

# МСЭ-Т

# G.8272/Y.1367

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

(01/2015)

СЕРИЯ G: СИСТЕМА И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,  
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Аспекты передачи пакетов по транспортным сетям –  
Планируемые показатели синхронизации, качества  
и готовности

СЕРИЯ Y: ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ  
ИНФРАСТРУКТУРА, АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА  
ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

Аспекты Интернет-протокола — Транспортирование

**Характеристики хронирования первичных  
эталонных тактовых генераторов**

Рекомендация МСЭ-Т G.8272/Y.1367

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G  
**СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ**

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЧ-СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	G.600–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ	G.8000–G.8999
Ethernet и аспекты транспортирования сообщений	G.8000–G.8099
MPLS и аспекты транспортирования сообщений	G.8100–G.8199
<b>Планируемые показатели синхронизации, качества и готовности</b>	<b>G.8200–G.8299</b>
Управление услугами	G.8600–G.8699
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

*Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.*

## Характеристики хронирования первичных эталонных тактовых генераторов

### Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.8272/Y.1367 определяются требования к первичным эталонным тактовым генераторам (PRTC), пригодным для временной, фазовой и частотной синхронизации в сетях с передачей пакетов. Определяется ошибка, допустимая в выходном значении времени PRTC.

Данные требования применяются при нормальных условиях окружающей среды, определенных для оборудования.

### Хронологическая справка

Изда- ние	Рекомендация	Утверждено	Исследо- вательская комиссия	Unique ID*
1.0	МСЭ-Т G.8272/Y.1367	2012-10-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11817">11.1002/1000/11817</a>
1.1	МСЭ-Т G.8272/Y.1367 (2012) Попр. 1	2013-08-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12013">11.1002/1000/12013</a>
2.0	МСЭ-Т G.8272/Y.1367	2015-01-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12393">11.1002/1000/12393</a>

\* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL: <http://handle.itu.int/>, после которого следует уникальный идентификатор Рекомендации. Например, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

## ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы.

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2015

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## Содержание

	Стр.
1 Сфера применения .....	1
2 Справочные документы .....	1
3 Определения .....	2
3.1 Термины, определенные в других документах.....	2
3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации .....	2
4 Аббревиатуры и сокращения .....	2
5 Условные обозначения .....	2
6 Погрешность отсчета времени, дрейф и дрожание в синхронном режиме .....	2
6.1 Погрешность отсчета времени в синхронном режиме .....	3
6.2 Дрейф в синхронном режиме .....	3
6.3 Дрожание.....	5
7 Режим удержания.....	5
8 Разрыв фазы .....	5
9 Интерфейсы .....	5
9.1 Фазовые и временные интерфейсы.....	5
9.2 Частотные интерфейсы .....	6
Дополнение I – Измерение функциональных характеристик генератора PRTC или PRTC, совмещенного с T-GM .....	7
I.1 Факторы, влияющие на функциональные характеристики PRTC на базе GNSS.....	7
I.2 Измерение дрейфа фазы .....	8
I.3 Измерение погрешности отсчета времени .....	9
Дополнение II – Функциональная модель PRTC .....	14
Дополнение III – Обмен информацией через временной интерфейс .....	16
Дополнение IV – Точки размещения PRTC .....	17



## Характеристики хронирования первичных эталонных тактовых генераторов

### 1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации определяются требования к первичным эталонным тактовым генераторам (PRTC), пригодным для временной, фазовой и частотной синхронизации в сетях с передачей пакетов. Данные требования применяются при нормальных условиях окружающей среды, определенных для оборудования.

Типовой PRTC формирует эталонный сигнал для временной, фазовой и частотной синхронизации других генераторов в пределах сети или сегмента сети. В частности, PRTC способен формировать эталонный сигнал для грандмастера электросвязи (T-GM) в пределах сетевых узлов, в которых находится PRTC.

PRTC формирует эталонный сигнал времени, который может быть проверен на соответствие признанному стандарту времени (например, всемирному координированному времени (UTC)). Время UTC может быть получено из лаборатории времени UTC, зарегистрированной в Международном бюро мер и весов (МБМВ) (например, национальной лабораторией UTC) или, в большинстве случаев, при помощи глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS).

В настоящей Рекомендации определяются требования к выходным характеристикам PRTC. Точность PRTC должна соблюдаться согласно требованиям, указанным в настоящей Рекомендации.

В настоящей Рекомендации рассмотрен также вариант интеграции PRTC с генератором T-GM. В этом случае функциональные характеристики определяются на выходе совмещенной функции PRTC и T-GM, то есть сообщений протокола точного времени (PTP).

### 2 Справочные документы

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статуса Рекомендации.

- [МСЭ-Т G.703]           Рекомендация МСЭ-Т G.703 (2001), *Характеристики электрической/физической части иерархических цифровых интерфейсов.*
- [МСЭ-Т G.810]           Рекомендация МСЭ-Т G.810 (1996), *Определения и терминология для сетей синхронизации.*
- [МСЭ-Т G.811]           Рекомендация МСЭ-Т G.811 (1997), *Характеристики синхронизации первичных эталонных задающих генераторов.*
- [МСЭ-Т G.8260]           Рекомендация МСЭ-Т G.8260 (2012), *Определения и терминология для синхронизации в пакетных сетях.*
- [МСЭ-Т G.8271]           Рекомендация МСЭ-Т G.8271/Y.1366 (2012), *Характеристики временной и фазовой синхронизации пакетных сетей.*
- [МСЭ-Т G.8273]           Рекомендация МСЭ-Т G.8273/Y.1368 (2013), *Структура фазного и временного тактирования.*
- [IEEE 1588-2008]        IEEE Std 1588-2008, *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.*

### 3 Определения

#### 3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в других документах:

Определения, относящиеся к синхронизации, содержатся в рекомендациях [МСЭ-Т G.810] и [МСЭ-Т G.8260].

#### 3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

Отсутствуют.

### 4 Аббревиатуры и сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы:

1PPS	1 Pulse-Per-Second	1 импульс в секунду
GNSS	Global Navigation Satellite System	Глобальная навигационная спутниковая система
GPS	Global Positioning System	Глобальная система определения местоположения
MTIE	Maximum Time Interval Error	Максимальная ошибка по временному интервалу
PRC	Primary Reference Clock	Первичный эталонный генератор
PRTC	Primary Reference Time Clock	Первичный эталонный тактовый генератор
PTP	Precision Time Protocol	Протокол точного времени
RF	Radio Frequency	Радиочастота
SSU	Synchronization Supply Unit	Блок синхронизации
T-GM	Telecom Grand Master	Грандмастер электросвязи
TDEV	Time Deviation	Временное отклонение
ToD	Time of Day	Время суток
UTC	Coordinated Universal Time	Всемирное координированное время

### 5 Условные обозначения

Отсутствуют.

### 6 Погрешность отсчета времени, дрейф и дрожание в синхронном режиме

Шум, генерируемый PRTC, обладает двумя основными характеристиками:

- постоянная погрешность отсчета времени (сдвиг по времени) на выходе генератора в сравнении с применимым первичным стандартом времени (например, UTC);
- величина фазовой погрешности (дрейфа и дрожания) на выходе генератора.

Для определения второй из вышеупомянутых характеристик (фазовой погрешности) целесообразно провести расчет максимальной ошибки по временному интервалу (MTIE) и временного отклонения (TDEV).

В разделе 6.1 определены требования по погрешности отсчета времени, применимые к выходному сигналу PRTC, что соответствует совокупности двух характеристик, описанных выше (постоянной погрешности отсчета времени и фазовой погрешности). Для компонента постоянной погрешности

отсчета времени в отдельности требования не определены; он объединяется с фазовой погрешностью и не может измеряться сам по себе.

В разделах 6.2 и 6.3 определены требования по дрейфу и дрожанию, применимые к выходному сигналу PRTC, что соответствует второй из описанных выше характеристик (фазовой погрешности).

Функциональные характеристики, определенные в разделах 6.1 и 6.2, применяются также к выходным сигналам объединенной функции PRTC и T-GM, интегрированной в единое устройство. Следовательно, для включения функции T-GM не требуется дополнительного разрешения.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Объединение двух функций позволяет оптимизировать внутренний шум оборудования. Таким образом, суммарный уровень шума оборудования, в котором объединены функции PRTC и T-GM, может быть равен уровню шума оборудования с одной функцией PRTC.

## 6.1 Погрешность отсчета времени в синхронном режиме

Согласно соответствующему первичному стандарту времени (например, UTC), в нормальных условиях (при работе в синхронном режиме) погрешность выходного тактового сигнала генератора PRTC или объединенной функции PRTC и T-GM должна находиться в пределах 100 нс и менее. Для PRTC эта величина включает в себя все компоненты шума, то есть постоянную погрешность отсчета времени (сдвиг по времени) и фазовую погрешность (дрейф и дрожание) генератора PRTC. То же самое справедливо для объединенной функции PRTC и T-GM, за исключением того, что отсчеты обрабатываются при помощи метода, описанного в [МСЭ-Т G.8273], что позволяет решать вопросы, связанные с квантованием по временным меткам.

Нормальные условия (при работе в синхронном режиме) предполагают, что:

- генератор PRTC полностью синхронизирован с входящим эталонным тактовым сигналом; режим его работы не является подготовительным;
- на эталонном тракте отсутствуют неисправности или аппаратные ошибки, в том числе, неисправности антенн;
- условия окружающей среды не превышают предельных условий эксплуатации оборудования;
- оборудование полностью укомплектовано и откалибровано с учетом фиксированных задержек, возникающих в кабелях антенн, кабельных усилителях и приемниках;
- эталонный тактовый сигнал (например, сигнал GNSS) подается с соблюдением ограничений, установленных соответствующими уполномоченными органами;
- если эталонный тактовый сигнал предоставляется системой радиосвязи, такой как GNSS, многолучевые отражения и помехи, создаваемые другими локальными источниками сигналов, например, преднамеренные помехи, должны быть снижены до приемлемого уровня;
- отсутствуют критические аномальные условия для распространения радиоволн, например, сильные грозы.

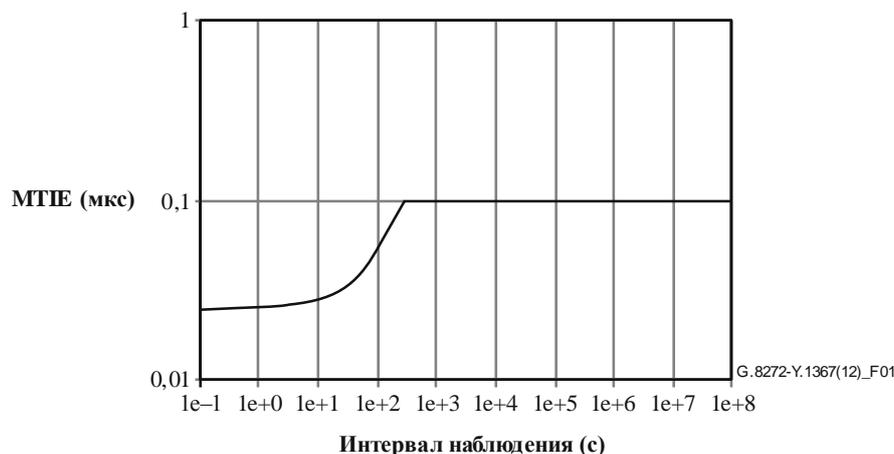
## 6.2 Дрейф в синхронном режиме

Если PRTC работает в нормальном синхронном режиме, дрейф, выраженный в МТИЕ и измеренный с использованием конфигурации, аналогичной конфигурации синхронизированного тактового генератора, приведенной на рисунке 1а [МСЭ-Т G.810] (вместо эталона частоты используется эталон времени), должен иметь следующие предельные значения:

Таблица 1 – Генерация дрейфа (МТИЕ)

Предельное значение МТИЕ [мкс]	Интервал наблюдения $\tau$ [с]
$0,275 \times 10^{-3}\tau + 0,025$	$0,1 < \tau \leq 273$
0,10	$\tau > 273$

Итоговые нормативные значения приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – MTIE как функция периода наблюдения (интеграции)**

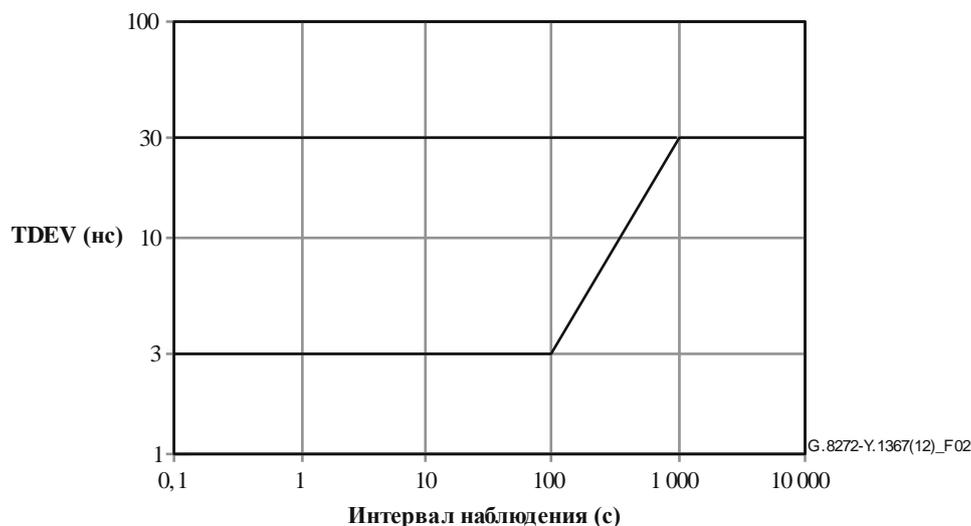
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – На выходном интерфейсе со скоростью 1 импульс в секунду (1PPS) погрешность MTIE может применяться для периода наблюдения более 1 с.

Если PRTC работает в нормальном синхронном режиме, дрейф, выраженный в TDEV и измеренный с использованием конфигурации, аналогичной конфигурации синхронизированного тактового генератора, приведенной на рисунке 1а [МСЭ-Т G.810] (вместо эталона частоты используется эталон времени), должен иметь следующие предельные значения:

**Таблица 2 – Генерация дрейфа (TDEV)**

Предельное значение TDEV [нс]	Интервал наблюдения $\tau$ [с]
3	$0,1 < \tau \leq 100$
$0,03 \tau$	$100 < \tau \leq 1\ 000$
30	$1\ 000 < \tau < 10\ 000$

Итоговые нормативные значения приведены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – TDEV как функция периода наблюдения (интеграции)**

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – На выходном интерфейсе со скоростью 1 PPS величина TDEV может применяться для периода наблюдения более 1 с.

Применимые нормативные значения MTIE и TDEV для выходных интерфейсов со скоростью 1PPS основаны на значениях ошибки по временному интервалу сигнала 1PPS с частотой выборки "один отсчет в секунду" и без использования низкочастотной фильтрации.

Применимые нормативные значения MTIE и TDEV для выходных интерфейсов 2048 кГц, 2048 кбит/с и 1544 кбит/с измеряются при помощи низкочастотного (10 Гц) измерительного фильтра первого порядка с максимальным интервалом дискретизации  $\tau_0$  1/30 секунды.

Применимые нормативные значения MTIE и TDEV для интерфейса Ethernet, передающего RTP-сообщения, применяются после усреднения как минимум по 100 последовательным выборкам. Это позволяет избежать ошибок, вызванных квантированием по временным меткам, а также любым квантированием позиции пакета в измерительном устройстве.

### **6.3 Дрожание**

Большинство технических параметров, указанных в настоящей Рекомендации, не зависят от выходного интерфейса, на котором они измеряются. Однако это не относится к генерации дрожания; для параметров генерации дрожания должны использоваться существующие параметры, определенные по отдельности для интерфейсов с различной скоростью. Эти нормативные значения указаны отдельно для некоторых интерфейсов, определенных в разделе 9. Применимые нормативные значения дрожания для выходных интерфейсов 2048 кГц, 2048 кбит/с и 1544 кбит/с определены в [МСЭ-Т G.811].

Значения дрожания, характерные для других интерфейсов, определенных в разделе 9, подлежат дальнейшему изучению

## **7 Режим удержания**

При потере эталонных фазовых и временных входных сигналов генератор PRTC переходит в режим фазово-временного удержания. В этой ситуации PRTC может работать как на основе режима удержания гетеродина, так и на основе внешнего эталонного входного частотного сигнала, имеющего прослеживаемую связь с первичным эталонным тактовым генератором (PRC), а также на основе комбинации обоих сигналов.

Это требование ограничивает максимальные отклонения выходного тактового сигнала. Кроме того, оно ограничивает совокупное перемещение фазы в процессе ухудшения входного сигнала или внутренних помех.

Параметры фазового-временного режима удержания, применимые к PRTC, подлежат дальнейшему изучению.

## **8 Разрыв фазы**

Разрыв фазы для генератора PRTC подлежит дальнейшему изучению.

## **9 Интерфейсы**

Требования, приведенные в настоящей Рекомендации, относятся к эталонным точкам, которые могут находиться внутри устройства или сетевого оборудования (NE), в которое встроен генератор PRTC, и как следствие, не всегда доступны для измерения или анализа со стороны пользователя. Таким образом, функциональные характеристики генератора PRTC определяются не в этих внутренних эталонных точках, а на внешних интерфейсах оборудования.

Следует отметить, что не все интерфейсы, указанные ниже, должны быть реализованы на всех устройствах.

### **9.1 Фазовые и временные интерфейсы**

Для устройств, в состав которых может входить генератор PRTC, определены следующие выходные фазовые и временные интерфейсы:

- интерфейс распределения времени/фазы на основе МСЭ-Т V.11, определенный в [МСЭ-Т G.703] и [МСЭ-Т G.8271];
- интерфейс измерения синхронизации фазы 1PPS, 50 Ом, определенный в [МСЭ-Т G.703] и [МСЭ-Т G.8271];

- прочие интерфейсы подлежат дальнейшему изучению;
- интерфейс Ethernet для передачи RTP-сообщений.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Интерфейсы Ethernet могут совмещать синхронную передачу по Ethernet сигналов частоты и RTP-сообщений.

## 9.2 Частотные интерфейсы

Кроме фазовых и временных интерфейсов могут использоваться частотные интерфейсы. Должен быть предусмотрен хотя бы один выходной частотный интерфейс. Для устройств, в состав которых может входить генератор PRTC, определены следующие выходные частотные интерфейсы:

- интерфейсы 2048 кГц, соответствующие [МСЭ-Т G.703] с дополнительными нормативными значениями дрожания и дрейфа, определенными в настоящем документе;
- интерфейсы 1544 кБит/с, соответствующие [МСЭ-Т G.703] с дополнительными нормативными значениями дрожания и дрейфа, определенными в настоящем документе;
- интерфейсы 2048 кБит/с, соответствующие [МСЭ-Т G.703] с дополнительными нормативными значениями дрожания и дрейфа, определенными в настоящем документе;
- интерфейсы синхронного Ethernet-протокола;

ПРИМЕЧАНИЕ. – Интерфейсы Ethernet могут совмещать передачу по синхронному Ethernet-протоколу и передачу RTP-сообщений.

- интерфейс распределения времени/фазы на основе МСЭ-Т V.11, определенный в [МСЭ-Т G.703] и [МСЭ-Т G.8271];
- интерфейс измерения синхронизации фазы 1PPS, 50 Ом, определенный в МСЭ-Т G.703] и [МСЭ-Т G.8271];
- прочие интерфейсы подлежат дальнейшему изучению.

Для устройств, в состав которых может входить генератор PRTC, определены нестандартные входные частотные интерфейсы, подлежащие дальнейшему изучению.

## Дополнение I

### Измерение функциональных характеристик генератора PRTC или PRTC, совмещенного с T-GM

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Измерение погрешности отсчета времени на выходе генератора PRTC является сложной задачей, поскольку время – величина относительная. В отличие от частоты, для времени не существует специального "генератора времени"; время всегда должно сопоставляться с эталоном, например UTC. Само по себе время UTC также определяется ретроспективно, путем сравнения данных, полученных от национальных эталонов времени за определенный период.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Точность эксплуатационных испытаний генератора PRTC подлежит дальнейшему изучению.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Подробная информация об испытаниях PRTC совместно с T-GM приведена в [МСЭ-Т G.8273].

#### I.1 Факторы, влияющие на функциональные характеристики PRTC на базе GNSS

Генераторы PRTC наиболее распространенного типа передают сигналы времени при помощи радиосигналов системы GNSS. Однако функциональные характеристики системы GNSS зависят от ряда факторов, неподконтрольных производителям оборудования. Таким образом, любая спецификация, предоставленная производителем, может указывать лишь на потенциальные возможности, а не на функциональные характеристики оборудования в условиях реальной эксплуатации.

При измерении функциональных характеристик генератора PRTC на базе GNSS в максимально возможной степени следует удостовериться в соблюдении следующих условий:

- оборудование должно быть полностью укомплектовано и откалибровано с учетом фиксированных задержек, возникающих в кабелях антенн и кабельных усилителях. Например, антенный кабель может стать причиной задержки примерно 4 нс/м (в зависимости от типа кабеля);
- функция ассиметричной компенсации любого выходного сигнала 1PPS, встроенная в генератор PRTC (подобно той, которая описана в разделе A.1.2 [МСЭ-Т G.8271]), должна работать стабильно;
- для антенны должна быть обеспечена хорошая видимость неба при минимальном многолучевом искажении. Это может быть подтверждено записью количества спутников, видимых в процессе измерения;
- GNSS или система передачи радиосигналов должна обслуживаться надлежащим образом и эксплуатироваться уполномоченными на то организациями. Это может быть подтверждено проверкой информационных бюллетеней об эксплуатационном состоянии оборудования, выпускаемых уполномоченными организациями.

Помимо указанных первичных факторов, существуют несколько дополнительных условий, которые могут стать причиной погрешности отсчета времени, измеряемого системой GNSS. Эти факторы могут не поддаваться количественной оценке, и им сложнее противодействовать. Дополнительные факторы могут включать в себя:

- помехи, создаваемые наземными источниками радиосигналов. В ряде случаев для устранения помех от наземных источников могут использоваться фильтры, однако они могут оказаться неэффективными против локальных преднамеренных помех. Преднамеренные помехи могут быть обнаружены при помощи специального оборудования;
- атмосферные явления, например грозы, проливные дожди или туман;
- солнечные явления, например вспышки и пятна на Солнце, влияющие на ионосферную задержку.

## I.2 Измерение дрейфа фазы

Дрейф фазы генератора PRTC может быть измерен относительно частотного эталона PRC-качества, например, цезиевого стандарта. Для сравнения фазы выходного сигнала 1PPS генератора PRTC с фазой сигнала PRC используется счетчик интервалов времени. Экспериментальная конфигурация изображена на рисунке I.1.

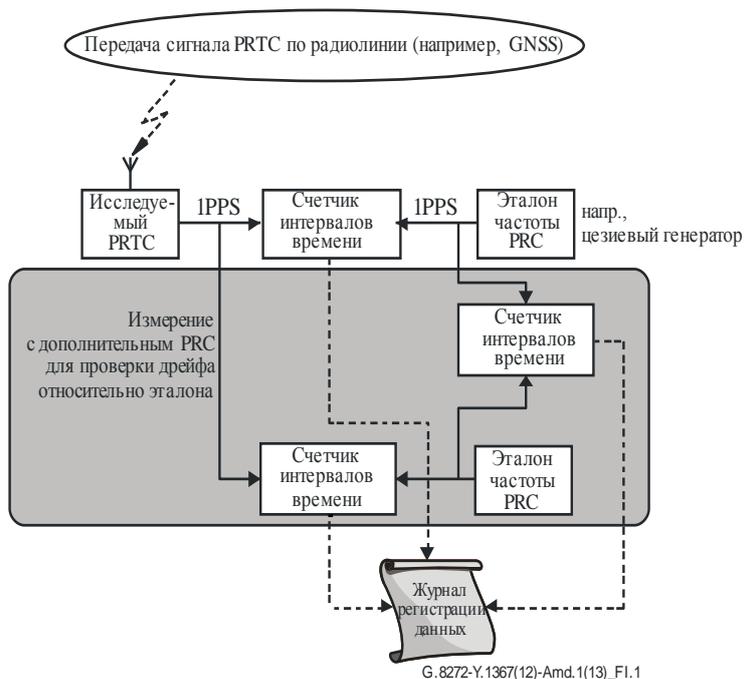


Рисунок I.1 – Измерение дрейфа фазы генератора PRTC

Если требуется испытание объединенной функции PRTC и T-GM, счетчик интервалов времени можно заменить устройством контроля синхронизации пакетов (см. рисунок I.2).

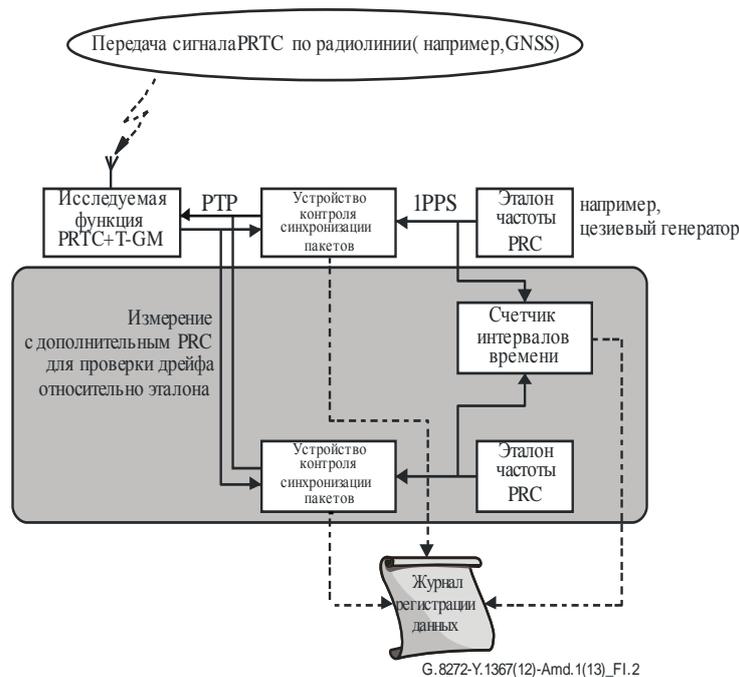


Рисунок I.2 – Измерение дрейфа фазы объединенной функции PRTC и T-GM

Дрейф цезиевого эталонного тактового генератора крайне мал, но при этом он имеет небольшой сдвиг к частоте UTC. Для PRC эта величина гарантированно находится в пределах  $10^{11}$ , однако типовые цезиевые стандарты обладают гораздо лучшими характеристиками. Сдвиг частоты приводит к наклону фазовой диаграммы, который необходимо устранить для определения характеристик дрейфа PRTC.

Для того чтобы отличить дрейф генератора PRTC от дрейфа эталонного генератора PRC, можно использовать второй эталон PRC, то есть выполнить тройное сравнение. На рисунках I.1 и I.2 эти компоненты находятся внутри затемненных прямоугольников. При отсутствии необходимости дополнительная проверка может не проводиться.

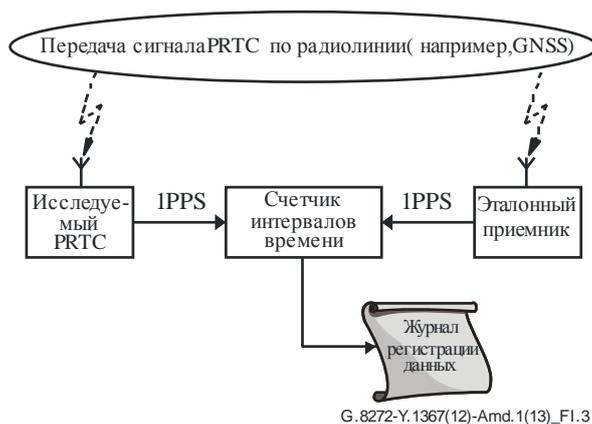
Поскольку цезиевый эталон является источником частоты, а не времени, данный эксперимент может выявить лишь дрейф частоты, и не позволяет измерить погрешность отсчета времени относительно системного времени GNSS. Однако это не означает, что, если статическая погрешность может быть измерена и откалибрована, генератор PRTC способен поддерживать отсчет времени в заданных пределах.

### I.3 Измерение погрешности отсчета времени

Для определения максимальной погрешности отсчета времени PRTC необходимо сравнить его с другим источником точного времени.

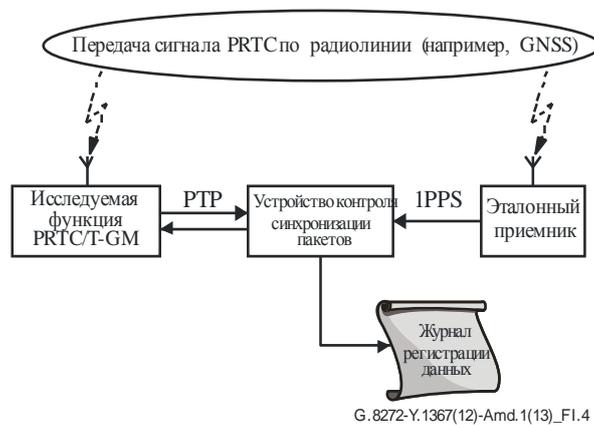
#### I.3.1 Сравнение с эталонным приемником

В контексте лабораторных исследований источником точного времени может служить другой приемник GNSS с известной погрешностью или "эталонный приемник". Экспериментальная конфигурация аналогична измерению дрейфа за исключением того, что вместо цезиевого эталона PRC используется эталонный приемник. Счетчик интервалов времени используется для сравнения временного интервала сигнала 1PPS с выхода PRTC с временным интервалом выходного сигнала эталонного приемника. Экспериментальная конфигурация изображена на рисунке I.3:



**Рисунок I.3 – Точность отсчета времени по сравнению с эталонным приемником**

Для объединенной функции PRTC и T-GM счетчик интервалов времени можно заменить устройством контроля синхронизации пакетов (см. рисунок I.4 ниже).

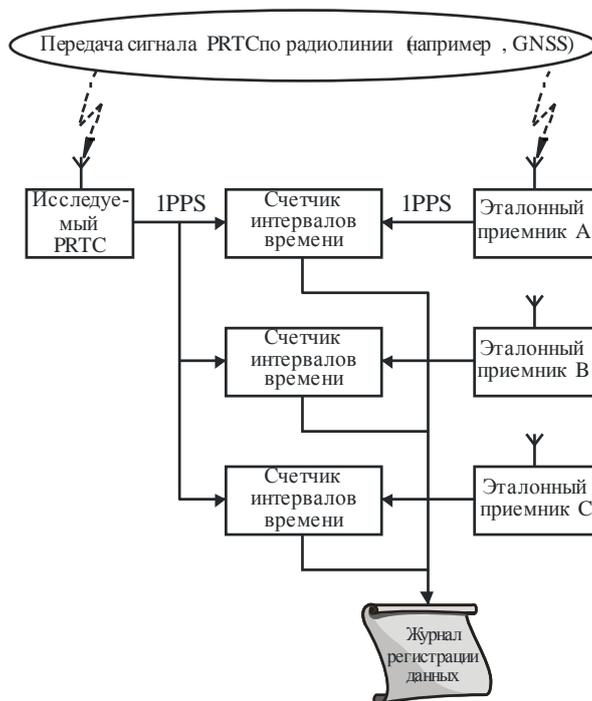


**Рисунок I.4 – Точность отсчета времени PRTC и T-GM по сравнению с эталонным приемником**

В данной конфигурации для получения достоверных результатов эталонный приемник в идеале должен обладать гораздо лучшими функциональными характеристиками, чем генератор PRTC. В связи с тем что требуемая величина погрешности отсчета времени PRTC приближается к предельным значениям, возможным при использовании системы GNSS, данный тип измерений скорее может лишь указать на то, что точность отсчета времени находится в допустимых пределах, нежели доказать, что требования к точности соблюдены.

Следует заметить, что если функциональные характеристики эталонного приемника ненамного превышают характеристики тестируемого генератора PRTC, то невозможно определить, находятся ли характеристики тестируемого оборудования в пределах, заданных спецификацией. В этом случае приемник может использоваться лишь для базовых испытаний, например для беглой оценки вероятности критических проблем, связанных с PRTC. Причина заключается в том, что если функциональные характеристики эталонного приемника совпадают с характеристиками генератора PRTC, то результаты измерения MTIE, TDEV и  $\max|TE|$  могут в два раза превышать нормативные значения MTIE, TDEV и  $\max|TE|$  для PRTC, либо равняться нулю.

Описанный подход может быть усовершенствован путем использования нескольких эталонных приемников. Например, если использовать три приемника и более, можно получить систему "принятия решений большинством голосов" и применять ее для определения функциональных характеристик тестируемого генератора PRTC. Кроме того, можно рассчитать разброс параметров отдельных приемников. Экспериментальная конфигурация изображена на рисунке I.5.



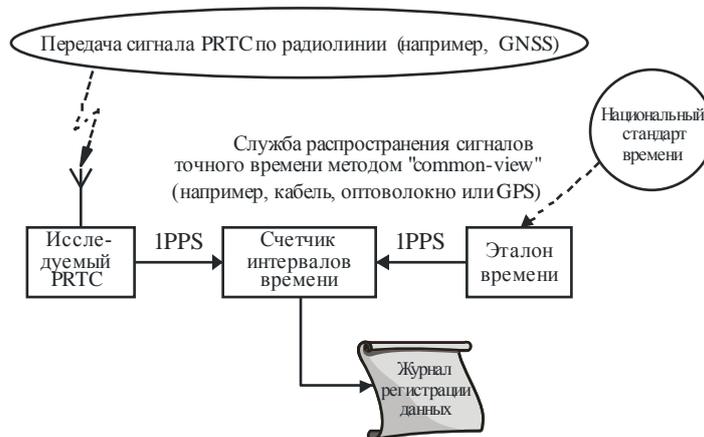
G.8272-Y.1367(12)-Amd.1(13)\_F1.5

**Рисунок I.5 – Точность отсчета времени по сравнению с несколькими эталонными приемниками**

Для объединенной функции PRTC и T-GM счетчики интервалов времени можно заменить устройствами контроля синхронизации пакетов.

### I.3.2 Калибровка путем сравнения с национальным эталоном времени

Для того чтобы доказать, что погрешность отсчета времени по отношению к заданному временному стандарту находится в допустимых пределах, необходимо провести сравнение генератора PRTC с гораздо более точным источником времени. Например, эталонный сигнал может быть получен из национальной лаборатории точного времени. Измерения проводятся в самой лаборатории, либо используется система распространения точного времени, например, выделенная кабельная или оптоволоконная линия или служба точного времени GNSS, работающая по методу "common-view" (одновременного наблюдения). Измерения данного типа могут использоваться для определения функциональных характеристик эталонных приемников. Экспериментальная конфигурация изображена на рисунке I.6.



G.8272-Y.1367(12)-Amd.1(13)\_F1.6

**Рисунок I.6 – Измерение точности отсчета времени путем сравнения с национальным эталоном времени**

Для объединенной функции PRTC и T-GM счетчики интервалов времени можно заменить устройством контроля синхронизации пакетов.

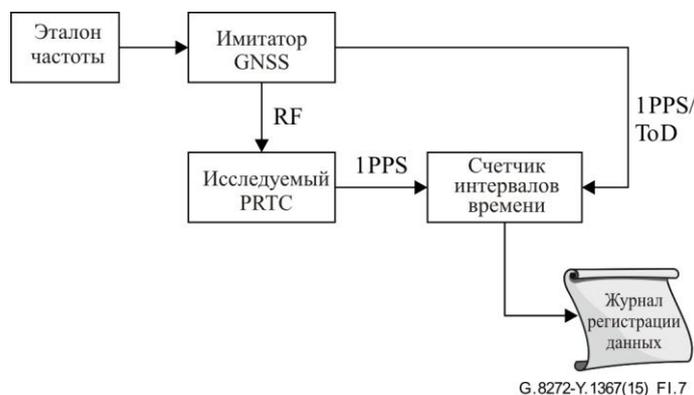
### I.3.3 Сравнение с имитатором GNSS

Имитаторы GNSS генерируют радиочастотный (РЧ) сигнал, имитирующий сигнал, принимаемый от созвездия спутников. Имитация включает в себя видимое "перемещение" спутников, появление и исчезновение их по мере того как они восходят над горизонтом и садятся за горизонт. Имитатор может быть запрограммирован на "местоположение" и "время" тестируемого устройства в определенное время и день, выдавая корректные спутниковые сигналы, которые снимаются с приемника в данном месте и в данный момент времени.

Некоторые имитаторы способны также моделировать распространенные типы ухудшения сигнала, которые могут быть вызваны, например, ограниченным обзором неба, атмосферными возмущениями и многолучевыми отражениями. Полный цикл испытаний PRTC должен включать в себя проверку способности PRTC противостоять подобным отрицательным воздействиям.

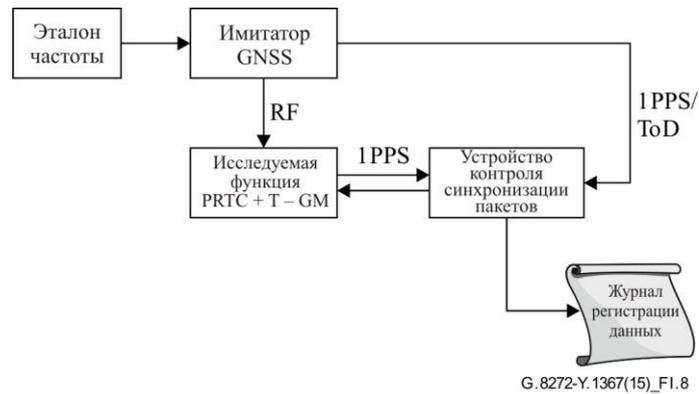
Имитатор, синхронизированный с генерируемыми РЧ-сигналами, выдает также выходной сигнал 1PPS и сигнал времени суток (ToD). Для подтверждения точности тестируемого устройства сигнал 1PPS/ToD можно сравнить с выходным сигналом тестируемой функции PRTC/T-GM.

Устройство контроля сравнивает время и фазу, отображаемые входными сигналами PTP и 1PPS тестируемого оборудования, с сигналами 1PPS/ToD, генерируемыми имитатором. Любая разница между двумя параметрами представляет собой временную или фазовую погрешность тестируемого устройства. Счетчик интервалов времени используется для сравнения временного интервала сигнала 1PPS с выхода PRTC с временным интервалом выходного сигнала эталонного приемника. Экспериментальная конфигурация изображена на рисунке I.7.



**Рисунок I.7 – Сравнение точности отсчета времени генератора PRTC и имитатора GNSS**

Для объединенной функции PRTC и T-GM счетчик интервалов времени можно заменить устройством контроля синхронизации пакетов, как показано на рисунке I.8.



**Рисунок I.8 – Сравнение точности отсчета времени функции PRTC/T-GM и имитатора GNSS**

В данной конфигурации согласованность выходных РЧ-сигналов и сигналов 1PPS имитатора GNSS в идеале должна быть выше 5 нс. Это позволит удостовериться, что соблюдены требования к точности (не ниже 100 нс согласно МСЭ-Т G.8272), требования по МТИЕ и требования по TDEV.

Поскольку измерения должны проводиться на протяжении длительного периода времени, имитатор GNSS должен управляться стабильным входным сигналом эталона частоты, полученным от PRC или другого стабильного атомного эталона времени. Стабильность этого эталона должна быть достаточной для того, чтобы дрейф находился ниже ширины полосы тестируемого генератора PRTC.

## Дополнение II

### Функциональная модель PRTC

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

В данном дополнении приведена упрощенная модель генератора PRTC для описания его функциональных возможностей, а также различных интерфейсов и функций, в совокупности определяющих работу PRTC.

На рисунке II.1 представлена функциональная модель, не относящаяся к какой-либо конкретной системе.

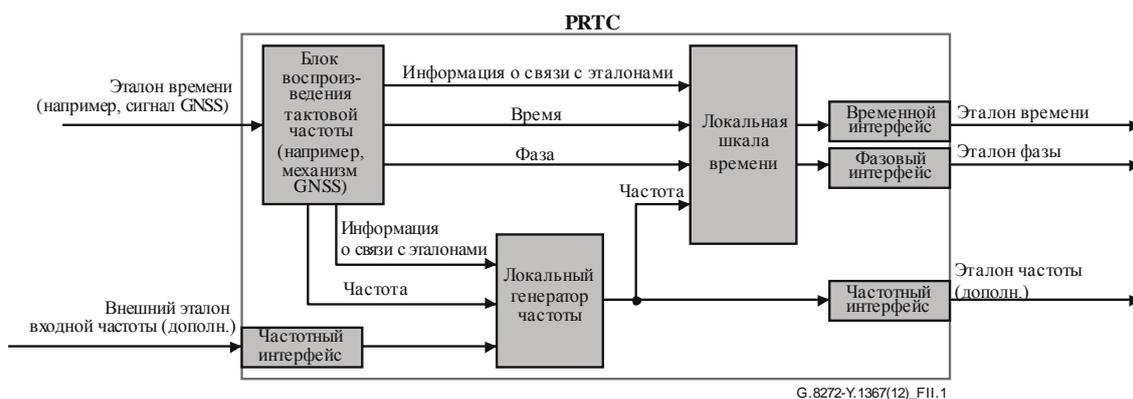


Рисунок II.1 – Функциональная модель PRTC

ПРИМЕЧАНИЕ. – Выходные интерфейсы, показанные на рисунке II.1, соответствуют логическим интерфейсам; в некоторых системах с действующим PRTC временной логический интерфейс и фазовый логический интерфейс могут быть объединены в единый фазово-временной физический интерфейс. Помимо эталонного тактового сигнала временной логический интерфейс может содержать дополнительную информацию о соответствии эталонного сигнала стандартам.

Основной функцией PRTC является формирование первичного эталонного тактового сигнала, который используется для временной и фазовой синхронизации других генераторов сети.

Генератор PRTC принимает эталонный тактовый сигнал от системы, имеющей доступ к официальному первичному эталону времени (например, от глобальной навигационной спутниковой системы или от национальной лаборатории, принимающей участие в формировании стандартов времени) и передает этот эталонный сигнал другим генераторам в пределах сети или сетевого сегмента.

Кроме того, генератор PRTC может включать в себя входные частотные интерфейсы, однако должен использовать по меньшей мере один выходной частотный интерфейс. При подключении к эталону частоты, привязанному к PRC, дополнительный входной частотный интерфейс может применяться для локального отображения шкалы времени во время перебоев в подаче входного эталонного тактового сигнала (то есть для продления периода режима удержания фазы/частоты тактового генератора). Дополнительный выходной частотный интерфейс может применяться для измерения фазового шума генератора PRTC при помощи традиционных сигналов электросвязи.

И наконец, генератор PRTC может предоставлять информацию о связи с эталонами, отображая режим работы генератора (то есть синхронизация с входным эталонным сигналом, режим удержания и т. д.). Подробные данные относительно информации о связи с эталонами подлежат дополнительному изучению.

Функциональные возможности PRTC определяются на основе отдельных блоков, показанных на рисунке II.1. Описание функций приведено в таблице II.1. Следует отметить, что функции

сгруппированы особым образом только для удобства описания, а не для определения способов применения генератора PRTC.

**Таблица П.1 – Функции PRTC**

Воспроизведение тактовых сигналов	Получение и обработка сигналов от внешнего временного интерфейса (например, с антенны GNSS). Предоставление выходных сигналов для генерации частоты, фазы и времени. Предоставление информации об отслеживаемости
Местный генератор частоты	Генератор частоты выдает сигналы синхронизации для внутреннего пользования. В случае потери сигнала устройством воспроизведения тактовых сигналов, генератор может перейти в режим удержания или переключиться на дополнительный источник входящих эталонных сигналов частоты (при наличии такового). Подробная информация об этом генераторе подлежит дополнительному изучению, однако ожидается, что при заданных выходных характеристиках генератора PRTC ширина полосы будет достаточно небольшой
Местная шкала времени	Поддержка локального отображения первичной шкалы времени на основе частоты местного генератора. Этот блок генерирует также выходные эталонные сигналы времени и фазы
Функция интерфейса	Функция интерфейса необходима для генерации физического сигнала

## Дополнение III

### Обмен информацией через временной интерфейс

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Генератор PRTC включает в себя три выходных интерфейса для передачи частоты, фазы и времени.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти интерфейсы соответствуют логическим интерфейсам; в некоторых системах с действующим PRTC временной логический интерфейс и фазовый логический интерфейс могут быть объединены в единый фазово-временной физический интерфейс.

Временной интерфейс поддерживает передачу информации о времени и режиме работы генератора PRTC. Информация о времени и режиме работы содержится в сообщениях, формат которых подлежит дальнейшему изучению. Пример информационного сообщения, которое может передаваться через временной интерфейс, приведен в таблице III.1.

**Таблица III.1 – Пример информационного сообщения  
о времени и режиме работы**

Название	Описание
Время	Международное атомное время (TAI), в секундах
Дополнение секунды	Дополнительные секунды (сдвиг между TAI и UTC)
Индикаторы прибавления/вычитания дополнительной секунды	Предварительное уведомление о наличии дополнительной секунды
Статус режима работы	Отображение режима работы: сигнал синхронизирован, в режиме ожидания или "не подлежит использованию"

## Дополнение IV

### Точки размещения PRTC

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Если речь идет о передаче сигналов времени/фазы, PRTC-функции могут размещаться в различных точках, в зависимости от общей архитектуры, которой намерен придерживаться сетевой оператор. В общем случае можно выделить четыре основные точки расположения A, B, C и D, которые описаны в данном разделе и показаны ниже на рисунке IV.1.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Главный пакетный генератор/T-GM (на рисунке не показан), как правило, расположен совместно с PRTC, например в том случае, если PRTC передает тактовые сигналы синхронизации удаленным получателям.

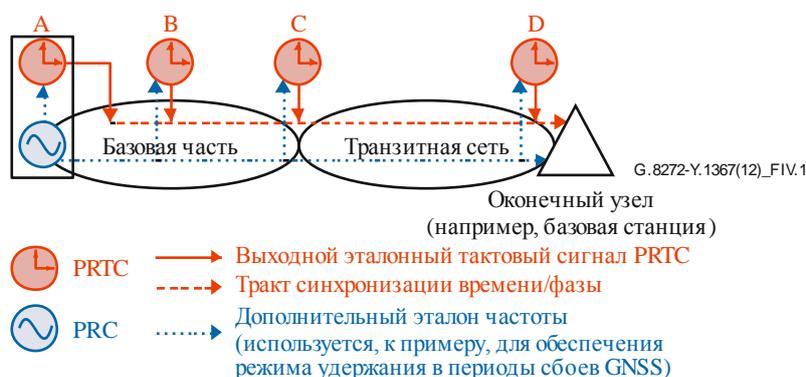


Рисунок IV.1 – Типовые точки размещения для функции PRTC

Следует заметить, что развертывание функций PRTC вблизи окончных узлов подразумевает использование большего количества функций PRTC, чем при централизованном размещении, однако при этом такая схема обладает рядом преимуществ. Например, упрощается задача надлежащей калибровки асимметрии линий, связывающих PRTC с окончным узлом. В этом случае потребуется калибровка меньшего количества линий, что позволит избежать накопления избыточной погрешности отсчета времени.

- **Вариант А:** централизованный генератор PRTC, расположенный совместно с PRC  
В варианте А генератор PRTC расположен совместно с PRC в базовой сети и может принимать частотный эталонный сигнал от PRC (две функции могут быть интегрированы в одно устройство). Затем эталонные тактовые импульсы передаются от генератора PRTC через главный пакетный генератор по базовой сети и транзитной сети до окончного узла (например, базовой станции), с использованием временного протокола, такого как PTP.
- **Вариант В:** централизованный генератор PRTC, не расположенный совместно с PRC  
В варианте В генератор PRTC расположен в базовой сети, но не совместно с PRC; в общем случае PRTC в данном варианте расположен совместно с блоком синхронизации (SSU) (две функции могут быть интегрированы в одно устройство, как правило, приемник GNSS добавляется к блоку SSU) и может принимать эталонный частотный сигнал с блока SSU. Затем эталонные тактовые импульсы передаются от генератора PRTC через главный пакетный генератор (T-GM) по базовой сети и транзитной сети до окончного узла (например, базовой станции), с использованием временного протокола, такого как PTP.

- **Вариант С: Генераторы PRTC на узлах агрегирования трафика**  
В варианте С генератор PRTC расположен на узле агрегирования трафика; как правило, приемник GNSS добавляется к одному из последних блоков SSU частотной последовательности физического уровня. Затем эталонные тактовые импульсы передаются от генератора PRTC через главный пакетный генератор (T-GM) по транзитной сети до конечного узла (например, базовой станции), с использованием временного протокола, такого как PTP.
- **Вариант D: Генераторы PRTC в пограничном сегменте сети**  
В варианте D функция PRTC расположена непосредственно в пограничном сегменте сети (например, на узле сотовой связи); в большинстве случаев приемник GNSS подключен напрямую к конечному узлу (например, базовой станции). В данном варианте (в общем случае) эталонные тактовые импульсы передаются напрямую от генератора PRTC до конечного узла (например, базовой станции).

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ Y  
**ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА,  
АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ**

<b>ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА</b>	
Общие сведения	Y.100–Y.199
Услуги, приложения и промежуточные программные средства	Y.200–Y.299
Сетевые аспекты	Y.300–Y.399
Интерфейсы и протоколы	Y.400–Y.499
Нумерация, адресация и присваивание имен	Y.500–Y.599
Эксплуатация, управление и техническое обслуживание	Y.600–Y.699
Безопасность	Y.700–Y.799
Рабочие характеристики	Y.800–Y.899
<b>АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ</b>	
Общие сведения	Y.1000–Y.1099
Услуги и приложения	Y.1100–Y.1199
Архитектура, доступ, возможности сетей и административное управление ресурсами	Y.1200–Y.1299
<b>Транспортирование</b>	<b>Y.1300–Y.1399</b>
Взаимодействие	Y.1400–Y.1499
Качество обслуживания и сетевые показатели качества	Y.1500–Y.1599
Сигнализация	Y.1600–Y.1699
Эксплуатация, управление и техническое обслуживание	Y.1700–Y.1799
Ведение расчетов	Y.1800–Y.1899
IPTV по СПП	Y.1900–Y.1999
<b>СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ</b>	
Структура и функциональные модели архитектуры	Y.2000–Y.2099
Качество обслуживания и технические характеристики	Y.2100–Y.2199
Аспекты обслуживания: Возможности обслуживания и архитектура обслуживания	Y.2200–Y.2249
Аспекты обслуживания: Функциональная совместимость услуг и сетей в СПП	Y.2250–Y.2299
Совершенствование СПП	Y.2300–Y.2399
Управление сетью	Y.2400–Y.2499
Архитектура и протоколы сетевого управления	Y.2500–Y.2599
Пакетные сети	Y.2600–Y.2699
Безопасность	Y.2700–Y.2799
Обобщенная мобильность	Y.2800–Y.2899
Открытая среда операторского класса	Y.2900–Y.2999
<b>БУДУЩИЕ СЕТИ</b>	<b>Y.3000–Y.3499</b>
<b>ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ</b>	<b>Y.3500–Y.3999</b>

*Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.*

## СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
<b>Серия G</b>	<b>Системы и среда передачи, цифровые системы и сети</b>
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола Интернет и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи