

3. Выводы

Как следует из анализа, вне зависимости от версии протокола TCP его работа в сети более корректно представляется и поддается описанию и предсказанию с помощью аппарата случайных процессов. В отличие от используемых на сегодняшний день процедур стохастической аппроксимации для случайных величин, случайные процессы требуют более сложных процедур оценки, прежде всего процедур Калмана-Бьюси. Триада уравнений наблюдения, состояния и оценки для случайных процессов в общем виде может быть записана как [4]:

$$y(t) = H(t)x(t) + v(t), \quad (6)$$

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + C(t)\xi(t), \quad (7)$$

$$\frac{d\hat{x}(t)}{dt} = A(t)\hat{x}(t) + V(t)H^T(t)N_v^{-1}[H(t)\hat{x}(t) - y(t)], \quad (8)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = A(t)V(t) + V(t)A^T(t) - V(t)H^T N_v^{-1} H(t)V(t) + C^T(t)N_\xi C(t), \quad (9)$$

где N_ξ – шум генерации в модели состояния;

N_v шум наблюдения в уравнении наблюдения.

Точность оценки параметра RTT – одного из важнейших показателей производительности сети и главного определяющего параметра при расчете таймеров TCP в случае использования математического аппарата марковских цепей и случайных процессов намного выше, чем в случаях использования стандартных, зачастую эвристических, методов.

Литература

1. Jacobson V. Congestion Avoidance and Control // Comput. Commun. Rev. 1988. V. 18. №4. P. 314-329.
2. Jacobson V. Modified TCP Congestion Control and Avoidance Algorithms // Technical Report 30, Apr 1990.
3. Brakmo L.S., Peterson L.L. // TCP Vegas: End to End Congestion Avoidance on a Global Internet // IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 13[1995], (1465-1490)
4. Поповский В.В., Олейник В.Ф. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах: учеб./ -Х.: ООО «Компания СМИТ», 2011. - 362с.

УДК 681.2.087

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО СИМУЛЯТОРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ФЭУ

О. А. Бочаров

Научный сотрудник

Научно-исследовательский и

проектно-конструкторский институт «Искра»

ул. Звейнека, 145с, Г. Луганск, Украина, 91033

Контактный телефон: (0642) 717-592

E-mail: b_o@list.ru

Обґрунтовано необхідність створення моделі ФЕП за допомогою комп'ютерного симулятора схемотехнічного моделювання, наведено основні початкові дані для її розробки, наведено схему моделі і результати перевірки роботи наданої моделі на симуляторі електронних схем.

Ключові слова: ФЕП, комп'ютерне моделювання, симулятор електронних схем.

Обоснована необходимость создания модели ФЭУ с помощью компьютерного симулятора схемотехнического моделирования, приведены основные исходные данные для ее разработки, приведена схема модели и результаты проверки работы данной модели на симуляторе электронных схем

Ключевые слова: ФЭУ, компьютерное моделирование, симулятор электронных схем.

This article grounds necessity of photomultiplier tube (PMT) model creation by means of computer circuit simulator, basic departure data for model creation are given, model scheme and results of it testing by means of computer circuit simulator are present.

Key words: PMT, computer simulation, electronic scheme simulator.

1. Введение

Для решения задачи создания компьютерной модели всего спектрометрического тракта устройств регистрации излучений, начиная от источника излучения и заканчивая блоком передачи данных на компьютер, возникла необходимость разработки модели ФЭУ, которая на входе может получать данные из библиотеки GEANT и на выходе состыковываться с элементами библиотеки программы схемотехнического моделирования.

Существует достаточно много программ, физически моделирующих работу детекторов излучений, однако их

применение с точки зрения разработки схемотехники спектрометрических трактов весьма затруднено. Целью данной статьи является описание модели фотоэлектронного умножителя, позволяющей решать схемотехнические задачи.

2. Создание схемотехнической модели ФЭУ и проверка ее работы

Для схемотехнического моделирования ФЭУ была выбрана программа B2 Spice A/D 2000 Trial [1]. В каче-

стве исходных сигналов использовались данные, полученные в результате моделирования работы сцинтиллятора NaI(Tl) с помощью библиотеки GEANT.

Для расчета фототока катода ФЭУ, величина которого будет затем использоваться при построении модели, максимально близкой к реальному ФЭУ, необходимо знать следующие данные:

1. чувствительность фотокатода для пересчета светового потока, полученного при моделировании в GEANT, в фототок и квантовый выход фотокатода;
2. темновой ток катода;
3. уровень шумов ФЭУ;
4. квантовый выход фотокатода.

Эти величины являются справочными для каждого типа ФЭУ [2-4] и в качестве примера они приведены в табл.1 для некоторых основных материалов фотокатодов.

Таблица 1

Параметры материалов фотокатодов

Материал фотокатода	λ_{\max} , ангстрем	Максимальный квантовый выход Y	S_{cp} , мкА/лм	S_{\max} , мкА/лм	Плотность термотока i_T , А/см ²
Ag-O-Cs	8000...8500	0,003...0,005	20...40	60	$10^{-12}...10^{-11}$
Sb-Cs	4200...4800	0,2...0,3	40...80	120	$10^{-16}...10^{-15}$
Sb-Cs-O	4400...4900	0,18...0,2	80...100	180	10^{-14}
Bi-Cs	3800	0,01	3...5	20	10^{-15}
Bi-Ag-O-Cs	4500...5000	0,1	30...60	110	$10^{-14}...10^{-12}$
Sb-Li	3700		25...30	40	$< 10^{-16}$
Sb-NaK	3700	0,25	30...40	60	$< 10^{-16}$
Sb-NaK-Cs	4400	0,3...0,04	150...180	250	10^{-18}

Для перевода единиц излучения выходных данных GEANT в единицы входных параметров ФЭУ можно использовать такой параметр фотокатодов как спектральная чувствительность S_λ , которая является отношением фототока к мощности монохроматического излучения с длиной волны λ , измеряется в мА/Вт и определяется по формуле (1) [5]:

$$Y = \frac{12,4}{\lambda} S_\lambda \quad (1)$$

В общем виде расчет фототока катода производится на основе закона Столетова (2) [6]:

$$I = S \times \Phi \quad (2)$$

где: I – фототок,

S – коэффициент пропорциональности (чувствительность фотокатода),

Φ – поток излучения.

Темновой ток фотокатода представляет собой сумму тока термоэмиссии и тока утечки между электродами. Ток утечки определяется сопротивлением изоляции стекла баллона и цоколя ФЭУ и может достигать $10^{-9}... 10^{-7}$ А [5].

Уровень шумов ФЭУ можно вычислить из следующей зависимости [5]:

$$I_{ш}^2 = 2e(I + I_T)\Delta f \quad (3)$$

где: $I_{ш}$ – действующее значение тока шума;

e – заряд электрона;

I – постоянная составляющая фототока;

I_T – темновой ток ФЭУ;

Δf – полоса частот пропускания усилителя.

Таким образом, имеются все исходные данные для создания модели ФЭУ. При этом в процессе моделирования нами были использованы источники тока, управляемые током, которые являются стандартным элементом симулятора B2 Spice A/D 2000 Trial. Для расширения возможностей создаваемой модели ФЭУ было предложено последовательное расположение управляемых источников тока, исполняющих роль динодов ФЭУ (см. рис.1). Такое решение позволило ввести в модель распределенные емкости, имитирующие наличие емкостей внутри ФЭУ. Для нормального функционирования модели каждый источник тока должен иметь нагрузку. Для этой цели в модели используются резисторы R1...R5..

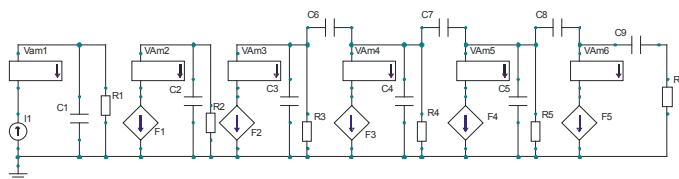


Рис. 1. Схема модели ФЭУ

Величины световых потоков импульсов, генерируемых конкретным сцинтиллятором, рассчитываются с помощью библиотеки GEANT. Таким образом, для каждого конкретного ФЭУ можно получить значения фототока для каждого импульса света, а для разработки модели ФЭУ, наиболее приближенной к реальной, можно использовать уравнения (2) и (3).

Роль фотокатода выполняет источник тока I1. Исходные данные для этого источника представлены в виде текстовой таблицы кусочно-линейной аппроксимации сигналов, полученных с помощью библиотеки GEANT для сцинтиллятора NaI, легированного таллием. Амперметр Vam1 служит аргументом для управляемого источника тока F1, соответственно, Vam2 – для F2 и т.д. Управляемые источники тока F1...F4 предназначены для имитации работы динодов. Конденсаторы C1...C5 имитируют межэлектродные емкости, а конденсаторы C6...C8 предназначены для улучшения формы выходного сигнала (уменьшения длительности спада сигнала и, соответственно, уменьшения вероятности наложения сигналов).

Достоинством использования при моделировании управляемых током источников тока является возможность задать любую функциональную зависимость генерируемого ими тока от тока, протекающего через соответствующий амперметр. Источник тока F5 имитирует анод ФЭУ, а резистор R6 исполняет роль нагрузки. Нагрузкой может служить преобразователь ток-напряжение, усилитель-формирователь и т.п. устройства в зависимости от схемотехнических требований.

Временная развертка входного и выходного сигналов модели ФЭУ при использовании данных, полученных моделированием в библиотеке GEANT работы сцинтиллятора NaI(Tl), приведена на рис. 2.

Для проверки работы модели ФЭУ в условиях, близких к реальному, в нее был добавлен источник шума I2 (см. рис.3). Исходными данными для генератора тока I1 была таблица кусочно-линейной функции сигналов реального источника вместе с сигналами фонового из-

лучения, смоделированная в GEANT.

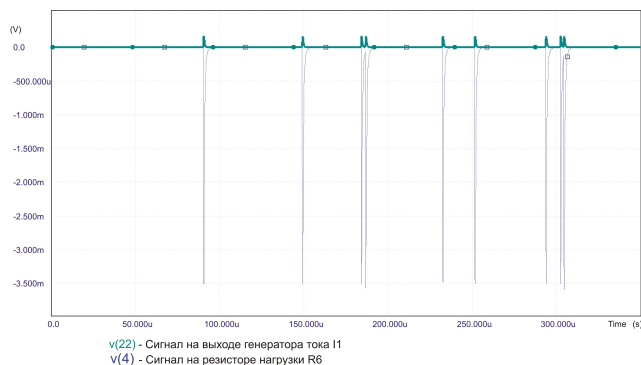


Рис. 2. Временная развертка входного и выходного сигналов модели ФЭУ

Для проверки работы модели ФЭУ в условиях, близких к реальным, в нее был добавлен источник шума I2 (см. рис.3). Исходными данными для генератора тока I1 была таблица кусочно-линейной функции сигналов реального источника вместе с сигналами фонового излучения, смоделированная в GEANT.

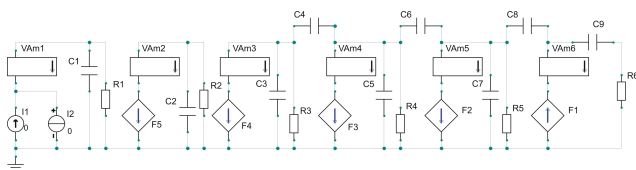


Рис. 3. Схема для моделирования реального сигнала ФЭУ

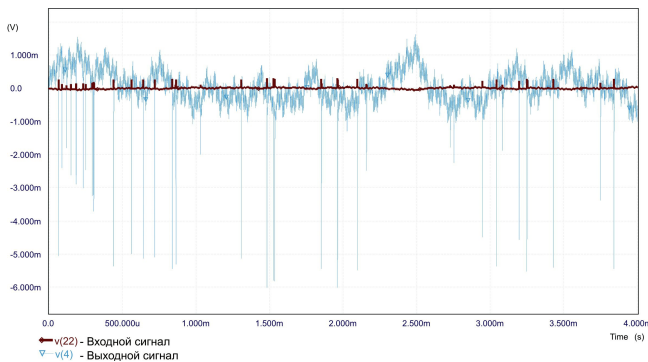


Рис. 4. Временная развертка сигналов модели ФЭУ

На рис. 4 приведена временная развертка результата моделирования сигналов ФЭУ при симуляции одновременно входных сигналов от сцинтиллятора и собственных шумов ФЭУ по схеме, приведенной на рис. 3.

Для большей наглядности на рис. 5 приведен тот же график временной развертки сигналов, но растянутый по оси времени.

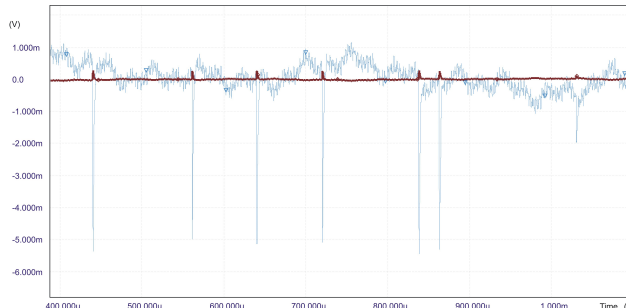


Рис. 5. Временная развертка сигналов модели ФЭУ (растянуто)

Результаты моделирования ФЭУ в симуляторе электронных схем B2 Spice показали, что модель, разработанная для отработки схемотехники усилителей-формирователей и других устройств спектрометрического тракта, довольно хорошо соответствует реальным ФЭУ, является достаточно гибкой для настройки входных параметров ФЭУ и хорошо согласуется с выходными данными при моделировании источников и приемников излучения в библиотеке GEANT.

Литература

1. Бочаров О. А. “Моделирование датчиковой аппаратуры для систем гамма-видения” [Текст] / НИПКИ «Искра». – Луганск, - 10с.: ил. – Библиогр.:8 назв. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 15.12.04, №79 – Ук 2004.
2. Гурлев Д. С. Справочник по электронным приборам [Текст] / Сост.: Д.С. Гурлев - 5-е изд., испр. и доп. - «Техніка», 1974, - 512 с.
3. Физические величины. [Текст] : Справочник / А.П. Баби-чев, Н.А.Бабушкина, А. М. Братковский и др.: под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.; Энергоатомиздат, 1991. - 1232 с.
4. Электровакuumные электронные и газоразрядные приборы [Текст] : Справочник / Б.В. Кацнельсон, А.М.Калугин, А.С. Ларионов: под общ. ред. А.С. Ларионова. – 2-е изд., перераб и доп. – М., Радио и связь, 1985. – 864 с.
5. Фотоэлектронные приборы [Текст] / Н.А. Соболева., А.Г. Берковский и др. : под ред. Д. В. Зернова. – М., «Наука», 1965. – 592 с.