

# AFC-500

---

**Низкочастотный измеритель АЧХ  
с интерфейсом USB**



## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- *рабочий диапазон частот – 10...500000 Гц*
- *амплитуда выходного сигнала генератора – до 10 В*
- *минимальное сопротивление нагрузки генератора – 600 ом*
- *номинальный входной диапазон измерителя – 2.5 В ампл.*
- *усиление PGA измерителя – 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100*
- *входное сопротивление измерителя – 1 Мом*
- *совместимость с ОС – Windows 98/ME/2000/XP*
- *тип интерфейса – USB (с гальванической развязкой)*
- *питание – сеть 220 В*
- *габариты – 150 x 130 x 50 мм*
- *вес – 0.4 кг*

## НАЗНАЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА

Низкочастотный измеритель АЧХ AFC-500 предназначен для исследования амплитудно-частотных характеристик электрических и электромеханических устройств. Он может применяться для измерения механических параметров образцов, исследования воздействия вибрации, научных исследований, а также для регулировки и ремонта электронной аппаратуры. Интерфейс USB позволяет подключать устройство как к настольным, так и к портативным компьютерам. Вместе с измерителем АЧХ поставляется библиотека в виде DLL, которая содержит все необходимые для управления устройством функции, а также тестовое ПО. Функции DLL могут быть использованы из среды LabVIEW.

## ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА

Устройство состоит из генератора синусоидального сигнала и измерителя эффективного значения переменного напряжения.

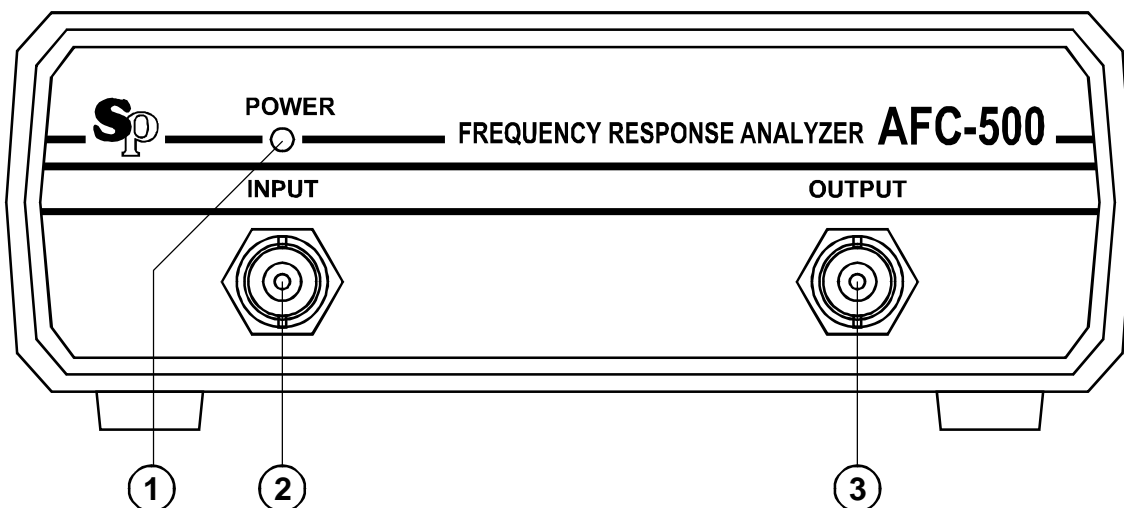
Генераторная часть устройства построена на основе интегрального DDS типа AD9835 фирмы «Analog Devices». DDS позволяет генерировать синусоидальный сигнал в диапазоне частот 10...500000 Гц с шагом перестройки частоты около 0.004 Гц. Выходной сигнал DDS подвергается низкочастотной фильтрации с помощью активного фильтра Баттерворта 4-го порядка. С выхода фильтра сигнал поступает на цифровой аттенюатор, в качестве которого используется умножающий ЦАП типа AD5452 фирмы «Analog Devices». Аттенюатор позволяет регулировать амплитуду выходного сигнала в диапазоне 0...10 В с шагом около 0.003 В. С выхода аттенюатора сигнал поступает на буферный усилитель, который обеспечивает работу на нагрузку до 600 ом.

Измерительная часть устройства содержит усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA), выпрямитель, ФНЧ и АЦП. Усилитель имеет входное сопротивление 1 Мом, коэффициент усиления может принимать одно из следующих значений: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100. При единичном усилении полная шкала измерителя соответствует эффективному значению входного синусоидального сигнала 2.5 В. С выхода программируемого усилителя сигнал поступает на двухполупериодный выпрямитель эффективного значения. Выходной сигнал выпрямителя поступает на активный ФНЧ Баттерворта 4-го порядка. Отфильтрованный сигнал поступает на 14-разрядный АЦП типа AD7894 фирмы «Analog Devices». При работе на низких частотах пульсации сигнала могут быть дополнительно сглажены цифровым фильтром, который реализован программно в управляющем микроконтроллере.

Управление устройством осуществляет микроконтроллер ATmega8 фирмы «Atmel». Он также обеспечивает связь с компьютером по интерфейсу USB. Интерфейс имеет гальваническую развязку. Для обмена используется протокол WAKE.

Питание устройства осуществляется от встроенного сетевого источника питания. Конструктивно устройство выполнено в пластмассовом корпусе размером 150 x 130 x 50 мм.

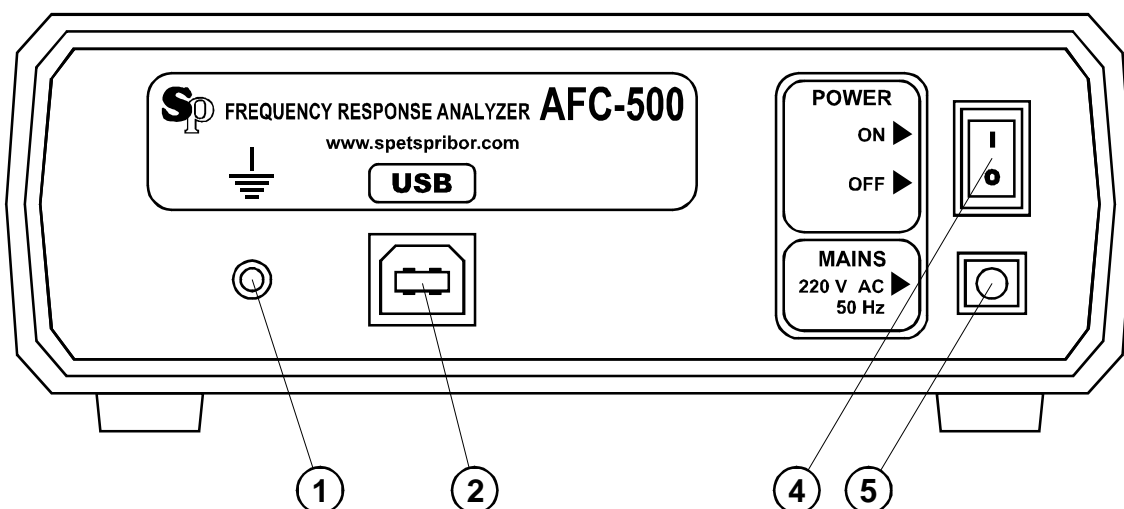
На передней панели устройства размещен светодиод индикации включения питания, а также входной и выходной разъемы типа BNC. Внешний вид передней панели устройства показан на рис. 1.



**Рис. 1. Внешний вид передней панели измерителя АЧХ AFC-500.**

*1 – светодиод индикации включения питания; 2 – входной разъем; 3 – выходной разъем.*

На задней панели размещен разъем USB, клемма заземления, выключатель питания и сетевой шнур. Внешний вид задней панели показан на рис. 2.



**Рис. 2. Внешний вид задней панели измерителя АЧХ AFC-500.**

*1 – разъем USB; 2 – клемма заземления; 3 – выключатель питания; 4 – сетевой шнур.*

## УСТАНОВКА ДРАЙВЕРА USB

Для нормального функционирования устройства должен быть установлен драйвер USB для микросхемы моста FT232BM. При первом подключении устройства появится сообщение Windows «Обнаружено новое устройство: USB <-> AFC-500», после чего нужно указать путь файла ftd2xx.inf, который находится в папке Driver поставляемого программного обеспечения.

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Вместе с измерителем АЧХ AFC-500 поставляется управляющая программа afc500.exe (работает под Win98SE/ME/NT/2000/XP). Программа позволяет в полном объеме осуществлять управление устройством, а также выводить на экран результаты измерения в графическом виде и записывать их в файл. Внешний вид основного окна управляющей программы показан на рис. 3.

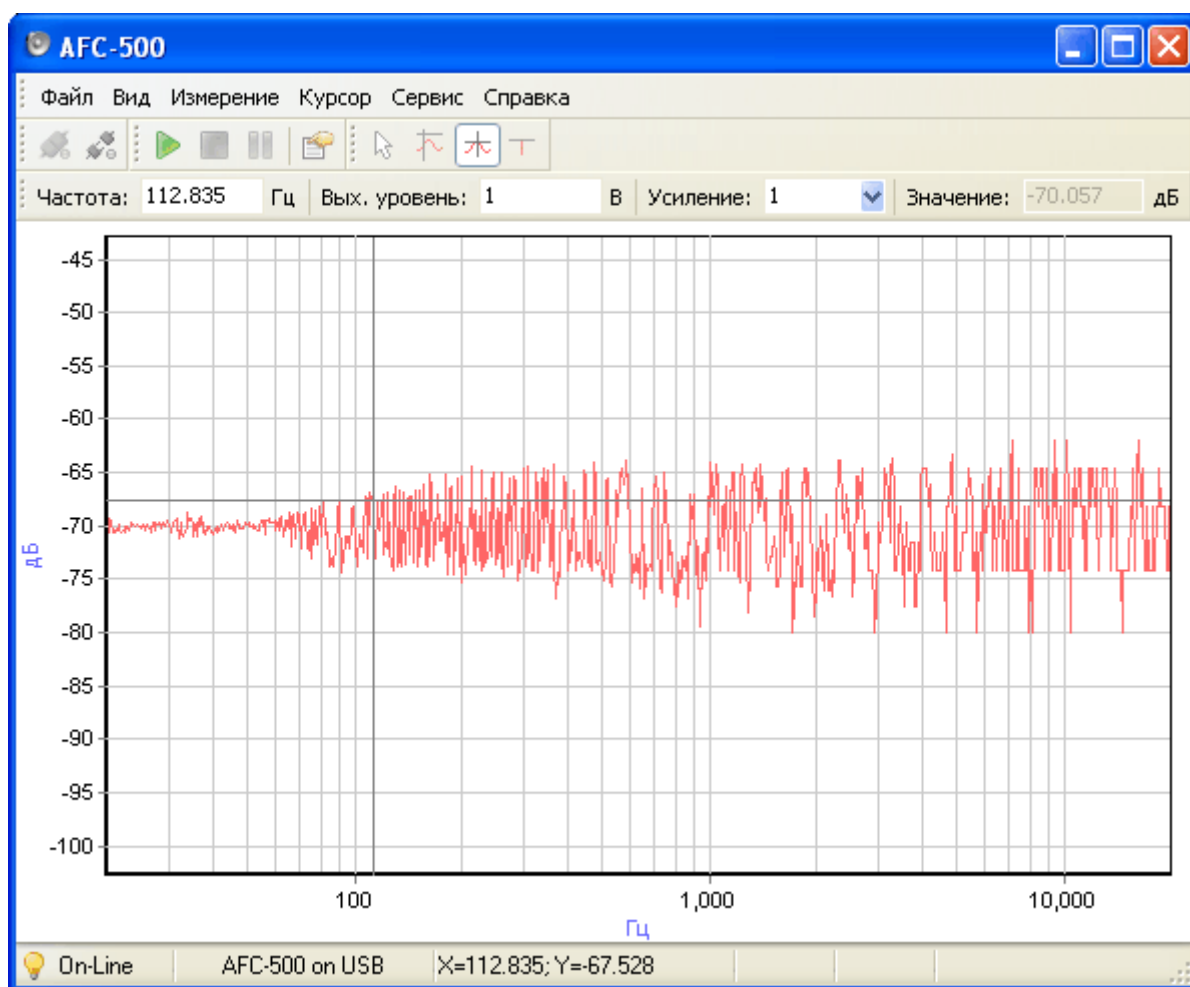


Рис. 3. Внешний вид основного окна управляющей программы.

Основное окно управляющей программы имеет главное меню, панели инструментов, поле графика и строку состояния.

Главное меню содержит пункты «Файл», «Вид», «Измерение», «Курсор», «Сервис», «Справка».

Пункт меню «Файл» позволяет подключиться к устройству, отключиться от него, экспортировать график в векторный графический формат EMF и выйти из программы.

Чтобы начать работать с измерителем, нужно подключить его к порту USB компьютера и включить питание. Затем нужно выполнить пункт меню «Подключиться». Если драйвер установлен корректно и оборудование работает правильно, устройство будет найдено, в строке состояния надпись «Off-Line» сменится надписью «On-Line» и появится надпись «AFC-500 on USB», которая представляет собой имя найденного устройства и тип порта, к которому оно подключено.

Пункт меню «Отключится» позволяет разорвать связь с устройством. Этот пункт выполняется автоматически при выходе из программы.

Пункты меню «Подключиться» и «Отключится» продублированы кнопками на панели инструментов «Стандартная».

Пункт меню «Вид» позволяет включить или выключить отображение каждой панели инструментов, строки состояния и всплывающих подсказок. Всего имеются четыре панели инструментов: «Стандартная», «Измерение», «Настройка измерений» и «Курсоры».

Пункт меню «Измерение» позволяет запустить измерение АЧХ (пункт «Старт»), прервать измерения (пункт «Стоп») или сделать паузу в измерении (пункт «Пауза»). Все пункты меню «Измерение» продублированы кнопками на панели инструментов «Измерение».

Пункт меню «Курсор» позволяет включить один из четырех курсоров: «Стандартный курсор», «Свободный курсор», «Курсор с привязкой к графику» и «Измерительный курсор». Все пункты меню «Курсор» продублированы кнопками на панели инструментов «Курсоры».

Стандартный курсор имеет вид стрелки, и его можно свободно перемещать по полю графика. Координаты курсора отображаются в строке состояния как значение частоты и уровня.

Свободный курсор имеет вид двух перпендикулярных линий, координата их пересечения отображается в строке состояния как значение частоты и уровня. Курсор можно свободно перемещать по вертикали и горизонтали. Этот курсор служит для визуального анализа измеренных АЧХ.

Курсор с привязкой выглядит точно так же, как и свободный курсор, только его горизонтальная линия всегда «привязана» к текущему графику. Поэтому курсор можно свободно перемещать только по горизонтали. Этот курсор позволяет просматривать значения уровня в любой точке графика.

Измерительный курсор имеет вид вертикального отрезка, который начинается на оси частот, а его высота равна измеренному значению. Курсор можно перемещать вправо и влево, перестраивая тем самым частоту генератора. Когда включен измерительный курсор, непрерывно производятся измерения. В то же время может отображаться измеренный ранее график, что позволяет визуально сравнить текущий уровень с любой точкой графика.

Пункт меню «Сервис» позволяет открыть окно настроек.

Пункт меню «Справка» содержит информацию о производителе.

Панель инструментов «Настройка измерений» содержит поле ввода частоты генератора «Частота», выходного уровня генератора «Вых. уровень», усиления PGA измерителя «Усиление». В поле «Значение» выводится измеренное значение в вольтах или децибелах. Эти поля ввода позволяют вручную управлять устройством, когда не

производится автоматическое измерение АЧХ. Ручную установку частоты и отображение измеренного значения также осуществляет измерительный курсор. Если запустить кнопкой «Старт» автоматическое измерение, то ручной ввод параметров запрещается.

В поле графика отображаются оси координат, координатная сетка, измеренная АЧХ в виде графика и один из курсоров.

Основные параметры измерения задаются в окне настроек. Внешний вид окна настроек управляющей программы показан на рис. 4.

The screenshot shows the 'Настройка' (Settings) dialog box with the following sections and parameters:

- Ось X**
  - Мин. частота по оси X, Гц: 20
  - Макс. частота по оси X, Гц: 20000
  - Логарифмическая ось X
  - Сетка на ось X
- Ось Y**
  - Мин. значение по оси Y: -80
  - Макс. значение по оси Y: 20
  - дБ    Уровень 0 дБ: 0.775    Размерность: В    К: 1
  - Сетка на ось Y
- Измерение**
  - Сканировать весь диапазон
  - Мин. частота сканирования, Гц: 20    Макс. частота сканирования, Гц: 20000
  - Шаг по координатным точкам    Шаг частоты, Гц: 1
  - Выключать генератор после измерения    Коэффициент уровня генератора: 1.41
- Скорость измерения**
  - Задержка, мс: 10    Длительность измерения, мс: 10
  - Адаптивная задержка     Адаптивная длительность
  - Мин. задержка, мс: 0.1    Мин. длительность измерения, мс: 0.1
  - Задержка, периодов: 1    Длительность измерения, периодов: 1
- Вывод результатов**
  - Запись в файл в процессе измерения
  - Обзор...
  - Использовать системный разделитель    Разделитель целой и дробной части: .
  - Округление: 3

Buttons: OK, Отмена

Рис. 4. Внешний вид окна настроек управляющей программы.

Группа «Ось X» позволяет задать пределы отображаемого диапазона частот в герцах, включить линейный или логарифмический масштаб по оси X и включить или выключить координатную сетку частот.

Группа «Ось Y» позволяет задать пределы отображаемого диапазона измеренных уровней в вольтах или децибелах, включить линейный (в вольтах) или логарифмический (в децибелах) масштаб оси Y, а также включить или выключить координатную сетку уровня сигнала. Кроме того, для режима отображения уровня в децибелах здесь задается уровень 0 dB в вольтах, относительно которого будет вычисляться значение в децибелах. Для режима отображения уровня в линейном масштабе в качестве единиц измерения можно использовать не только вольты, но и любые другие единицы, название которых пользователь может ввести в поле «Размерность». Для калибровки измерительного тракта служит калибровочный коэффициент «К». На этот коэффициент всегда умножается полученное с АЦП значение.

Группа «Измерение» позволяет задать для сканирования весь диапазон частот, представленный по оси X, или только часть этого диапазона. Если включено «Сканирование по координатным точкам», измерение проводится только на тех частотах, которые соответствуют отображаемым в данный момент на экране точкам графика. Иначе сканирование производится с заданным шагом частоты. Если выбран режим «Выключать генератор после сканирования», то по завершению снятия АЧХ на выходе генератора устанавливается нулевой уровень. Иначе генератор будет продолжать работать на той же частоте и с тем же уровнем, на котором проводилось измерение последней точки. Для калибровки генератора используется «Коэффициент уровня генератора». На этот коэффициент всегда умножается введенное пользователем значение уровня выходного сигнала перед загрузкой в ЦАП аттенюатора.

Группа «Скорость измерения» позволяет установить значение задержки между перестройкой генератора и началом измерения уровня сигнала (это время требуется для установления выходного напряжения детектора) и значение длительности измерения в миллисекундах. В течение этого времени циклически производится измерение на одной частоте генератора с периодом 0.1 мс, а результат усредняется. Для более эффективного подавления пульсаций на выходе детектора и одновременного ускорения измерений длительность измерения желательно устанавливать кратной целому числу периодов задаваемой частоты. Сделать это можно выбрав режимы «Адаптивная задержка» и «Адаптивная длительность». В этих режимах значения задержки и длительности задаются в периодах рабочей частоты. Дополнительно задаются минимальные значения в миллисекундах, которые будут вступать в силу на высоких частотах, когда длительность периода становится очень малой.

Группа «Вывод результатов» позволяет включить запись результатов в файл с заданным именем непосредственно во время измерения. Файл сохраняется в формате ASCII и содержит две колонки, первая представляет частоту, вторая – уровень. Разделителем колонок служит символ табуляции. Числа представлены в формате с плавающей запятой, в качестве разделителя целой и дробной части можно использовать как разделитель, принятый в операционной системе, так и определяемый пользователем. Изменение типа разделителя может потребоваться для успешного экспорта файла результатов в сторонние программы анализа. Количество знаков после запятой задается в поле «Округление».

## ОПИСАНИЕ КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ

Для связи устройства с компьютером (PC) используется интерфейс USB. Команды передаются в виде пакетов согласно протоколу WAKE. В настройках порта следует устанавливать скорость обмена 500 Кбод. Инициатором обмена всегда выступает PC. В ответ на каждую команду устройство передает пакет, который содержит тот же номер команды, а в качестве первого байта данных передается код ошибки (за исключением команд C\_Echo и C\_Info). Код ошибки 00h означает успешное выполнение команды. Любой отличный код – наличие ошибки (см. описание кодов ошибок). В поле данных каждой команды передаются параметры. Для разных команд число параметров может быть разным, есть команды, которые не имеют параметров вообще.

C\_Nop – нет операции. Используется для внутренних целей и никогда не передается в устройство или PC.

TX										RX									
CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
00h	0	-	-	-	-	-	-	-	-	00h	0	-	-	-	-	-	-	-	-

C\_Err – устройство передает эту команду в PC в качестве ответа на любую команду, если произошла ошибка приема пакета. Параметр Error Code для этой команды всегда равен Err\_Tx.

TX										RX									
CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
01h	0	-	-	-	-	-	-	-	-	01h	0	Error Code							

C\_Echo – команда запроса возврата пакета. Пакет может содержать до 32 байт произвольных данных. В ответ на эту команду устройство передает пакет в неизменном виде обратно. Команда используется для проверки связи с устройством.

TX										RX									
CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
02h	X	X	X	X	X	X	X	X	X	02h	X	X	X	X	X	X	X	X	X

C\_Info – запрос информации о названии устройства и версии встроенного программного обеспечения (firmware). В ответ передается пакет, содержащий 13 байт данных, которые представляют собой строку в коде ASCII: AFC-500 V1.0, где AFC-500 – название устройства, V1.0 – версия firmware 1.0. В качестве разделителей используются пробелы (код 20h). Строка заканчивается байтом 00h.

TX										RX									
CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
03h	X	X	X	X	X	X	X	X	X	03h	15	String: "AFC-500 V1.0", 00h							



C\_GetV – задание частоты и чтение измеренного значения.

TX										RX									
CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	CMD	N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
04h	11	Freq (byte 1)								04h	5	Error Code							
		Freq (byte 2)										Value (byte 1)							
		Freq (byte 3)										Value (byte 2)							
		Freq (byte 4)										Value (byte 3)							
		Ampl (byte 1)										Value (byte 4)							
		Ampl (byte 2)																	
		Gain																	
		Delay (byte 1)																	
		Delay (byte 2)																	
		Window (byte 2)																	
		Window (byte 2)																	

Параметр Freq задает частоту генератора. Частота задается с шагом 0.0037252902984619140625 Гц. Значение параметра вычисляется на основании желаемой частоты  $f$  [Гц] по формуле:  $\text{Freq} = 268.435456 * f$  [Гц]. Диапазон допустимых значений параметра составляет 2684...134217728, что соответствует значениям частоты 10...500000 Гц.

Параметр Ampl задает амплитуду выходного сигнала. Амплитуда задается с шагом 0.002442 В. Значение параметра вычисляется на основании желаемой амплитуды  $a$  [В] по формуле:  $\text{Ampl} = 409.5 * a$ . Диапазон допустимых значений параметра составляет 0...4095, что соответствует значениям амплитуды 0...10 В.

Параметр Gain определяет коэффициент усиления PGA. Параметр может принимать значения 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100. Эти значения соответствуют полной шкале измерителя 2.5 В, 1.25 В, 500 мВ, 250 мВ, 125 мВ, 50 мВ, 25 мВ соответственно.

Параметр Delay задает задержку от момента перестройки генератора до начала измерения. Задержка может потребоваться ввиду наличия процесса установления сигнала. Задержка задается с шагом 0.1 мс. Значение параметра вычисляется на основе желаемой задержки  $d$  [мс] по формуле:  $\text{Delay} = 10 * d$  [мс]. Диапазон допустимых значений параметра составляет 0...50000, что соответствует значениям задержки 0...5000.0 мс.

Параметр Window задает длительность окна цифрового фильтра при измерении сигнала. Чем больше длительность окна, тем эффективнее подавляются пульсации сигнала, но тем медленнее происходят измерения. Длительность задается с шагом 0.1 мс. Значение параметра вычисляется на основе желаемой длительности  $w$  [мс] по формуле:  $\text{Window} = 10 * w$  [мс]. Диапазон допустимых значений параметра составляет 1...50000, что соответствует значениям длительности окна 0.1...5000.0 мс.

При выполнении команды вначале устанавливается требуемая частота и амплитуда выходного сигнала генератора, затем включается требуемое усиление PGA измерителя. После этого начинает формироваться задержка, заданная параметром Delay. Как только задержка истекает, начинается процесс измерения, длительность которого задана параметром Window. В процессе измерения АЦП запускается каждые 0.1 мс, полученные значения суммируются. Когда процесс измерения завершается, команда возвращает ответ. Следует отметить, что после процесса измерения генератор устройства **не** отключается.

Если переданные параметры имеют допустимые значения, команда полностью выполняется и возвращает код ошибки Err\_No. Если же значение одного или нескольких параметров выходит за допустимые пределы, команда не выполняется и сразу возвращает код ошибки Err\_Pa.

В случае успешного выполнения команда возвращает измеренное значение Value в виде 4-х байтового целого числа без знака. Измеренное значение  $v$  [В] вычисляется на основе полученного значения Value и заданной длительности окна Window по формуле:  $v$  [В] = 0.0001526 \* Value / Window.

## КОДЫ ОШИБОК

В ответах на команды могут содержаться коды ошибок. Описание стандартных кодов ошибок протокола WAKE приведено ниже:

Name	Error Code	Название ошибки
Err_No	00h	Нормальное завершение команды
Err_Tx	01h	Неправильный пакет
Err_Bu	02h	Устройство занято
Err_Re	03h	Устройство не готово
Err_Pa	04h	Неправильные параметры