

Устройство синхронизации M-SYNC
Руководство по эксплуатации
ГЖКД.421413.001 РЭ

Инв. № подл.		Подп. и дата	
Подп. и дата		Взамен инв. №	
Инв. № дубл.		Подп. и дата	

1 Общие сведения об изделии

1.1 Назначение изделия

Устройство предназначено для синхронизации фаз входного сигнала 1PPS_IN, формируемого внешним источником (например, приемником ГНСС или стандартом частоты), и сигнала 1PPS_OUT формируемого путем деления частоты опорного генератора. Синхронизация фаз осуществляется путем плавной подстройки частоты опорного генератора, величина которой связана с текущей величиной задержки/опережения фазы по отношению к входному сигналу специальным алгоритмом. Устройство может работать как в режиме постоянной синхронизации опорного генератора по внешнему сигналу, так и в режиме периодического подключения внешнего источника (например, в целях калибровки опорного генератора).

Изделие выпускается в 2х вариантах исполнения:

- в варианте исполнения 1 на соответствующий вход устройства подается сигнал от внешнего опорного генератора (не входит в комплект поставки);
- в варианте исполнения 2 опорный генератор является частью конструкции устройства.

Основные области применения изделия:

- использование в составе времязадающей малогабаритной (в том числе, носимой) аппаратуры, распределенной в пространстве, части (или экземпляры) которой должны быть синхронизированы по частоте и времени (например, от одного общего локального источника 1PPS или от глобального – через ГНСС приемники).
- В качестве самостоятельного источника (исполнение 2) высокостабильного радиочастотного сигнала, непрерывная или периодическая калибровка которого осуществляется посредством сличения фаз (частот) с сигналом 1PPS_IN

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взамен инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ГЖКД.421413.001 РЭ	Лист
						3

1.2 Описание структуры изделия

Схема функционирования изделия показана на рисунке 1. ВЧ сигнал опорного генератора 10 МГц (или другая частота по согласованию) поступает на генератор сигнала 1PPS, который вырабатывает калибровочные импульсы 1PPS_cal заданной длительности и сигнал 1PPS_OUT. Детектор смещения фаз формирует вспомогательный сигнал равный по длительности разности фаз сигналов 1PPS_IN и 1PPS_OUT с добавлением длительности сигнала 1PPS_cal (примерно 1 мкс). Встроенный коммутатор попеременно переключает вспомогательный и калибровочный сигналы, поступающие на схему задержки и измерения длительности импульса. Для улучшения шумоподавления алгоритма, измеренные значения фильтруются при помощи экспоненциального фильтра и фильтра Калмана, как показано на рисунке 1. Отфильтрованные значения поступают на вход ПИД-регулятора, который формирует «слово» управления, передаваемое, в зависимости от варианта исполнения устройства, либо по интерфейсу UART|RS232 на совместимое устройство, либо по интерфейсу SPI на встроенный в устройство 20-битный ЦАП с целью корректировки частоты опорного генератора (рубидиевого или кварцевого).

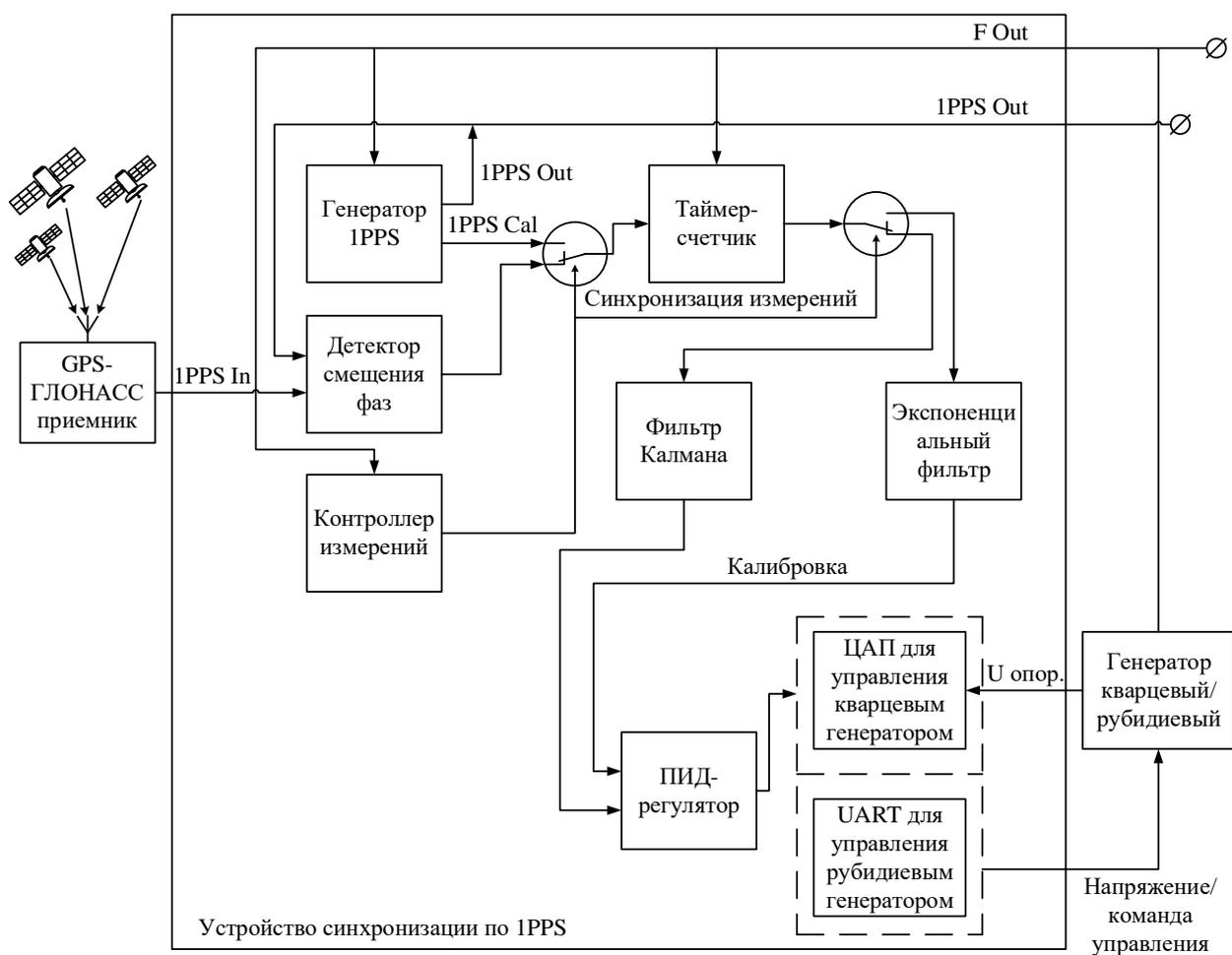


Рисунок 1. Схема функционирования изделия.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взамен инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Инд. № подл.	Инд. № дубл.

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

Для иллюстрации различия качества сигналов 1PPS_IN на рисунке 2 приведена типовая картина при синхронизации рубидиевого генератора FE-5650A от Cs стандарта частоты и от простого приёмника GPS.

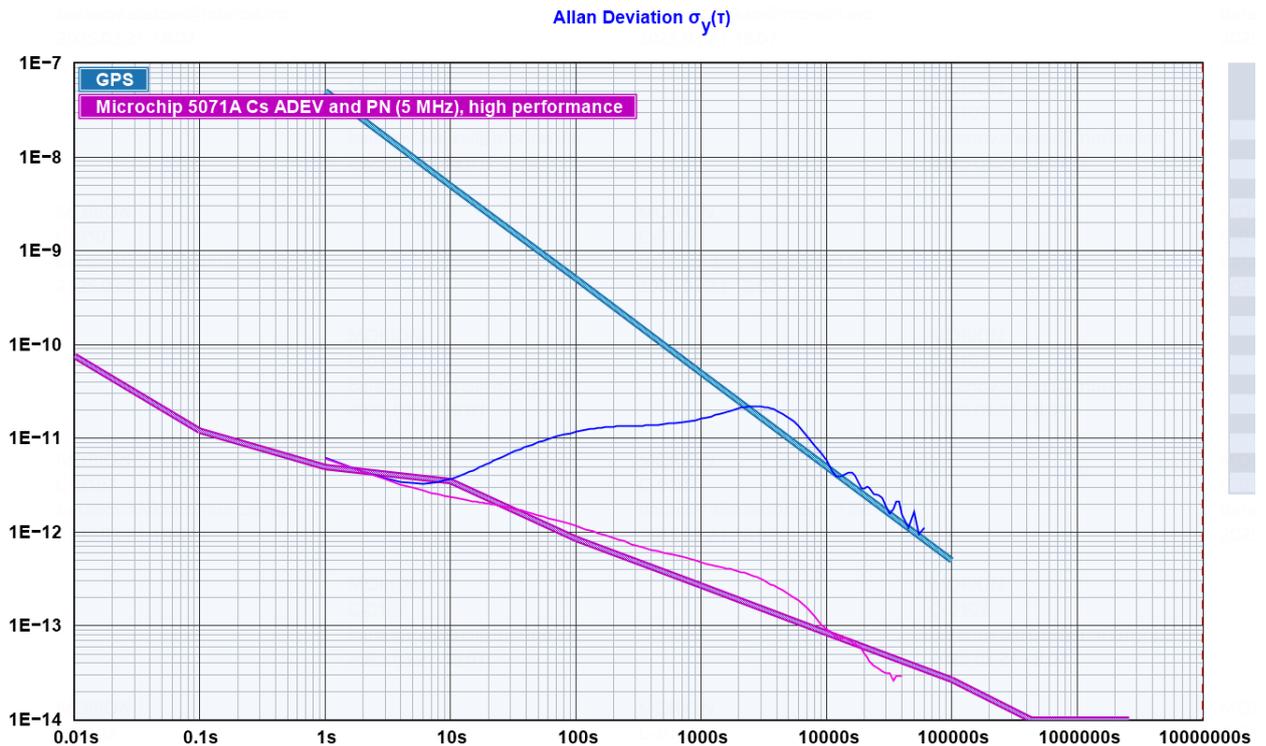


Рисунок 2. Типовая девиация Аллана рубидиевого стандарта частоты FE-5650A для 2х источников 1PPS сигнала разного качества

Рисунок 2 демонстрирует прямую зависимость качества синхронизации (сличения частот) от нестабильности сигнала 1PPS_IN. Качество синхронизации имеет принципиальное значение при решении задачи минимизации временной погрешности опорного генератора на заданном отрезке времени ($\Delta T(\tau)$) в режиме удержания (holdover), т.е. при отсутствии входного синхро-импульса или при его неудовлетворительном качестве.

$$\Delta T(\tau) = T_0 + \frac{\Delta f}{f} \tau + \frac{1}{2} A \tau^2 + \sigma_x(\tau) + \epsilon(\tau) \quad (1)$$

- T_0 – смещение фазы сигнала 1PPS_OUT относительно эталонного 1PPS_IN в момент перехода устройства в режим удержания;
- $\Delta f/f$ – смещение частоты сигнала 1PPS_OUT относительно эталонного 1PPS_IN в момент перехода устройства в режим удержания;
- 3-й член уравнения 1 отвечает за набег фазовой ошибки, связанной с долговременным дрейфом частоты опорного генератора

Инд. № подл.	
Подп. и дата	
Взамен инв. №	
Инд. № дубл.	
Подп. и дата	

- 4-й член уравнения 1 связан со случайными «блужданиями» фазы сигнала 1PPS_OUT (не оказывают влияния на временную погрешность в долговременной перспективе)
- 5-й член уравнения 1 связан с флуктуациями параметров окружения изделия (температура, магнитное поле, ориентация, вибрация и т.д.)

Из рисунка 2 следует, что на интервале времени измерения 3000 секунд среднеквадратическое двухвыборочное отклонение сигнала 1PPS_OUT, в случае привязки к ГНСС, имело значение порядка $2E-11$. Если переход в режим удержания произошел бы в момент времени, при котором отклонение частоты сигнала 1PPS_OUT соответствовало $2E-11$, то временная ошибка, накопленная за первые сутки, составила бы 1.7 мкс, что вдвое превышает временную ошибку, связанную с дрейфом частоты рубидиевого генератора, определяемую как $2E-11$ /сутки. При этом, для современного термостатированного кварцевого генератора дрейф частоты, в среднем, составляет порядка $2E-10$ /сутки, поэтому для такого типа опорного генератора фазовая и частотная ошибка при переходе в режим удержания имеет меньший вес. M-SYNC предназначен для минимизации ошибки сличения частот и фаз при переходе в режиме удержания, уменьшая тем самым накопленную фазовую ошибку в этом режиме в течение времени.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ГЖКД.421413.001 РЭ					Лист
										6
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

1.3 Конструкция изделия и подключение к внешним цепям

Исполнение 1

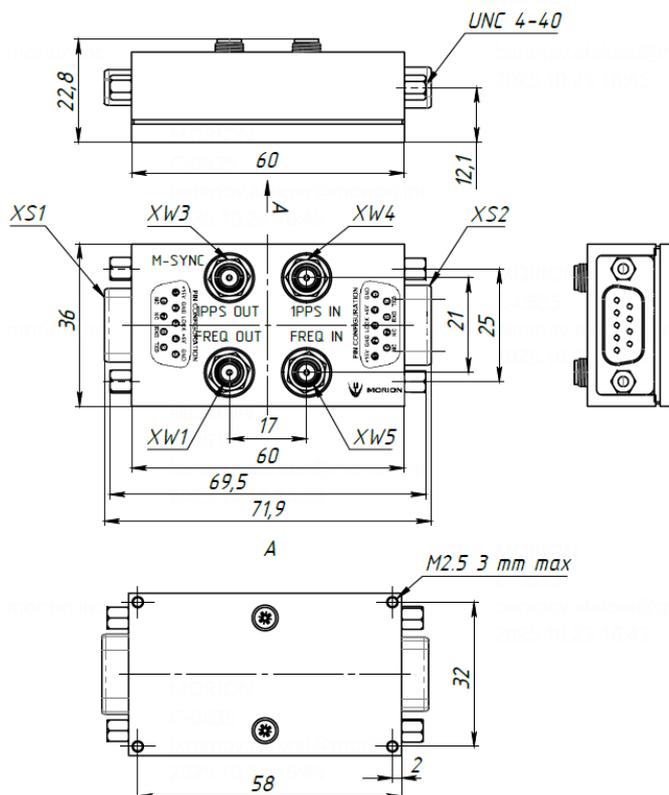


Рисунок 3. Чертеж внешнего вида для варианта исполнения 1

Таблица 1. Назначение контактов разъема XS1 (подключение к источнику питания и ПК)

Номер вывода	Назначение	
	XS1 (подключение к источнику питания и ПК)	XS2 (подключение к опорному генератору)
1	U _{пит}	U _{пит}
2	Общий (земля)	Общий (земля)
3	Не используется. Соединен с XS2 вывод 3.	Не используется. Соединен с XS1 вывод 3.
4	Не используется. Соединен с XS2 вывод 4.	Не используется. Соединен с XS1 вывод 4.
5	Общий (земля)	Общий (земля)
6	Не используется. Соединен с XS1 вывод 6.	Не используется. Соединен с XS1 вывод 6.
7	Не используется	Не используется
8	RX RS232	TX RS232
9	TX RS232	RX RS232

Таблица 2. Назначение ВЧ разъемов

XW1 – Выход РЧ сигнала (соединен с XW5)
XW3 – Выход сигнала 1PPS_OUT
XW4 – Вход сигнала 1PPS_IN
XW5 – Вход РЧ сигнала (соединен с XW1)

Ив. № подл.	Подп. и дата
Взамен ив. №	Ив. № дубл.

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ГЖКД.421413.001 РЭ	Лист
						7

2 Алгоритм функционирования изделия

2.1 Последовательность запуска устройства

Таблица 5. Алгоритм включения

№ этапа	Содержание действия	Когда применяется
1	После подачи питания загрузчик ожидает обновления внутреннего ПО в течение 10 секунд. (ПО обновляется по согласованию с заводом-изготовителем)	Только при включении
2	Установка управляющего напряжения (канал ЦАП) в середину диапазона (значение, установленное командой 54 при производстве) изменения опорного напряжения	Только при включении
3	После запуска основной программы и инициализации периферии устанавливается задержка перед запуском выходного 1PPS_OUT сигнала и началом анализа входного 1PPS_IN сигнала (независимо от его наличия). Заводское значение задержки составляет 30с и может быть изменено командой 53 (Таблица 7).	Только при включении
4	По истечении времени задержки и при появлении входного 1PPS_IN сигнала выполняется измерение его периода. Анализ входного сигнала включает измерение длительности периода T сигнала 1PPS_IN и его нестабильности dT , где $dT_k = T_k - T_{k-1}$. Для начала синхронизации необходимо, чтобы на протяжении 60 измерений (подряд) сигнал 1PPS_IN имел период $T = 1с \pm 500нс$ и был стабилен. Сигнал считается стабильным, если модуль усредненного значения dT не превышает 17нс (т.е. в среднем, $dT = \pm 1,7 нс/с$ или (для сигнала 10 МГц), в относительном изменении частоты $\approx \pm 1.7E-9/с$). Оценка нестабильности dT осуществляется по скользящему среднему по 30 точкам, поэтому до начала анализа сигнала в течение 30с осуществляется заполнение буфера. До появления удовлетворительного сигнала 1PPS_IN устройство работает с учетом последней корректировки частоты.	При включении устройства и при потере сигнала 1PPS_IN на 16 и более секунд подряд
5	Одновременно с анализом сигнала 1PPS_IN выполняется усреднение его периода по 60 измерениям. В момент появления удовлетворительного сигнала по среднему значению T вычисляется поправка частоты опорного генератора, необходимая для установки ее в номинальное значение.	При включении устройства и, в случае отсутствия установленного флага «синхронизирован» за время последней сессии.
6	Если абсолютное значение задержки между фронтами сигналов 1PPS_IN (после его отсутствия более 16 секунд), и 1PPS_OUT превышает 500 нс, то формирование сигнала 1PPS_OUT прекращается и немедленно запускается одновременно со следующим фронтом сигнала 1PPS_IN, тем самым синхронизируя фазы сигналов 1PPS_IN и 1PPS_OUT. В иных случаях, формирование сигнала 1PPS_OUT не прекращается.	При включении и в процессе работы

Ив. № подл.	Подп. и дата
Взамен ив. №	Ив. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

2.2 Синхронизация фазы устройства

Таблица 6. Алгоритм функционирования в режиме синхронизации

№ этапа	Содержание действия
1	После совмещения фаз сигналов 1PPS_IN и 1PPS_OUT выполняется их синхронизация при помощи ПИД-регулятора. Для быстрого совмещения фаз и частот на первом этапе синхронизации используется набор коэффициентов грубой подстройки частоты ПИД-регулятора. Во время этой фазы регулировки флаг Lock установлен в 0 (команда 30).
2	Если на протяжении 1000с (поряд) разность фаз 1PPS_IN и 1PPS_OUT не превышает 70нс, устройство применяет один из двух наборов коэффициентов тонкой подстройки частоты. Флаг Lock устанавливается в 1. Выбор набора зависит от стабильности источника сигнала 1PPS_IN. Оценка стабильности выполняется по усредненному значению изменения фазы 1PPS_IN по 20 измерениям. Если усредненное значение более 1.5нс (характерно для сигнала 1PPS_IN полученного от приемника GPS) применяется набор, обеспечивающий плавную подстройку частоты и минимизирующий влияние шума. В противном случае (характерно для 1PPS_IN полученного от стандарта частоты) применяется набор, обеспечивающий точную подстройку фазы.
3	Переход к коэффициентам грубой подстройки осуществляется при отключении 1PPS_IN на 16с либо, если в течение 1000с (поряд) разность фаз 1PPS_IN и 1PPS_OUT превышает 70нс

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ГЖКД.421413.001 РЭ					Лист
										10
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

3 Описание протокола команд управления

Настройки интерфейса:

- скорость передачи данных, 9600 бит/с;
- длина пакета, 8 бит;
- без проверки на четность;
- один стоповый бит.

При получении сообщения от ПК (разъем XS1) устройство выполняет анализ состава сообщения. Наличие последовательности ASCII-символов «?PAR:» в начале принятого сообщения инициирует дальнейшую проверку на соответствие составу и формату команд из приведенной ниже таблицы. При положительной проверке полученная команда выполняется, в противном случае, формируется сообщение об ошибке «WRONG COMMAND».

В варианте исполнения 1 при получении сообщения без последовательности «?PAR:» (любой команды, несовместимой с собственным протоколом) устройство выполняет сквозную ретрансляцию запроса подключенному генератору (разъем XS2). Кроме того, полученные от генератора сообщения перенаправляются в ПК, за исключением ответов, получаемых на команды управления, сформированные устройством в процессе его функционирования.

Для управления устройством синхронизации по 1PPS используется ASCII-протокол, команды которого представлены в таблице.

Примечание. Только для варианта исполнения 1

При включении устройство синхронизации по 1PPS отправляет запрос подключенному генератору по протоколу RS232, определяющий его тип для выбора протокола взаимодействия. В устройстве реализованы бинарный (для генераторов FE-5650A/FE-5680A кроме опции 35) и ASCII (для генераторов RFS-M102) протоколы. Следом за выбором протокола выполняется считывание текущей подстройки частоты генератора для учета ее в алгоритме синхронизации.

Внимание! Все команды записи сохраняют значения в ОЗУ. Если требуется запись в ПЗУ, то следует однократно воспользоваться командой 04. Число циклов перезаписи ограничено 10 000.

После записи в ПЗУ автоматически выполняется программный перезапуск устройства, поэтому рекомендуется пользоваться этой функцией или в начале работы с устройством или при окончании работы с ним, так как при перезапуске фаза сигнала 1PPS_OUT носит произвольный характер до сличения с входным 1PPS_IN.

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Ив. № дубл.	Подп. и дата	Ив. № подл.	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ГЖКД.421413.001 РЭ	Лист
													11

Таблица 7 – Перечень команд, поддерживаемых изделием.

№	Название команды	Тип	Запрос от ПК	Ответ от устройства	Описание
01	Номер устройства	Чтение	?PAR:01?<CR/LF>	?PAR:01:***<CR/LF>	Команды чтения номера устройства
02	Версия ПО	Чтение	?PAR:02?<CR/LF>	?PAR:02:***<CR/LF>	Команда чтения текущей версии ПО устройства
04	Сохранение настроек в ПЗУ	Служебная	?PAR:04?<CR/LF>	?PAR:OK<CR/LF>	Команда используется для сохранения в ПЗУ настроек, введенных пользователем
0C	Перезапуск устройства	Служебная	?PAR:0C?	-	Команда выполняет программный перезапуск устройства
16	Смещение фазы	Запись	?PAR:16:YYYYYYY Y<CR/LF>	?PAR:OK<CR/LF>	Команды записи и чтения программного смещения фазы 1PPS_IN относительно 1PPS_OUT. Диапазон установки смещения ±50нс с шагом 1нс. При значении смещения 0 устройство стремится установить и удерживать фронты 1PPS_IN и 1PPS_OUT с нулевой задержкой. При положительном значении 1PPS_OUT опережает 1PPS_IN. При отрицательном – 1PPS_IN опережает 1PPS_OUT.
		Чтение	?PAR:16?<CR/LF>	?PAR:16:YYYYYYY <CR/LF>	
30	Флаг Lock	Чтение	?PAR:30?<CR/LF>	?PAR:30:000000X<CR/LF>	Флаг устанавливается в 1, если в течение 1000с модуль фазы между входным и выходным 1PPS не превышает уровня, установленного при производстве. В противном случае, флаг равен 0. С установкой флага осуществляется переход к коэффициентам тонкой настройки.
32	Текущее «слово» корректировки частоты опорного генератора	Чтение	?PAR:32?<CR/LF>	?PAR:32:XXXXXXXXX<CR/LF>	Команда возвращает значение текущего «слова», корректирующего частоту опорного генератора.
37	Температура микроконтроллера устройства	Чтение	?PAR:37?<CR/LF>	?PAR:37:YYYYYYY<CR/LF>	Чтение значения температуры микроконтроллера в °C, умноженного на 100.
41	Синхронизация с входным 1PPS сигналом	Запись	?PAR:41:000000X<CR/LF>	?PAR:OK<CR/LF>	Команды включения/ выключения состояния синхронизации с внешним сигналом 1PPS. X = 1 – синхронизация включена, X = 0 – синхронизация выключена. Отключение действует до перезагрузки устройства.
50	Режим формирования длительности импульса сигнала 1PPS_OUT	Запись	?PAR:50: 000000X<CR/LF>	?PAR:OK<CR/LF>	Команда выбора режима формирования длительности импульса сигнала 1PPS_OUT. X = 0 – длина импульса до 20мс, X = 1 – длина импульса от 50мс до 200мс. Значение по умолчанию X = 1.
		Чтение	?PAR:50?<CR/LF>	?PAR:50:000000X<CR/LF>	
51	Команда задания длительности импульса сигнала 1PPS_OUT	Запись	?PAR:51: 000000X<CR/LF>	?PAR:OK<CR/LF>	Команда установки и чтения длительности импульса сигнала 1PPS_OUT в диапазоне от 50мс до 200мс с шагом 50мс. 1 бит соответствует 50мс. Значение по умолчанию 100мс.
		Чтение	?PAR:51?<CR/LF>	?PAR:51:000000X<CR/LF>	
52	Команда задания длительности импульса сигнала 1PPS_OUT	Запись	?PAR:52: 0000XXXX<CR/LF>	?PAR:OK<CR/LF>	Команда установки и чтения длительности импульса сигнала 1PPS_OUT в диапазоне от 1мкс±50нс до 20±1мс шагом 1мкс±50нс. 1 бит соответствует 1мкс±50нс. Данный параметр зависит от номинальной частоты. Значение по умолчанию 20мкс будет активно при установке X = 0 командой 50.
		Чтение	?PAR:52?<CR/LF>	?PAR:52:000000X<CR/LF>	
53	Задержка включения	Запись	?PAR:53:XXXXXXXXX<CR/LF>	?PAR:OK<CR/LF>	Команда установки и чтения длительности задержки с момента запуска основной программы до начала формирования сигнала 1PPS_OUT в диапазоне 0с – 300с с дискретностью 1с. (По умолчанию – 30с)
		Чтение	?PAR:53?<CR/LF>	?PAR:53:00000XXX<CR/LF>	
54	Стартовая корректировка частоты	Запись	?PAR:54:000XXXXX<CR/LF>	?PAR:OK<CR/LF>	Команда установки стартовой корректировки опорной частоты генератора для приборов в исполнении 2. Диапазон от 0 до 0xFFFFF. Заводская стартовая корректировка опорного генератора устанавливает его в середину диапазона управляющего напряжения генератора. В качестве стартового значения может быть использовано текущее «слово» корректировки частоты опорного генератора, считанное командой 32.
		Чтение	?PAR:54?<CR/LF>	?PAR:54:000XXXXX<CR/LF>	

Примечание – в командах все числа являются целыми положительными 32-битными числами, представленными в шестнадцатеричном виде и записанными восьмью ASCII-символами; числа вида XXXXXXXX и 0000000X положительные. Числа вида YYYYYYYY могут принимать отрицательные значения. Такие значения следует записывать по правилам формирования дополнительного кода.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

ГЖКД.421413.001 РЭ

Лист
12

Изм Лист № докум Подпись Дата

