

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ ОАМР2

Галкин Я.Д.<sup>1,2</sup>, Чеховский В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт ядерных проблем” Белорусского государственного университета  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>ОАО “Минский научно-исследовательский приборостроительный институт”  
г. Минск, Республика Беларусь

Дворников О.В.<sup>3</sup> – д.т.н., доцент

Исследованы параметры радиационно-стойкого операционного усилителя ОАмр2, созданного на базовом матричном кристалле МН2ХА030. Рассмотрены схемотехнические особенности, уменьшающие радиационную деградацию параметров разработанного операционного усилителя, методика и результаты измерений основных параметров в нормальных условиях.

Электрическая схема операционного усилителя (ОУ) *ОАмр2* приведена на рисунке 1, на которой требуемые сопротивления резисторов получены за счет последовательного и параллельного соединения резисторов базового матричного кристалла, а узлы с одинаковым наименованием соединены между собой. Особенности функционирования и выбора режима работы ОУ подробно рассмотрены в [1].

Для уменьшения радиационного изменения параметров в разработанном ОУ использованы следующие технические решения:

- входной ток ОУ по выводу *NI* является разностью базовых токов *n-p-n* Q25 и *p-n-p* Q23 транзисторов (соответственно Q39 и Q37 для *IN*), работающих при одинаковом эмиттерном токе. При приблизительно равном радиационном спаде коэффициента усиления базового тока  $\beta$  транзисторов с разным типом проводимости, входной ток должен изменяться незначительно;

- коэффициент усиления напряжения  $K_V$  при отсутствии цепей отрицательной обратной связи (ОС) ОУ определяется передаточной проводимостью входного каскада и суммарным сопротивлением всех цепей, соединенных с высокоомными узлами (коллекторы Q33 и Q46) [1]. Следовательно, на радиационное уменьшение  $K_V$  будет преобладающе влиять входное сопротивление выходного каскада, а точнее, падение  $\beta$  Q53 и Q51 для выхода *Out1* (Q67 и Q69 для *Out2*), которое можно уменьшить выбором большой плотности эмиттерного тока этих транзисторов;

- усилитель *ОАмр2* имеет два парафазных выходных каскада, что позволяет увеличить  $K_V$  и уменьшить влияние проникающей радиации на рабочий режим аналоговых устройств, соединенных с выходом ОУ, за счет съема сигнала между выходами *Out1*, *Out2*. Кроме того, в *ОАмр2* введена отрицательная ОС по синфазному сигналу, устанавливающая равенство напряжений между выходом резистивного делителя *R31*, *R32* и узлом *FB*. При соединении узла *FB* с шиной нулевого потенциала, такая ОС по синфазному сигналу уменьшает влияние радиационного изменения параметров интегральных элементов на напряжение смещения нуля  $V_{OFF}$ .

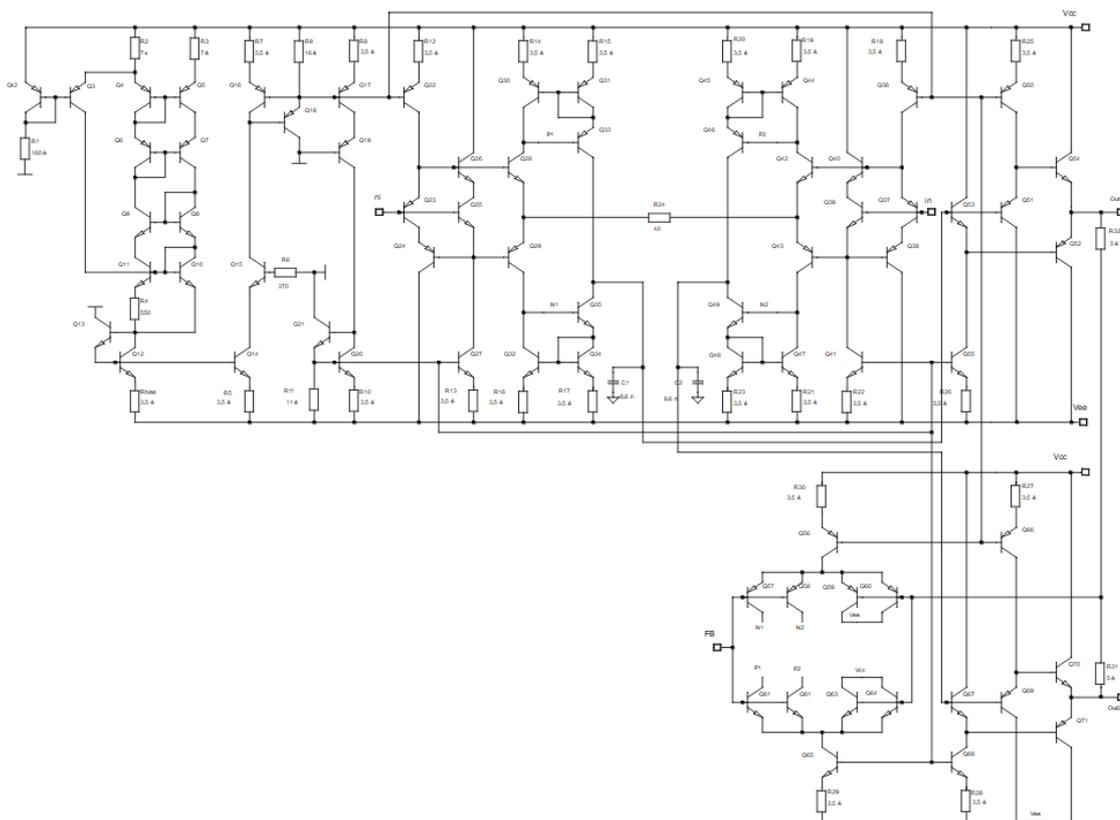


Рисунок 1 – Электрическая схема ОУ ОАmp2

До начала радиационных испытаний были разработаны схемы включения *OАmp2*, позволяющие определить основные параметры (рисунки 2-4), и методика измерений, которые апробированы при проведении измерений *OАmp2* в нормальных условиях.

Измерения *OАmp2* проводились в контактирующем устройстве при включении ОУ с цепями отрицательной ОС, обеспечивающими усиление по напряжению от 10 до 400, без внешней коррекции амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), с использованием двухканального генератора сигналов произвольной формы и осциллографа фирмы *Tektronix*, щупа с входным сопротивлением 10 МОм и емкостью 6 пФ, мультиметра *Agilent 34401A*.

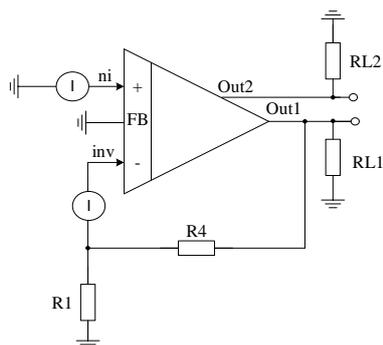


Рисунок 2 – Схема включения *OАmp2* при измерении тока потребления и входных токов. I- АКИП-2101/2,  $R1 = 1,18 \text{ кОм}$ ,  $R4=10 \text{ кОм}$ ,  $RL1$  и  $RL2$  не подключены

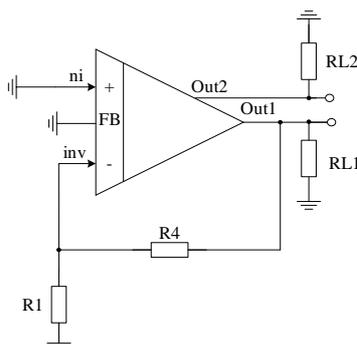


Рисунок 3 – Схема включения *OАmp2* при определении напряжения смещения нуля.  $V_{OFF} = -V_{OUT1}/(R4/R1+1)$ ,  $R1 = 83 \text{ Ом}$ ,  $R4=128 \text{ кОм}$ ,  $RL1$  и  $RL2$  не подключены

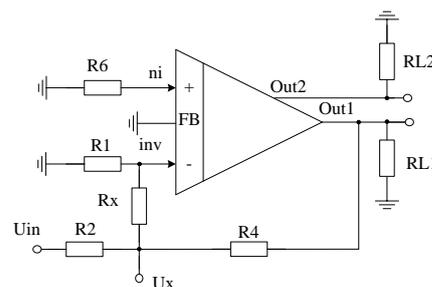


Рисунок 4 – Схема включения *OАmp2* при определении коэффициента усиления напряжения.  $K_V = (R_x/R1) \cdot (V_{OUT1}/V_X)$ ,  $R1=R6= 475 \text{ Ом}$ ,  $R2=R4=10 \text{ кОм}$ ,  $R_x=118 \text{ кОм}$ ,  $RL1$  и  $RL2$  не подключены,  $V_{IN} = 1 \text{ В (p-p)}$ ,  $f_{IN} = 100 \text{ Гц}$

Всего было измерено 10 образцов. Количество годных ОУ по функционированию 9 из 10. Измерения показали, что токи потребления в диапазоне 2,58..2,74 мА, входные токи  $I_{INV} = 0,07..0,59 \text{ мкА}$ ,  $I_{NI} = 0,01..0,51$ , коэффициент усиления  $K_V = 5900..6900$ , напряжение смещения нуля  $V_{OFF} = -0,35..0,47 \text{ мВ}$ , полоса пропускания более 200 кГц при  $K_V = 100$  (рисунок 5).

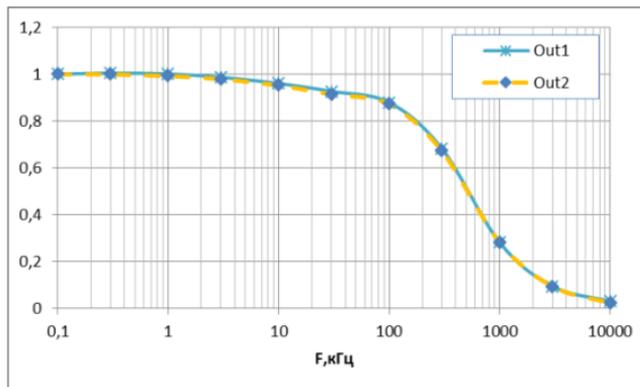


Рисунок 5 – Нормированная АЧХ. Схема включения – рисунок 4. Входной сигнал подан в узел  $V_{in1}$ .  $R1 = R2 = 1,18$  кОм,  $R4 = 118$  кОм,  $RL1$  и  $RL2$  не подключены. Уровни питания  $V_{CC}=+4,5$  В.  $V_{EE}=-4,5$  В.  $V_{IN} = 12$  мВ (p-p)

**Список использованных источников:**

1. O.V. Dvornikov, V.A. Tchekhovski, V.L. Dziatlau, N.N. Prokopenko. Influence of Ionizing Radiation on the Parameters of an Operational Amplifier Based on Complementary Bipolar Transistors. Russian Microelectronics. – 2016. - Vol. 45, No. 1. - P. 54-62. DOI: 10.1134/S10 63739716010030