

УДК 621.383.292: 528.021.7

А.И. Литвинов

Донбасский горно-металлургический институт, г. Алчевск

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИВЯЗКИ СИГНАЛОВ ФЭУ К ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ

Рассмотрены факторы, влияющие на точность привязки анодных импульсов ФЭУ к шкале времени. Разработан амплитудный ограничитель, обеспечивающий укорочение фронта импульса.

Интенсивное развитие техники измерения слабых световых потоков требует повышения точности их регистрации. В частности, высокие требования к точности выдвигаются при проектировании лазерных дальномеров, станций лазерной локации искусственных спутников Земли. В качестве приемников световых импульсов в этих устройствах широко используют фотоэлектронные умножители (ФЭУ) с дискретной диодной системой и ФЭУ на микроканальных пластинах (МКП). В данной работе рассматривается повышение точности привязки импульсных световых сигналов в приемниках, использующих ФЭУ с дискретной диодной системой.

Погрешность привязки импульсных сигналов, снимаемых с анода (ФЭУ), к шкале времени обусловлена флуктуациями амплитуды, длительности и формы этих импульсов. В настоящее время известно несколько методов привязки флуктуирующих сигналов к шкале времени: по постоянному уровню, с пересечением нуля, со следящим порогом, по постоянной фракции, по центру тяжести импульса и другие [1].

В результате проведенных исследований было установлено, что при регистрации слабых световых потоков с использованием модулей привязки сигналов к шкале времени, подключаемых непосредственно к аноду ФЭУ, они «забиваются» большим количеством импульсов малой амплитуды. Т.е. интервал времени между импульсами, поступающими на модуль привязки, меньше длительности сформированного привязкой нормированного импульса. Использовались устройства привязки по схеме со следящим порогом и по центру тяжести импульса, обеспечивающие формирование нормированного импульса ECL – уровней длительностью около 100 нс. Таким образом, для обеспечения нормальной работы модулей привязки необходимо осуществлять ограничение сигналов, поступающих с ФЭУ по амплитуде, т.е. необходима селекция импульсов с малыми амплитудами. Но, учитывая, что процессы, происходящие в ФЭУ, описываются статистическими закономерностями с распределением Пуассона, необходимо выяснить, как будет влиять ограничение по амплитуде на статистику сигналов, снимаемых с анода ФЭУ.

Методы измерения слабых световых потоков хорошо описаны в работе [2]. Сигнал на выходе ФЭУ можно представить случайным импульсным процессом

$$i(t) = \sum_j eM_j \delta(t - t_j), \quad (1)$$

где $i(t)$ - значение выходного тока в момент времени t ; e - заряд электрона; M_j - случайное число электронов в j -м импульсе; $\delta(t-t_j)$ - нормированная форма импульса.

В настоящее время существуют два основных способа измерения этого процесса. Первый способ состоит в измерении среднего тока через анодную нагрузку ФЭУ. Он получил название метода измерения тока (МИТ). Второй способ имеет название метода счета фотонов (МСФ), который состоит в определении количества одноэлектронных импульсов за определенный промежуток времени.

Результирующая среднеквадратичная ошибка $\sigma(r)$ измерения дальности зависит от нескольких составляющих

$$\sigma(r) = \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_A^2}, \quad (2)$$

где σ_P - составляющая ошибки распространения сигнала; σ_{II} - потенциальная составляющая ошибки, обусловленная видом используемого сигнала и отношением сигнал-шум; σ_A - аппаратная составляющая ошибки.

Анализируя приведенное соотношение и учтя малое количество фотонов в отраженном сигнале, а также наличие шума, обусловленного фоновой засветкой приемника и собственными шумами ФЭУ, можно прийти к выводу, что главным критерием при выборе метода регистрации принимаемого сигнала может быть отношение сигнал-шум. По данным [2] при сравнении отношений сигнал-шум для МСФ и МИТ выигрыш регистраторов на основе МСФ составляет от 10...15 % до 1000...2000 %.

Влияние порога амплитудной дискриминации на отношение сигнал-шум в методе счета фотонов рассмотрено в [2], где показано, что амплитудная селекция не нарушает статистику Пуассона при счете импульсов на выходе ФЭУ (метод счета фотонов), так как рассматривается случай регистрации независимых событий. Кроме того, доказано существование оптимального порога амплитудной дискриминации, что иллюстрируется графиками, изображенными на рисунке 1.

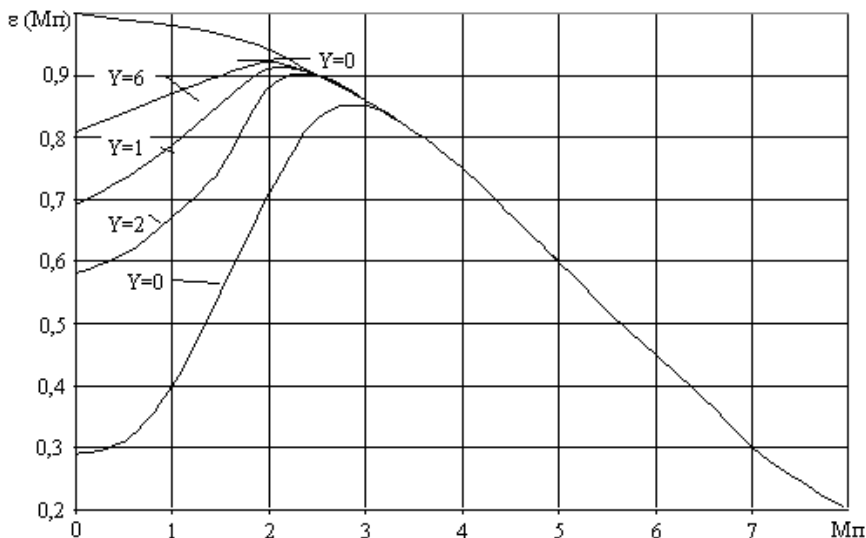


Рисунок 1 – Графические зависимости ε (Мп) при разных коэффициентах распределения фоновой засветки γ

Точность привязки анодных импульсов к шкале времени зависит также от длительности импульса, а точнее, от длительности его фронта. При уровне дискриминации, который обеспечивает срабатывание устройства привязки во всем диапазоне амплитуд, абсолютная погрешность привязки импульсов к шкале времени определяется длительностью фронта (рисунок 2).

При использовании в качестве фотодетекторных приемников ФЭУ – 84, ФЭУ – 79 и его аналога ФЭУ – 164 длительность однофотозлектронного импульса, обеспечиваемого этими ФЭУ составляет 2.5...3 нс. Таким образом, если уменьшить длительности фронта анодного импульса ФЭУ, то точность его привязки возрастет.

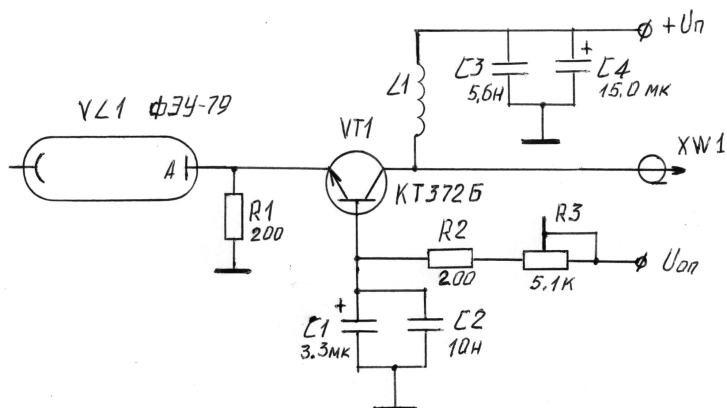


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема амплитудного ограничителя

В результате проведенных исследований был разработан усилитель-ограничитель для импульсов, снимаемых с анода ФЭУ. Он обеспечивает ограничение отрицательных импульсных сигналов анода сверху с отрицательным порогом и нулевым уровнем. Схема ограничителя показана на рисунке 3. Усилитель – ограничитель построен на транзисторе VT1, включенном по схеме с общей базой. Схема с общей базой имеет низкое входное сопротивление, благодаря чему обеспечивается низкоомная нагрузка в анодной цепи ФЭУ. Это приводит к сокращению времени нарастания анодного импульса [3]. В качестве VT1 выбран СВЧ транзистор КТ372Б со структурой типа n-p-n. Его входное сопротивление в схеме с ОБ в режиме малого сигнала составляет $R_{вх\text{ ОБ}} = 10\text{ Ом}$ [4], а граничная частота составляет 3 ГГц. Конденсаторы C1 и C2 служат для обеспечения режима ОБ по переменному току. Дроссель L1 блокирует выходной сигнал схемы по цепи питания. Установка порогового напряжения осуществляется резистором R3.

В результате применения разработанного усилителя-ограничителя удалось сократить время установления фронта анодного импульса до 1 нс, что привело к повышению точности привязки импульсных сигналов ФЭУ. При использовании модуля привязки, реализующего метод привязки по центру тяжести импульса, средняя погрешность привязки составляет около 0,16 нс, а по постоянной фракции средняя погрешность – около 0,2 нс. Кроме того, в результате использования амплитудного ограничителя устраняется «забывание» модулей привязки шумовыми анодными импульсами малых амплитуд.

Библиографический список

1. Мелешко Э.А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике / Э.А.Мелешко. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 216 с.
2. Ветохин С.С. Одноэлектронные фотоприемники / С.С.Ветохин, И.Р.Гулаков, А.Н.Перцев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 160 с.
3. Денищик Ю.С. Улучшение временных и эксплуатационных характеристик оптических приемников с фотоэлектронными умножителями / Ю.С.Денищик, В.С.Эссельбах // ПТЭ. — 1989. — № 2. — С. 174 – 178.
4. Аронов В.А. Полупроводниковые приборы: Транзисторы: Справочник / В.А.Аронов, А.В.Баюков, А.А.Зайцев; Под общ. ред. Н.Н.Горюнова. — М.: Энергоатомиздат, 1982. — 904 с.

Поступила в редакцию 08.10.2003 г.