

# 1 Лазерные импульсные дальномеры

## 1.1 Принцип действия импульсных дальномеров

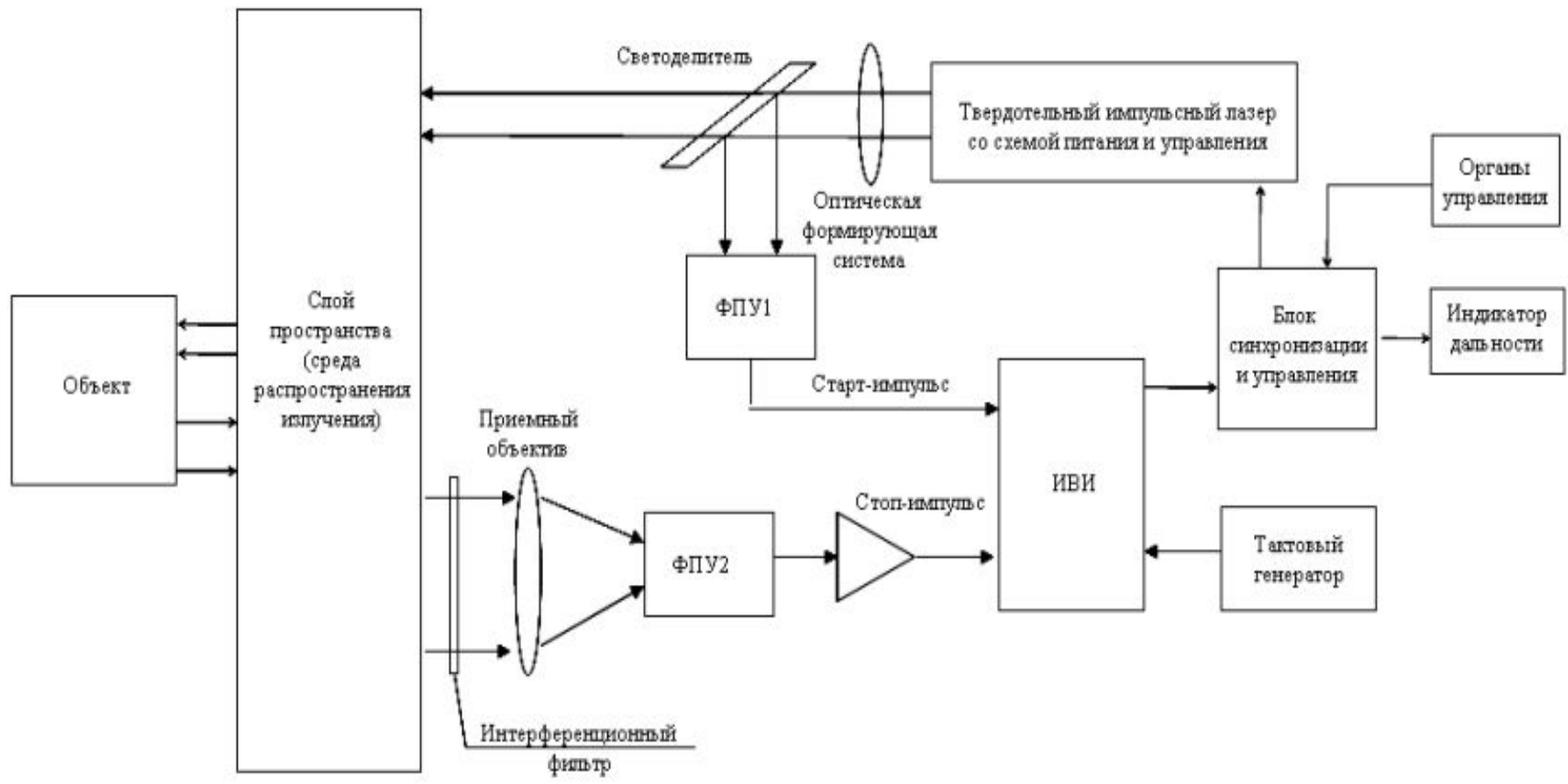
- Расстояние до объекта определяется по формуле

- 

$$L = \frac{c\Delta t}{2n},$$

- 
$$L = \frac{c\Delta t}{2n}$$

- L- расстояние,
- c - скорость света,
- $\Delta t$  - интервал времени между посылками и приемом зондирующего импульса,
- n - показатель преломления среды распространения светового импульса.



ФПУ – фотоприемное устройство.  
ИВИ – измеритель временных  
интервалов.

Основной вклад в погрешность измерения дальности до объекта вносят погрешности, возникающие при измерении временного интервала между моментами посылки и приема излучения зондирующего импульса. Среди них можно выделить:

- систематическую погрешность, обусловленную различным временем задержки сигнала в каналах фиксации излучаемого (старт-) и принимаемого (стоп-) импульсов;

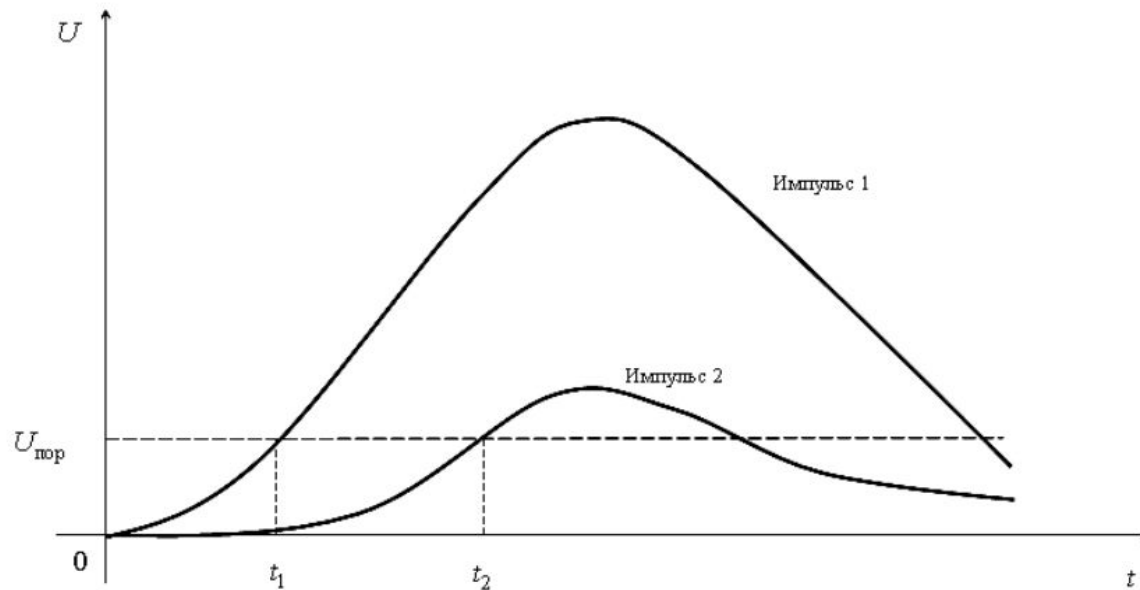
- погрешность, обусловленную конечной дискретностью измерителя временных интервалов;

Влияние *дискретности измерителя временных интервалов* при несинхронности его внутренней тактовой частоты с моментами излучения зондирующего импульса можно оценить по дисперсии связанной с ней погрешности:

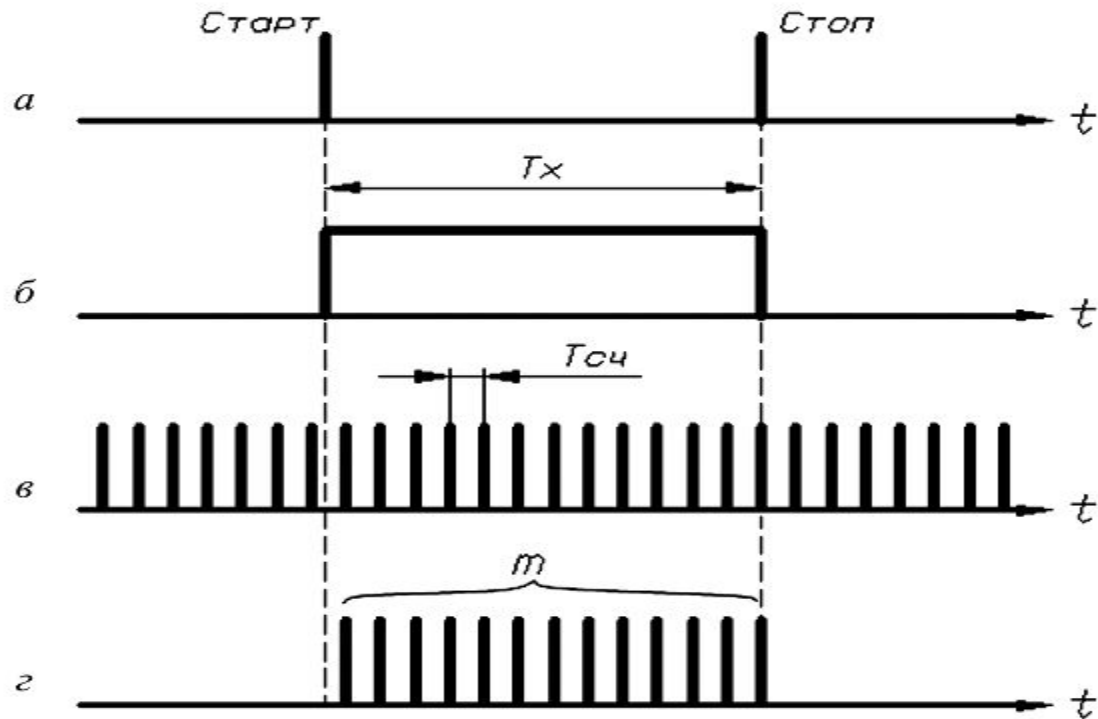
$$D = \frac{\Delta d^2}{6},$$

где  $\Delta d$  — дискретность измерителя временных интервалов в единицах дальности. Тогда среднее квадратичное отклонение оценки дальности составит  $\delta = 0,408\Delta d$ . При использовании тактового генератора для измерителя временных интервалов с частотой 150...300 МГц погрешность, вызванная дискретностью, составит 0,1...0,2 м.

# Временная привязка принятого импульса по уровню



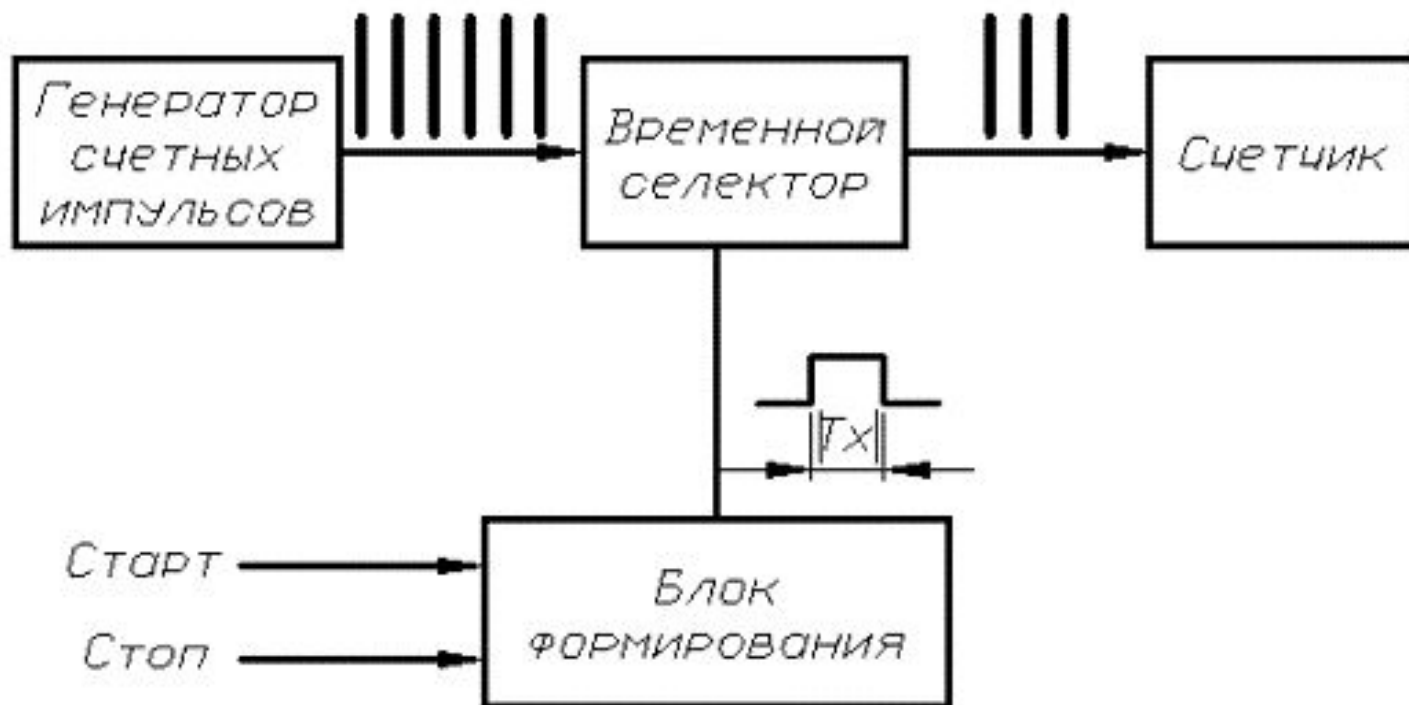
# 1.1 Метод непосредственного счета



$a$  — старт- и стоп-импульсы;  $b$  — прямоугольный импульс;  $v$  — периодическая последовательность счетных импульсов;  $z$  —  $m$  вырезанных импульсов



# Структурная схема измерения временных интервалов методом непосредственного счета импульсов



Собственное разрешение метода непосредственного счета составляет  $\pm T_{\text{сч}}$ , например  $\pm 5$  нс при частоте следования счетных импульсов 200 МГц, что соответствует расстоянию  $\pm 0,75$  м. Разрешение можно улучшить посредством усреднения, но одновременно с этим увеличивается и время измерения.

## 1.2 Аналоговый метод

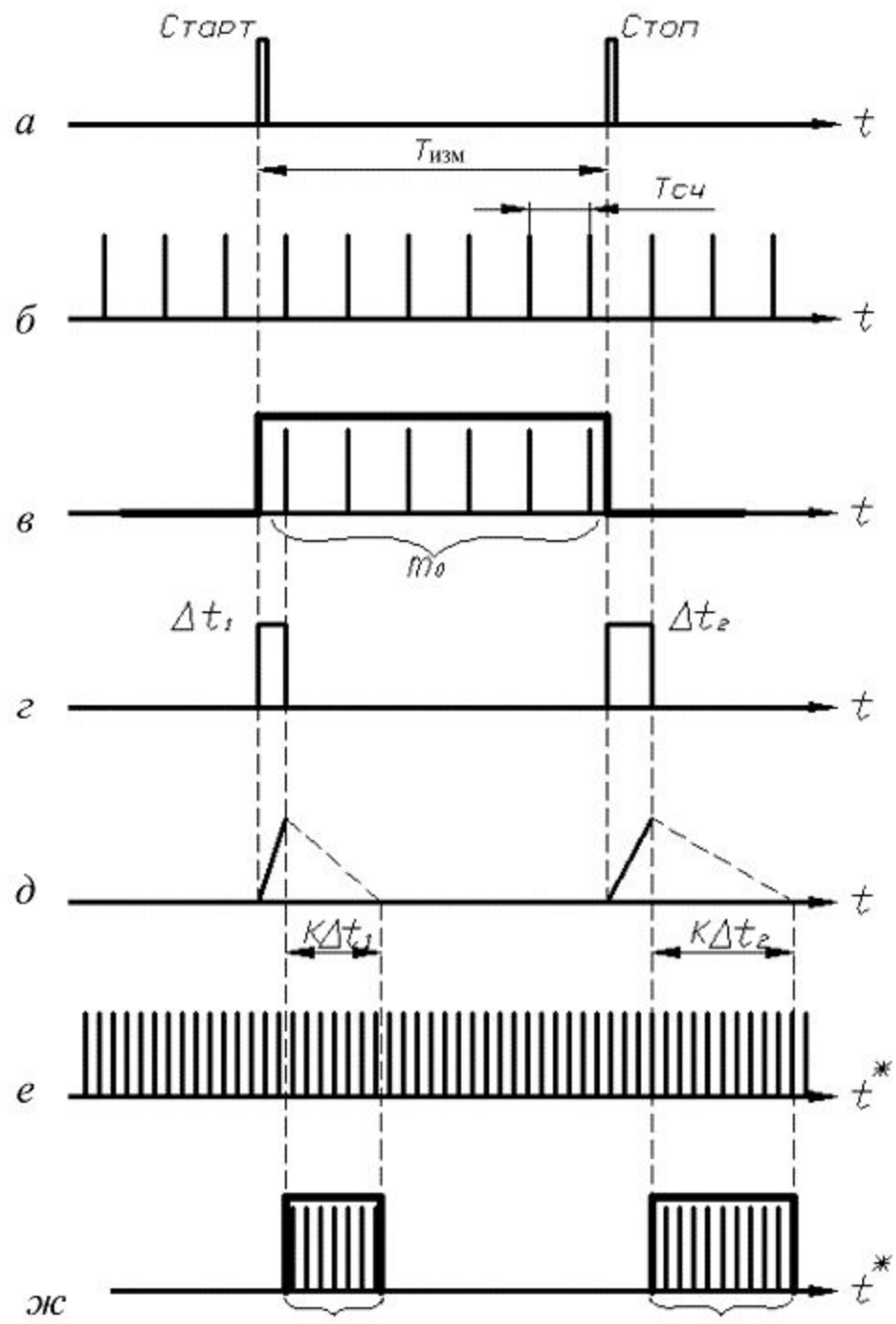
При аналоговом методе измерения временных интервалов конденсатор схемы ИВИ заряжается или разряжается постоянным током в течение временного интервала. Напряжение с конденсатора поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Конструкция управляющего устройства или цифровой части аналогового преобразователя времени в амплитуду зависит от специфики его применения. Наиболее важное преимущество аналогового метода измерения временных интервалов — его собственное устойчивое разрешение, которое может составлять всего несколько пикосекунд. Типичная линейность метода равна 0,1 %, и в силу этой причины трудно достичь точности хотя бы 100 пс (1,5 см) за промежуток времени, больший 100 нс (15 м). Таким образом, этот метод больше всего подходит для измерений на коротких дистанциях. Еще одним недостатком метода, присущим всем аналоговым методам измерения интервалов времени, является температурный дрейф.

# 1.3 интерполяционные методы

Диаграммы измерения временных интервалов, объединяющие

методы непосредственного счета и интерполяционной цепи:

$a$  — старт- и стоп-импульсы;  $b$  — счетные импульсы с периодом  $T_{сч}$ ;  $v$  — временные «ворота»  $T_{изм}$  для счетных импульсов;  $z$  — счетные интервалы  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ ;  $d$  — растяжение интервалов  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ ;  $e$  — заполнение интервалов импульсами;  $ж$  — счет числа импульсов в интервале



Применение метода непосредственного счета в интерполяционной цепи показывает хорошие результаты при измерении временных интервалов. Сущность метода состоит в том, что помимо целого числа периодов счетных импульсов, заполняющих измеряемый интервал времени, учитываются и дробные части периода, заключенные между старт-импульсом и первым счетным импульсом, а также между последним счетным импульсом и стоп-импульсом.

Старт- и стоп-импульсы задают измеряемый интервал времени  $T_{\text{изм}}$  (рис. 1.5, *a*). Счетные импульсы с периодом  $T_{\text{сч}}$  (рис. 1.5, *б*) заполняют временные «ворота»  $T_{\text{изм}}$  (рис. 1.5, *в*). Число импульсов равно  $m_0$ . Первый счетный импульс, попавший в «ворота», запаздывает относительно их фронта на время  $\Delta t_1$ , а срез «ворот» и очередной счетный импульс, появившийся после среза, разделяет интервал  $\Delta t_2$  (рис. 1.5, *в* и *г*). Следовательно, измеряемый интервал времени разделяется на три части:

$$T_{\text{изм}} = m_0 T_{\text{сч}} + \Delta t_1 - \Delta t_2.$$

Погрешность дискретности исключается, если точно учесть временные отрезки  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ . Измерение интервалов  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  происходит следующим образом.

За время  $\Delta t_1$  линейно заряжается конденсатор, который затем разряжается в  $K$  раз медленнее, т.е. время разряда составляет  $K\Delta t_1$  (рис. 1.5, *д*). Этот интервал заполняется теми же счетными импульсами, и подсчитывается их число  $m_1$  (рис. 1.5, *е*, обозначением оси времени  $t^*$  подчеркивается, что здесь масштаб времени отличается от масштаба времени остальных графиков). Аналогично «растягивается» отрезок  $\Delta t_2$ . Полученный интервал  $K\Delta t_2$  также заполняется счетными импульсами, число которых составляет  $m_2$ . Так как  $m_1 = K\Delta t_1/T_{сч}$  и  $m_2 = K\Delta t_2/T_{сч}$ , подстановка значений  $\Delta t_1 = m_1 T_{сч}/K$  и  $\Delta t_2 = m_2 T_{сч}/K$  в формулу для  $T_{изм}$  дает:

$$T_{изм} = (Km_0 + m_1 - m_2) \frac{T_{сч}}{K},$$

или

$$T_{изм} = \frac{Km_0 + m_1 - m_2}{KF_{сч}}.$$



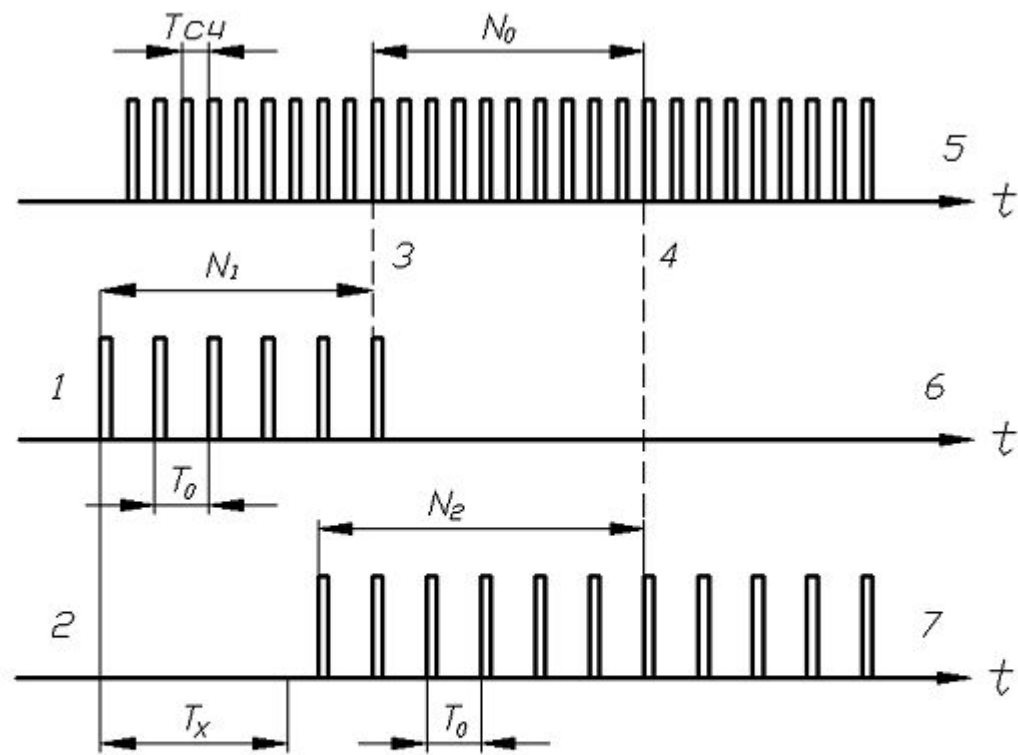
Обозначив  $Km_0 + m_1 - m_2 = m$  и  $KF_{сч} = F'_{сч}$ , получим

$$T_{\text{изм}} = \frac{m}{F'_{сч}}. \quad (1.4)$$

Из выражения (1.4) видно, что интервал времени измеряется с максимальной абсолютной погрешностью дискретности  $T'_{сч} = T_{сч}/K$ , что равносильно заполнению его счетными импульсами с частотой следования в  $K$  раз выше, чем  $F_{сч}$ . Например, при  $F_{сч} = 10$  МГц и  $K = 1000$  погрешность дискретности интерполяционного метода будет такой же, как и при методе непосредственного счета с использованием счетных импульсов с частотой 10 ГГц.

## 1.4 Нониусный метод

Принцип нониусного метода продемонстрирован на рис. 1.6. Данный метод применяется в технике измерения временных интервалов как инструмент для уменьшения погрешности метода непосредственного счета и как самостоятельный метод построения некоторых измерительных устройств.



**Рис. 1.6.** Диаграммы измерения временных интервалов нониусным методом:

1, 2 — старт- и стоп-импульсы; 3, 4 — моменты стартового и стопового совпадения; 5 — счетная последовательность; 6, 7 — импульсы, формируемые запускаемыми нониусными генераторами

Старт- и стоп-импульсы, которые в общем случае могут быть несинхронны с импульсами счетной последовательности, запускают два отдельных нониусных генератора, когерентных по фазе со старт- и стоп-импульсами соответственно. Периоды импульсов, формируемых этими генераторами, чуть меньше периода импульсов счетной последовательности. Выходные сигналы нониусных генераторов смешиваются с сигналом счетной последовательности, и моменты их совпадения детектируются. Измеряемый временной интервал  $T_{\text{изм}}$  можно вычислить посредством счета числа стартовых генераторных импульсов  $N_1$  вплоть до совпадения с импульсами счетной последовательности, счета стоп-импульсов генераторных импульсов  $N_2$  вплоть до аналогичного совпадения и числа счетных импульсов  $N_0$  между этими двумя совпадениями:

$$T_{\text{изм}} = T_{\text{сч}} \left[ N_0 + \frac{T_0}{T_{\text{сч}}} (N_1 - N_2) \right]. \quad (1.5)$$

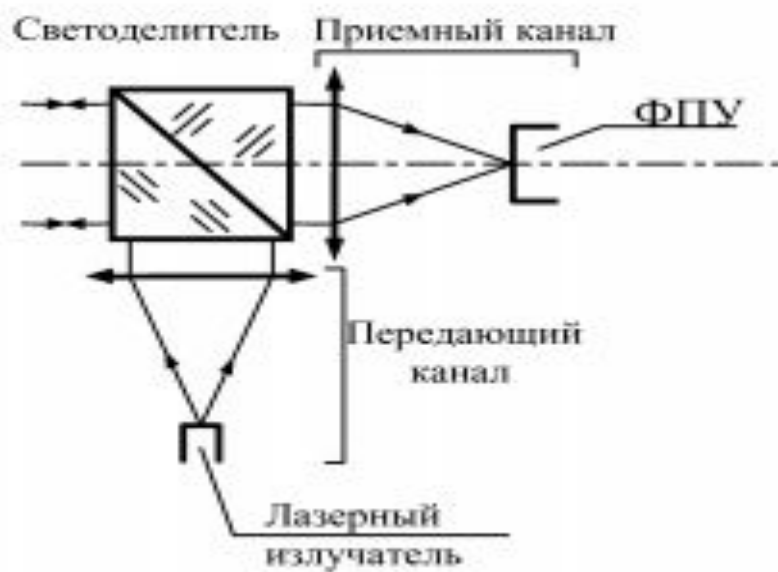
Достигаемое таким образом разрешение пропорционально разности между периодами счетных импульсов и импульсов отдельных нониусных генераторов. Теоретически устойчивое разрешение может быть доведено до десятков пикосекунд. Однако при этом предъявляются жесткие требования к узлам схемы: необходимо обеспечить высокую стабильность частот счетных импульсов и запускаемых генераторов, а также высокую разрешающую способность схем совпадения.

## Особенности построения оптических систем импульсных дальномеров

Функционально оптические системы дальномеров (формирующая и приемная) должны решать следующие задачи:

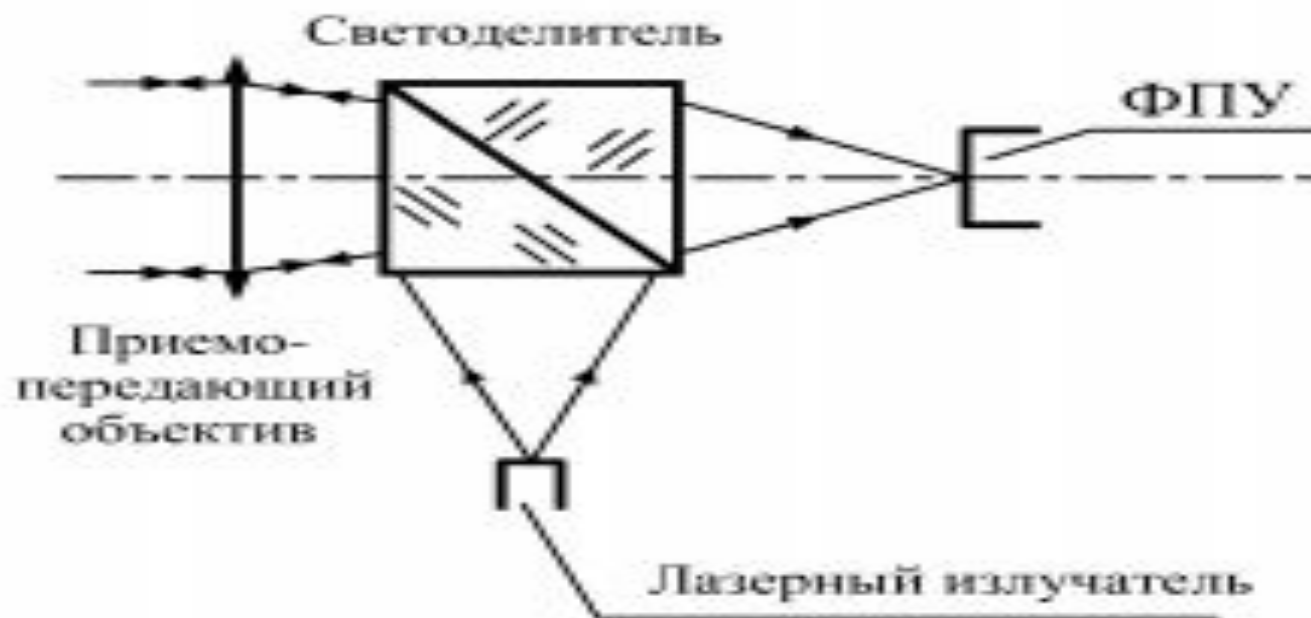
1) формировать излучение источника (лазера) с заданными расходимостью и неравномерностью распределения силы излучения в индикатрисе, а также с требуемой плотностью мощности в рабочем секторе;

2) регистрировать отраженный от объекта лазерный локационный сигнал на данной длине волны в требуемом поле зрения.



*a*

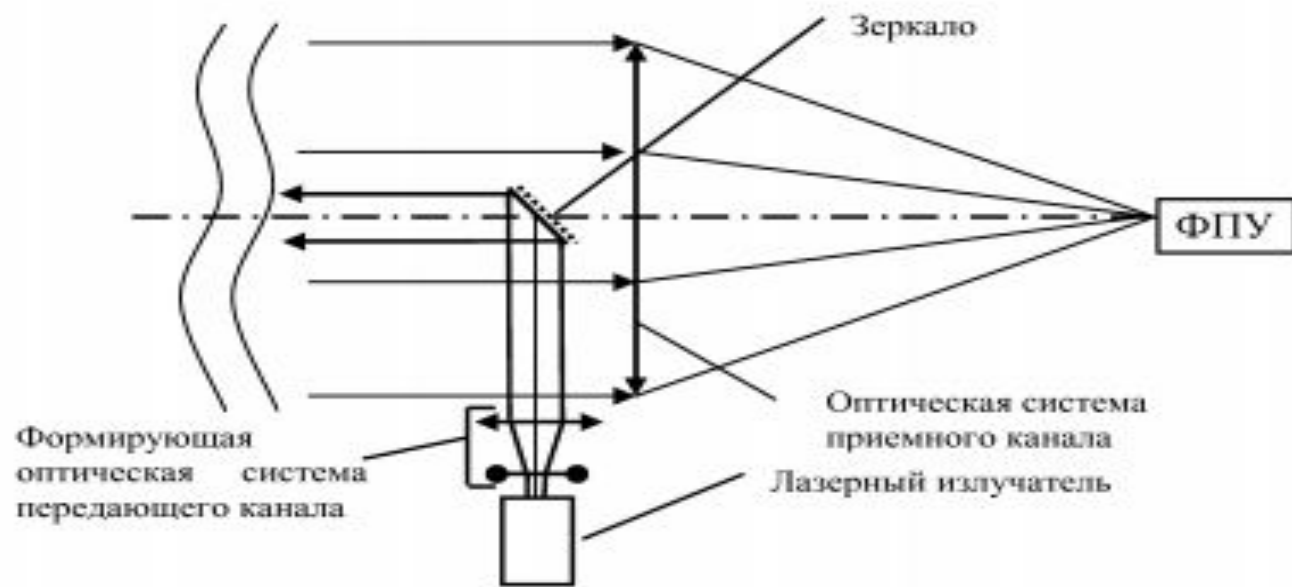
*a* — схема со светоделителем и с отдельными приемопередающими объективами;



*б*

*б* – схема со светоделителем и с общим приемопередающим объективом;





*в*

*в* — схема с зеркалом ввода излучения передающего канала