

Научно-практический семинар
**Единое точное время в пакетных сетях:
требования, задачи и их решения от АО “Время-4”**

Синхронизатор сетей связи VCH-505

Автор доклада
Кобяков Дмитрий Сергеевич

к.т.н., начальник отдела
Цифровых и оптических технологий

Современные требования стандартов к оборудованию синхронизации

1. Погрешность по частоте **при работе от ГНСС** (без внешнего опорного сигнала) **должна соответствовать требованиям МСЭ-Т G.811.1** ($\delta f < 1e-12$)
2. Приёмники/алгоритмы работы с ГНСС **должны обнаруживать спуфинг/джаминг** сигналов ГНСС
3. Оборудование ТСС **должно иметь оптические порты GE/SyncE** (желательно с поддержкой CWDM/DWDM и скорости 10 Гбит/с) и **при спуфинге ГНСС брать время и 1PPS при помощи RTPv2**
4. Время удержания шкалы в пределах ± 100 нс относительно UTC в режиме хранения **должно быть не менее 40 суток**
5. Желательно насколько возможно **уменьшить уход частоты в режиме удержания (holdover)**

Для решения поставленных задач в УСС VCH-003/505 внесены следующие изменения:

1. Введён режим «комбайнера», при котором выходной сигнал VCH-003/505 подстраивается к входному опорному сигналу с использованием сигналов ГНСС или РТР-мастера так, что его частота становится максимально близкой к номинальному значению независимо от частоты опорного сигнала. При этом стабильность частоты опорного сигнала переносится на выходной сигнал VCH-003/505 .
2. В блоке ГНСС может применяться **двухдиапазонный навигационный приёмник** U-blox ZED-F9T, с помощью которого решаются задачи соответствия требованиям **G.811.1** и детектирования **спуфинга**
3. Разработан дополнительный модуль с двумя оптическими портами **SFP+ (1/10 Гбит/с)**
4. Для обеспечения абонентов РТР при спуфинге ГНСС применяется **режим РТР «границные часы»**
5. Для уменьшения ухода частоты в режиме отсутствия опорного сигнала разработан и протестирован алгоритм **компенсации дрейфа встроенного кварцевого генератора**



- ❖ Заменяет зарубежные OSA 5412, 5422, EA2500
- ❖ Входы 10/2,048 МГц, BITS (E1), 1PPS, ToD&1PPS, SyncE, PTPv2 slave
- ❖ Выходы 10/2,048 МГц, 2,048 Мбит/с, BITS (E1), 1PPS, ToD&1PPS, SyncE, PTP GM
- ❖ Контроль параметров входных сигналов по МОБИ, ДВИ, df/f, Δt
- ❖ Резервирование и горячая замена блоков питания ~220 В или =48 В
- ❖ При синхронизации от ГНСС соответствует МСЭ-Т G.811
(опция - многодиапазонный приемник ГНСС, обеспечивающий соответствие G.811.1)
- ❖ Комбайнер опорной частоты от ПЭИ и времени UTC (МСЭ-Т G.811.1/G.8272.1)
- ❖ Возможность установки дополнительных модулей:
 - выходов 2,048 МГц / Мбит/с (x16)
 - выходов 10/2,048 МГц (x4), 1PPS (x4)
- ❖ ГЛОНАСС, GPS, BeiDou, GALILEO
- ❖ Детектирование спуфинга
- ❖ Компенсация старения (дрейфа частоты) внутреннего *DOCXO* в режиме *Holdover*
- ❖ Формат 1U, монтаж в стойку на 19"

Внутренний генератор
DOCXO или Rubidium



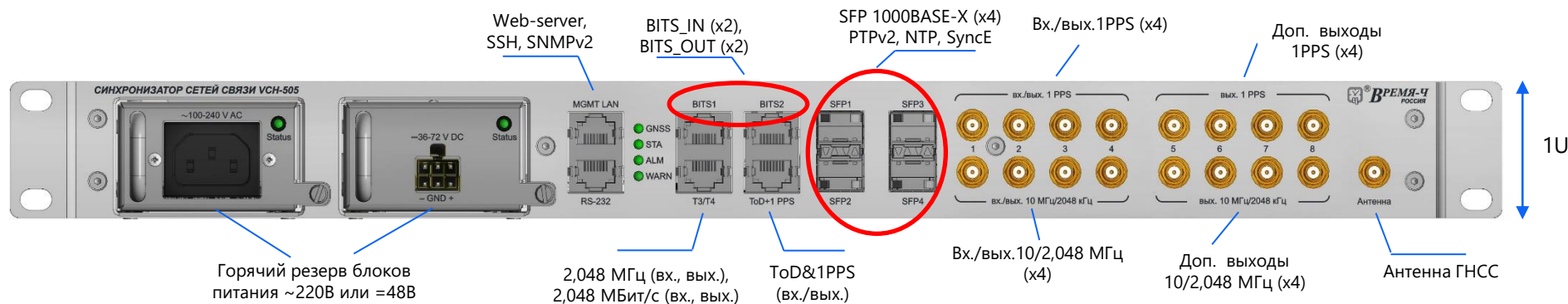
ПЭИ, ВЗГ (SSU),
PTP GM, BC, Slave

Web-server, SSH,
SNMPv2

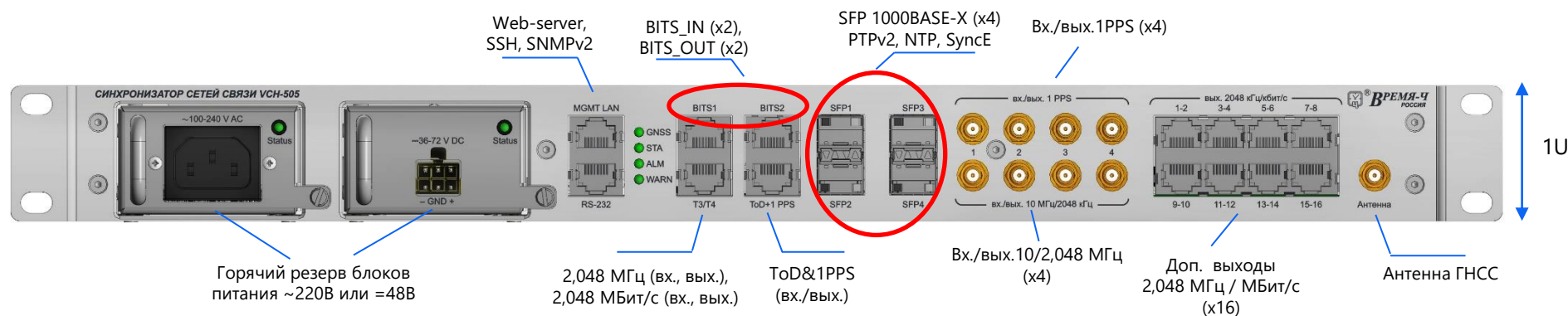
форм-фактор 1U



Модификация с доп. выходами 1PPS и 10/2,048 МГц



Модификация с доп. выходами ТСС



ETSI / 19"



❖ Характеристики:

- одно-/двухдиапазонный приёмник ГНСС
- поддержка ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/BeiDou
- детектирование спуфинга
- **4 изолированных порта SFP (1000BASE-X)**
- создание **до 16 PTP/NTP конфигураций** на каждом порту с различными **IPv4** адресами
- поддержка VLAN меток
- прием метки времени по ГНСС, ToD&1PPS, PTPv2 slave

❖ Возможности сервера PTPv2 (IEEE 1588v2):

- режимы **Master, Slave, Boundary clock (Class C)**
- шаг шкалы времени - **5 нс**
- адресация PTP сообщений: *unicast, multicast u mixed*
- режимы передачи: *one-step/two-step, one-way/two-way*
- передача PTP сообщений: *Ethernet (L2), UDP(L3, IPv4)*
- механизм вычисления задержки: *End-to-End, Peer-to-Peer*
- технология синхронного Ethernet (**SyncE**), а также передача ESMC сообщений
- **1024 абонента на порт** при частоте синхронизации 128 пакетов/сек
- **профили:**
 - **G.8265.1** (*unicast, L3*)
 - **G.8275.1** (*multicast, L2, syncE*)
 - **G.8275.2** (*unicast, L3, syncE*)
 - заданные пользователем из вышеперечисленных параметров

❖ Возможности сервера NTP v3,v4 (IETF RFC 1305, RFC 5905):

- уровень *Stratum I*
- **50000 абонентов на порт**



Применение двухчастотного приёмника ГНСС позволяет:

- улучшить характеристики захвата до *ITU-T G.811.1*
- применять режим накопления (минимальные блуждания 1PPS с приёмника)
- применять режим фикс. координат (актуально в условиях подмены координат)

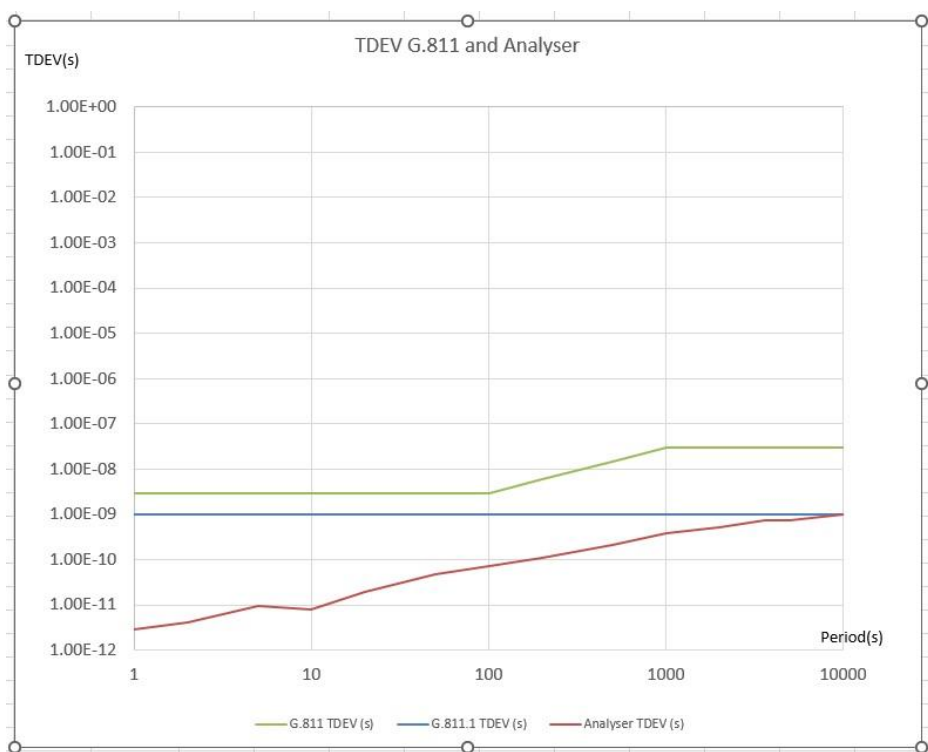


График ДВИ при использовании
ZED-F9T

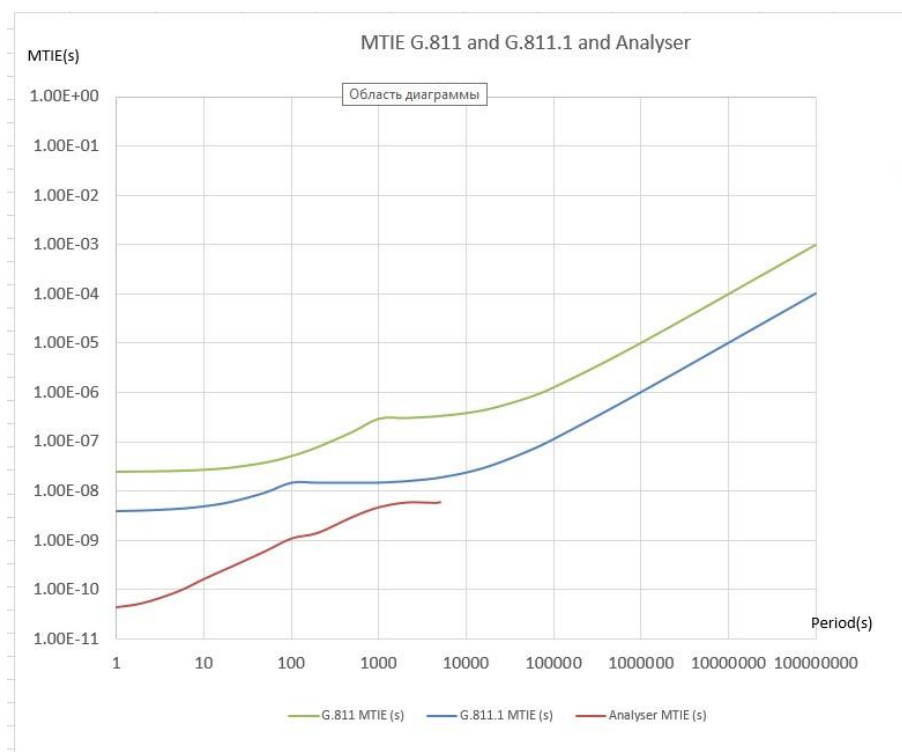
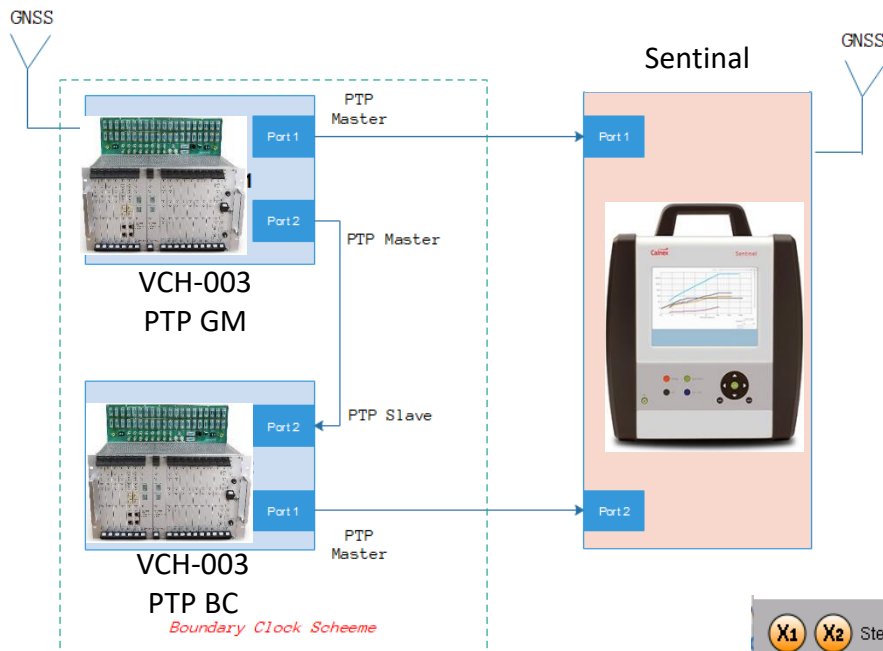


График МОБИ при использовании
ZED-F9T



Testing PTP profiles:
G.8275.1,
G.8275.2,
G.8265.1,
Default Profile
(multicast, L3)

Современные уПЭИВЧ при спуфинге/отсутствии сигнала ГНСС должны обеспечивать абонентов РТР/НТР пакетной сети. Для этого в функционал РТР должен быть включен режим «граничных часов» (PTP BC), принцип работы которого (упрощённо) состоит в следующем. При дисквалификации сигнала ГНСС метка времени (ToD) принимается портом, который настроен на режим Slave, и раздаётся абонентам сети другим портом, который был настроен на режим Master.

Для выполнения этой задачи был разработан и встроен в функционал РТР VCH-003 и VCH-505 режим «граничных часов» (PTP BC). Режим РТР BC успешно протестирован и соответствует наивысшему Class C (максимальная ошибка по времени не превышает ± 30 нс)

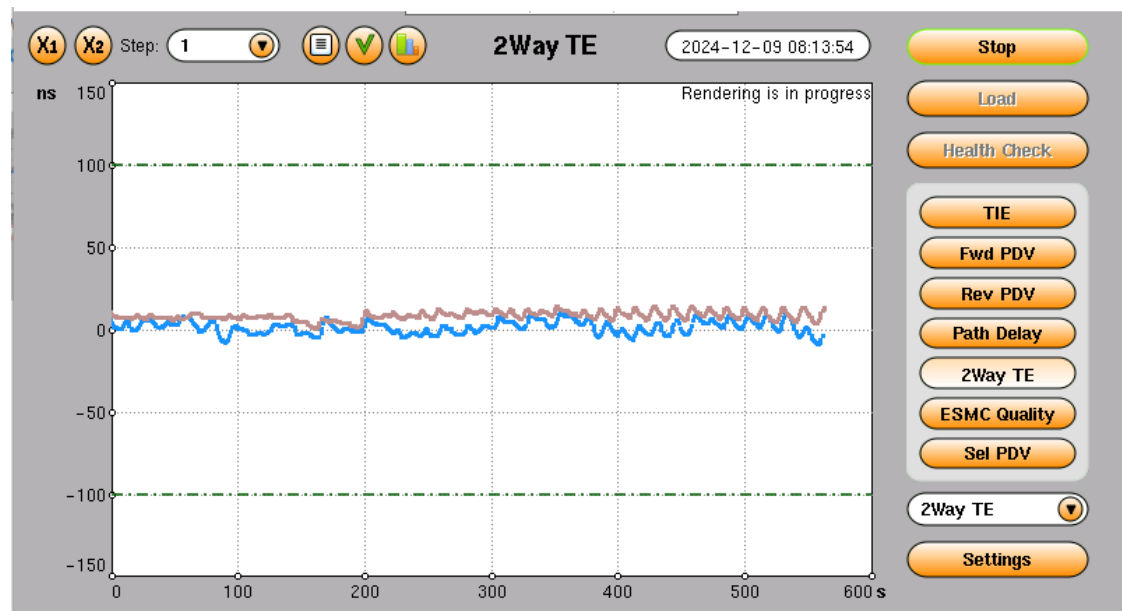


График измерения точности фазовой синхронизации PTPv2 (режим РТР BC) при помощи Sentinal



- Опорный генератор - кварцевый (DOXO) с температурной нестабильностью $\pm 5.0 \times 10^{-11}$ в диапазоне температур $+10 \dots +70$ °C.
Опция: рубидиевый, с нестабильностью до $\pm 10.0 \times 10^{-11}$ минус $10 \dots +75$ °C.
- Максимальная ошибка синхронизации часов сервера относительно UTC, при приеме сигнала GPS/ГЛОНАСС или внешнего сигнала 1PPS : **± 30 нс**.
- Максимальный уход часов (1PPS, PTP GM) относительно UTC после пропадания сигнала GPS/ГЛОНАСС при постоянной температуре окружающей среды за первые сутки не более:
 - ± 10 мкс (кварцевый генератор);
 - ± 2 мкс (при работе алгоритма компенсации старения кварцевого генератора);
 - ± 2 мкс (рубидиевый генератор)
 - ± 3 нс** при работе с водородным мазером VCH-1008C в режиме комбайнера частоты и времени.
- Управление по протоколам HTTPS, SSH, SNMPv2.
- Напряжение питания 1, 2: 100-240 В переменное или 36 – 72 В постоянное (в любой комбинации).
- Потребляемая мощность – не более 40 Вт.
- Средняя наработка на отказ, час, не менее 120 000.
- Срок службы – 20 лет.
- Рабочие условия применения:
 - диапазон температур воздуха, °C, $+5 \dots +40$;
 - влажность воздуха при температуре 25C, %, не более, 95.
- Габариты (ШхВхГ) – 440x32x252 мм
- Вес, не более: 4.2 кг.

Соответствие стандартам:

ITU-T G.703, G.704, G.781, G.811, G.811.1, G.812, G.8261, G.8262, G.8264, ITU-T G.8272, G.8273.2, G.8265.1, G.8275.1, G.8275.2

IEEE 1588v2 (PTP), 802.1Q (VLAN), 802.1ad, 802.1p (Priority)

RFC 1059 (NTPv1), RFC 1119 (NTPv2), RFC 1305 (NTPv3), RFC 5905 (NTPv4), RFC 4330 (SNTPv4)

ГОСТ IEC 62368-1-2014, ГОСТ CISPR 32-2015

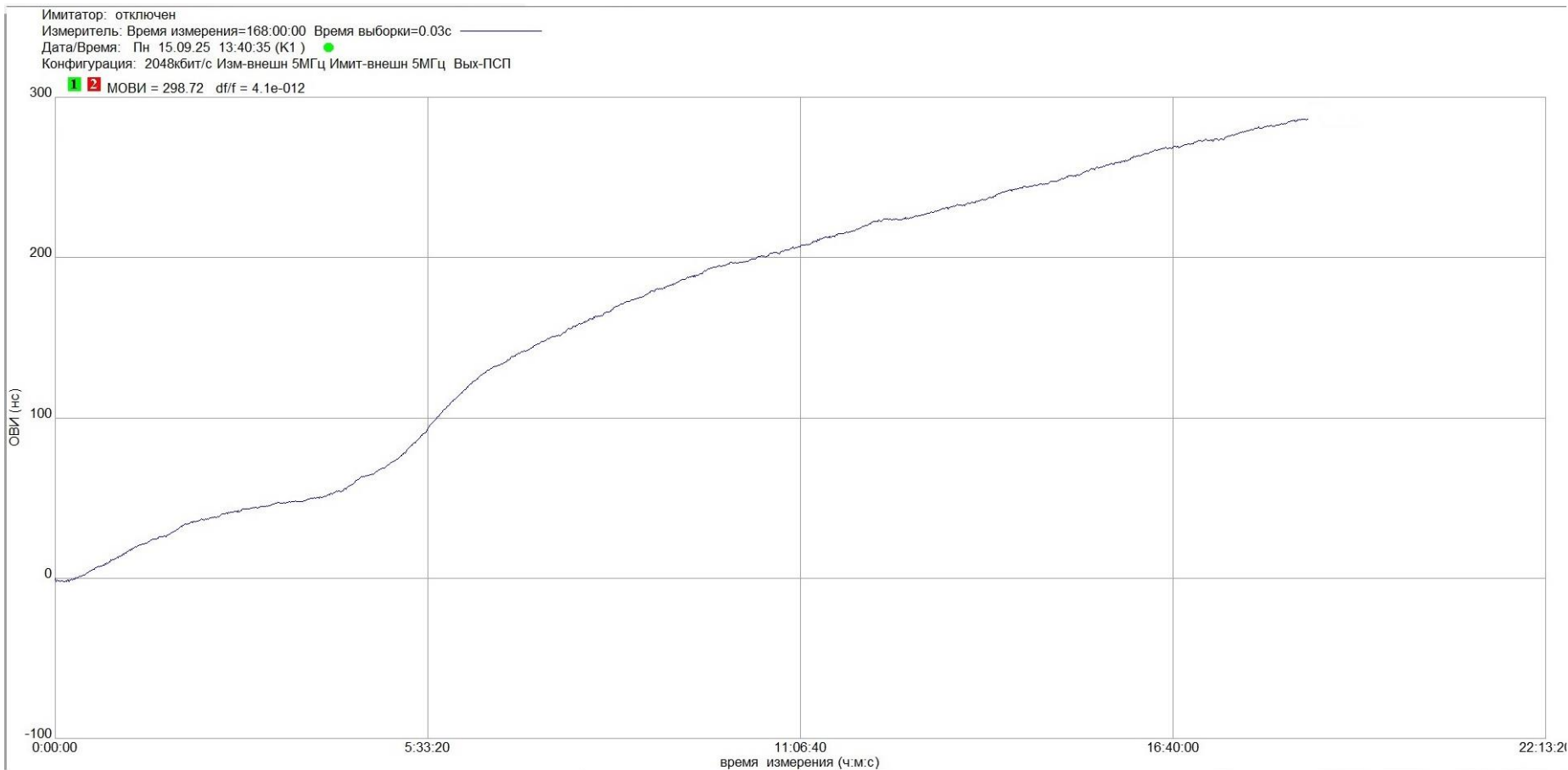


График фазы выходного синхросигнала в режиме
удержания с Rb

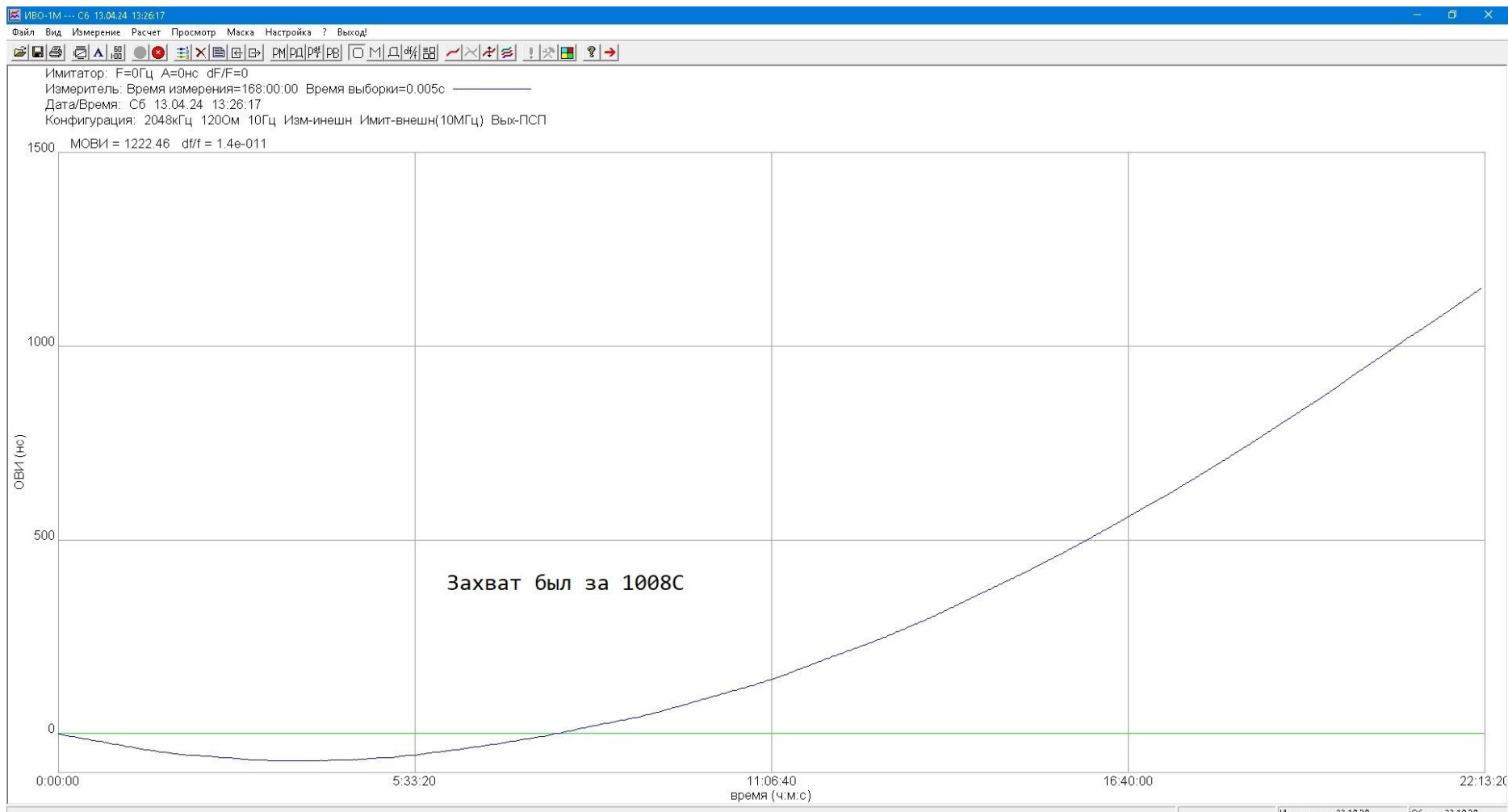


График фазы выходного синхросигнала в режиме удержания с DOСХО



В VCH-505/003 в режиме Holdover (удержания) при соблюдении нижеперечисленных условий применяется программный алгоритм автоматической компенсации старения (дрейфа) внутреннего кварцевого генератора. Расчёт величины компенсации старения внутреннего кварцевого генератора начинается после 7 суток с момента подачи питания и производится непрерывно скользящим окном шириной 3 суток (72 часа) в режиме захвата (Track) блока генератора.

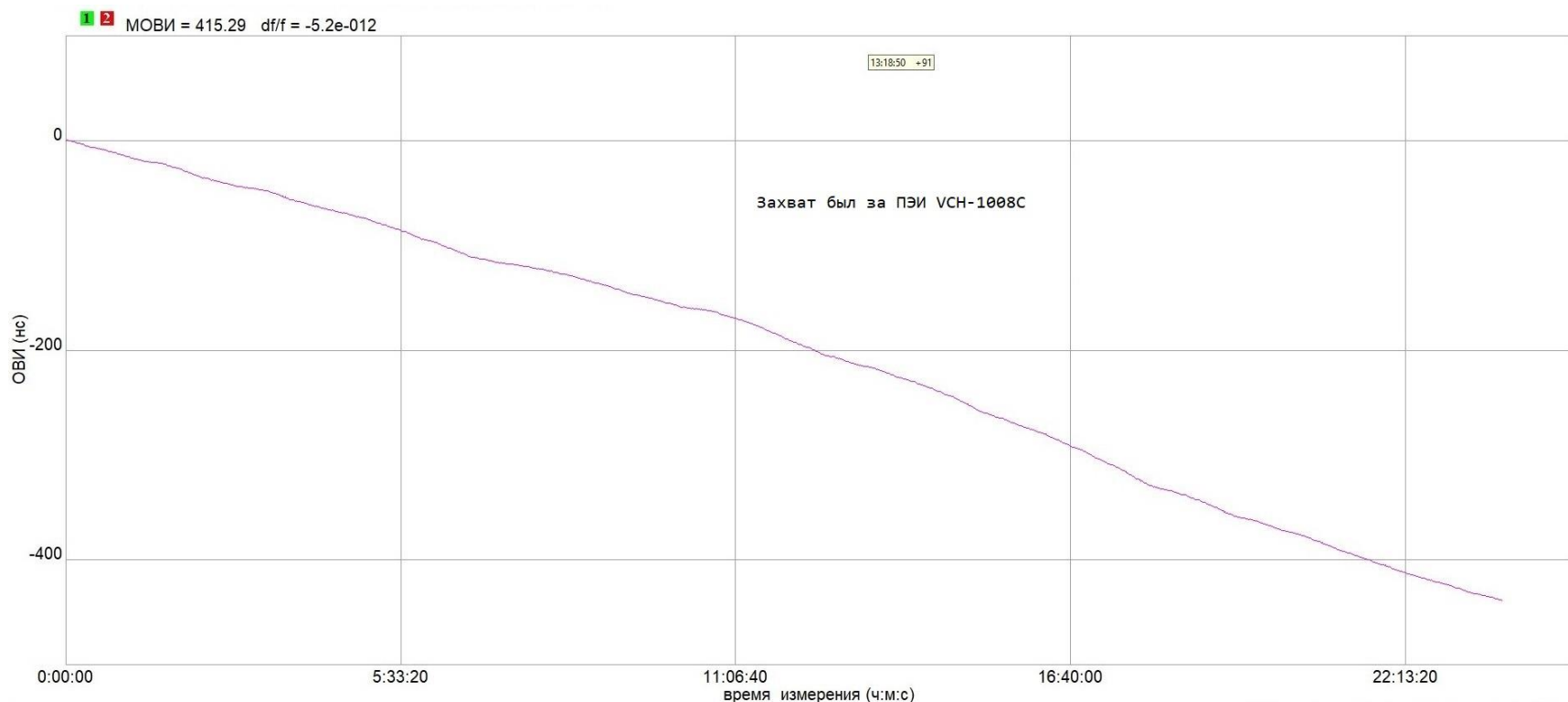


График фазы выходного синхросигнала в режиме
удержания с компенсацией дрейфа ДОСХО



- ❖ высокостабильные спектрально чистые синхросигналы:
 - синусоидальные: 1/5/10/100 МГц, $(1 \pm 0,2)$ В на нагрузке 50 Ом
 - импульсные:
 - 2,048 МГц, (1,5...2,8)В на нагрузке 75 Ом (МСЭ-Т G.703)
 - 1 Гц, длительность импульса $(10 \pm 0,1)$ мкс, TTL уровень на нагрузке 50 Ом
- ❖ в режиме хранения частоты соответствует МСЭ-Т G.811
- ❖ опция автокоррекции частоты по сигналам ГНСС (G.811.1)
- ❖ потребляемая мощность – не более 80 Вт

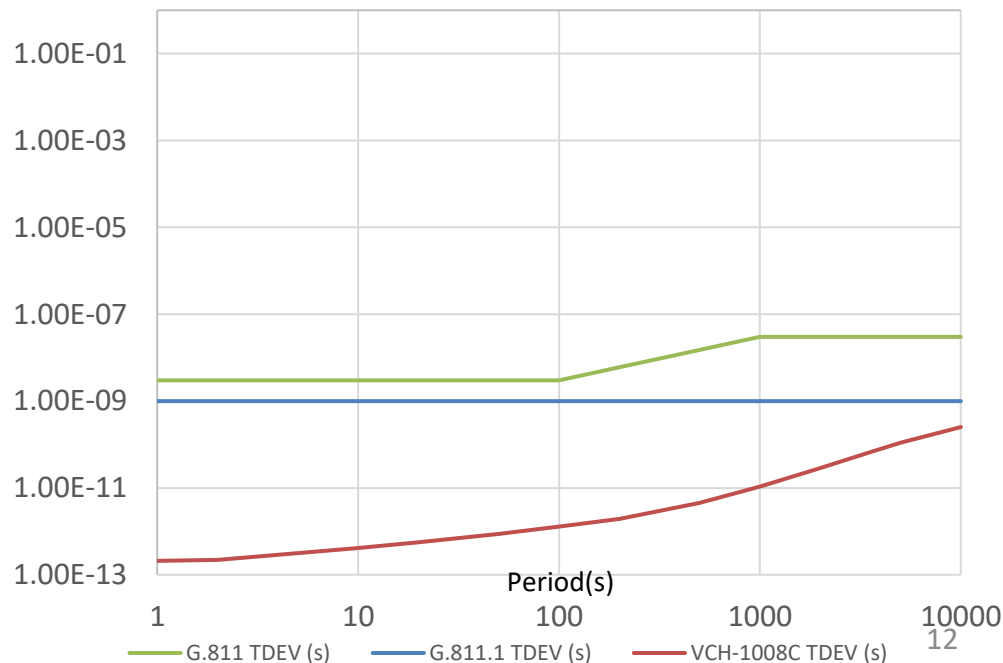


Погрешность по частоте

при выпуске	$\pm 3 \cdot 10^{-13}$
при эксплуатации	$\leq \pm 1 \cdot 10^{-12}$

TDEV(s)

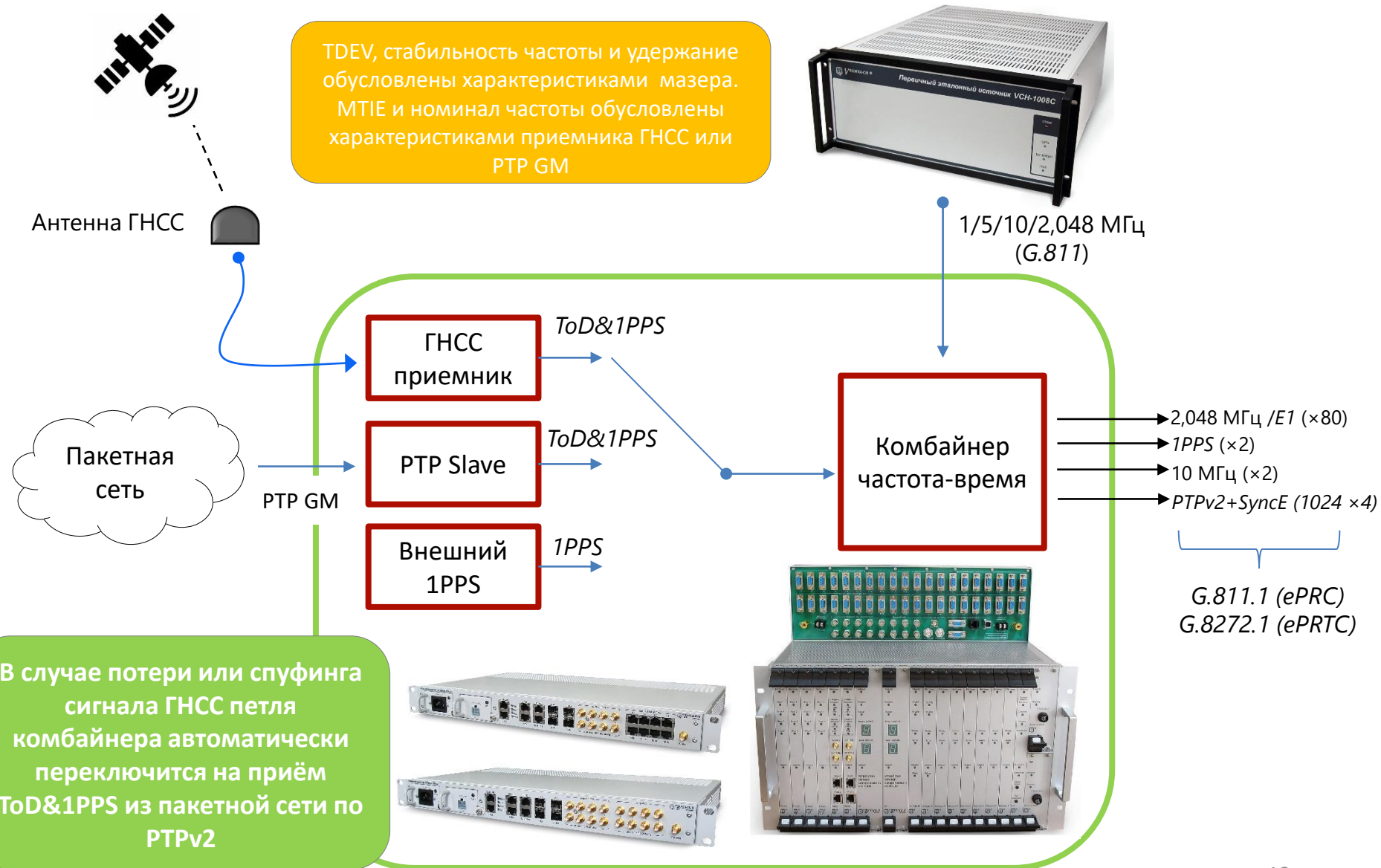
TDEV G.811, 811.1 and VCH-1008C



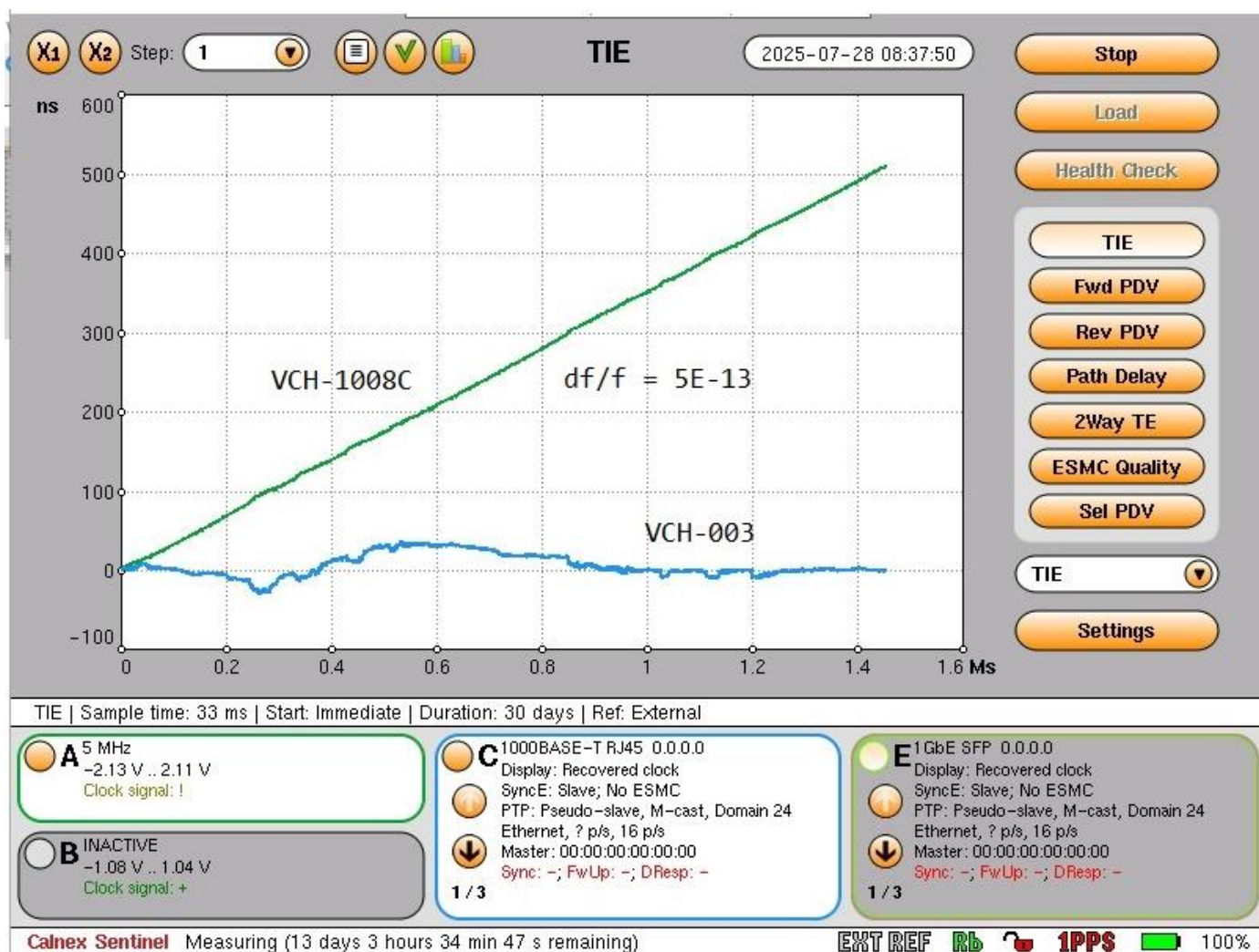


ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/BeiDou

Пассивный водородный лазер ПЭИ VCH-1008C (PRC)



ССС VCH-505 или УСС VCH-003



Подстройка и Захват петли комбайнера частоты (VCH-1008C) и
времени UTC (двухдиапазонный приёмник ГНСС)



Режим хранения петли комбайнера частоты (VCH-1008C) и
времени UTC (двухдиапазонный приёмник ГНСС)



Table 3 – ePRTC phase/time holdover requirements

	Time t (s)	Time error $\Delta x(t)$ (ns)
ePRTC-A	$0 < t \leq 1,209,600$ (14 days)	$ \Delta x(t) \leq 30 + 5.787037 \times 10^{-5} t$
ePRTC-B	For further study	For further study

NOTE – $t=0$ represents the start of holdover.

- за 14 суток уход фазы не должен превышать ± 100 нс.

Table 3 – ePRTC-A phase/time holdover requirements

Locked mode duration L (days)	Holdover Time t (s)	Time error $\Delta x(t)$ (ns)
$L < 6$ days	$0 < t \leq 70\,000$	$ \Delta x(t) \leq 30 + 1.000 \times 10^{-3} t$
$6 \text{ days} \leq L \leq 40 \text{ days}$	$0 < t \leq L \cdot 86\,400$ (L days)	$ \Delta x(t) \leq 30 + 70 t / (L \cdot 86\,400)$
$L > 40$ days	$0 < t \leq 3\,456\,000$ (40 days)	$ \Delta x(t) \leq 30 + 2.025463 \times 10^{-5} t$

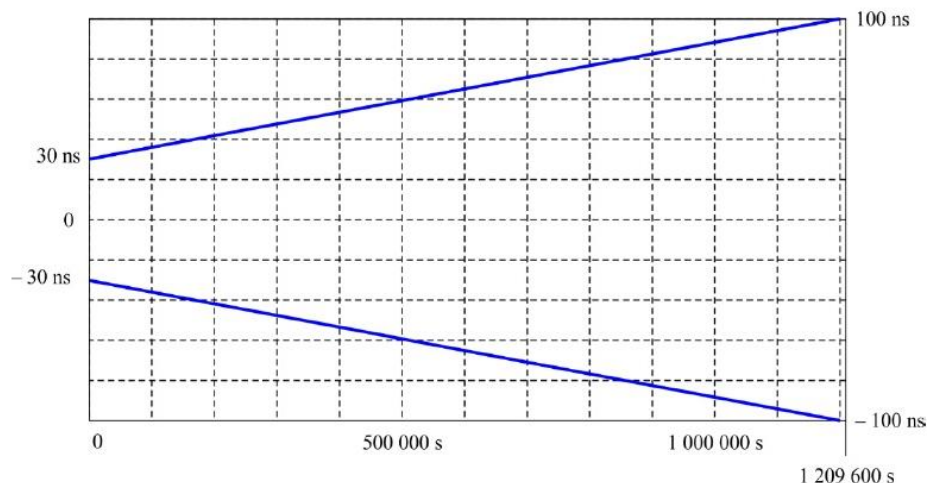
NOTE – $t=0$ represents the start of holdover.

- если захват длился менее 6 суток, за время 70000 сек. уход фазы не должен превышать ± 100 нс.
- если захват длился более 40 суток, то уже за время 40 суток уход фазы не должен превышать ± 100 нс.

Вывод:

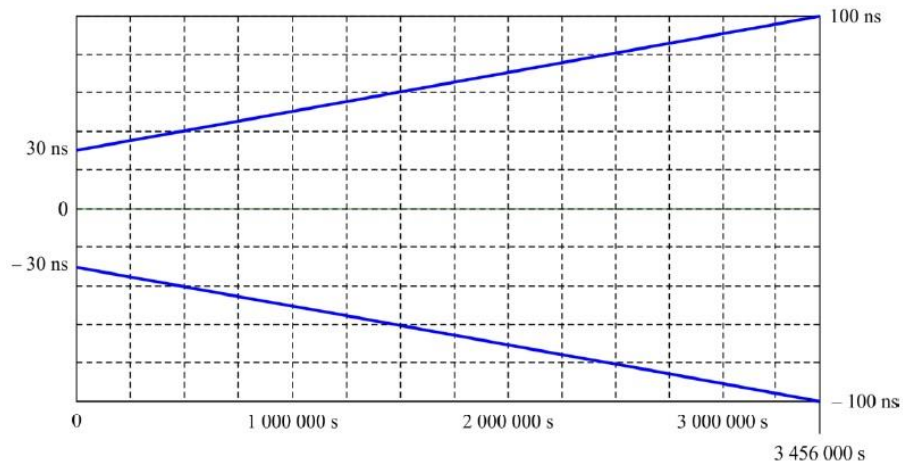
- во время работы VCH-505/003 в режиме комбайнера частоты и времени нужно более точно подстраивать частоту опорного сигнала, т.к. дрейф ПЭИ может достигать $1\text{E-}15$ за сутки. Поэтому в VCH-505/003 используется двухдиапазонный приёмник ГНСС.

Time error $\Delta x(t)$



Маска ОВИ для режима хранения частоты
ITU-T G.8272.1 (2016 г.)

Time error $\Delta x(t)$

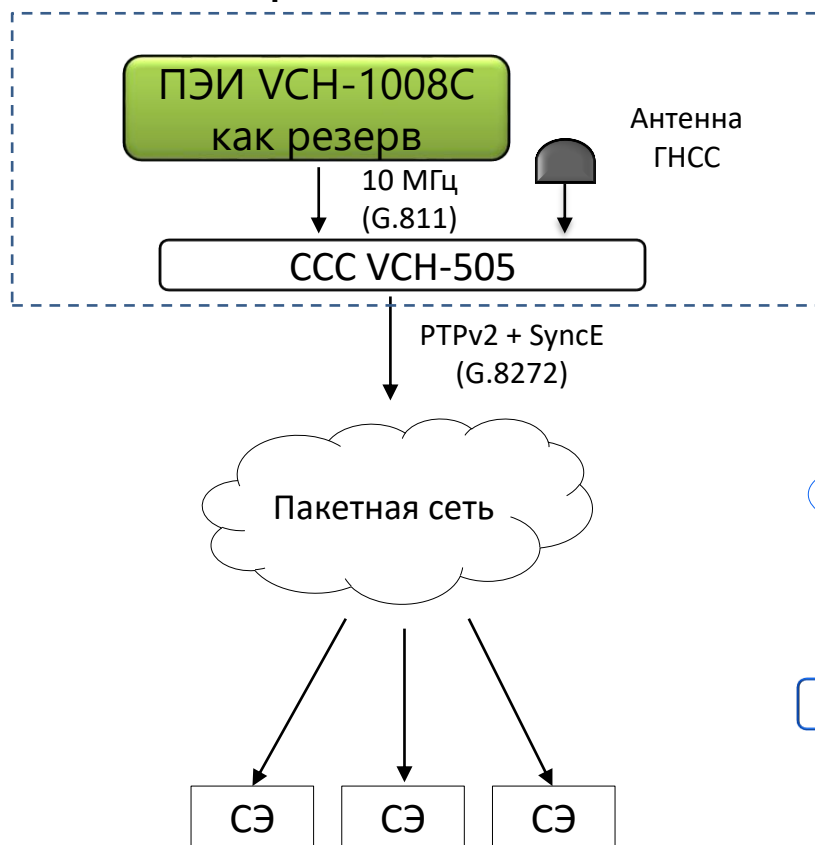


Маска ОВИ для режима хранения частоты
ITU-T G.8272.1 (2024 г.)



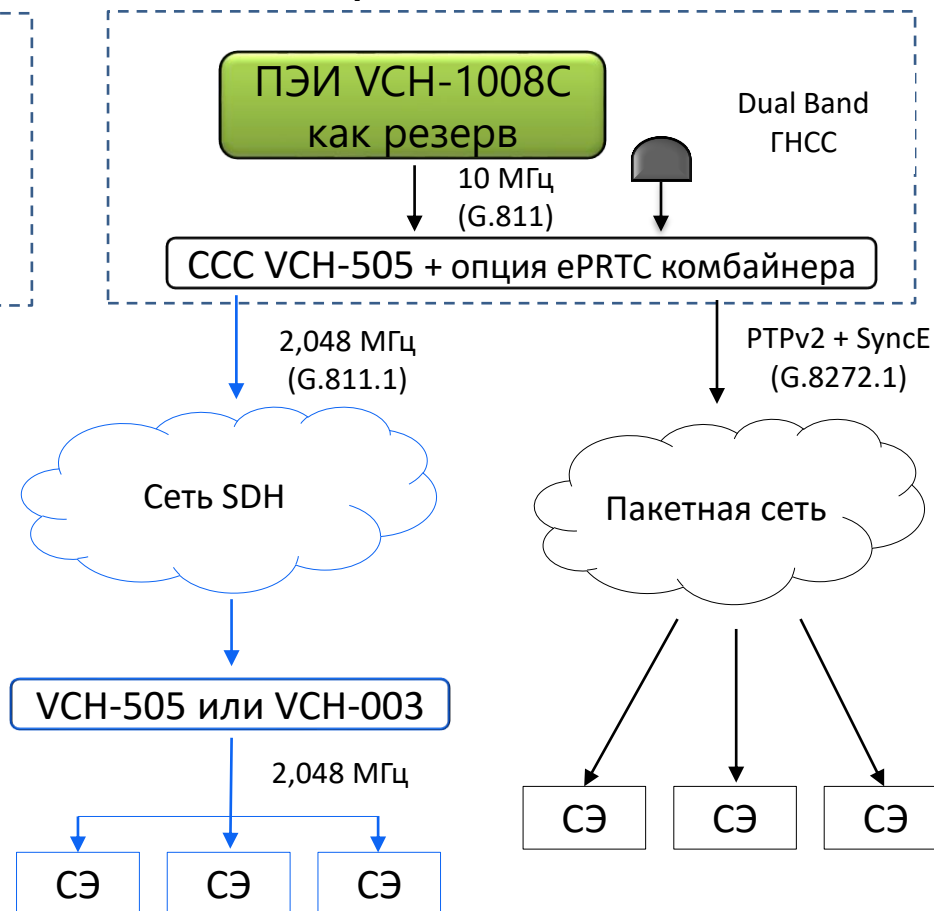
PRTC

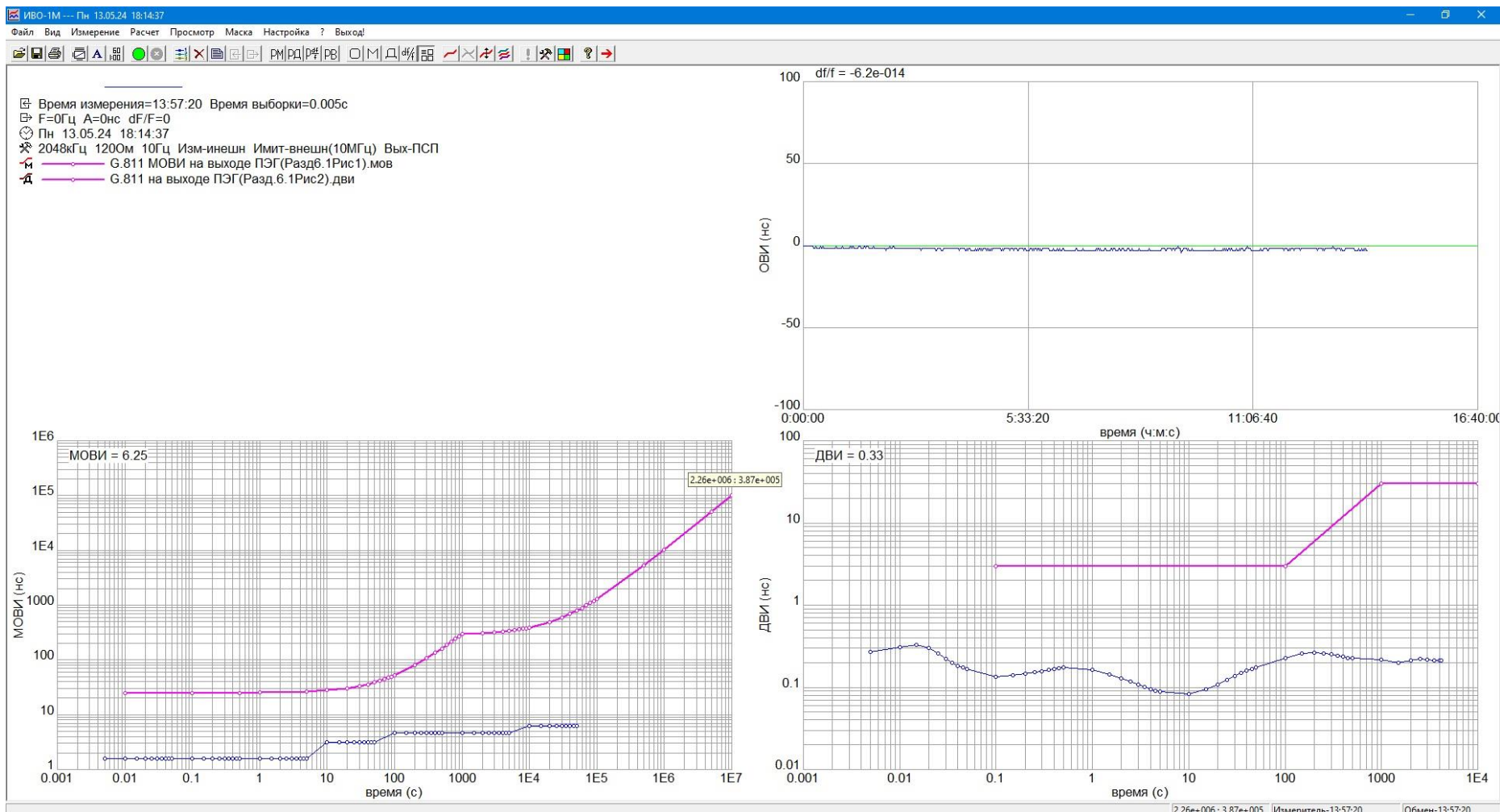
Частота (МСЭ-Т G.811)
Фаза/время (МСЭ-Т G.8272)

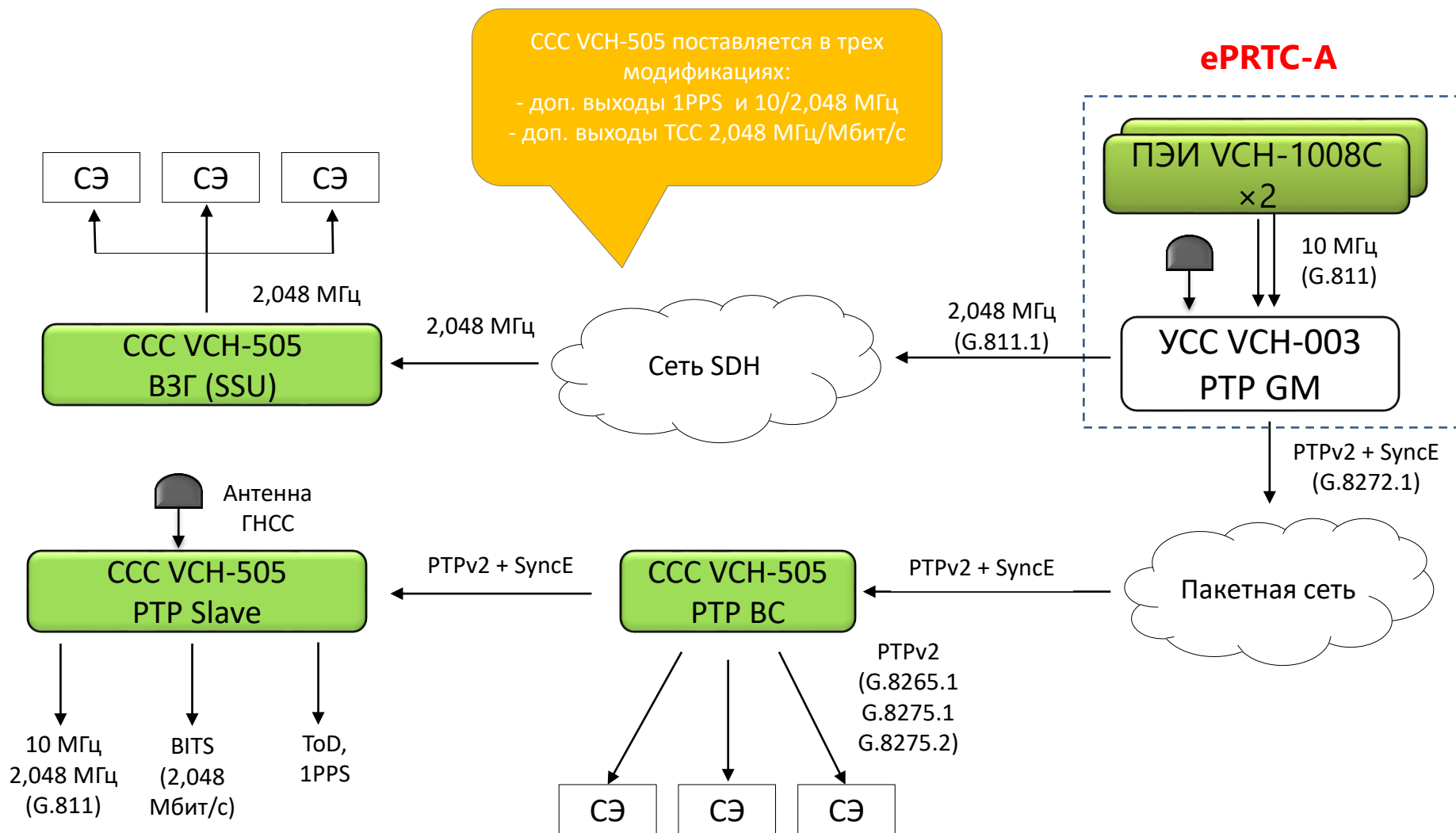


ePRTC-A

Частота (МСЭ-Т G.811.1)
Фаза/время (МСЭ-Т G.8272.1)









ВРЕМЯ-4[®]
РОССИЯ

Спасибо за внимание!