

УДК 621.38.049.771.14

## Разработка радиационно стойкой БИС МДМ-преобразователя для датчиков в КМОП КНС-базисе

А. И. Черный, В. Н. Богатырев<sup>1</sup>, З. М. Поварницына<sup>2</sup>, А. Ю. Алямкин

<sup>1,2</sup>к. т. н., ОАО «НПО ИТ»

e-mail: npcm2@yandex.ru

**Аннотация.** В ОАО «НПО ИТ» разработан, изготовлен и проведены испытания экспериментального образца большой интегральной схемы (БИС) преобразователя для датчиков (в частности магниторезистивных) на базе инструментального усилителя типа модулятор–демодулятор (МДМ) по КМОП-технологии на отечественных структурах «кремний на сапфире» с толщиной приборного слоя кремния 0,6 мкм. Наряду с МДМ, инструментальным усилителем, БИС включает также выходной нормирующий усилитель, набор резисторов обратных связей и выходной фильтр низкой частоты. Реализованный алгоритм модуляции–демодуляции позволил получить малое напряжение смещения и компенсацию фликкер-шума для обеспечения преобразования низкочастотных сигналов датчиков начиная с постоянного тока. Лабораторными испытаниями произведена предварительная оценка радиационной стойкости БИС к ионизирующему излучению на моделирующем испытательном комплексе при воздействии излучения от <sup>60</sup>Со путем испытания основного базового элемента — операционного усилителя, стойкость которого составила не менее 500 Крад/Si.

**Ключевые слова:** магниторезистивный датчик, модулятор–демодулятор, МДМ, инструментальный усилитель, радиационная стойкость, большая интегральная схема, кремний на сапфире

## Development Radiation Hardened IC MDM of the Converter for Sensors in CMOS SOS basis

A. I. Chernyj, V. N. Bogatyrev<sup>1</sup>, Z. M. Povarnitsyna<sup>2</sup>, A. Yu. Alyamkin

<sup>1,2</sup>candidate of engineering science,

Joint Stock Company “Scientific-Production Association of Measuring Techniques”

e-mail: npcm2@yandex.ru

**Abstract.** On Joint Stock Company “Scientific-Production Association of Measuring Techniques” are developed, made and conducted tests of the experimental sample instrumentation amplifier with modulator–demodulator the IC MDM of the converter for magneto resistive sensors. Is manufactory on CMOS with design norms of an order 3 microns on technology “silicon on sapphire” (SOS) on domestic plates with thickness of a layer of silicon 0,6 microns. IC includes the modulator–demodulator, the first and the second operational amplifiers, the normalization amplifier, resistors of feedback, the filter of low frequency. The realized algorithm of modulation–demodulation has allowed to receive small voltage offset and compensation to flicker noise for low-frequency analogue signals. Radiating hardened to ionizing radiation on a modeling test complex is confirmed by laboratory researches. Resistance of the basic element — the operational amplifier to the saved up dose not less than 500 Krad/Si on <sup>60</sup>Co.

**Key words:** magneto resistive sensors, modulator–demodulator, MDM, instrumentation amplifier, radiation hardened, integrated circuits (IC), silicon on sapphire (SOS)

В ОАО «НПО ИТ» разработан, изготовлен и проведены испытания экспериментального образца (ЭО) большой интегральной схемы (БИС) преобразователя для датчиков (в частности магниторезистивных) на базе инструментального усилителя типа модулятор–демодулятор (МДМ). Технология изготовления БИС — КМОП, на отечественных структурах «кремний на сапфире» (КНС) с толщиной приборного слоя кремния 0,6 мкм.

Усилители с модуляцией–демодуляцией сигнала (усилители МДМ) реализуют преобразование медленно меняющегося входного напряжения в переменное напряжение, которое затем усиливается, демодулируется и фильтруется. Данный алгоритм в значительной степени уменьшает погрешности, связанные с температурным и временным дрейфом нуля. Структурная схема БИС МДМ-преобразователя приведена на рис. 1.

Инструментальный усилитель построен по классической схеме на трех операционных усилителях (ОУ). Цель введения в структуру нормирующего выходного усилителя — обеспечить низкое выходное сопротивление, большой выходной сигнал и увеличить общий коэффициент усиления. Если коэффициент усиления инструментального усилителя достаточно велик, то дрейф нуля дифференциального усилителя практически не увеличивает нестабильности начального уровня усилителя в целом. Фильтр нижних частот и нормирующий усилитель могут быть объединены в один узел — активный фильтр. Модулятор и демодулятор управляются частотой, вырабатываемой внутренним генератором. В данной работе блок модуляции и демодуляции построен на основе КМОП транзисторных ключей.

#### Оценка плотности шума для МДМ ОУ.

Теоретически плотность шума для МДМ ОУ определяется формулой

$$S_{n.вх} = \frac{3,14^2 \cdot 4 \cdot K \cdot T \cdot n_1}{8 \cdot g_{\min}} \left( 1 + \frac{F_k}{F_{\text{chop}}} \right), \text{ где:}$$

$S_{n.вх}$  — спектральная плотность входных шумов,  $K$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура,  $n_1$  — фактор наклона в области слабой инверсии,  $g_{\min}$  — крутизна входных транзисторов операционного усилителя,  $F_k$  — граничная частота пропускания,  $F_{\text{chop}}$  — частота выборки.

В нашем случае  $T = 300^\circ\text{C}$ ,  $n_1 = 1,4$ ,  $g_{\min} = 30 \text{ мкА/В}$ ,  $F_k = 200 \text{ Гц}$ ,  $F_{\text{chop}} = 4000 \text{ Гц}$ ,  $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ , легко показать, что  $S_{n.вх} = 31,58 \text{ нВ/Гц}$ .

#### Оценка величины смещения для МДМ ОУ.

Величина смещения для МДМ ОУ определяется формулой:

$$V_{\text{offset}} = 2 \cdot 3,14 \cdot F_{\text{chop}} \cdot V_q \cdot R_{\text{он}} \times \\ \times \left( 2 \cdot 3,14 \cdot F_{\text{chop}} \cdot R_{\text{он}} \cdot C_{\text{in}} + 2Q \cdot e \right),$$

где

$$V_q = \frac{C_{\text{ox}}}{2} \left( \left( \frac{dW_i}{W_i} + \frac{dL_i}{L_i} \right) \cdot (V_{dd} - V_t) + \right. \\ \left. + C_{\text{ov}} (V_{dd} - V_{ss}) \cdot \frac{dC_{\text{ov}}}{C_{\text{ov}}} \right),$$

где  $i = 1, 2, 3$ ,  $\frac{dW_i}{W_i}$ ,  $\frac{dL_i}{L_i}$ ,  $dV_t$  — относительные рас-  
согласования параметров,  $C_{\text{ov}}$  — емкость перекрытия. В нашем случае при  $\frac{dW_i}{W_i} = \frac{dL_i}{L_i} = \frac{dC_{\text{ov}}}{C_{\text{ov}}} = 0,1$ ,  $dV_t = 100 \text{ мВ}$ ,  $R_{\text{он}} = 50 \text{ кОм}$ ,  $C_{\text{in}} = 1 \text{ пФ}$ ,  $Q = 10$ ,  $e = 1\%$ .

Теоретическая величина смещения  $V_{\text{offset}}$  не превышает 1 мкВ [1].

Испытания ЭО проводились согласно разработанной (в рамках этапа 2 СЧ НИР «Датчик-ИТ») «Программе и методике испытаний ЭО» от 30.09.2013 № НПЦМ2/2-85 на измерителе Keithley 2602 и подтвердили достижение следующих параметров:

- коэффициент усиления фиксирован — 135;
- температурный дрейф коэффициента передачи — 300 ppm/°C;
- напряжение смещения «нуля» — не более 20 мкВ;
- температурный дрейф напряжения смещения «нуля» — не более 0,5 мкВ/°C;
- коэффициент ослабления синфазного сигнала и влияния напряжения питания — не менее 80 дБ;

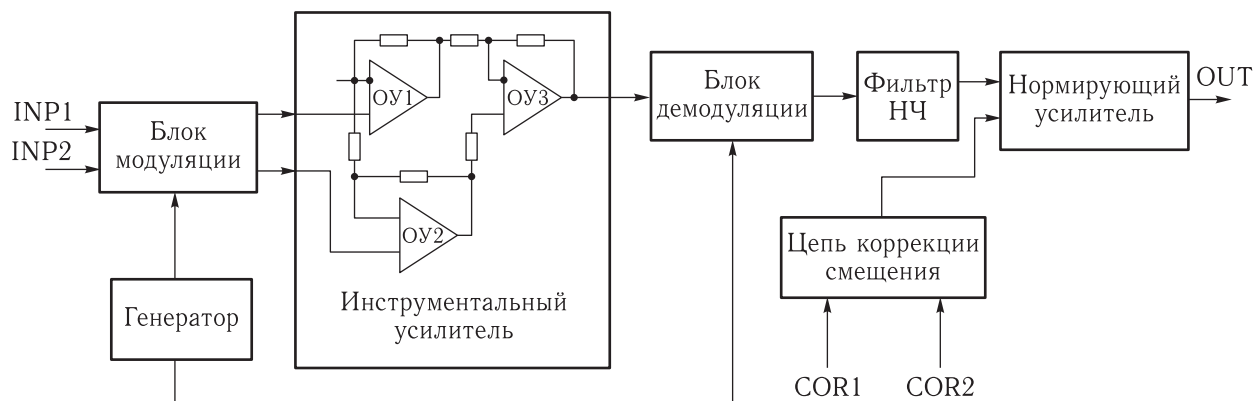


Рис. 1. Структурная схема БИС МДМ-преобразователя

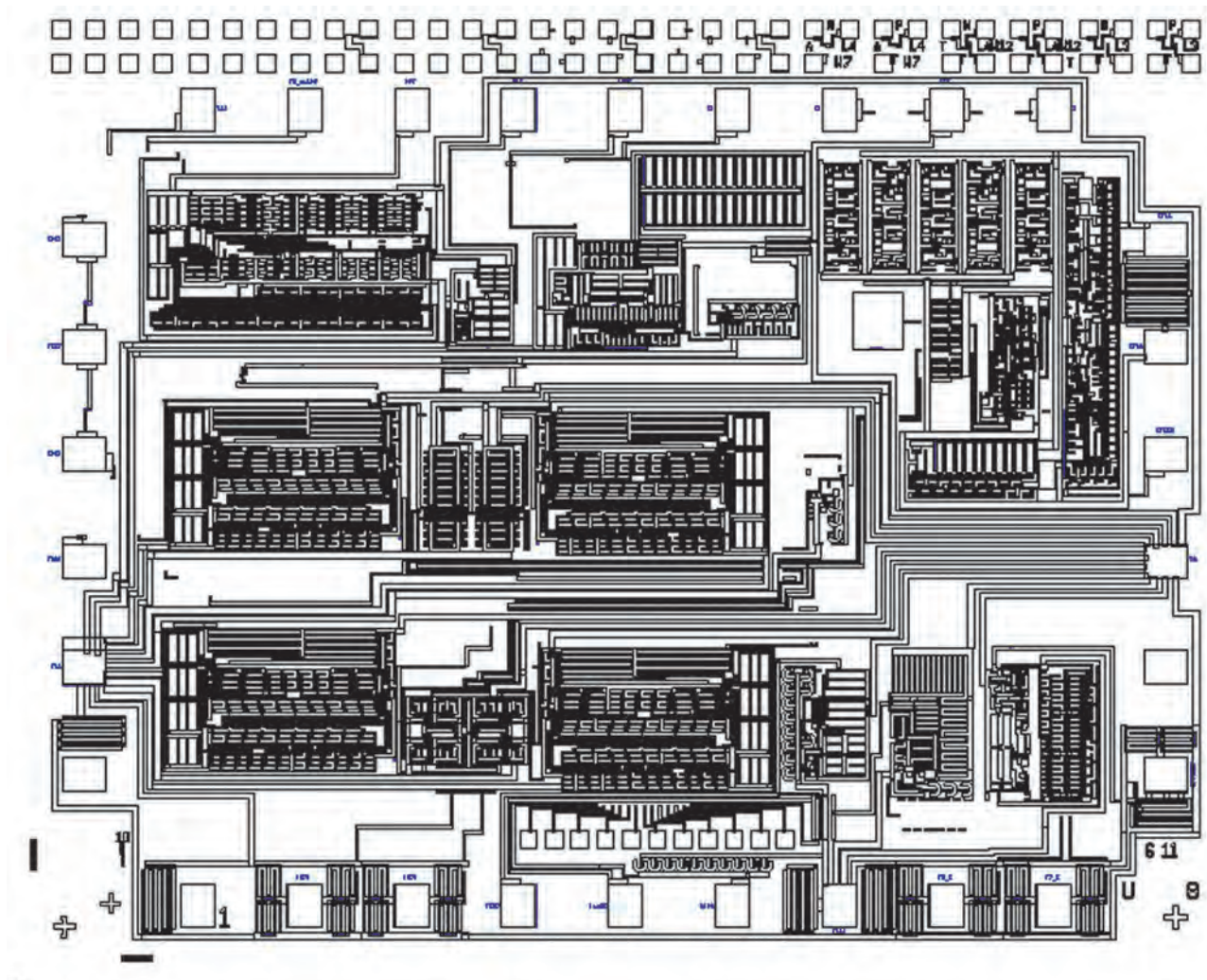


Рис. 2. Топология кристалла БИС МДМ-преобразователя

- входные токи — не более 1 нА;
- потребляемая мощность — не более 50 мВт;
- полоса пропускания по уровню 3dB — не менее 1,0 кГц;
- диапазон напряжения питания, В —  $\pm(2,5-4)$ ;
- конструктивное исполнение для испытаний — в корпусе 2120.24-11 либо бескорпусное исполнение.

По сравнению с широко известным дифференциальным усилителем постоянного тока на МДП-транзисторах с модуляцией-демодуляцией сигнала 140 УД13 [3] на объемном кремнии достигнуты преимущества по коэффициенту усиления (более 10 раз), полосе сигнала, напряжению смещения нуля (менее 2 раз), расширению функционального исполнения (встроенный генератор, инструментальный ОУ, активный фильтр, нормирующий усилитель), радиационной стойкости за счет КНС-исполнения.

Топология кристалла БИС МДМ-преобразователя показана на рис. 2, размер кристалла  $4,5 \times 3,5$  мм.

Лабораторными испытаниями произведена предварительная оценка радиационной стойкости БИС к ионизирующему излучению на моделирующем испытательном комплексе при воздействии излучения от  $^{60}\text{Co}$  путем испытания основного базового элемента — операционного усилителя, стойкость которого составила не менее 500 Крад/Si.

## Список литературы

1. *Cihsieh K. et al.* A Low-noise chopper-stabilized differential switched-capacitor filtering technique, IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.sc — 16, December, 1981, p. 708–715
2. *Топильский В.Б.* Микроэлектронные измерительные преобразователи, 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.
3. Технические условия 6КО. 347.004 ТУ12.