

Раздел II. Сложнофункциональные блоки смешанных систем на кристалле

УДК 621.382

О.В. Дворников, Н.Н. Прокопенко, П.С. Будяков

МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ ТРАНСИМПЕДАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ И КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ*

Рассматривается архитектура трансимпедансных преобразователей сигналов (ТПС) с расширенным частотным диапазоном. Приводится функциональная схема классического ТПС лавинных фотодиодов и кремниевых фотоумножителей и его модификация с повышенным значением верхней граничной частоты. Получены основные уравнения ТПС, описывающие его свойства в широком диапазоне частот. Рассматриваются результаты компьютерного моделирования в среде P-Spice на моделях интегральных транзисторов «АВМК_1_3» (амплитудно-частотная характеристика при различных значениях специального корректирующего конденсатора C_{var}), которые показывают, что верхняя граничная частота предлагаемого ТПС увеличивается в 7–10 раз. Приведена перспективная схема преобразователя «ток-напряжение» с парафазным выходом и низкоомным дифференциальным входом, к которому могут подключаться дифференциальные сенсоры.

Трансимпедансный преобразователь; кремниевый фотоумножитель; лавинный фотодиод; собственная компенсация.

O.V. Dvornikov, N.N. Prokopenko, P.S. Budyakov

METHOD OF EXTEND OPERATING FREQUENCY RANGE OF TRANSIMPEDANCE SIGNAL CONVERTERS OF AVALANCHE PHOTODIODES AND SILICON PHOTOMULTIPLIERS

The architecture transimpedance signal converters (TIC) with an extended operating frequency range are considered. The functional diagram of the classic TIC avalanche photodiodes and silicon photomultipliers and modification with a higher high-frequency cutoff are given. The basic equations describing properties of the TPS in a wide frequency range are given. The results of computer simulation in P-Spice on models integrated transistors "ABMK_1_3" (frequency response at various special correction capacitors C_{var}), which show that high-frequency cutoff of the proposed TIC increases at 7–10 times are considered. A perspective circuit of the "current-voltage" converter with paraphrase output and low impedance differential input, which can be connected to the differential sensors are proposed.

Transimpedance converter; silicon photomultiplier, avalanche photodiode; own compensation.

Трансимпедансный преобразователь сигналов – базовый элемент современных систем обработки оптической информации, датчиков излучений малой интенсивности и измерителей оптических сигналов в автоматике, вычислительной технике и физике высоких энергий и т.п. [1, 2].

* Статья подготовлена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках гранта 14.B37.21.0781.

В задачах выделения оптических сигналов сегодня широко используются преобразователи выходных токов лавинных фотодиодов и кремниевых фотоумножителей на основе каскадов с низким входным сопротивлением – трансимпедансных усилителей (схем с общей базой, каскодных усилителей и т.д.), рис. 1.

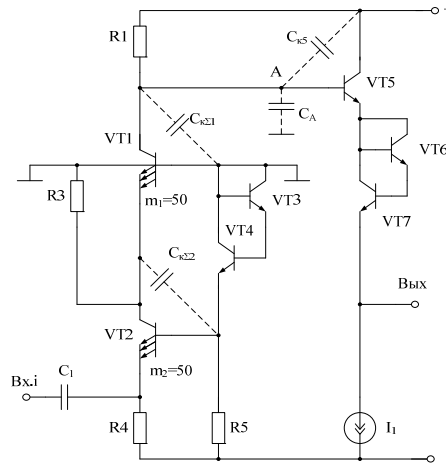


Рис. 1. Входной каскад серийно выпускаемой микросхемы ТПС Ampl 1–18 [1]

Для уменьшения уровня собственных шумов таких преобразователей применяется параллельное включение 10–50 элементарных транзисторов, образующих входную каскодную структуру рис. 1 [1]. Однако при таком построении ТПС существенно сужается диапазон рабочих частот, что связано, в основном, с паразитными емкостями большого числа (10–50) параллельно включенных транзисторов – их емкостями на подложку ($C_{п1}$) и емкостями коллектор–база ($C_{к1}$). В этой связи весьма актуальной является задача построения преобразователей сигналов, которые обладают более широким диапазоном рабочих частот при сохранении малого уровня шумов, обусловленными входными транзисторами.

На рис. 2 представлена функциональная схема классического трансимпедансного преобразователя сигналов лавинных фотодиодов и кремниевых фотоумножителей [1].

Постоянная времени τ_b , влияющая на верхнюю граничную частоту f_b коэффициента преобразования $R(j\omega)$ входного тока ТПС ($i_{вх}$) в выходное напряжение $U_{ввых}$ схемы рис. 2, определяется с учетом формул

$$R(j\omega) = \frac{R_1}{1 + j\omega\tau_b} = \frac{\dot{U}_{ввых}(j\omega)}{\dot{I}_{вх}(j\omega)}, \quad (1)$$

$$\tau_b \approx R_1(C_{п1} + C_{к1}), \quad (2)$$

где $C_{п1}$, $C_{к1}$ – паразитные емкости на подложку ($C_{п1}$) и ёмкости коллектор–база ($C_{к1}$) $m=10\div 50$ параллельно включенных элементарных транзисторов в структуре выходного транзистора VT1.

Как следствие, верхняя граничная частота ТПС рис. 2 в уравнении его частотной зависимости $R(j\omega)$ (1) определяется выражением

$$f_b = \frac{1}{2\pi\tau_b}. \quad (3)$$

В связи с тем, что число элементарных транзисторов, определяющих f_v устройства, достаточно велико, диапазон рабочих частот классического ТПС рис. 2 получается небольшим.

В предлагаемом ТПС рис. 3 [3] эквивалентная ёмкость $C_{\text{эф.}\Sigma}$ на входе буферного усилителя БУ1 уменьшается и, как следствие, повышается f_v^* ТПС.

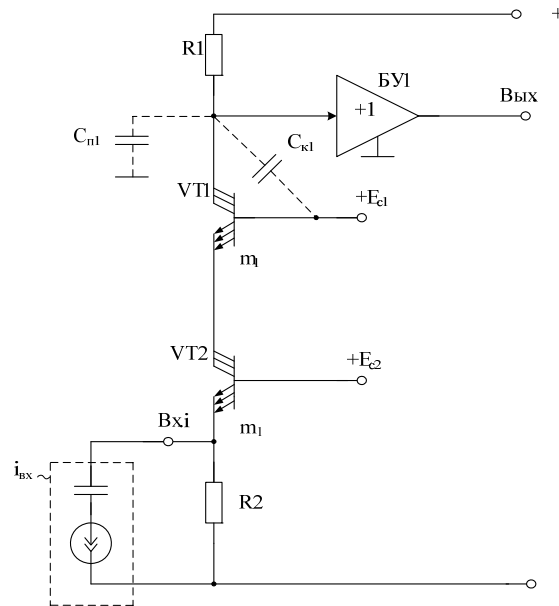


Рис. 2. Функциональная схема классического трансимпедансного преобразователя сигналов

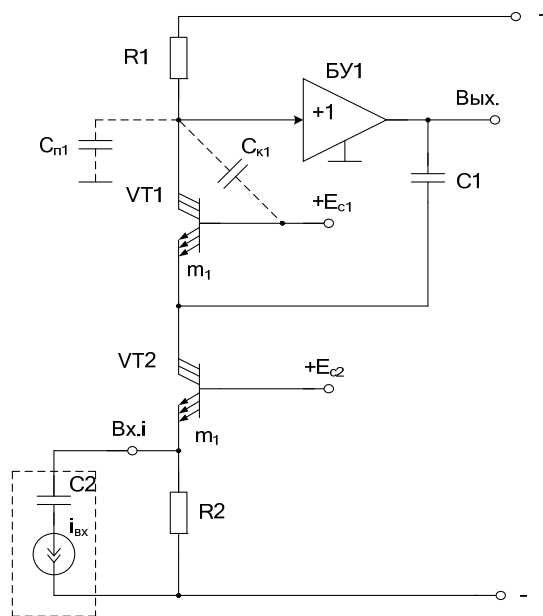


Рис. 3. Схема быстродействующего ТПС [3]

Можно показать, что

$$C_{\text{эф.}\Sigma} \approx (C_{\text{п1}} + C_{\text{к1}})(1 - \alpha_1 K_{\text{убУ}}), \quad (4)$$

где $K_{\text{убУ}} \approx 1$ – коэффициент передачи по напряжению буферного усилителя БУ1; $\alpha_1 \approx 1$ – коэффициент усиления по току эмиттера транзистора VT1.

Как следствие, верхняя граничная частота ТПС рис. 3 определяется по формуле

$$f_{\text{в}}^* = \frac{1}{R_1(C_{\text{п1}} + C_{\text{п2}})(1 - \alpha_1 K_{\text{убУ}})} \gg f_{\text{в}}. \quad (5)$$

При этом выигрыш по $f_{\text{в}}^*$ по сравнению с $f_{\text{в}}$ схемы рис. 2 достигает значений

$$N_{\text{в}} = \frac{f_{\text{в}}^*}{f_{\text{в}}} \approx \frac{1}{1 - \alpha_1 K_{\text{убУ}}} \gg 1, \quad (6)$$

где $f_{\text{в}}$ – верхняя граничная частота ТПС рис. 2, определяемая формулой (3).

На рис. 4 показана эквивалентная схема входного каскада ТПС рис. 3 в среде PSpice на моделях интегральных транзисторов «АБМК_1_3» (Транзисторы: pnp GC1E, pnp JFnp, abmk1.4 (ОАО «МНИПИ»)).

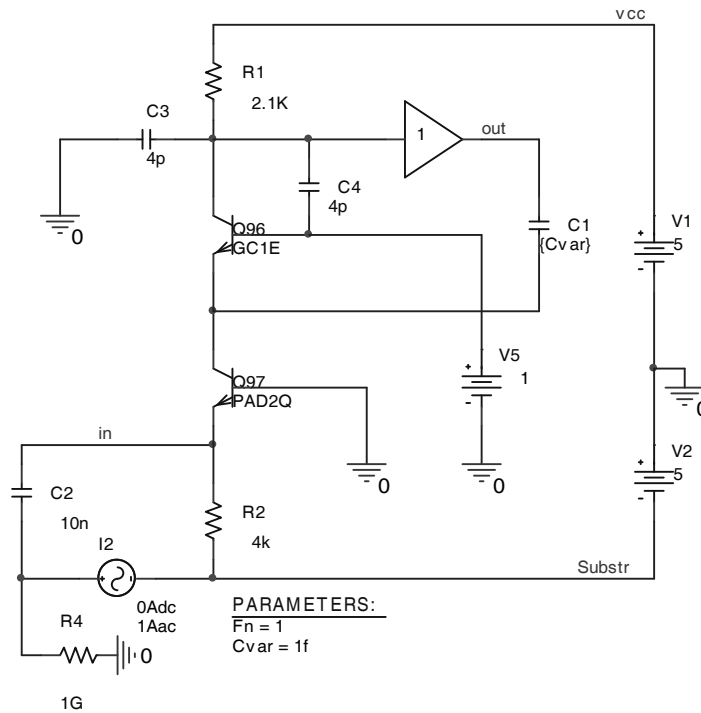


Рис. 4. Эквивалентная схема входного каскада ТПС в среде PSpice

На рис. 5 представлены ЛАЧХ входного каскада рис. 4 при различных значениях ёмкости корректирующего конденсатора C1, из которых следует, что при C1=10 пФ граничная частота $f_{\text{в}}^*$ схемы ТПС увеличивается в 7–10 раз.

Используя рассмотренный выше схемотехнический прием повышения $f_{\text{в}}^*$, можно синтезировать преобразователь «ток-напряжение» с парафазным выходом и низкоомным дифференциальным входом, к которому могут подключаться дифференциальные сенсоры (рис. 6).

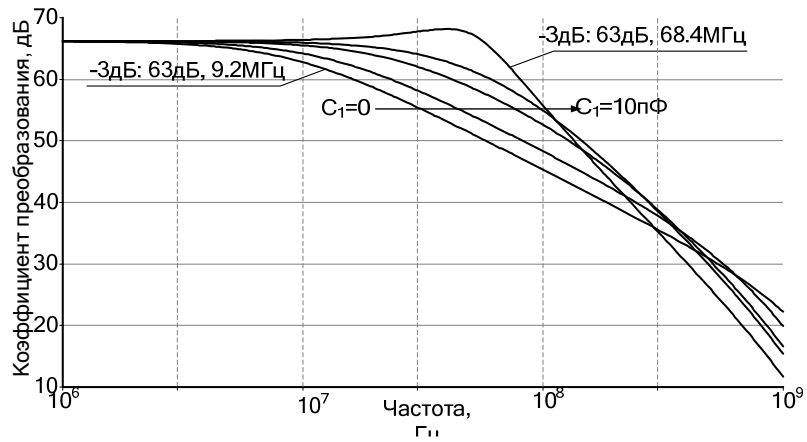


Рис. 5. ЛАЧХ ТПС при различных значениях ёмкости корректирующего конденсатора $C1 = Cvar = 0 \div 10 \text{ нФ}$

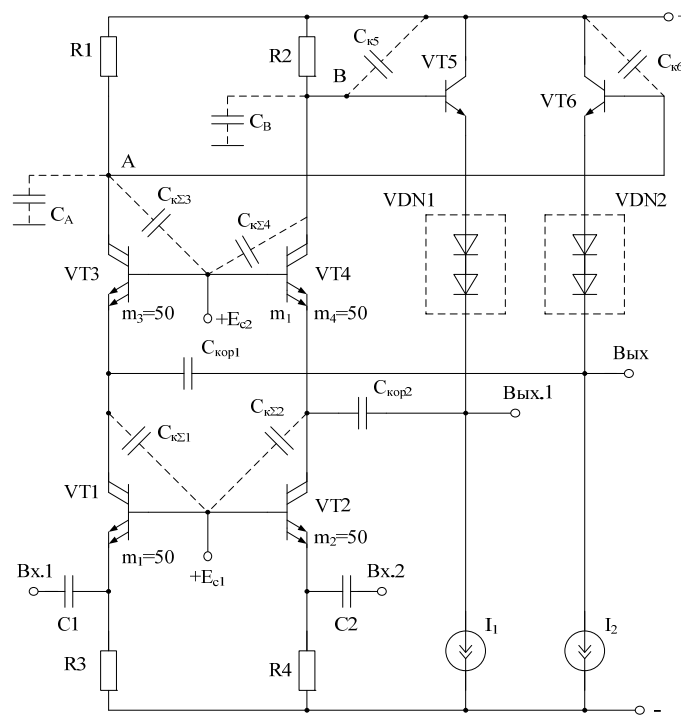


Рис. 6. Метод повышения $f_в$ микросхемы преобразователя «ток-напряжение» с парафазным выходом

Таким образом, рассмотренные архитектурные решения трансимпедансного преобразователя сигналов лавинных фотодиодов и кремниевых фотоумножителей характеризуются более широким частотным диапазоном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокопенко Н.Н., Дворников О.В., Крутччинский С.Г. Элементная база радиационно-стойких информационно-измерительных систем: Монография / Под общ. ред. Н.Н. Прокопенко ; ФГБОУ ВПО «Южно-Рос. гос. ун-т. экономики и сервиса». – Шахты: ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2011. – 208 с.
2. Дворников О.В., Чеховский В.А., Дятлов В.Л., Прокопенко Н.Н., Манжула В.Г. Электронный модуль обработки сигналов лавинных фотодиодов // Электрон. журнал «Инженерный вестник Дона». – 2012. – № 4. – <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1338>.
3. Трансимпедансный преобразователь сигналов лавинных фотодиодов и кремниевых фотумножителей: заявка на патент РФ; Н03F 3/08, Н01J 40/14, Н03F 1/24, Н03F 1/36 / Прокопенко Н.Н., Дворников О.В., Будяков П.С., Бугакова А.В. – № 2012151329/08; заявл. 29.11.12 (504).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.Г. Крутччинский.

Дворников Олег Владимирович – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; e-mail: Oleg_Dvornikov@tut.by; 220013, Беларусь, г. Минск, П. Бровки, 6; тел.: +375172938926; кафедра микро- и нанoeлектроники; профессор.

Прокопенко Николай Николаевич – Проблемная лаборатория перспективных технологий и процессов Центра исследования проблем безопасности РАН и ЮРГУЭС; e-mail: prokopenko@sssu.ru; 346500, г. Шахты, Шевченко, 147; тел.: +78636222037; первый проректор, проректор по научной работе и международному сотрудничеству.

Будяков Пётр Сергеевич – e-mail: budyakovp@gmail.com; тел.: +79185056136; научный сотрудник.

Dvornikov Oleg Vladimirovich – Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR); e-mail: Oleg_Dvornikov@tut.by; 6, P. Brovki, Minsk, 220013, Belarus; phone: +375172938926; the department of micro-and nanoelectronics; professor.

Prokopenko Nikolay Nikolaevich – Laboratory of perspective technologies and processes of the Center of researches of problems of safety of Russian Academy of Science and SRSUES; e-mail: prokopenko@sssu.ru; 147, Shevchenko, Shakhty, 346500, Russia; phone: +78636222037; first Vice-Vice Rector for scientific work and international collaboration.

Budyakov Petr Sergeevich – e-mail: budyakovp@gmail.com; phone: +79185056136; scientist.

УДК 621.382

Н.Н. Прокопенко, П.С. Будяков, Н.В. Бутырлагин

МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА РАБОЧИХ ЧАСТОТ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН С ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ ВЫХОДОМ*

Рассматривается метод расширения диапазона рабочих частот различных датчиков физических величин (в том числе ускорения, температуры, магнитного поля, деформации, оптического излучения, удара, радиации, электрического тока и т.п.), основанный на компенсации паразитной емкости сенсора C_0 за счет введения дополнительных усилителя тока и усилителя напряжения с единичными коэффициентами передачи, а также специального корректирующего конденсатора S_k . Приводится обобщенная функциональная схема датчика. Получены условия взаимной компенсации емкости C_0 при использовании идеальных дополнительных активных элементов, даны оценки верхней граничной частоты

* Статья подготовлена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках гранта 14.B37.21.0781.