

УДК 621.383

Анализ схемы фотоприемного устройства для регистрации наносекундных импульсов в видимом и инфракрасном диапазоне

Андреев Дмитрий Владимирович

dmitrii_andreev@bmstu.ru

Цирульников Илья Юрьевич

tsirulnikoviyu@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Объектом исследования является коэффициент передачи фотоприемного устройства, предназначенного для регистрации лазерных импульсов наносекундной длительности в диапазоне видимого и инфракрасного оптического излучения. При помощи схемотехнического моделирования в системе автоматического проектирования NI Multisim было проведено исследование зависимости коэффициента передачи схемы предварительного усиления от длительности принимаемого оптического импульса. Полученная зависимость была представлена в графическом виде. Также представлены результаты моделирования переходных процессов и сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: фотоприемное устройство, коэффициент передачи, NI Multisim, схемотехническое моделирование

Фотоприемные устройства (ФПУ) применимы в случаях необходимости регистрации оптического излучения в определенном диапазоне длин волн [1]. Рассматриваемое далее устройство должно обладать возможностью регистрации оптических импульсов длительностью от 5 до 100 нс с частотой следования от одиночных до нескольких десятков кГц в диапазоне видимого и инфракрасного излучения. Для предварительной оценки работоспособности ФПУ требуется провести моделирование переходных процессов и получить зависимость K от длительности импульса.

Применение высокоомного р-і-п фотодиода (ФД) обусловлено его высоким быстродействием и линейностью в широком динамическом диапазоне, что необходимо для регистрации импульсов длительностью от 5 нс. Для эффективной обработки сигнала, поступающего с ФД в дальнейшей схеме предварительного усиления, используется полевой транзистор с управляющим р-п переходом 3П344Б. Он обладает током утечки затвора, сравнимым по величине с темновым током ФД, высоким значением крутизны характеристики, малыми значениями входной и проходной емкости и нормированным коэффициентом шума. Это позволяет уменьшить шунтирующее влияние емкости ФД на схему и согласовать его по шумам с каскадом, формирующим малошумящий трансимпедансный усилитель и выполненным на основе биполярных транзисторов 2Т3191А91 и 2Т3187А91 [2–5].

Особое внимание, уделяемое шуму схемы, обусловлено необходимостью в увеличении доли полезного сигнала в соотношении к шуму, поскольку данное соотношение определяет величину порога чувствительности ФПУ, кото-

рый является одним из важнейших параметров в подобных устройствах. Основными составляющими шума в ФПУ являются: шум ФД, определяемый его темновым током; шум, вызванный током утечки усилителя; ЭДС шума усилителя и шум общего сопротивления входной цепи прибора. Данные параметры позволяют предъявить требования к усилительной схеме и используемым компонентам, что было учтено в процессе разработки.

Цепь отрицательной обратной связи (ООС) R6, C3 снижает величину входного сопротивления схемы до нескольких десятков Ом. Она также позволяет определить коэффициент передачи усилителя K в соответствии с формулой (1):

$$K = I_{\text{вх}} Z_{\text{ООС}} = U_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}. \quad (1)$$

Исходя из представленной выше формулы, можно сделать вывод о том, что для увеличения значения K достаточно повышать величину сопротивления обратной связи. Однако это также приведет к росту величины входного сопротивления усилительной схемы, что в итоге увеличит влияние емкости ФД, ограничивающей K .

Для проведения моделирования были подобраны аналоги транзисторов, присутствующие в библиотеке компонентов NI Multisim: 3П344Б был заменен на виртуальную модель с измененными параметрами в соответствии с технической документацией на прибор (VT1), а 2Т3191А91 и 2Т3187А91 были заменены на BFT92W (VT2) и BFR92W (VT3) соответственно. ФД был заменен импульсным источником тока I1 с амплитудой 10 мкА, периодом следования импульсов 30 мкс и длительностью импульса от 5 до 100 нс. Влияние ФД на сигнал, обусловленное его структурой, учтено за счет элементов C_fd и R_fd [6].

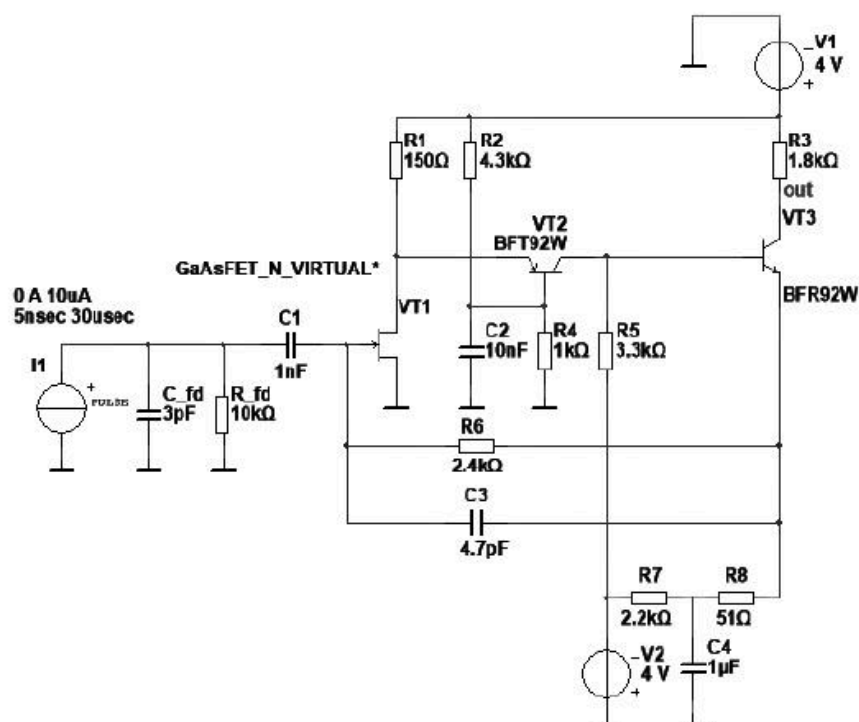


Рис. 1. Модель фотоприемного устройства, построенная в NI Multisim

Для построения зависимости K от длительности импульса в графическом виде было проведено моделирование переходных процессов при изменении длительности импульса от 5 до 100 нс с шагом 5 нс и вычисление значения K для каждой длительности. На рис. 2 и 3 представлены результаты моделирования для длительности 5 и 100 нс соответственно. Исходя из них можно отметить изменение величины амплитуды и формы выходного импульса.

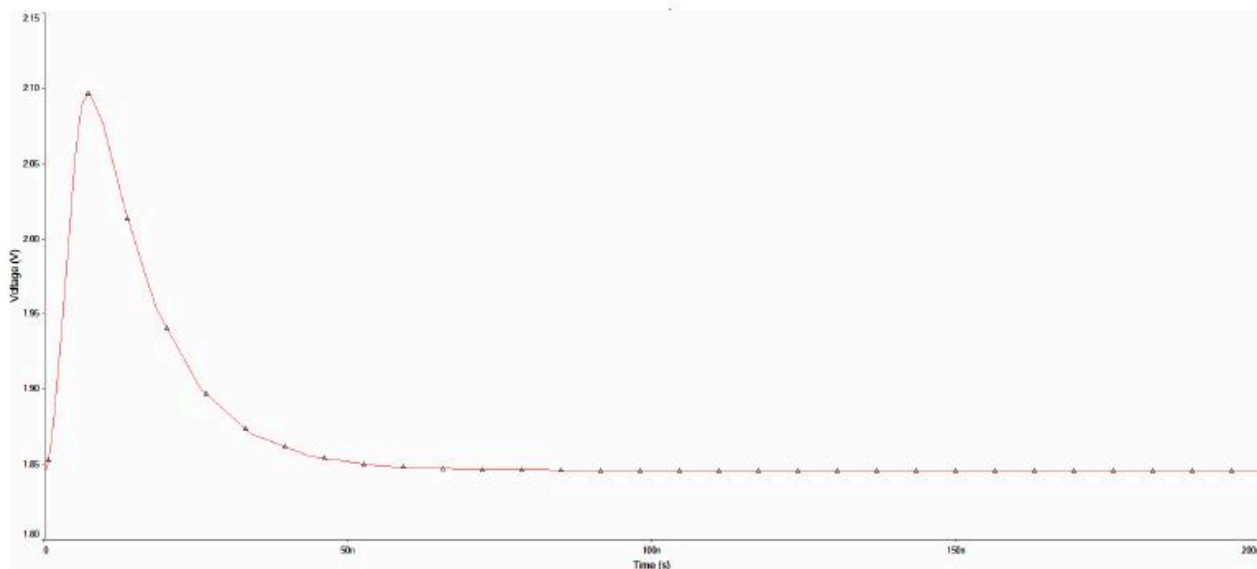


Рис. 2. Результат моделирования переходных процессов, полученный при длительности принимаемого оптического импульса 5 нс

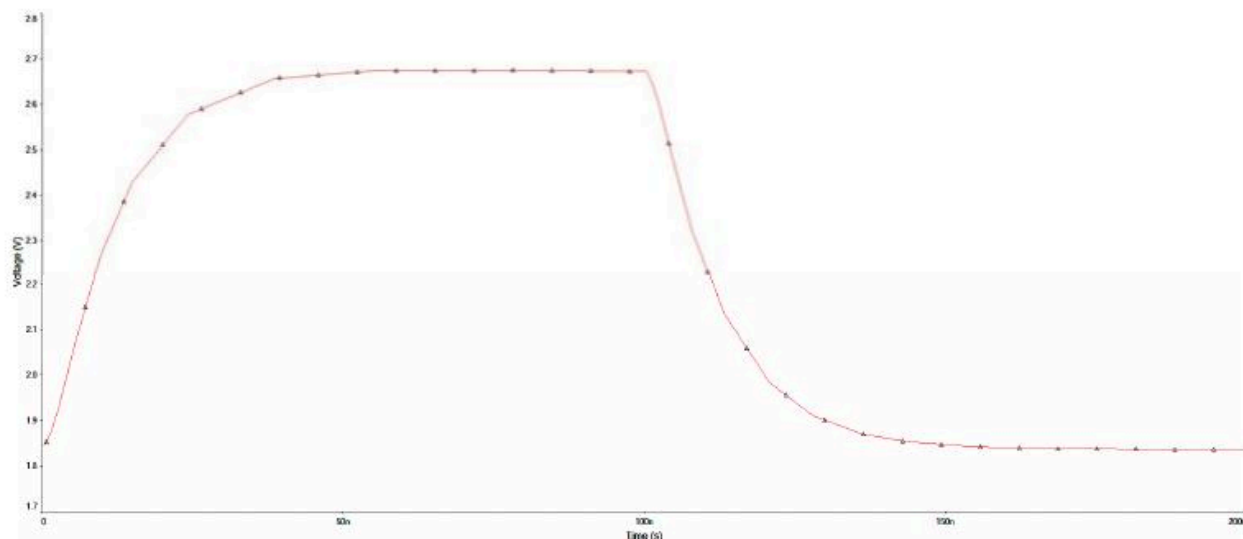


Рис. 3. Результат моделирования переходных процессов, полученный при длительности принимаемого оптического импульса 100 нс

В результате моделирования переходных процессов были получены данные по изменению амплитуды выходного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}$ в зависимости от длительности входного импульса. Для каждого значения $U_{\text{ВЫХ}}$ по формуле (1) был определен K и построен график зависимости K от длительности импульса.

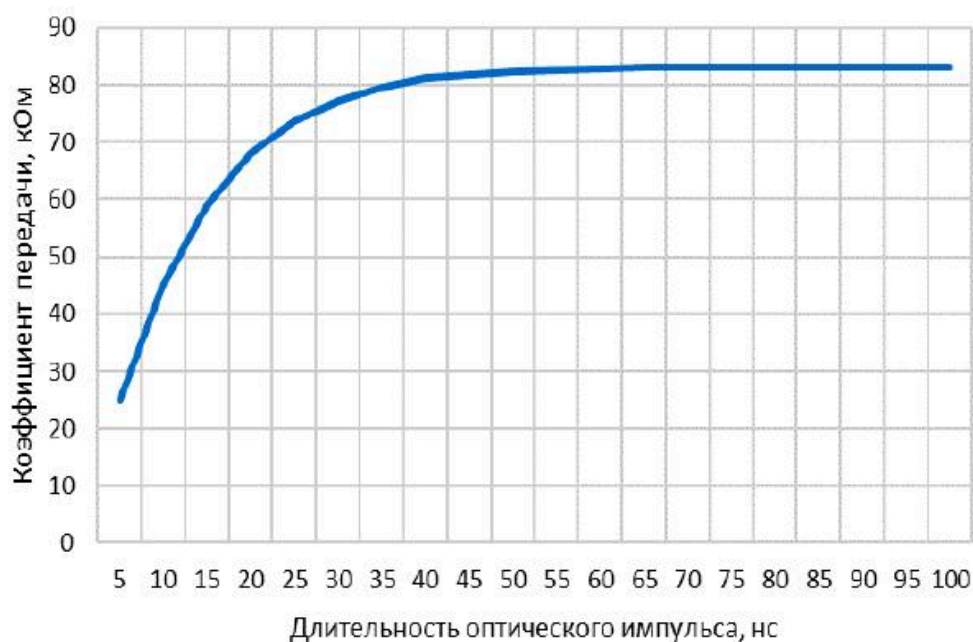


Рис. 4. Зависимость коэффициента передачи схемы от длительности принимаемого оптического импульса

Путем применения САПР NI Multisim проведен анализ работы ФПУ при разных значениях длительности входных импульсов и моделирование требуемых для исследования параметров. Рассмотренная схема обеспечивает высокий коэффициент передачи импульсов наносекундной длительности и является достаточно простой в реализации. Полученные результаты могут быть применимы как для практических, так и для учебных целей.

Литература

- [1] Тришенков М.А. *Фотоприемные устройства и ПЗС. Обнаружение слабых оптических сигналов*. Москва, Радио и связь, 1992, 400 с.
- [2] Степаненко И.П. *Основы теории транзисторов и транзисторных схем*. Москва, Энергия, 1977, 672 с.
- [3] Andreev D.V., Andreev V.V., Konuhova M., Popov A.I. Technique of high-field electron injection for wafer-level testing of gate dielectrics of mis devices. *Technologies*, 2024, vol. 12, no. 102(1–10). <https://doi.org/10.3390/technologies12070102>
- [4] Andreev D.V., Bondarenko G.G., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modification of thin oxide films of MOS structure by high-field injection and irradiation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 110, art no. 012041(1–6). <https://doi.org/10.1088/1757-899x/110/1/012041>
- [5] Schmidt W. Optimum choice of Si FET or GaAs FET as first stage active device for very low-noise optical receivers with medium bandwidth. *Electronic Letters*, vol. 19, no. 22.
- [6] Разевиг В.Д. *Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0*. Москва, Солон-Р, 2003, 704 с.

The analysis of the photodetector circuit for receiving nanosecond pulses in the visible and infrared range

Andreev D.V.

dmitrii_andreev@bmstu.ru

Tsirulnikov I.Y.

tsirulnikoviyu@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This research considers the transmission coefficient of the photodetector designed to register nanosecond laser pulses in the range of visible and infrared optical radiation. The study on the dependence of the transmission coefficient of the pre-amplification circuit on the duration of the received optical pulse was conducted using circuit simulation in the CAD system NI Multisim. The resulting dependence was presented graphically. The results of transient modeling are also presented and the corresponding conclusions are drawn.

Keywords: photodetector, transmission coefficient, NI Multisim, circuit simulation