

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРИМИНАТОРА СО СЛЕДЯЩИМ ПОРОГОМ И КОМПЕНСАЦИЕЙ ВРЕМЕНИ НАРАСТАНИЯ ИМПУЛЬСА В СРЕДЕ WOLFRAM MATHEMATICA

И. С. Миронов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. В. Крышнев

Временная привязка (хронирование) служит для фиксации момента регистрации события в детекторе частиц.

Наиболее простой вид привязки – по переднему фронту импульса – имеет существенный недостаток – зависимость установления временной точки от скорости нарастания фронта импульса, что показано на рис. 1.

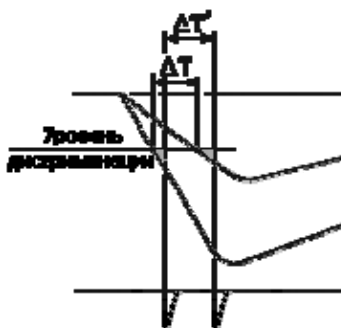


Рис. 1. Входные и выходные импульсы в методе привязки по переднему фронту

Для минимизации эффекта разброса времени сбора в детекторах предлагается модифицированная система дискриминации – ARC timing (Amplitude and Risetime Compensated timing), временные диаграммы которой приведены на рис. 2.

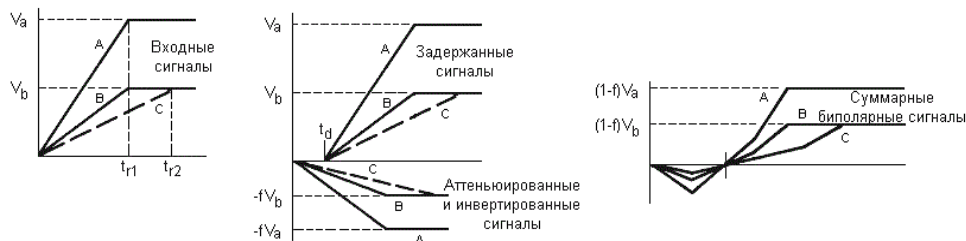


Рис. 2. Сигналы в дискриминаторе с компенсацией амплитуды и времени нарастания сигнала

В этом методе влияние разброса времени сбора на точность хронирования уменьшается за счет некоторого увеличения влияния на него шумов. Следящий порог выставляется на уровне 20–30 % от амплитуды, при этом задержка t_d заметно уменьшается и устанавливается равной приблизительно 30 % от минимального времени нарастания:

$$t_d < t_{\min}(1 - f), \quad (1)$$

где t_{\min} – минимальное время нарастания входного импульса, f – коэффициент аттенюирования.

Как видно из рис. 2, сформированные таким образом биполярные сигналы для всех трех импульсов A , B и C пересекают нулевую линию одновременно, несмотря на различные амплитуды и времена нарастания. Положение нулевой точки определяется соотношением

$$t_{ARC} < t_d(1 - f). \quad (2)$$

Для наглядности моделирования дискриминатора используется сигнал с кремниевого фотоумножителя SensL MicroFC-60035-SMT-C1. Согласно документации его максимальный ток равен 20 мА, время восстановления pn -перехода – 3,2 нс. Световой импульс описывается выражением

$$i_{in.real}[t] = -\frac{20 \left(HeavisideTheta \left[t - \frac{1}{10^9} \right] - HeavisideTheta \left[t - \frac{4,2}{10^9} \right] \right)}{10^3} \quad (3)$$

и переводится в операторную форму функцией

$$i_{in.oper}[p] = LaplaceTransform[i_{in.real}[t], t, p], \quad (4)$$

Для выражения формы выходного тока фотоумножителя необходимо учесть его передаточную, формирующуюся исходя из паразитной емкости (3400 пФ) и динамического сопротивления (40 Ом при токе 20 мА) фотоумножителя:

$$R_{sipm} = 40;$$

$$C_{sipm} = \frac{3400}{10^{12}};$$

$$W_{sipm.oper}[p] = \frac{R_{sipm}}{1 + pC_{sipm}R_{sipm}}; \quad (5)$$

$$i_{sipm.oper}[p] = W_{sipm.oper}[p]i_{in.oper}[p]. \quad (6)$$

Данные сигналы имеют вид, представленный на рис. 3.

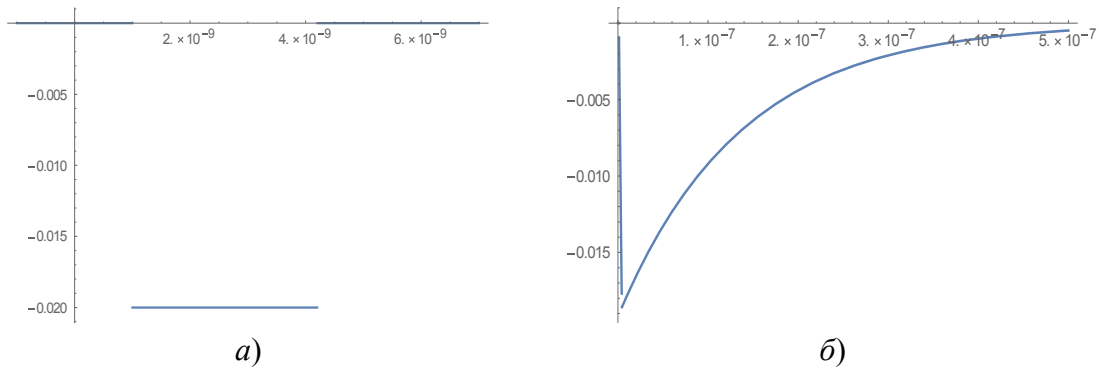


Рис. 3. Сигналы кремниевого фотоумножителя: а – входной; б – выходной

Для усиления и сглаживания сигнала фотоумножителя используется трансимпедансный предусилитель (рис. 4, а), имеющий передаточную функцию:

$$W_{amp.oper}[p] = -\frac{R_f}{1 + pC_fR_f}, \quad (7)$$

где C_f и R_f – элементы цепи обратной связи.

После прохождения сигнала через предусилитель сигнал принимает вид, показанный на рис. 4, б.

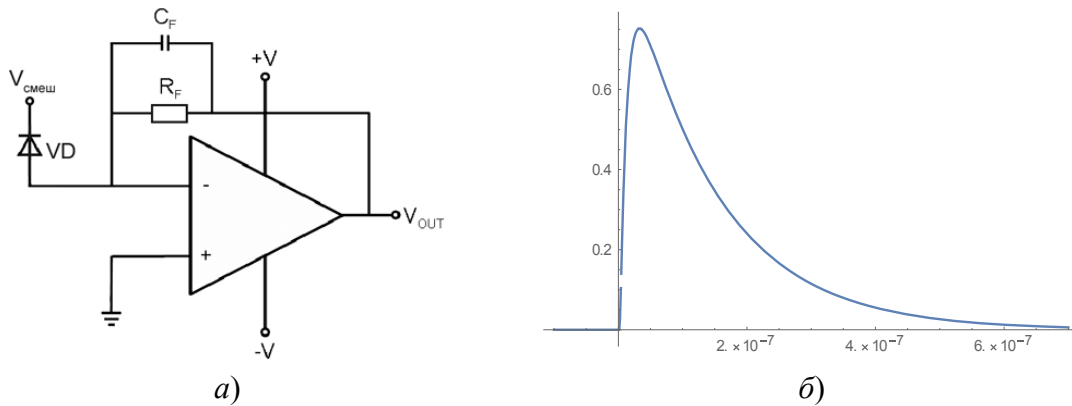


Рис. 4. Схемотехника: а – предусилителя; б – форма выходного сигнала

Для формирования биполярного импульса необходимо задержать импульс на необходимое время t_d , параллельно инвертировать и аттенуировать его и сложить два полученных сигнала при помощи сумматора. Для задержки сигнала используется последовательная цепь из девяти LC-контуров, каждый из которых описывается передаточной функцией

$$W_{delay}[p] = \frac{1}{1 + C_dL_dp^2 + C_dpR_{согл}}, \quad (8)$$

где C_f , R_f , $R_{согл}$ – параметры элементов линии задержки, подобранные так, чтобы задержка t_d была равна 70 нс (рис. 5, б).

Передаточная функция аттенуирующего инвертора с коэффициентом ослабления равным 5 (рис. 5, в) и функция сумматора определяются как:

$$V_{atten}[t] = -V_{out.amp.real}[t] \cdot 0,2; \quad (9)$$

$$V_{summ}[t] = V_{atten}[t] + V_{delay.real}[t]. \quad (10)$$

После суммирования полученных сигналов на выходе дискриминатора формируется биполярный сигнал, имеющий форму, полученную показанную на рис. 5, з.

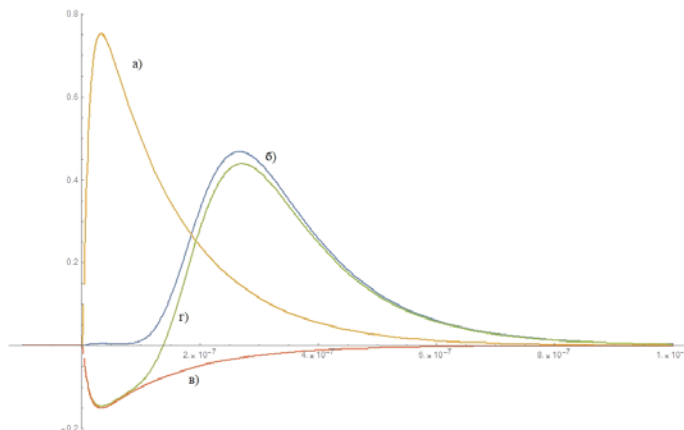


Рис. 5. Выходные сигналы: а – предусилителя; б – линии задержки; в – инвертирующего аттенюатора и г – сумматора

Заключение

Для продолжения проекта необходимо спроектировать схему компараторов и логику, реагирующую на пересечение нулевой точки нарастающим фронтом сигнала.

В результате реализации проекта будет разработана схема быстрой временной привязки импульсных сигналов спектрометрического тракта, не зависящая от скорости нарастания фронта входного сигнала.

Литература

1. Вестерман, Д. Применение трансимпедансных усилителей / Д. Вестерман // Новости электроники. – 2008. – № 5. – С. 29–31.
2. Ядерная физика в Интернете / Проект кафедры общ. ядер. физики физич. факультета МГУ, 2018. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru>. – Дата доступа: 12.03.2018.