

## Функциональное описание ПО на блок BPPS-IF, на основе модуля DRM

Блок BPPS\_IF предназначен для исследования характеристик и параметров входных радиоимпульсных сигналов в диапазоне частот 1.1...1.6 ГГц, а также позволяет формировать различные виды радарных сигналов. Он может использоваться в системах радиотехнической разведки и/или при построении систем определения местоположения объектов по их радиоизлучению (в разностно-дальномерных, триангуляционных системах) и/или при построении радарных систем.

Один из основных режимов блока BPPS-IF-режим анализатора спектра, адаптированный к приему радиоимпульсных сигналов.

Вкладка **Spectrum** (все вкладки расположены внизу, справа монитора и часть из них расположена с правой стороны от области отображения графиков) – работа FTM в качестве анализатора спектра.

Два режима: **Spectrum Wide**

**Spectrum Narrow** (используется для повышения чувствительности системы и/или при наличии мешающих сигналов,)

В режиме **Spectrum Wide** на экране монитора отражается спектр в диапазоне частот от 1100 до 1600 МГц с разрешением по частоте 1 МГц.

В режиме **Spectrum Narrow** на экран монитора будут выводиться спектральные составляющие в полосе частот  $\pm 34$  МГц относительно заданной оператором центральной частоты с разрешением по частоте 130 кГц.

Переключение режимов **Spectrum Wide** и **Spectrum Narrow** осуществляется установкой флажка **Spectrum Wide / Spectrum Narrow** расположенного под графиком спектра (на мониторе).

Введение центральной частоты в узкополосном режиме осуществляется с помощью вкладки **Narrow band receiver**, в правой части окна программы и, далее, используйте окно **Frequency of adjustment** для ввода центральной частоты. Окно ввода **Width of band** позволяет выбрать предварительный фильтр из ряда 1,2,5,10,20,50 МГц. Сигнал с выхода этого фильтра далее подвергается быстрому преобразованию Фурье (БПФ) и результат этого преобразования отображается на экране монитора. См. рис.1 (когда активирована вкладка **Spectrum**). Как видно из рис. 1, сигнал, как в широкополосном режиме, так и в узкополосном режиме, поступает также и на амплитудный детектор. Сигнал с выхода детектора можно посмотреть на мониторе (вкладка Video Signal). Время отображения, по умолчанию, выбрано 120 мкс от переднего фронта стробирующего импульса. Стробирующий импульс – это импульс, который вырабатывается амплитудным детектором по переднему и заднему фронту радиоимпульса по алгоритму, представленному ниже. Обработывая стробирующий импульс, можно получить информацию о времени прихода радиоимпульса и его длительности, а также передний фронт стробирующего импульса инициирует взятие отсчетов для БПФ.

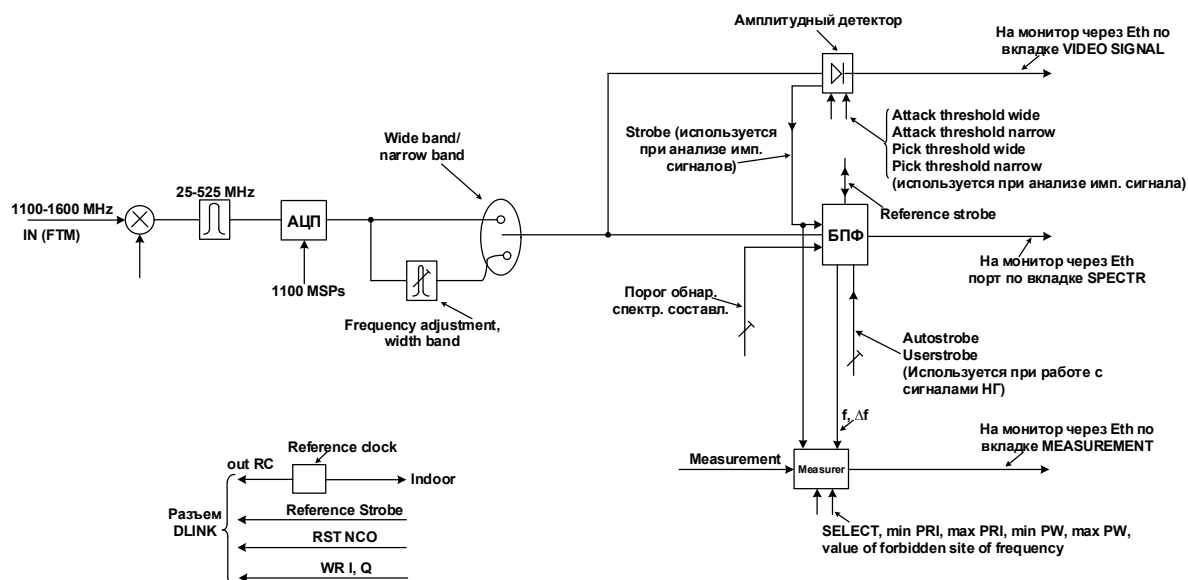


Рис.1 Блок BPPS-IF (master)

АЧХ указанных фильтров имеют характеристики близкие к гауссовским, что исключает паразитный «звон» фильтров по переднему и заднему фронтам входного радиоимпульса (которые приводят к появлению ложных стробирующих импульсов после детектирования). Следует иметь ввиду, что, например, при выборе фильтра с полосой прозрачности 50МГц основная энергия радиоимпульса на выходе этого фильтра будет сосредоточена в полосе 25МГц, а частотные составляющие в полосе от 25 до 50МГц, из-за гауссовской формы АЧХ будут уже существенно подавлены. При отстройке от центральной частоты на  $\pm 25$ МГц, уровень подавления в нашем примере составит -20дБ. С целью увеличения подавления нежелательных спектральных составляющих за полосой прозрачности фильтра, последовательно с фильтром Гаусса, всегда стоит фильтр Чебышева. Поэтому, можно считать, что уровень подавления за полосой прозрачности выбранного фильтра  $\sim 50$ дБ.

Справа от графика спектроанализатора имеется бегунок, изменение положение которого, по вертикальной оси, приводит к регулированию порога обнаружения анализатора спектра (отображаемого синей линией).

- Для спектрального анализа сигналов НГ (сигналов с непрерывной несущей) требуется на вкладке **Strobe** установить флажок **Auto strobe** или **User strobe**. В этом случае, при установленном флажке **auto strobe**, блок BPPS-IF начинает самостоятельно брать выборки из входного сигнала в течение 1мкс и периодом 100мкс в режиме **Spectrum Wide** и брать выборки в течение 7мкс с периодом 100мкс в режиме **Spectrum Narrow**. Если был установлен флажок **User strobe**, то выборка берётся однократно, по команде оператора нажатием кнопки **Do Strobe**.

- При работе с импульсными сигналами флажки **Auto strobe** и **User strobe** должны быть (оператором) сброшены. При этом, процедура взятия отсчётов для БПФ начинается в момент превышения входным сигналом, с выхода амплитудного детектора, (см. рис 1) установленного порога: **attack threshold** (по переднему фронту стробирующего сигнала). Задний фронт строба формируется по порогу – **pic threshold**. Таким образом, пороги **attack threshold** и **pic threshold** позволяют сформировать передний и задний фронты строб. сигнала (сигнал strobe, см.рис.1) из выходного сигнала амплитудного детектора. Этот строб. импульс, в дальнейшем, служит для измерения параметров импульсного

сигнала: времени прихода импульсов относительно секундной метки приёмника GPS, длительности импульсов и периода повторения. А так же, этот строб. импульс, поступает в блок БПФ и его передний фронт инициализирует взятие отсчетов для БПФ, что позволяет произвести измерение частоты и амплитуды несущей исследуемого радиоимпульса и занимаемую им полосу частот. Задний фронт строб. импульса формируется по порогу **pic threshold**. Для этого вычисляется усреднённое пиковое значение в импульсе на выходе амплитудного детектора и от него вычитается процент (например, 50%) от усреднённого пикового значения, который задается оператором (в окне **pic threshold**).

Пороги **attack threshold wide, pic threshold wide** – пороги для широкополосного режима работы; **attack threshold narrow, pic threshold narrow** – пороги для узкополосного режима.

Ручная, не автоматическая, установка указанных порогов используется для приёма сильно искажённых сигналов, когда амплитудные провалы в импульсе (за счет интерференции сигналов с разных направлений) могут достигать до 90%. Если анализируемый сигнал устойчивый и имеет правильную форму, то нажатием на кнопку **calibration of threshold** можно исключить установку порогов оператором, как в амплитудном детекторе, так и в анализаторе спектра. Эту работу выполнит автоматика. При этом будет осуществлена установка порогов в амплитудном детекторе в широкополосном режиме, затем в узкополосном режиме (на всех полосах – 1, 2, 5, 10, 20, 50 МГц) и, далее, будут установлены пороги обнаружения в анализаторе спектра в широкополосном, а затем в узкополосных режимах, также, при всех значениях входных фильтров.

Очевидно, что при автоматической установке указанных порогов, внешний приёмный тракт должен быть принудительно переключен с антенного тракта на согласованную нагрузку.

Таким образом, при анализе сигналов с НГ, на БПФ поступают стробирующие импульсы с периодом следования 100мкс формируемые внутренним генератором блока BPPS-IF. При анализе импульсных сигналов, стробирующие импульсы вырабатываются в амплитудном детекторе. По переднему фронту стробирующего импульса, блок БПФ в течение 1 мкс набирает 1024 отсчёта в широкополосном режиме и 512 отсчётов в узкополосном режиме, за время 7 мкс. Это даст разрешение в 1 МГц и 130 КГц соответственно для широкополосного и узкополосного режима, при анализе спектра.

Алгоритм БПФ выполняется, в блоке BPPS-IF, за время 15 мкс. Поэтому, если интервал следования между радиоимпульсами меньше чем 15 мкс, то у части радиоимпульсов не будут померены их несущие частоты (остальные параметры: длительности, периоды, время прихода, этой части импульсов, будут измерены). В указанном случае, чтобы исключить потери данных по частоте, следует перейти в узкополосный режим с одновременной выдачей данных по I,Q сигналам (работа по этим сигналам описана ниже). При этом, потерянные данные по частоте, этой части пропущенных радиоимпульсов, могут быть, в дальнейшем (в компьютере), полностью восстановлены.

Отметим, что описываемая работа программного обеспечения не позволяет одновременно функционировать широкополосному и узкополосному режиму, но такая возможность имеется.

С целью исключения «растекания» спектра в блоке БПФ, на входные отсчёты, накладывается окно Чебышева, которое по времени и длительности совпадает с

длительностью строб. импульса (при этом длительность окна Чебышева не может быть больше 1мкс для широкополосного режима и 7мкс для узкополосного режима. Например, если длительность строб. импульса больше 1мкс в широкополосном режиме, то отсчеты, свыше 1мкс, не используются). Входной сигнал, перед блоком БПФ, и взвешенный сигнал с наложенным окном Чебышева можно посмотреть, активировав вкладку **RF signal**. При этом возможно изменять положение окна относительно начала радиоимпульса, активировав вкладку **Delay**.

**Блок BPPS-IF ,в узкополосном режиме, позволяет вывести сигналы нулевой ПЧ в виде сигналов I,Q**, которые являются образом входного радиосигнала. По этим сигналам можно исследовать изменение текущей фазы в радиоимпульсе -вкладка **Phase** или вывести его огибающую - вкладка **Module**, или исследовать изменение частоты в радиоимпульсе ,вкладка **Freq**. При малых отношениях сигнал/шум принимаемого сигнала, имеется возможность отфильтровывать выводимое отображение фильтром скользящего среднего с длиной импульсной характеристики от 2-х до 250ти тапов. Для работы с сигналами I,Q необходимо активировать вкладку **Setting** и поставить флажок в окошке **I,Q**. Далее, выбрать один из режимов:

- **Single** - непрерывное взятие отсчетов I,Q в течение 200 мс по первому пришедшему фронту строб. импульса. Для этого, дополнительно, устанавливается флажок в окошке **White Strobe**.

- **Auto** - взятие отсчетов будет происходить по каждому фронту строб. импульса. Для этого случая, требуется задать количество отсчетов, которые надо брать по каждому фронту. Это количество задается в окошке – **Input Buffer** (задается кратность от количества 256-ти отсчетов).

По заполнению выходного буфера, **Output Buffer**, (задается кратность от количества 512 ти отсчетов – в режиме **Single** и кратность от количества 256 отсчетов ,в режиме **Auto**) отсчеты I,Q,будут переданы в компьютер.

Для вывода на монитор результата измерений по входным радиоимпульсным сигналам воспользуйтесь вкладкой **Measurement**. При этом будет выведена информация о времени прихода радиоимпульсов - **time**, их длительности **T имп.**, периоду **T**, частоте несущей - **Freq**, амплитуде несущей - **Level** и полосе частот - **Band**, занимаемой радиоимпульсом.

**Возможно, произвести селекцию** результатов измерений (блоком BPPS-IF). Для этого воспользуйтесь вкладкой **SELECT**. Блок BPPS-IF будет проводить измерения только тех импульсов, которые попадают в указанные оператором диапазоны по длительности (**minim PW,maxim PW**) и по периоду (**minim PRI, maxim PRI**). В окошке **value of forbidden site of frequency** указываются значения начальных и конечных частот, которые не подлежат измерению. Параметры радиоимпульсов, с указанными несущими частотами, не будут измерены.

**Вкладка GPS** позволяет увидеть количество обнаруженных спутников в окне **Detected satellites**. Также можно убедиться, что "спутниковая привязка" выдает на блок BPPS-IF, текущее время. При этом в окошке **mode**, будет установлен режим **2D** (количество обнаруженных спутников не менее 4-х). В случае если отсутствует соединение с приемной спутниковой антенной, то в окошке **mode** появится сообщение **off ant**. И,

наконец, если соединение со спутниковой антенной есть, а число обнаруженных спутников менее 4-х, то в окошке **mode** появится сообщение **pass**.

**Для организации совместной работы двух блоков BPPS-IF** (при определении пеленга фазовым методом в узкополосном режиме), один из двух блоков идет как **Master**, тогда второй блок - **Slave**. При этом, выход опорного генератора, **out rc**, блока **Master** должен быть соединен кабелем со входом опорного генератора **in rc** блока **Slave** (должны быть соединены разъемы DLINK блоков Master и Slave). Это обеспечит синфазность процессов в двух блоках (также, сигнал строб. импульса блока **Master** должен поступить в блок **Slave** и использоваться им. При этом собственный строб. импульс блока **Slave**, при совместной работе двух блоков, игнорируется; для реализации этого следует соединить одноименные разъемы двух блоков (**reference strobe**) кабелем (должны быть соединены разъемы DLINK блоков Master и Slave). К разъему DLINK также подводятся сигналы RST NCO – сброс внутреннего конвертера ППУ при узкополосной фильтрации и сигнал WR I, Q – это сигнал записи компонент I, Q в ОЗУ блоков Master и Slave. Эти сигналы необходимы для синхронизации работы двух блоков Master и Slave. Совместная работа двух блоков при измерении разности фаз осуществляется через отдельное ПО (FTM2x.exe), а управление калибратором осуществляется через браузер по IP 10.0.0.199

Для учета разности ГВЗ (группового времени задержки) в радиочастотных трактах двух блоков Master и Slave, перед самым измерением разности фаз между двумя сигналами, поступающих с антенн Ant 1 и Ant 2, производится калибровка с использованием калибратора FTM 2 (см. рис. 2). После того, как становится известной частота исследуемого сигнала на входах Ant (частота должна быть определена с погрешностью не хуже 1МГц), начинается калибровка (оператор вызывает по IP 10.0.0.199 панель управления калибратором и загружает данные об известной частоте в калибратор (FREQUENCY), который формирует две одинаковых радиоимпульсных последовательности. Оператор задает также период следования (RF PULSE PERIOD) и длительность (RF PULSE WIDTH) радиоимпульсов. А режим MODE –устанавливает в состояние PULSE. (Имеется также состояние CONTINUALLY). Т.к. на выход калибратора могут быть поданы либо исследуемые сигналы (разность фаз между которыми необходимо измерить), с выходов Ant1 и Ant2, либо сигналы для калибровки, то управление этим коммутатором осуществляется через закладку FT Mode.(Calibration /Work). Считая, что два сигнала на выходах RF 1 и RF 2 калибратора имеют одинаковую фазу и, вычисляя измеренную разность фаз блоками Master и Slave (для этого необходимо вызвать отдельное ПО для определения разности фаз), определяем ошибку, обусловленную разным временем ГВЗ блоков Master и Slave. Эта ошибка, поправка, в дальнейшем должна учитываться при измерении разности фаз между сигналами с Ant 1 и Ant 2 (см. рис.1, рис.2). Следует учесть, что при измерении разности фаз, калибровка должна проводиться не реже чем раз в 20 минут, из-за низкой фазовой стабильности соединительных кабелей. После калибровки, сигналы со входов Ant 1 и Ant 2 должны поступить на выходы RF 1 и RF 2. Блоки Master и Slave определяют разность фаз между этими сигналами с учетом поправки, полученной на этапе калибровки.

ПО для измерения разности фаз позволяет работать в режиме Single или в Auto. Окошки Output Buffer, Input Buffer, White Strobe - по аналогии, как в режиме вывода сигналов I,Q нулевой ПЧ. Окошки Frequency adjustment, Width band-частота настройки и

полоса частот приемника в узкополосном режиме. Значение частоты настройки «прописывается» равной частоте исследуемого сигнала.

Точность измерения разности фаз  $\pm 2$  град в диапазоне уровней входных сигналов на блоках BPPS-IF от 0 до минус 35 дБм (при полосе фильтра 50 МГц). Таким образом, нижний уровень сигнала при точности измерения разности фаз  $\pm 2$ град., должен быть на 20дБ выше чувствительности блока BPPS-IF (чувствительность BPPS-IF при полосе фильтра 50 МГц минус 55 дБм).

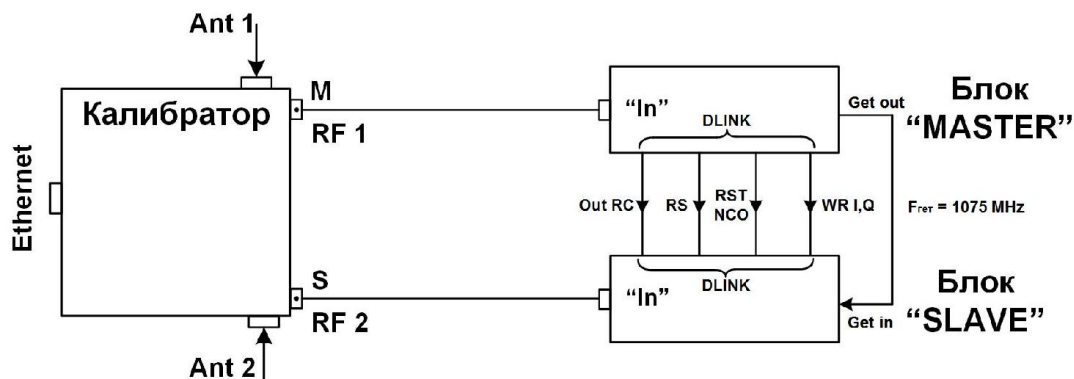


Рис. 1

Питание калибратора осуществляется по коаксиальному кабелю от субблока «MASTER». **Категорически запрещается выполнять подключение калибратора при включенном питании субблоков!** Ввод питания предусмотрен с обоих ВЧ разъёмов калибратора (для симметрии путей прохода сигнала). Для постоянства схемы измерения рекомендуем вход субблока «MASTER» всегда подключать к выходу калибратора «RF1». Функциональная схема калибратора показана на рис.2

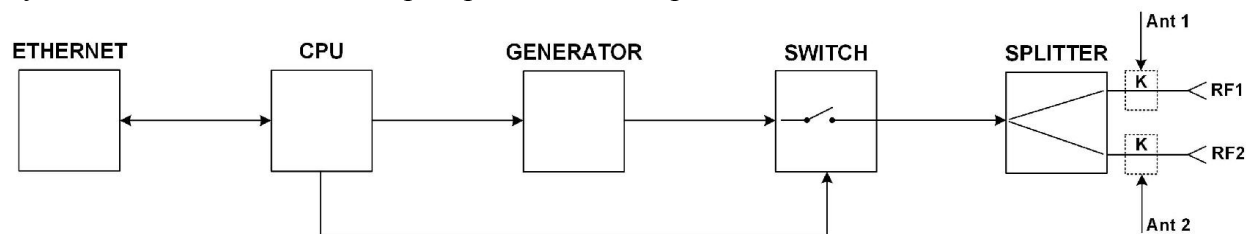


Рис.2

Калибратор формирует на выходах два одинаковых радиосигнала. Для управления параметрами сигнала нужно в браузере открыть сервер калибратора, IP- адрес которого по умолчанию 10.0.0.199. Можно изменять следующие параметры:

- 1). Частота настройки. Допустимые значения 1000...2000МГц.
- 2). Длительность радиоимпульса. Допустимые значения 10...10000мкс.

- 3). Период повторения радиоимпульсов. Допустимые значения 20...100000мкс.
- 4). Режим «continuity/pulse». В режиме «pulse» калибратор формирует радиоимпульсы с указанными параметрами. Это является рабочим режимом для калибровки. В режиме «continuity» калибратор формирует радиосигнал в режиме НГ. Это может потребоваться при подключении измерительных приборов на выход калибратора.

В качестве примера на рис.3 показана измеренная разность фаз при подаче с калибратора сигнала с параметрами:

Частота – 1200 МГц

Длительность радиоимпульсов – 10 мкс

На графике видна ошибка фазы примерно +49 градусов. Если в окошко под графиком ввести поправку -49 градусов то ошибка фазы будет компенсирована и это отобразится на графике. Введённое значение поправки в диапазоне -180...+180 градусов сохраняется в файле инициализации и будет использовано при дальнейших запусках программы.

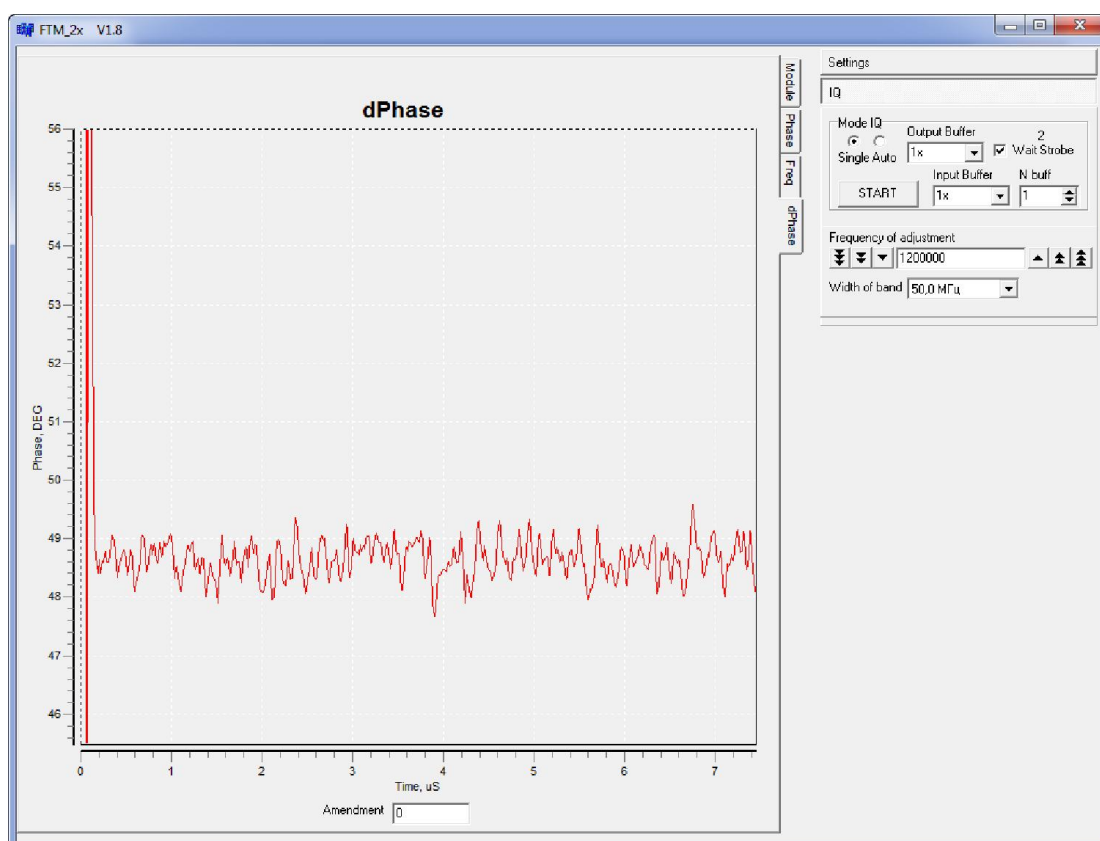


Рис.3

Для применения заводских настроек к параметрам интерфейса Ethernet и режимам работы нужно нажать и удерживать нажатой кнопку «RESET» до загорания светодиода. После этого кнопку можно отпустить.

Заводские настройки имеют следующие параметры:

IP - 10.0.0.199

Port - 80

Mask - 255.255.255.0

Шлюз - 10.0.0.1

Frequency - 1000MHz  
RF pulse width - 10uS  
RF pulse period - 20uS  
Mode (Pulse Mode) - Pulse

FTM Mode - Calibration

**Возможность формирования радарных сигналов, позволяет использовать блок BPPS-IF в радарных системах.** Для этого активируйте вкладку **Simulation**. Доступны следующие виды формирования модулированных сигналов через окно **Mode modulation**: **FMCW, SIN** – непрерывная частотная модуляция, модулирующий сигнал – синус; **FMCW, SAW normal** – непрерывная частотная модуляция, модулирующий сигнал – прямоугольный треугольник; **FMCW, SAW inverting** – непрерывная частотная модуляция, модулирующий сигнал – прямоугольный треугольник с инверсным наклоном; **FMCW, TRIANGLE** – непрерывная частотная модуляция, модулирующий сигнал – треугольник; **FMCW, SQUARE** - непрерывная частотная модуляция, модулирующий сигнал – меандр; **LFM, NORMAL** - импульсный ЛЧМ сигнал с „положительным“ наклоном частотной характеристики; **LFM, INVERTOR** - импульсный ЛЧМ сигнал с отрицательным наклоном частотной характеристики; **NLFM** - импульсный сигнал с нелинейной частотной модуляцией; **PM, CODE BARKER** - импульсный сигнал с фазовой манипуляцией кодом Баркера; **CW WITHOUT MODULATION** - сигнал НГ(непрерывная несущая); **PAM**-импульсный сигнал (АИМн)

Оператор может регулировать выходной уровень выбранного сигнала на выходе блока BPPS-IF, через окно **Attenuation**.

**При формировании импульсных радарных сигналов (LFM, NORMAL; LFM, INVERTING; PM, CODE BARKER; PAM),** следует учесть, что в блоке BPPS-IF имеется возможность формирования пачки импульсов с максимальным количеством импульсов в пачке - 1000 (минимальное количество-1). Количество импульсов в пачке устанавливается в окне **Quantity Pulse**. Для примера, положим, что количество импульсов в пачке 100.

Параметры каждого из этих импульсов : длительность импульса **PW**, интервал времени до следующего импульса **PRI**, частота несущей импульса **F (MHz)** – могут назначаться из заранее составленного списка формируемого в окне **SET VARIATION**, при этом, предварительно в окне **COUNT** указывается, что список состоит, например, из 16 позиции (это максимальное значение). Минимальное значение-1. Предположим, мы составили список из 8 позиций (в окне **COUNT** прописано число 8) и в каждой позиции оператор прописал значения **PRI, PW, F(MHz)**. Далее остается в окне **MASK MODE FOR VARIATION** по каждому из 100 импульсов прописать одну из 8 позиций (например, 1 импульс-2ая позиция, 2 импульс-8ая позиция, 3 импульс-1ая позиция ...). Таким образом, каждый импульс из 100 шт. в пачке, в нашем примере, может иметь одну из 16-ти возможных длительностей, излучаться на одной из 16-ти частот (в диапазоне 1100...1600 МГц) и интервал до следующего импульса, тоже может принимать одно из 16 значений, прописанных оператором.

Если в окне **CONTINUOUS GENERATION** не стоит флажок, то сформированная пачка импульсов будет формироваться каждую секунду по сигналу 1PPS GPS. В случае если



флажок стоит, то сформированная оператором пачка импульсов повторяется непрерывно. Окно **ANTENNA PERIOD ROTATION** позволяет произвести имитацию вращения антенны. При этом пачка импульсов может излучаться не по каждой секунде GPS, а с пропуском. Период повторения пачек импульсов в секундах указывается в окне **ANTENNA PERIOD ROTATION**

Окно **CODE BARKER**-позволяет установить код Баркера (2,3,4,5,7,11,13)

При формировании импульса **LFM** ,дополнительно, в окне **F DEVIATION**, устанавливается разница частот между верхней и нижней «мгновенной» частотой несущей, в кГц, в диапазоне от 1 до 50000кГц.

При формировании **NLFM** задается количество частотных секций **NUMBER SECTION NLFM** от 2-х до 250ти. Каждой секции прописывается своя частота. А длительность формирования каждой частотной секции определяется, внутри блока, путем деления заданной длительности радиоимпульса на количество частотных секций.