

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](mailto: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](mailto: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](mailto:budyakovp@gmail.com); тел.: +79185056136; научный сотрудник.

**Dvornikov Oleg Vladimirovich** – Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR); e-mail: [Oleg\\_Dvornikov@tut.by](mailto: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](mailto: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](mailto: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.

модифицированного датчика при различных отношениях емкостей  $C_K$  и  $C_0$ . Рассматриваются результаты компьютерного моделирования (переходная и амплитудно-частотная характеристики датчика).

*Датчик; собственная компенсация; частотный диапазон.*

**N.N. Prokopenko, P.S. Budyakov, N.V. Butyrlagin**

### METHOD OF EXTEND OPERATING FREQUENCY RANGE OF SENSORS WITH VOLTAGE OUTPUT

*Method of extend the operating frequency range of different sensors of physical characteristic (including acceleration, temperature, magnet field, strain, radiation, shock, optical radiation, electric current, etc.), based on the compensation of the parasitic capacitance of sensor  $C_0$  by using an additional current amplifier and voltage amplifier with a single transfer ratio and correction capacitor  $C_K$  are considered. Generalized functional diagram of the sensor are shown. Conditions of mutual compensation of capacitance  $C_0$  using ideal additional active elements are obtained. Value of high-frequency cutoff of the modified sensor at various ratios capacitance  $C_K$  and  $C_0$  are estimates. The results of computer simulation (transient and the amplitude-frequency characteristics of the sensor) are discussed.*

*Sensor; own compensation; frequency range.*

Практически все датчики физических величин (электрические, электромагнитные, акустические, оптические и т.д.) характеризуются собственной паразитной ёмкостью  $C_0$  и внутренним сопротивлением  $R_i$  [1–3]. Наличие внутренней ёмкости  $C_0$ , являющейся неотъемлемой частью сенсорного элемента VD1, генерирующего электрический сигнал, пропорциональный измеряемой физической величине, ограничивает предельное быстродействие устройства (рис. 1).

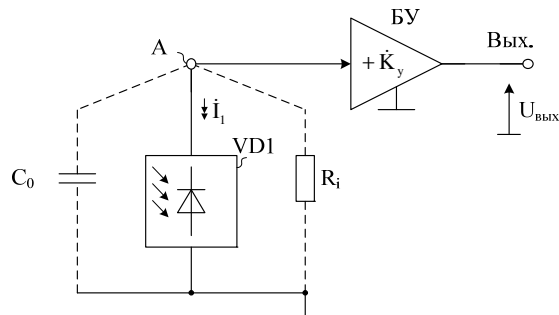


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема классического датчика физических величин с потенциальным выходом

В предлагаемом ниже измерительном преобразователе [4] выходной потенциальный сигнал  $U_{\text{Вых}}$  функционально связан с измеряемым физическим параметром тех или иных объектов техники (физики, химии, биологии, медицины, механики и т.д.). Решаемая им задача – повышение быстродействия за счет минимизации влияния внутренней ёмкости сенсора  $C_0$  на переходный процесс, связанный со «скачкообразным» изменением измеряемой величины.

Передаточная функция  $W(j\omega)$  и верхняя граничная частота  $f_b$  (по уровню – 3дБ) классического датчика физических величин рис. 1 с токовым выходом  $I_1$  определяются формулами:

$$W(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{Вых}}}{I_1} = \frac{R_i}{1 + j\omega\tau_b}, \quad (1)$$

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

где  $\tau_b = R_i C_0$  – постоянная времени сенсора VD1;  $R_i$  – внутреннее сопротивление сенсора VD1;  $C_0$  – внутренняя ёмкость сенсора VD1.

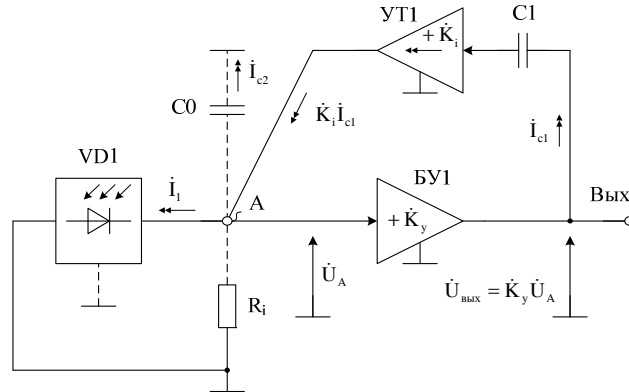


Рис. 2. Функциональная схема быстродействующего датчика физических величин с потенциальным выходом [4]

В схеме рис. 2 аналогичная передаточная функция:

$$W(j\omega) = \frac{R_i}{1 + j\omega C_0 R_i \left( 1 - \dot{K}_i \dot{K}_y \frac{C_1}{C_0} \right)}, \quad (3)$$

где  $\dot{K}_i$  – комплексный коэффициент передачи по току неинвертирующего усилителя тока УТ1;  $\dot{K}_y$  – комплексный коэффициент передачи по напряжению неинвертирующего буферного усилителя БУ1;  $C_1, C_0$  – ёмкость корректирующего конденсатора С1 и внутренняя ёмкость сенсора VD1.

Если в рабочем диапазоне частот обеспечить  $\dot{K}_y = K_y \approx 1$ ,  $\dot{K}_i = K_i \approx 1$ ,  $C_1 = C_0$ , то в схеме рис. 2 реализуется в N-раз более высокие значения верхней граничной частоты:

$$N = \frac{f_b^*}{f_b} \approx \frac{1}{1 - T} \gg 1, \quad (4)$$

$$f_b^* \approx \frac{1}{2\pi C_0 R_i (1 - T)}, \quad (5)$$

где  $f_b^*, f_b$  – верхние граничные частоты предлагаемого ( $f_b^*$ ) и известного ( $f_b$ ) датчиков;  $T = K_i K_y \frac{C_1}{C_0} \leq 1$  – петлевое усиление.

По мере приближения расчетных значений  $f_b^*$  устройства рис. 2 к верхним граничным частотам неинвертирующего буферного усилителя БУ1 ( $f_{b\text{БУ}}$ ) и усилителя тока УТ1 ( $f_{b\text{УТ}}$ ) эффективность датчика рис. 2 будет уменьшаться. Однако практическая реализация данных функциональных узлов с  $f_{b\text{БУ}} \gg f_b^*$  и  $f_{b\text{УТ}} \gg f_b^*$ , имеющих единичное усиление, не вызывает проблем для многих применений схемы рис. 2 с различными типами сенсоров.

На рис. 3 представлена компьютерная модель быстродействующего датчика физических величин рис. 2 на идеальных элементах в среде OrCad PSpice, где модель сенсора представлена источником тока  $I_1$ , его внутренним сопротивлением  $R_i$  и собственной ёмкостью  $C_0$ .

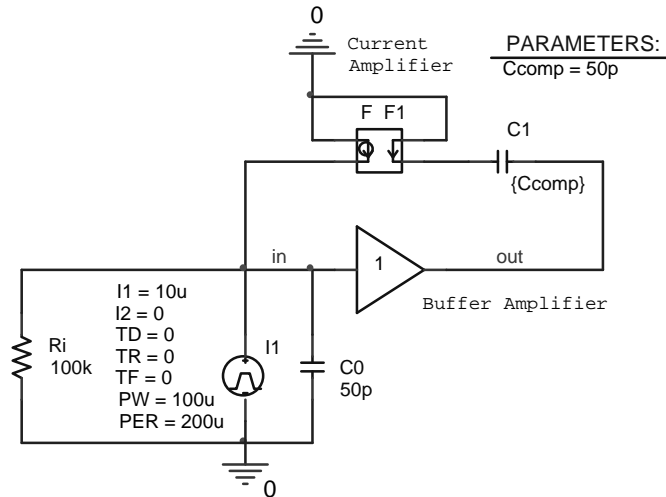


Рис. 3. Компьютерная модель быстродействующего датчика физических величин

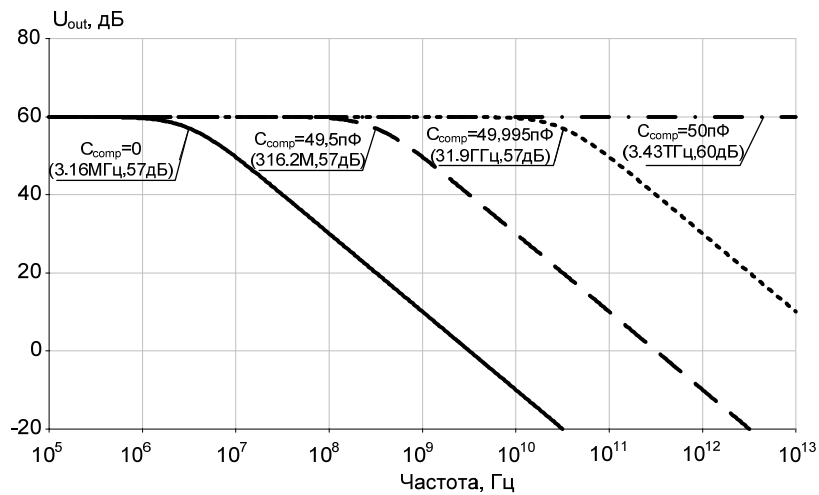


Рис. 4. Логарифмические характеристики коэффициента преобразования выходного тока сенсора  $V_{DI}$  в выходное напряжение измерительного преобразователя (рис. 3)

На рис. 4 показаны результаты моделирования датчика (рис. 3) при различных значениях ёмкости  $C_1 = C_{\text{comp}}$ , а на рис. 5 – переходные процессы при импульсном изменении выходного тока сенсора  $I_1$ . Как видно из графиков, рациональный выбор ёмкости корректирующего конденсатора  $C_1 = C_{\text{comp}}$  обеспечивает существенное уменьшение времени установления переходного процесса ( $t_{\text{пер}}$ ).

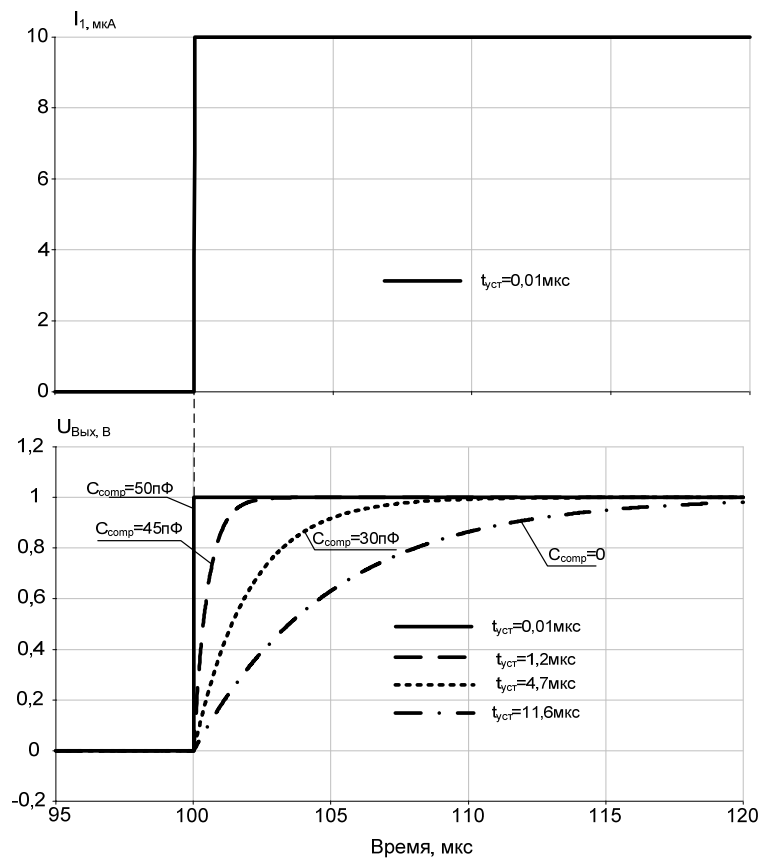


Рис. 5. Переходной процесс и время установления переходного процесса на выходе измерительного преобразователя рис. 3 при различных значениях корректирующей емкости  $CI=C_{сопр}$ .

Таким образом, рассмотренный метод позволяет расширить диапазон рабочих частот и увеличить быстродействие различных датчиков, для которых собственная ёмкость  $C_0$  является паразитным параметром.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Клаassen К.Б.* Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2002. – 352 с.
2. *Топильский В.Б.* Схемотехника измерительных устройств. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 232 с.
3. *Войтович И.Д., Корсунский В.М.* Интеллектуальные сенсоры: Учебное пособие. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 624 с.
4. Быстродействующий датчик физических величин с потенциальным выходом: заявка на патент РФ; Н03F 3/68, Н03F 15/00, Н03F 13/00, G01B 5/00, G01B 7/00, G01N 25/00, G01N 27/00, G01R 27/00, G01K 7/00, G01F 1/00, G08C 23/00, H01L 41/00, H04D 3/00, H04B 10/00, H04R 17/00 / Прокопенко Н.Н., Дворников О.В., Будяков П.С. – № 2012153048/08; заявл. 07.12.12 (513).

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

**Прокопенко Николай Николаевич** – Проблемная лаборатория перспективных технологий и процессов Центра исследования проблем безопасности РАН и ЮРГУЭС; e-mail: prokopenko@sss.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.

**Бутырлагин Николай Владимирович** – e-mail: nbutyrlagin@mail.ru; тел.: +79034320799; инженер-исследователь.

**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@sss.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.

**Butyrlagin Nikolay Vladimirovich** – e-mail: nbutyrlagin@mail.ru; phone: +79034320799; research engineer.

УДК 621.375

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

**МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА РАБОЧИХ ЧАСТОТ  
КЛАССИЧЕСКИХ ТРАНЗИСТОРНЫХ КАСКАДОВ С ОБЩЕЙ БАЗОЙ  
И ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ\***

*Рассматривается архитектура широкополосного усилителя на основе классических каскадов с общей базой (ОБ) и общим эмиттером (ОЭ), в которую вводится цепь компенсации паразитной емкости коллекторного перехода  $C_{cb}$  и емкости на подложку  $C_s$ . Для повышения верхней граничной частоты ( $f_v$ ) в схему введен параллельный каскад взаимной компенсации импедансов, реализованный на транзисторе по схеме с ОБ и буферном усилителе с единичным коэффициентом передачи. Приводится теоретическое описание предлагаемых усилителей и их компьютерное моделирование в среде P-Spice на моделях интегральных транзисторов ФГУП НПП «Пульсар» (амплитудно-частотная характеристика при различных значениях ёмкости корректирующего конденсатора). Показано, что рассматриваемое схемотехническое решение особенно актуально для микросхем с топологическими нормами 0,6÷3 мкм (например, «кремний на изоляторе», «кремний на сапфире» и др.), на основе которых выполняются микросхемы с повышенной радиационной стойкостью и расширенным температурным диапазоном), где присутствуют большие паразитные емкости транзисторов.*

*Каскад с общей базой; каскад с общим эмиттером; взаимная компенсация.*

**N.N. Prokopenko, P.S. Budyakov, N.V. Butyrlagin**

**METHOD OF EXTEND OPERATING FREQUENCY RANGE  
OF THE CLASSICAL TRANSISTOR STAGE WITH A COMMON BASE  
AND COMMON EMITTER**

*The architecture of a broadband amplifier based on the classical stage with a common base (CB) and common emitter (CE) with a circuit to compensate of parasitic capacitance of the collector junction capacitance  $C_{cb}$  and capacitance on substrate  $C_s$  are considered. For increase the*

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