

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ КОЛОКОЛООБРАЗНОГО ИМПУЛЬСА

Шенягин В.П., Битюков В.К.

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет)

Измерение длительности τ импульса колоколообразной формы (ИКФ) $s(t)$, где t - время, имеет важное значение, особенно в многоканальных радиотехнических системах. В зависимости от задачи, длительность ИКФ измеряют на уровнях 0,1; 0,5; $e^{-0,5} = 0,606$ от амплитудного значения A импульса. Наиболее часто требуется определить τ на уровне $0,606A$. Форма ИКФ, характеризуемого выражением $s(t) = Ae^{-t^2/2a^2}$, где a - половина длительности импульса на уровне $0,606A$, не позволяет проводить ее непосредственное измерение стандартными измерителями временных интервалов (ИВИ).

Осциллографический метод измерения длительности

Метод основан на измерении амплитуды сигнала с помощью масштабной сетки на экране осциллографа, где цена деления устанавливается ручной операцией на уровне $0,606A$ и расчете значения длительности по методу калиброванной развертки [1]. Метод трудоемок и не оперативен, имеет низкую точность измерения, а в ходе измерения возможны ошибки.

Измерение длительности путем установки порогового уровня величиной $0,606A$

Амплитуду исследуемого импульса сравнивают с пороговым уровнем $0,606A$, который предварительно устанавливается с приходом импульса, предшествующего исследуемому, выделяют интервал времени между моментами равенства восходящей и нисходящей ветвей ИКФ и пороговым уровнем, а затем измеряют полученный интервал. Метод характеризуется невысокой точностью измерения и невозможностью определения длительности импульса за время однократного действия.

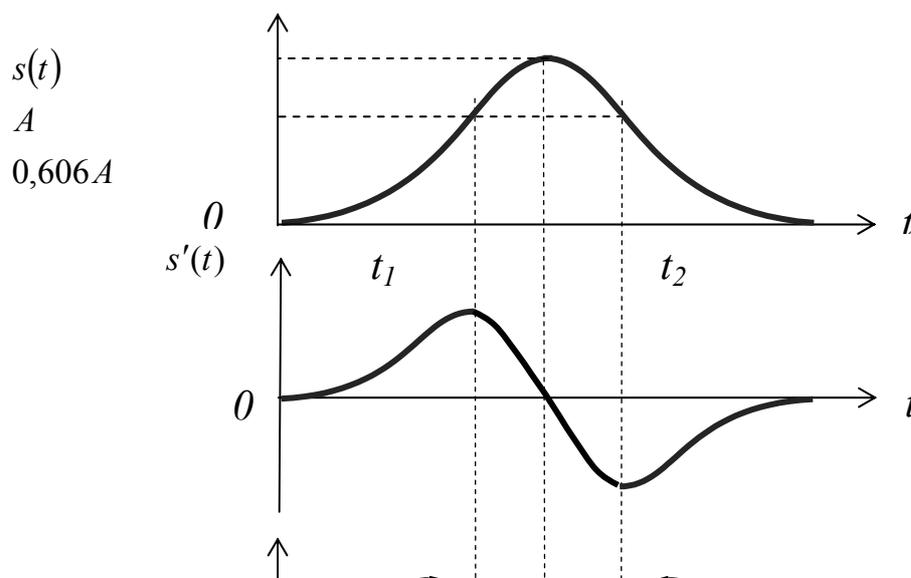
Измерение длительности путем двойного дифференцирования ИКФ

Поскольку уровень $0,606A$ идеального ИКФ находится в точках перегиба, возможно определение его длительности методом преобразования исходного импульса с целью выделения информативного параметра, что поясняют диаграммы, приведенные на рисунке. Дважды дифференцируя функцию $s(t)$, получают первую $s'(t)$ и вторую $s''(t)$ производные

$$s'(t) = -\frac{A}{a^2} t e^{-t^2/2a^2}; \quad s''(t) = -\frac{A}{a^2} (1 - t^2/a^2) e^{-t^2/2a^2}.$$

Затем фиксируют нулевые значения второй производной, соответствующие точкам перегиба ИКФ в моменты времени $t_{1,2} = \mp a$, поскольку производная $s''(t)$ равна нулю при $1 - t^2/a^2 = 0$. После чего, выделяют промежуток времени $t_2 - t_1 = 2a$, соответствующий длительности импульса τ , формируют одиночный прямоугольный импульс $s(\tau)$ и измеряют его длительность с помощью ИВИ. Дифференциатор позволяет получить заметные изменения напряжения на его выходе при незначительных изменениях крутизны сигнала на его входе, что повышает точность измерения. Измеритель, реализующий метод, содержит первый и второй дифференциаторы, пороговое устройство и ИВИ, соединенные последовательно.

Точность измерения длительности τ определяется точностью нахождения точек перегиба функции $s(t)$ первым дифференциатором, экстремальных значений функции $s'(t)$ вторым дифференциатором и момента перехода через нуль функции $s''(t)$.



$$s''(t)$$

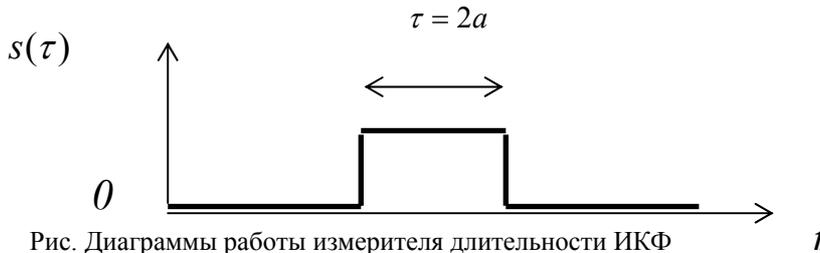


Рис. Диаграммы работы измерителя длительности ИКФ

Абсолютная погрешность Δt_1 определения точек перегиба функции $s(t)$ [2] определяется выражением $\Delta t_1 = ae^{0,5} \Delta A / A = ae^{0,5} \delta A$, где ΔA - абсолютное, а δA - относительное изменение амплитуды ИКФ, зависящее от чувствительности первого дифференциатора. Относительная погрешность δt_1 определения точек перегиба равна величине $\delta t_1 = \Delta t_1 / a = e^{0,5} \delta A \approx 1,649 \delta A$.

Абсолютная погрешность Δt_2 определения экстремального значения первой производной ИКФ составляет величину $\Delta t_2 = a \sqrt{ae^{0,5} \Delta A_1 / A}$, а относительная погрешность равна $\delta t_2 = \Delta t_2 / a = \sqrt{ae^{0,5} \Delta A_1 / A}$, где ΔA_1 - изменение амплитуды первой производной ИКФ. Погрешности δt_1 и δt_2 , зависящие от чувствительности дифференциаторов, носят случайный характер.

Абсолютная Δt_3 и относительная δt_3 погрешности от нестабильности фиксации моментов времени перехода второй производной через нуль классифицируются, как систематические и определяются выражениями $\Delta t_3 = a^3 e^{0,5} \Delta A_2 / 2A$ и $\delta t_3 = a^2 e^{0,5} \Delta A_2 / 2A$, где ΔA_2 - изменение порога срабатывания устройства при выделении моментов перехода второй производной через нуль.

Измерение длительности путем перемножения производных ИКФ

Погрешность определения длительности τ уменьшается путем увеличения крутизны функции при ее переходе через нуль. Такая функция $s_1(t)$ может быть получена перемножением первой $s'(t)$ и второй

$s''(t)$ производных ИКФ $s(t)$, т.е. $s_1(t) = s'(t) \cdot s''(t) = \frac{A^2}{a^4} t(1 - t^2/a^2) e^{-t^2/a^2}$. Отношение

значений крутизны функций $s_1(t)$ и $s''(t)$, равное

$K_{s_1(t)} / K_{s''(t)} = |s_1'(t)| / |s''(t)| = e^{-0,5} A/a \approx 0,606 A/a$. Отношение A/a определяет скорость

нарастания ИКФ и при $K_{s_1(t)} = K_{s''(t)}$ равно значению $A/a = 1/e^{-0,5} = \sqrt{e} \approx 1,649$.

Следовательно, метод перемножения производных по сравнению с предыдущим обеспечивает большую точность при $A/a > 1,649$.

Измерение длительности путем суммирования производных ИКФ

Увеличение крутизны функции, в нулях которой содержится информация о длительности τ , может быть также достигнуто путем суммирования первой $s'(t)$ и второй $s''(t)$ производных ИКФ $s(t)$, т.е.

$s_2(t) = s'(t) + s''(t) = \frac{A}{a^2} (t^2/2a^2 - t - 1) e^{-t^2/2a^2}$. Возможное смещение нулей полученной

функции $s_2(t)$ по отношению к нулям $s''(t)$ устраняется при настройке и регулировке измерителя путем специальной корректировки амплитуды. Измеритель реализуется по схеме вида [3].

Выводы

Проведенные преобразования ИКФ позволяют полностью автоматизировать процесс измерения, повысить его точность, определить длительность τ даже в течение одиночного импульса. Выделение информативного параметра, характеризующего длительность импульса, позволяет осуществить это с применением цифровой техники и, в конечном счете, цифровой обработки измерительной информации.

Список литературы

1. Нефедов В.И., Хахин В.И., Битюков В.К., Федорова Е.В., Беянина Е.К. Метрология и радиоизмерения. – М.: Высшая школа, 2003. – 520 с.
2. Цветков В.А. Исследование и разработка методов и устройств формирования импульсов колоколообразной формы и автоматического определения их параметров. Автореферат дис. канд. техн. наук: Одесса, ОЭИС. 1983. – 22 с.
3. А.с. 855539 СССР, МКИ³ G 01 R 29/02. Устройство для измерения временных параметров колоколообразного импульса / Е.М.Краснов, В.П.Шенягин, В.А.Цветков. - Оpubл. 15.08.81. Бюл. № 30.