形または指数の重み付けを使用して個別に平均化されます。
$\|F\|$	フーリエ変換の振幅。
X_k, Y_k	入力スペクトル X および平均化した出力 Y の k 番目のインスタンス。
$\max(X_k, Y_k)$	スペクトル X_k の各複素周波数は、Y_k の各複素周波数と大きさが比較されます。大きい方の値が保持されます。結果は実スペクトルです。
conj( )	複素共役。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

平均化オプション

図 10 は、スペクトル平均化のオプションを示します。

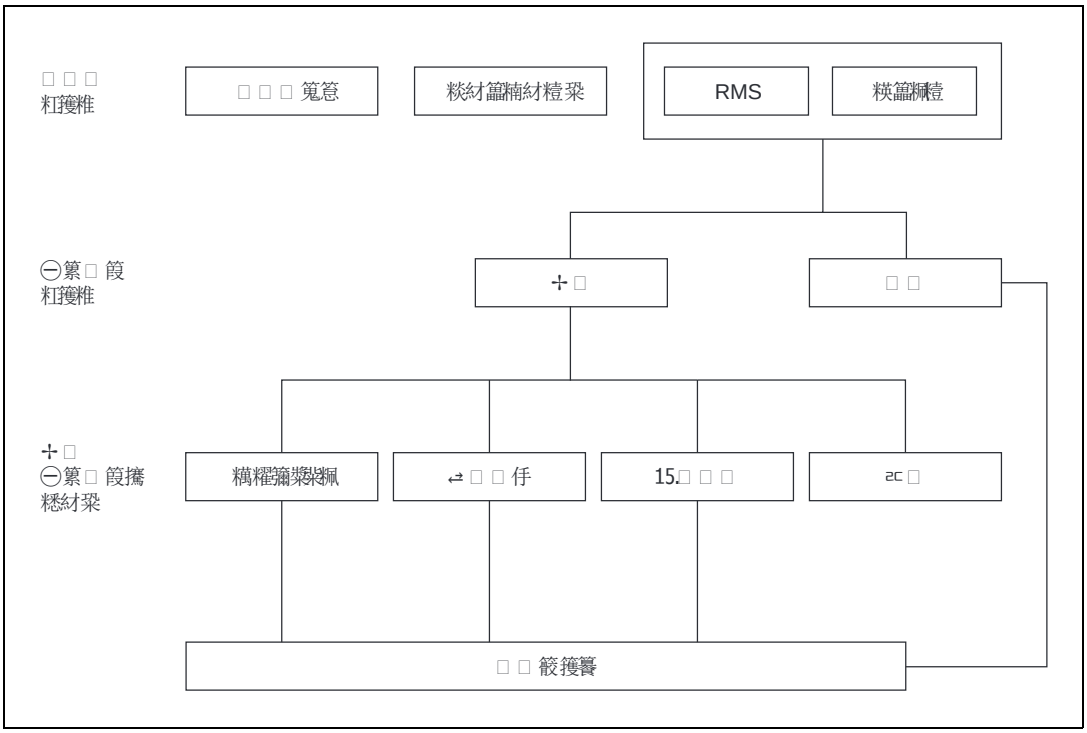


図 10　スペクトル平均化オプション

平均化処理では、RMSおよびベクトル平均化の両方で以下の式に示されるように、重み付けが < > 演算子に適用されます。

$$Y_k = \langle X \rangle_k = a_1 \cdot Y_{k-1} + a_2 \cdot X_k$$

Y_k は新規平均、Y_{k-1} は以前の平均、そして X_k は新規測定です。

線形重み付けは、以下のとおりです。

$$a_1 = (k-1)/k, \text{ and } a_2 = 1/k$$

指数重み付けは以下のとおりです。

$k \leq N$ の場合、$a_1 = (k-1)/k$ および $a_2 = 1/N$

$k > N$ の場合、$a_1 = (N-1)/N$ および $a_2 = 1/N$

N は、ユーザが指定する定数で、古いデータを基準として新規データに指定される重み付けを決定します。N の小さい値は、最新データをより強調

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

します。**これまでの平均数**パラメータは、平均化を行っている際に、増分を N で停止します。

線形重み付けには以下のモードが含まれます。

- **ワンショット線形平均化**：N 測定分の平均化を 1 回行います。継続時間が終了すると、平均化が停止します。
- **自動再開線形平均化**：各 N 測定分において、ワンショット線形平均化を自動的に繰り返します。
- **移動平均**：最新の N 測定分を平均化します。
- **連続**：同じ重みで実行したすべての測定を平均化します。

平均化 FFTスペクトル

以下の式は、複素 FFTスペクトルに適用される 3 つの平均化手法を示します。

表 2 FFT平均化の手法と式

平均化手法	式
ベクトル平均化	$Y_k = \langle X \rangle_k$
RMS平均化	$Y_k = \sqrt{\langle X \cdot \mathrm{conj}(X) \rangle_k}$
ピークホールド平均化	$Y_k = \max(X_k, Y_{k-1})$

RMSおよびピークホールド平均化は実スペクトルを生成し、ベクトル平均化は複素スペクトルを生成します。

スペクトル計測ツールキットのすべての平均化操作は、複素 FFT入力スペクトルを実行します。**スペクトル平均化**パレットにある「SMT平均化 FFTスペクトル」VI を使用して、平均化 FFTスペクトルを作成します。

平均化パワースペクトル

以下の式は、平均化パワースペクトルを生成するために複素 FFTスペクトルに適用できる平均化手法を示します。複素 FFTスペクトルを実数パワースペクトルに変換する平均化手法はありません。

表 3 平均化パワースペクトルの平均化手法と式

平均化手法	式
平均化なし	$Y = X \cdot \mathrm{conj}(X)$
ベクトル平均化	$Y_k = \langle X \rangle_k \cdot \mathrm{conj}(\langle X \rangle_k)$
RMS平均化	$Y_k = \langle X \cdot \mathrm{conj}(X) \rangle_k$
ピークホールド	$Y_k = \max(X_k, Y_{k-1})^2$

平均化パワースペクトルは、平均化 FFTスペクトル振幅の平方根と同じです。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

平均化クロススペクトル

XおよびYの2つのFFTスペクトルがある場合、以下のように、スペクトルXの複素共役をスペクトルYで乗算することにより、クロススペクトルS_{xy}が取得されます。

$$S_{xy} = \text{conj}(X) \cdot Y$$

RMS平均化の場合、個々のクロススペクトルの平均から構成される平均化クロススペクトルは、以下のとおりです。

$$S_{xy} = \langle \text{conj}(X) \cdot Y \rangle$$

ベクトル平均化の場合、2つの平均化スペクトルを乗算する前の各スペクトルのベクトル平均から構成される平均化クロススペクトルは、以下のとおりです。

$$S_{xy} = \text{conj}(\langle X \rangle) \cdot \langle Y \rangle$$

クロススペクトルには、ピークホールド平均がありません。

平均化周波数応答

スペクトルXおよびシステム応答Yを持つシステムへの刺激が存在する場合、システムの周波数応答Hは、以下のようになります。

$$H = \frac{Y}{X}$$

以下の表にある式を使用して、ベクトルおよびRMS平均化周波数応答を取得することができます。

表4 平均化周波数応答の設定と式

設定	式
RMS平均化	$H = \langle Y\,\text{conj}(X) \rangle / \langle X\,\text{conj}(X) \rangle$
ベクトル平均化	$H = \langle Y \rangle / \langle X \rangle$

周波数応答には、ピークホールド平均がありません。

スペクトル領域測定

スペクトル計測ツールキットには、帯域内電力、隣接チャンネル漏洩電力、および占有帯域幅などの電力測定を実行するツールが含まれています。スペクトル計測ツールキットにはまた、単一または複数のピークをスペクトルで検出するVIが含まれています。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

単位変換

測定した信号そして数量化するのに必要な信号の種類により、スペクトルの振幅スケールをさまざまな方法で表すことが可能です。「SMTスペクトル単位変換」VIは、アプリケーションで必要な表記法にスペクトルを変換し、スケールします。単位変換は、位相情報が含まれない実スペクトルを常に返します。

スペクトルに関連付けられている基本単位は、ボルト（V）およびワット（W）です。ワットは、特定のインピーダンスと常に関連付けられている必要があります。インピーダンスが不明な場合は、電力をワットで指定することができません。通常、パワースペクトルの単位は電圧の二乗（V^2）です。インピーダンスが1Ωの場合、同じパワースペクトルをワットで示すことができます。ボルトとワットは、線形または対数スケールのいずれかを使用します。対数スケールでは、dBVなどの単位が使用されます。これは、1ボルトの基準レベルで、スペクトルの振幅がdB単位で表示されるということです。

スペクトルのスケールオプションは、以下のオプションの組み合わせです。

- **RMSまたはピーク**：FFTは、周波数ビンがその周波数で正弦波のRMS値を示すようにスケールされた振幅スペクトルを返します。ビンはまた、スペクトルを$\sqrt{2}$でスケールした場合のピーク値を示します。
- **振幅または電力**：パワースペクトルは、振幅スペクトルのマグニチュードの二乗です。たとえば、振幅スペクトルの単位がV_{rms}の場合、パワースペクトルの単位はV^2_{rms}になります。インピーダンスで除算すると、W^2_{rms}になります。
- **スペクトルまたはスペクトル密度**：PSDは、パワースペクトルを周波数分解能で除算したものです。PSD単位は通常、V^2_{rms}/HzまたはW^2_{rms}/Hzです。振幅スペクトル密度はまた、$V_{rms}/\sqrt{Hz}$などの単位を選択して取得することもできます。

ズームFFT VIの**スペクトル情報出力**パラメータを、「SMTスペクトル単位変換」VIの**スペクトル情報入力**パラメータに配線します。このパラメータには以下のサブパラメータが含まれます。

- **窓**は、使用する窓のENBWを決定します。周波数領域における窓関数で発生するスペクトル漏れにより、スペクトル密度の計算はENBWに影響されます。
- **窓**および**FFTサイズ**の比率は、「SMTスペクトル単位変換」VIが、スペクトルの周波数ビン数および時間領域信号のポイント数の違いを修正するのに使用する値です。修正により、元の信号のエネルギーを維持することができます。たとえば、長さがNまたは窓サイズがNの時間領域信号を、2Nの長さにゼロパディングすると、結果には時間領域信号の2倍のエネルギーが2Nの周波数ビンに含まれます。指定された2つのサイズで、この効果を補正することができます。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

たとえば、「SMTスペクトル単位変換」VIを使用して、dBm/Hz単位で信号でPSD測定を実行します。**単位**をdBm、**ピークスケール**をRMS、psd?をTRUE、そして**インピーダンス**をシステムインピーダンスに設定します。PSDは、以下の式で計算します。

$$dBm\left[\frac{rms^2}{Hz}\right] = 10 \log 10\left[X \cdot Vrms^2 \cdot \frac{窓サイズ}{FFTサイズ} \cdot \frac{1000\left[\frac{mW}{W}\right]}{ENBW \cdot df \cdot Hz \cdot インピーダンス}\right]$$

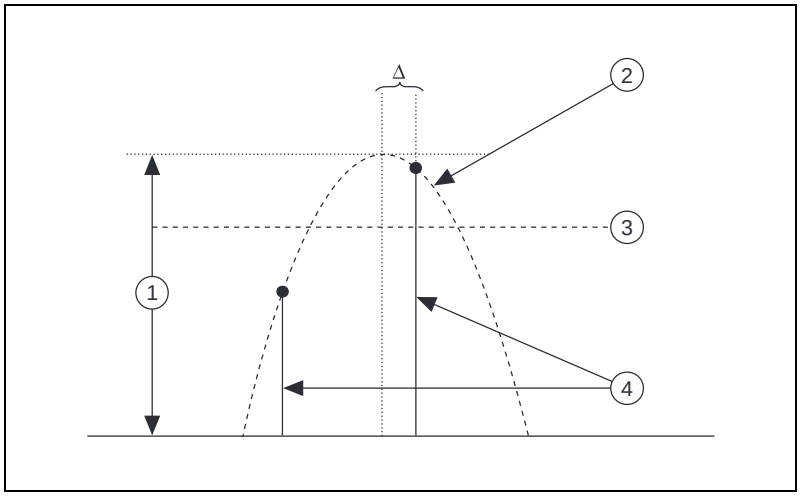
ピーク検出および振幅 / 周波数推定

「SMTスペクトルピーク検出」VIは、補間を使用して、振幅またはパワースペクトルで周波数のピークを正確に検出し、各ピークの振幅を推定します。任意の単位またはスケールで実スペクトルを入力します。また、指定したしきい値の振幅を超える単一の最大ピークまたは複数のピークを検出するかどうかを指定できます。

「SMTスペクトルピーク検出」VIが入力信号に適用する窓のサンプルされたバージョンとして、単一の周波数トーンが周波数領域に表示されます。VIが窓を適用しない場合、有限サンプルサイズは方形窓と等しくなります。VIが入力信号に適用する窓を指定すると、VIは検出された各ピーク周辺の2つのポイントで曲線適合アルゴリズムを使用し、真の周波数と振幅を推定します。

平均化によりノイズが減少し、より一貫した測定を実行できる振幅 / 周波数推定手法は、平均化パワースペクトルに最も適しています。図 11は、曲線適合アルゴリズムを示します。2つのFFTビンは周波数ピークには当てはまりませんが、VIは適用された窓の既知の周波数応答を使用し、最大FFTビンからのオフセットである真のピーク位置を Δ で推定します。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com



1　振幅	3　しきい値
2　窓の形状	4　2つの FFTビン

図 11　振幅 / 周波数推定アルゴリズム

帯域内電力

SMT**測定**パレット にある「 SMT帯域内電力」VI は、特定の周波数範囲または帯域内の合計電力を測定し ます。X は、V^2_{rms} の入力パワースペクトルです。単位変換を実行する前に、この測定を行います。中心周波数および帯域幅（ Hz）を入力し ます。これにより 、周波数帯域の下限 f_l および上限 f_h を取得できます。「 SMT帯域内電力」VI は、以下の式で合計電力を計算し ます。

$$\text{帯域内電力} = \sum_{f_l}^{f_h} X[f] \cdot \frac{\text{窓サイズ}}{\text{ENBW}} \cdot \frac{1}{\text{FFTサイズ}}$$

「 SMT帯域内電力」VI は、帯域内の各周波数での電力を計算し ます。その後、VI は窓関数によるスペクト ル漏れの補正を任意のゼロ パディ ングに適用し ます。「 SMT帯域内電力」VI は、指定し たインピーダンスを使用して、W、dBW、および dBm などの単位で帯域内電力を計算し ます。

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

隣接チャンネル漏洩電力（ ACP）

SMT**測定**パレット にある「 SMT隣接チャンネル漏洩電力」VI は、中央のチャンネルおよび 2 つの隣接チャンネルの分散電力を測定し ます。「 SMT スペクト ル単位変換」VI を使用する前に、この VI を使用して ください。「 チャンネル」は、対象となる特定の周波数帯域のことを指し ます。**中心周波数**、**帯域幅**、および**間隔**パラメータは、3 つのチャンネルを示し ます。**中心周波数**パラメータは中間チャンネルの中心周波数を指し 、**帯域幅**パラメータは、各チャンネルの幅を定義し 、**間隔**パラメータは中間チャンネルの中心と 上下チャンネルの中心間の距離を定義し ます。これらの 3 つのパラメータは、個々の 3 つの周波数帯域を完全に定義し ます。インピーダンス入力値を指定し て、さまざまな出力単位を指定できます。

メモ 「 SMT隣接チャンネル漏洩電力（ 上級）」VI を使用し て、ユーザ指定の帯域幅や中心周波数からのオフセット で任意の数の隣接チャンネルを測定できます。

図 12 は、通常の ACP 測定およびチャンネルを指定する 3 つのパラメータを示し ます。

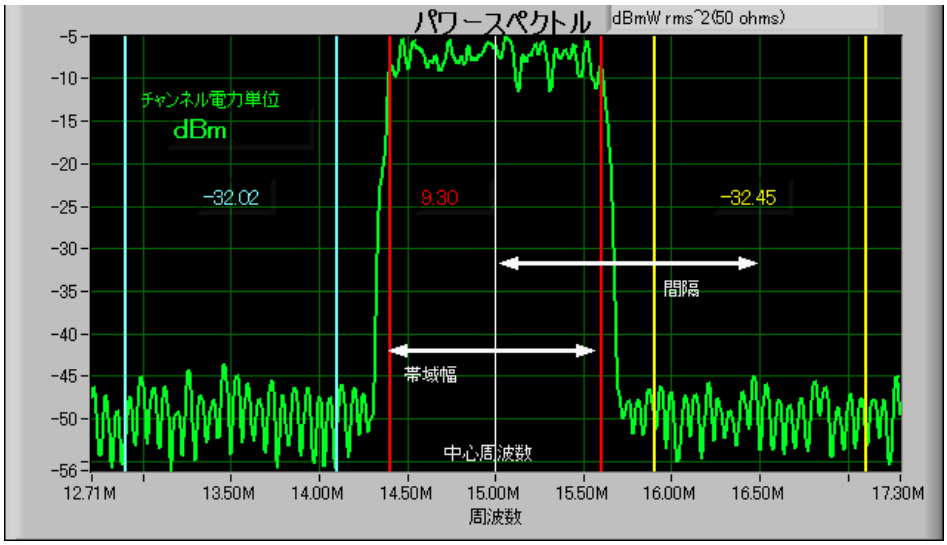


図 12　ACP 測定

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

占有帯域幅（OBW）

SMT**測定**パレットにある「SMT占有帯域幅」VIは、信号の合計電力の指定された割合を含む周波数帯域の帯域幅を返します。指定された割合Bでは、周波数帯域の上限は検出された合計電力の[(100 – B)/2]%未満、また下限はそれを超える周波数です。B = 99が最もよく知られる入力値であるため、この測定は99%帯域幅としても知られています。「SMTスペクトル単位変換」VIを使用する前に、このVIを使用してください。

「SMT占有帯域幅」VIは、単一周波数帯域に制限される信号での測定など、単一チャンネル測定用のみに適しています。複数チャンネル測定では、各単一チャンネル測定を個別に実行します。

図 13は、OBW測定の例を示します。対数振幅スケールは、チャンネル範囲外に多量の電力があるように示しますが、実際には信号電力の1%のみが含まれています。

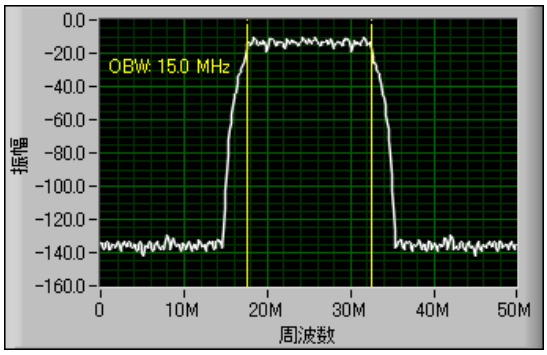


図 13　占有帯域幅測定

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

サポート 情報

技術サポート リソースの一覧は、ナショ ナルインスツルメンツのウェブサイト でご覧いただけます。ni.com/jp/support では、トラブルシューティングやアプリケーション開発のセルフヘルプリソースから、ナショ ナルインスツルメンツのアプリケーション エンジニアの Eメール / 電話の連絡先まで、あらゆるリソースを参照することができます。

ナショ ナルインスツルメンツでは、米国本社（ 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504）および各国の現地オフィスにてお客様にサポート 対応し ています。日本国内での電話サポート については、サービスリクエストを ni.com/jp/support で作成するか、0120-527196（ フリーダイヤル）または 03-5472-2970（ 大代表）にお電話く ださい。日本国外での電話サポート については、各国の営業所にご連絡く ださい。

イスラエル 972 3 6393737, イタリア 39 02 41309277,
インド 91 80 41190000, 英国 44 (0) 1635 523545,
オーストラリア 1800 300 800, オーストリア 43 662 457990-0,
オランダ 31 (0) 348 433 466, カナダ 800 433 3488,
韓国 82 02 3451 3400, シンガポール 1800 226 5886,
スイス 41 56 2005151, スウェーデン 46 (0) 8 587 895 00,
スペイン 34 91 640 0085, スロベニア 386 3 425 42 00,
タイ 662 278 6777, 台湾 886 02 2377 2222, チェコ 420 224 235 774,
中国 86 21 5050 9800, デンマーク 45 45 76 26 00,
ドイツ 49 89 7413130, トルコ 90 212 279 3031,
ニュージーランド 0800 553 322, ノルウェー 47 (0) 66 90 76 60,
フィンランド 358 (0) 9 725 72511, フランス 01 57 66 24 24,
ブラジル 55 11 3262 3599, ベルギー 32 (0) 2 757 0020,
ポーランド 48 22 328 90 10, ポルトガル 351 210 311 210,
マレーシア 1800 887710, 南アフリカ 27 0 11 805 8197,
メキシコ 01 800 010 0793, レバノン 961 (0) 1 33 28 28,
ロシア 7 495 783 6851

CVI、LabVIEW、National Instruments、NI、ni.com、National Instrumentsのコーポレート ロゴ及びイーグルロゴは、National Instruments Corporation の商標です。その他の National Instrumentsの商標については、ni.com/trademarks に掲載されている「 Trademark Information」をご覧下さい。The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. 本文書中に記載されたその他の 製品名および企業名は、それぞれの企業の商標または商号です。National Instrumentsの製品 / 技術を保護する特許については、ソフト ウェアで参照できる特許情報 (**ヘルプ→ 特許情報**)、メディアに含まれている patents.txt ファイル、または「 National Instruments Patent Notice」(ni.com/patents) のうち、該当するリソースから参照して ください。

© 2001–2011 National Instruments Corporation. All rights reserved .

370355H-01 2011 年 2 月

Artisan Technology Group - Quality Instrumentation ... Guaranteed | (888) 88-SOURCE | www.artisantg.com

Artisan Technology Group is an independent supplier of quality pre-owned equipment

Gold-standard solutions

Extend the life of your critical industrial, commercial, and military systems with our superior service and support.

We buy equipment

Planning to upgrade your current equipment? Have surplus equipment taking up shelf space? We'll give it a new home.

Learn more!

Visit us at **artisantg.com** for more info on price quotes, drivers, technical specifications, manuals, and documentation.

Artisan Scientific Corporation dba Artisan Technology Group is not an affiliate, representative, or authorized distributor for any manufacturer listed herein.

We're here to make your life easier. How can we help you today?

(217) 352-9330 | sales@artisantg.com | artisantg.com

ARTISAN® TECHNOLOGY GROUP