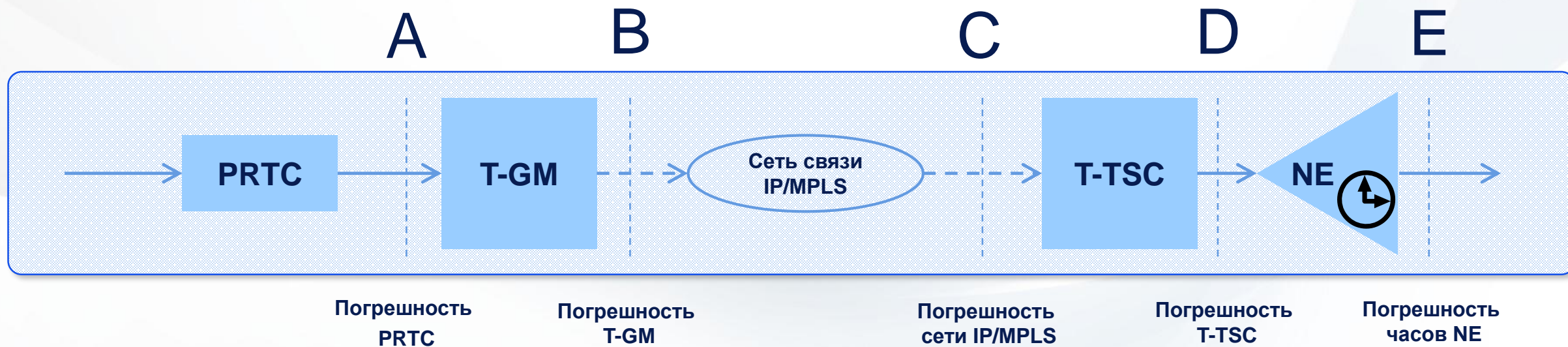


**МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОШИБОК ПРИ СИНХРОНИЗАЦИИ  
ВРЕМЕНИ В СЕТИ СВЯЗИ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ**

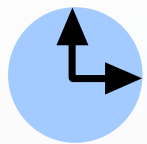
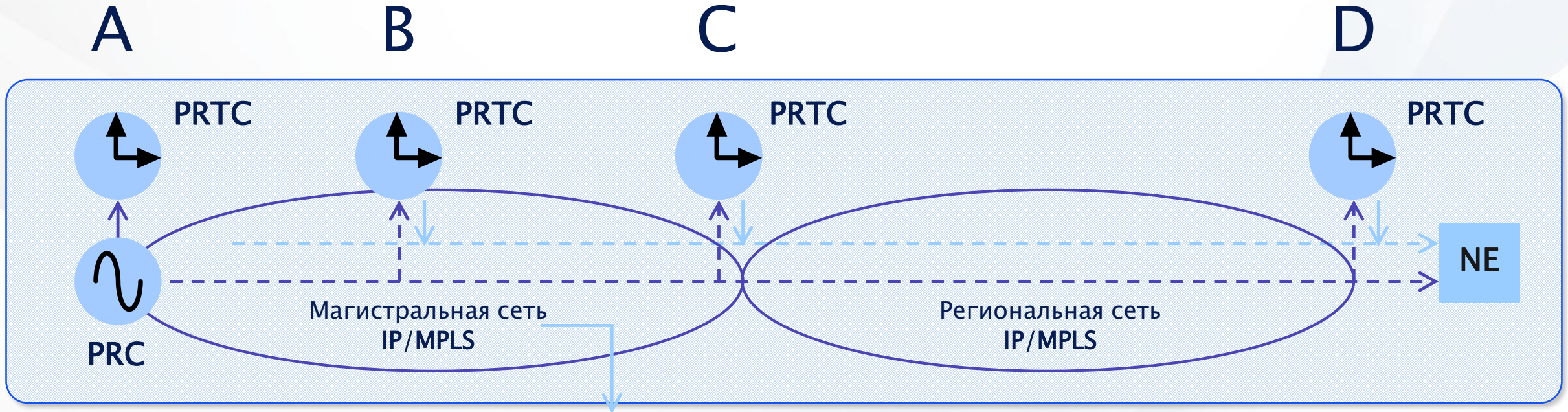
# СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ СЕТИ СВЯЗИ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛА СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ СОГЛАСНО РЕКОМЕНДАЦИЯМ МСЭ-T G.8271, G.8271.1



**PRTC** - Primary Reference Time Clock, **T-GM** - Telecom Grand Master,  
**T-TSC** - Telecom Time Slave Clock, **NE** - Network Element

# ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ ДОСТАВКА СИГНАЛА СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ ОТ СИГНАЛА PRC - PRIMARY REFERENCE CLOCK

СОГЛАСНО РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т G.8272



Сигнал PRTC



Распределение сигнала PRTC на основе PTP



Сигнал PRC



Распределение сигнала PRC на основе синхронного «Ethernet»

# ОСНОВНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ В СЕТИ СВЯЗИ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

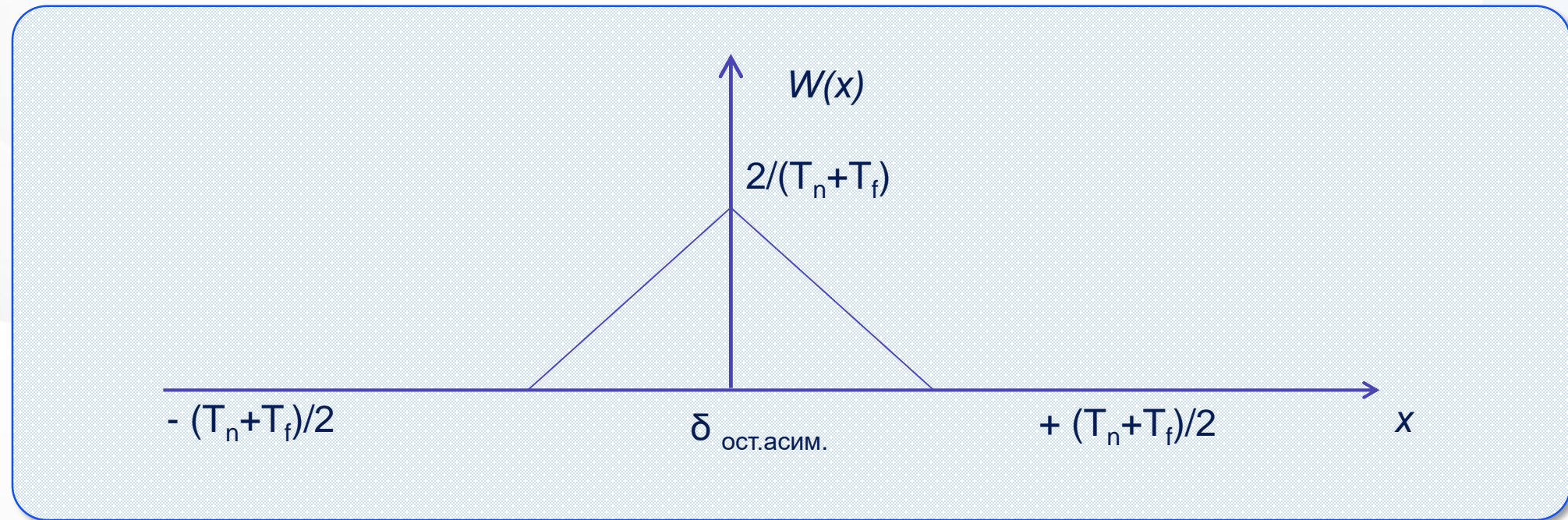
«Шум» передачи		«Шум» генератора	
«Шум» статической асимметрии задержки	«Шум» динамической асимметрии задержки	«Шум» установки	«Шум» нестабильности
Задержка распространения на физическом уровне	Случайное изменение задержки (например, задержки организации очереди пакетов)	Разрешающая способность метки времени, то есть период повторения частоты генератора шкалы времени	Уход генератора по частоте
Задержка распространения через сети на основе отличных от «Ethernet» принципов передачи, например, «Ethernet» по xDSL, PON, и т.д.	Низкочастотное изменение задержки (например, для разного времени суток - день / ночь)		
	Систематическое изменение задержки, обусловленное промежуточной вариацией задержки пакетов в основном при транспортировке пакета, то есть джиттер, при передаче на физическом и доменном уровнях		
	Изменения маршрутизации		

# ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ШУМА ГЕНЕРАТОРА

На основании сетевой модели, а также того, что законы распределения «шумов»  $W(x)$  установки и нестабильности внутреннего генератора «локальных часов» носят равновероятный характер и  $T_n = T_f$ , закон распределения суммарной погрешности будет определяться законом Симпсона и иметь вид, представленный ниже и в графической форме на рисунке с учетом «шума» передачи.

$$W(x) = \begin{cases} (2/(T_n + T_f)) * (1 - 2 * |x| / (T_n + T_f)) & \text{при } |x| < (T_n + T_f)/2 \\ 0 & \text{при } |x| > (T_n + T_f)/2 \end{cases}$$

# ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ «ЛОКАЛЬНЫХ ЧАСОВ»



$\delta_{\text{ост.асим.}}$  – шум передачи;

$T$  – период повторения импульсной последовательности генератора, формирующего шкалу времени;

$T_n = T/N$  – период повторения последовательности значащих моментов «локальных» часов;

$T_f$  – погрешность, обусловленная нестабильностью частоты генератора;

$N$  – целое число.

## ТРЕБОВАНИЯ К КОРРЕКЦИИ «ЛОКАЛЬНЫХ ЧАСОВ»

Следует отметить, что общая задержка передачи временных меток в сети с коммутацией пакетов определяет также такую характеристику, как максимально возможная частота подстройки синхросигнала, которая, например, для протокола PTP (Precision Time Protocol), находится в диапазоне  $1 \div 128$  Гц. При этом максимально допустимый период коррекции «локальных часов»  $T_{\text{кор}}$ , при котором ошибка от нестабильности частоты генератора  $\Delta f/f_n$  не превысит единицы периода повторения импульсной последовательности –  $T$  генератора, формирующего шкалу времени, равен:

$$T_{\text{кор макс}} \leq T / (\Delta f / f_n)$$

Тогда, например, максимально допустимый период коррекции «локальных часов»  $T_{\text{кор макс}}$  будет соответствовать частоте подстройки синхросигнала в диапазоне  $10 \div 100$  Гц, при нестабильности частоты генератора  $\Delta f/f_n = 10^{-6} \div 10^{-7}$ , что характерно для кварцевых генераторов, и погрешности установки шкалы времени  $T = 10 \times 10^{-9}$  с., обусловленной нестабильностью частоты генератора.

# ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ «ЛОКАЛЬНЫХ ЧАСОВ» НА ОСНОВАНИИ ПАТЕНТА ФГУП ЦНИИС № 2 637 872

Рассмотрим основные положения. Будем считать, что форма импульса описывается дискретной дельта - функцией Кронеккера, то есть:

$$\delta(t) = \begin{cases} 1, t = 0 \\ 0, t \neq 0 \end{cases}$$

В этом случае сигнал  $x(t)$ , характеризующий изменение времени «локальных часов» и определенный на континууме моментов времени, может быть представлен на интервале  $[0, T)$  в виде несчетного множества смещенных решетчатых функций:

$$x(nT, \varepsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} x((n + \varepsilon)T) * \delta(t - (n + \varepsilon)T)$$

$\varepsilon = 0, 1/N, \dots, N-1/N$  - коэффициент, характеризующий смещение решетчатой функции внутри интервала  $[0, T)$ .

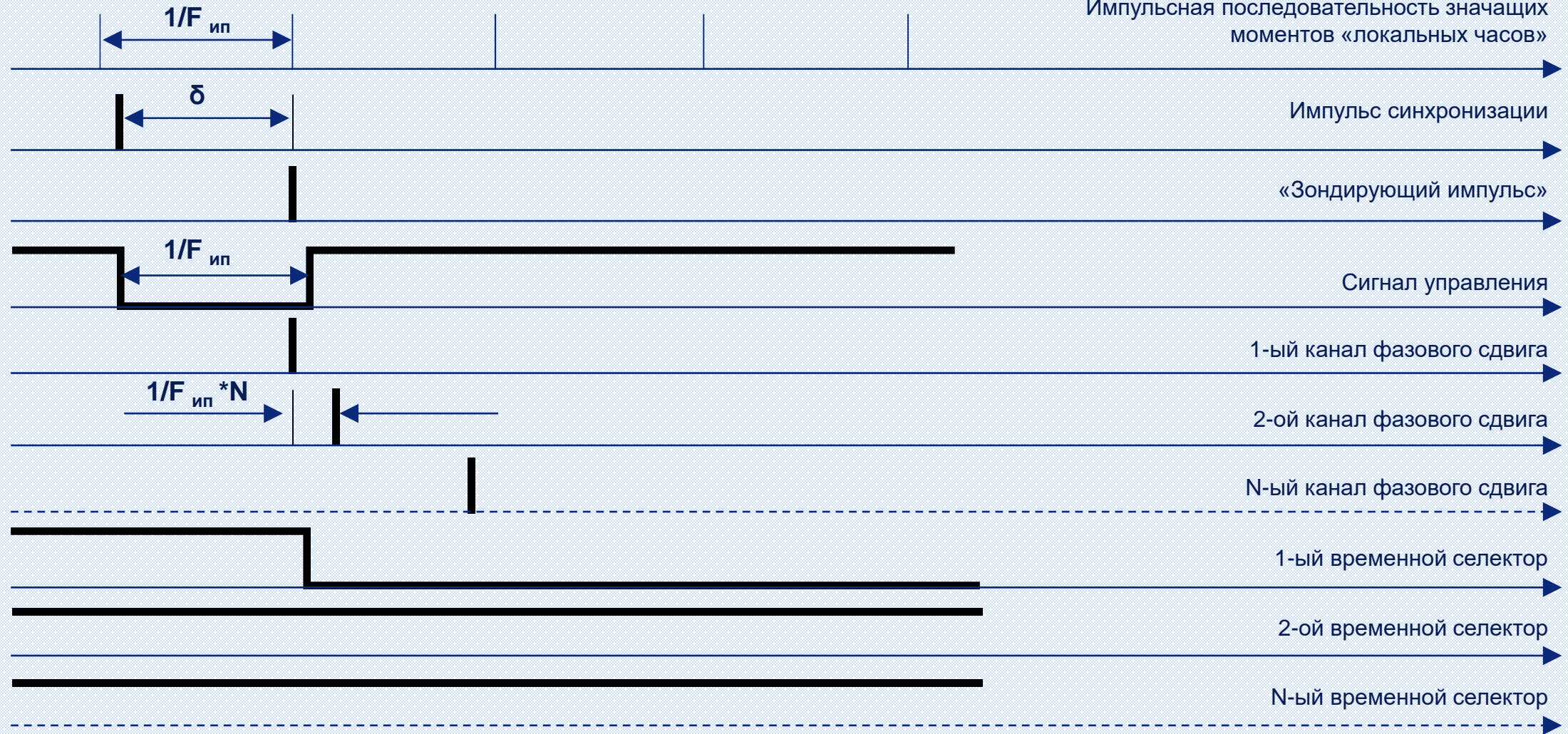
Тогда задача синхронизации времени будет состоять в выборе той решетчатой функции, которая имеет наименьший фазовый сдвиг по отношению к импульсу синхронизации. С этой целью в известных решениях для повышения точности повышают частоту обработки информации.

В патенте предложено повысить точность синхронизации не повышая частоту обработки информации, а за счет определения величины фазового сдвига и дополнительного фазового сдвига решетчатой функции дополняющего исходный сдвиг до такта и таким образом уменьшить случайную составляющую ошибки.



# ВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА ПРОЦЕССА ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЗНАЧАЩИХ МОМЕНТОВ СИГНАЛА «ЛОКАЛЬНЫХ ЧАСОВ»

Импульсная последовательность значащих моментов «локальных часов»



# ПАТЕНТ «ГЕНЕРАТОР ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ»



# ВЫВОДЫ

---

1

Погрешности синхронизации времени целесообразно анализировать отдельно как «шумы» передачи и «шумы» генерации, что позволяет сделать модель синхронизации времени универсальной и использовать ее, как при централизованном, так и децентрализованном способах доставки сигнала синхронизации времени потребителю

2

Предложенная модель распределения ошибок синхронизации времени позволяет провести численную оценку ошибок, сопровождающих процесс синхронизации времени, с учетом способа доставки сигнала

3

Предложенное в патенте решение повышает точность синхронизации времени

4

Вклад в ИК-15 (Вопрос Q.13) от Минкомсвязи РФ целесообразно разместить в Приложение X, Рекомендации МСЭ-T G.8271.1.