

*к.т.н. Мурга В.В.,
Мельков С.М., Мурга Е.В.,
Горельников С.А., Любич И.В.
(ДонГТУ, ГМЦ «Орион», г. Алчевск)*

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СИГНАЛА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ

В роботі проведено аналіз точності визначення дальності при лазерній локації супутників при різних методах обробки сигналу, який надходить до фотодетектора. Показано, що комбінований спосіб обробки дозволяє значно підвищити точність вимірювань і має гарні перспективи при застосуванні.

Ключові слова: *лазерна локація, фотодетектор, подвійне диференціювання.*

В работе проведен анализ точности определения дальности при лазерной локации спутников при различных методах обработки сигнала, который приходит на фотодетектор. Показано, что комбинированный способ обработки позволяет значительно повысить точность измерений и имеет хорошие перспективы при использовании.

Ключевые слова: *лазерная локация, фотодетектор, двойное дифференцирование.*

Полезный сигнал, поступающий на вход устройства временной привязки при лазерной локации ИСЗ можно приближённо представить импульсом напряжения $U(t)$ колоколообразной формы отрицательной полярности:

$$U(t) = -U_0 e^{-\delta^2 t^2}, \quad (1)$$

где U_0 - амплитудное значение; δ – параметр, характеризующий форму (длительность фронта).

Если осуществлять привязку по постоянному порогу, упрощённая структурная схема которой изображена на рисунке 1, то в динамическом диапазоне амплитуд входных сигналов 100 и более привязка будет сравнима с длительностью фронта.

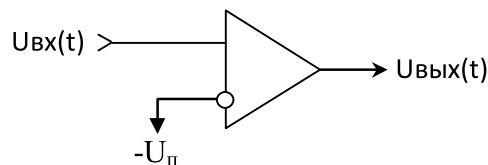


Рисунок 1 – Привязка по постоянному порогу, где $U_{п}$ - постоянное пороговое напряжение

Обработка сигнала, который приходит от цели при лазерной локации ИСЗ в качестве устройства временной привязки принято использовать дискриминатор постоянной фракции (constant fraction discriminator (CFD)), упрощённая схема которого изображена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Дискриминатор постоянной фракции

CFD - привязка при неизменной длительности фронта входных сигналов позволяет существенно уменьшить разброс (до единиц, десятков пикосекунд) момента срабатывания компаратора в динамическом диапазоне амплитуд входных сигналов 100, 1000.

Во время локации флуктуации интенсивности эхо-сигнала могут породить импульсы на выходе фотоприёмного устройства как от одного, так и от сотни фотоэлектронов, эмиттированных фотокатодом. Что приводит к флуктуации длительности фронта импульса напряжения, поступающего на вход устройства временной привязки. Погрешность CFD - привязки значительно увеличивается (> 100 пикосекунд) при изменении длительности фронта всего на $10 \div 15 \%$.

Расчёт показал, что при ПФ-привязке в динамическом диапазоне входных амплитуд 100 при одинаковых параметрах $\tau = 2$ нс, $f = 0.5$ увеличение длительности фронта импульса $U_{вх_min}(t)$ на 20% по сравнению с фронтом $U_{вх_max}(t)$ приводит к увеличению разброса срабатывания компаратора на 0.156 нс.

Для снижения влияния флуктуации фронта на точность временной привязки следует искать другие методы.

Известно, что вторая производная меняет свою полярность в точке перегиба исходной функции. Также известно [1], что у колоколооб-

разного импульса (1) имеется две точки перегиба симметричные относительно оси ординат. Одна из этих точек имеет абсциссу

$$X = -\frac{1}{\delta\sqrt{2}}, \quad (2)$$

зависящую только от формы импульса δ (длительности фронта) и не зависящую от амплитуды U_0 и ординату

$$Y = \frac{-U_0}{\sqrt{e}}, \quad (3)$$

зависящую от амплитуды импульса U_0 .

На рисунке 3 изображены входной импульс $U_{вх_max}(t)$ и его вторая производная $d^2U_{вх_max}(t)/dt^2$.

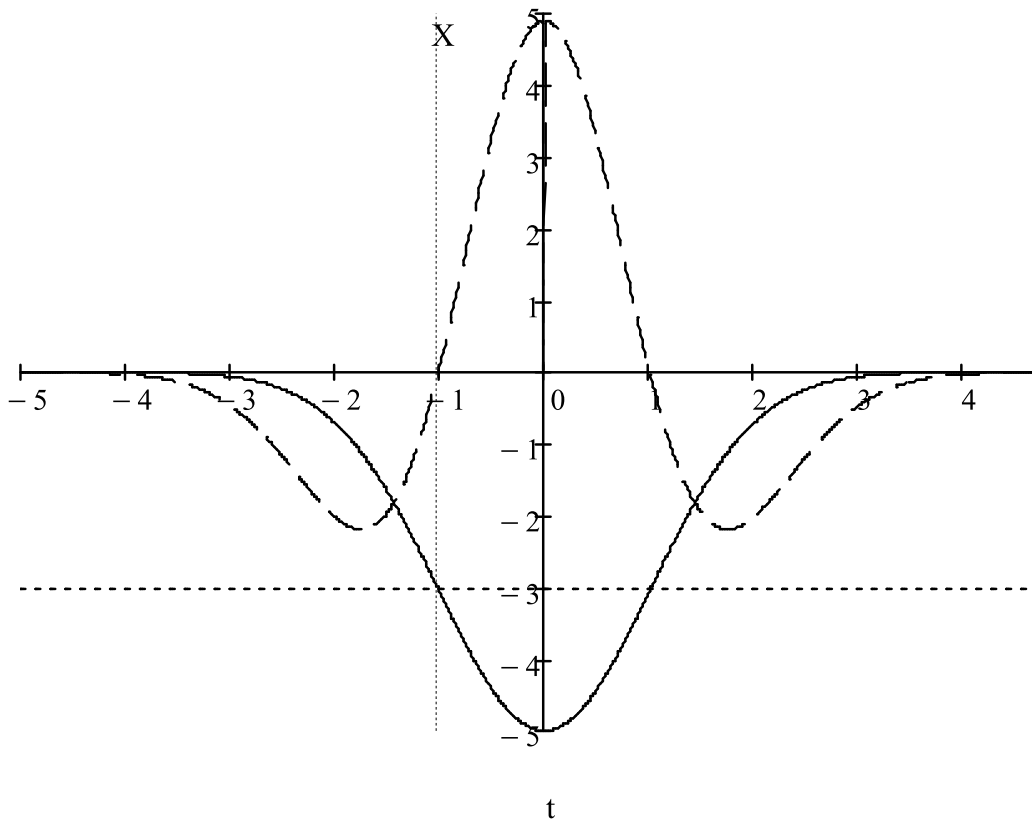


Рисунок 3 – Входной импульс (отрицательный сигнал), его вторая производная (штриховая линия) и точка перегиба

Как видно на графике, абсцисса X точки перегиба входного импульса соответствует моменту перехода его второй производной через ноль. Такое замечательное свойство второй производной от функции

даёт теоретическую возможность получения нулевого значения временной привязки для импульса с постоянной длительностью фронта в неограниченно большом динамическом диапазоне входных амплитуд. Для этого входной сигнал подается на дифференцирующую цепочку, нагрузкой которой служит дискриминатор нуля (рис. 4).

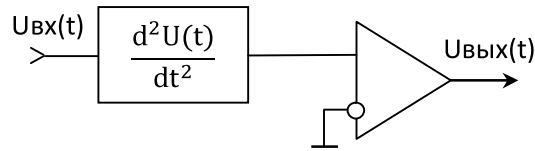


Рисунок 4 – Временная привязка к точке перегиба входного импульса

Однако точность метода временной привязки к точке перегиба существенно снижается при флуктуации длительности фронта. Согласно расчёта разброс момента срабатывания компаратора увеличивается от нуля (при постоянной длительности фронта) до 0.203 нс (в диапазоне изменения фронта 1.7÷2.05 нс). Эпюры напряжений при привязке к точке перегиба приведены на рисунке 5.

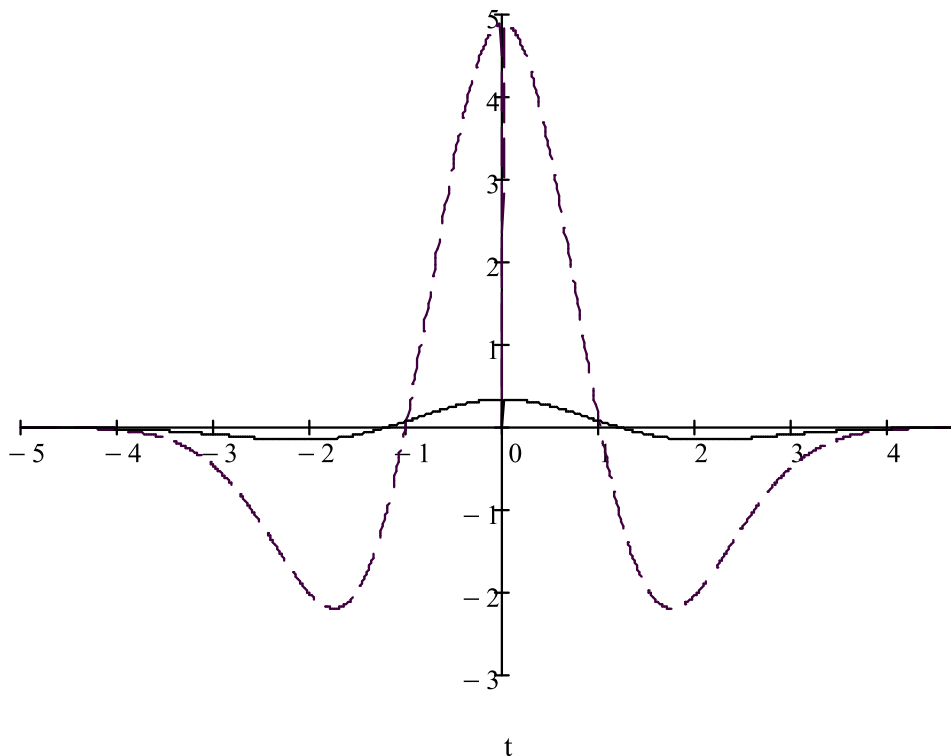


Рисунок 5 – Привязка к точке перегиба; $\Delta X = 0.203$ нс

Предлагаем комбинированную временную привязку, структурная схема и эпюры напряжений которой изображены на рисунке 6, где

вверху рисунка представлена структурная схема измерительного узла, а снизу – эпюры напряжений, где X_2 – абсцисса второго по счёту момента срабатывания компаратора, соответствующая спаду импульса $U_{\text{вых}}(t)$.

По такой схеме ПФ-привязка осуществляется после двойного дифференцирования входного импульса. Причём точкой привязки следует принимать второй по счёту момент срабатывания компаратора, поскольку абсцисса X_2 имеет наименьший разброс ΔX при флуктуации длительности фронта входного импульса $U_{\text{вх}}(t)$. После появления импульса $U_{\text{вых}}(t)$ (во избежание последующих срабатываний) компаратор может быть заперт стробирующим сигналом.

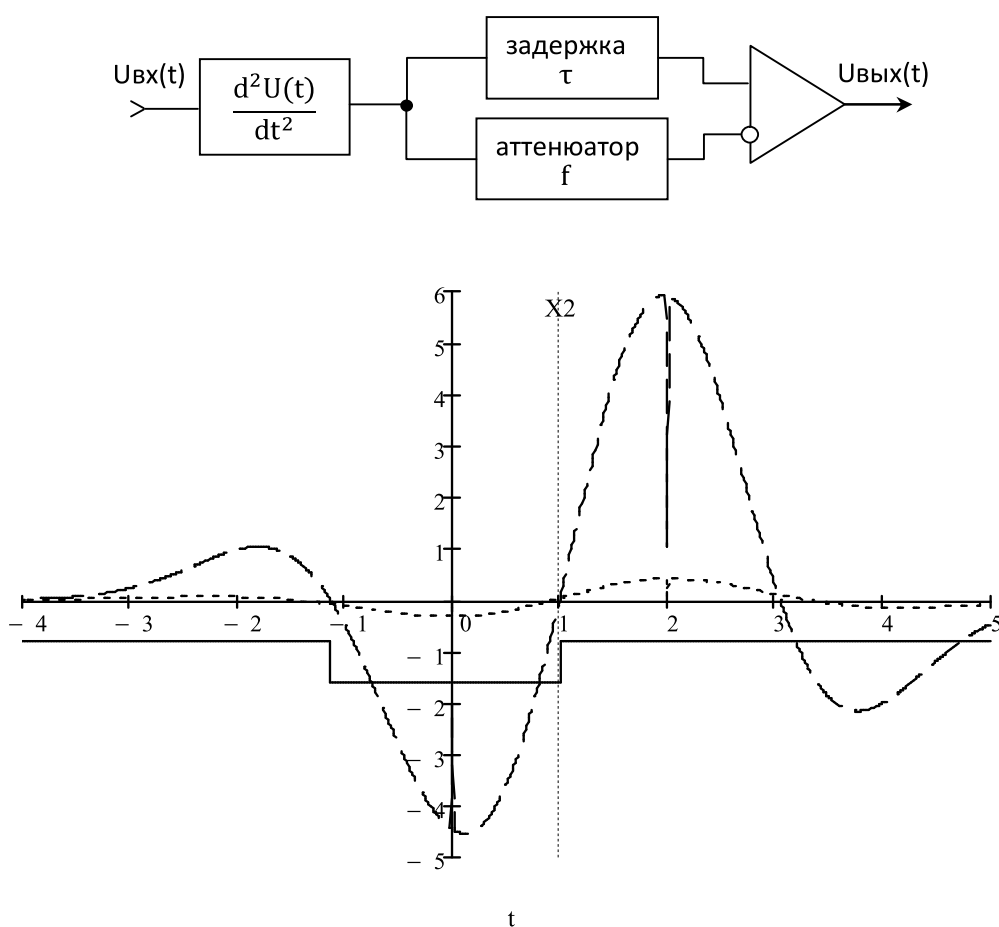


Рисунок 6 – ПФ-привязка после двойного дифференцирования входного сигнала $\tau = 2$ нс, $f = 0.5$, $\Delta X = 0.065$ нс

В результате точность составила 0.065 нс при тех же параметрах $\tau = 2$ нс, $f = 0.5$ при изменении длительности фронта на 20 %.

В таблице 1 для сравнения приведены оценки разбросов ΔX срабатывания компаратора при различных методах временной привязки для разных значений длительностей фронтов.

Таблица 1 – Оценка различных методов временной привязки

	Процентное увеличение длительности фронта от минимальной $\tau_{\Phi} = 1.7$ нс			
	$\tau_{\Phi} = 1.7$ нс	на 10 % ($\tau_{\Phi} = 1.88$ нс)	на 15 % ($\tau_{\Phi} = 1.96$ нс)	на 20 % ($\tau_{\Phi} = 2.05$ нс)
Разброс ΔX (нс) при привязке:				
по постоянному порогу ($U_{п} = -0.01$ В)	1.750	1.570	1.480	1.390
к точке перегиба	0	0.102	0.152	0.203
по постоянной фракции (ПФ) ($\tau = 2$ нс, $f = 0.5$)	0	0.075	0.114	0.156
ПФ после двойного дифференцирования	0	0.033	0.049	0.065

По данным таблицы 1 видно, что при флуктуации длительности фронта наиболее предпочтительным является комбинированный метод временной привязки: привязка по постоянной фракции после двойного дифференцирования.

Библиографический список

1. Бронштейн И.Н. *Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов* / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – С. 133.