

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем проектирования в микроэлектронике
Российской академии наук (ИППМ РАН)

Библиотека схемотехнических решений

Низкотемпературный радиационно-стойкий BiCJFet операционный
усилитель: модификация НТ-1

Н.Н. Прокопенко, prokopenko@sssu.ru, А.В. Бугакова, А.А. Жук,
Д.Ю. Денисенко

Научно-исследовательская лаборатория проблем проектирования в
экстремальной микроэлектронике ИППМ РАН и Донского
государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону)

1. Области применения ОУ НТ-1

Предназначен для работы в аналоговых и аналого-цифровых интерфейсах датчиков систем связи, автоматики и приборостроения.

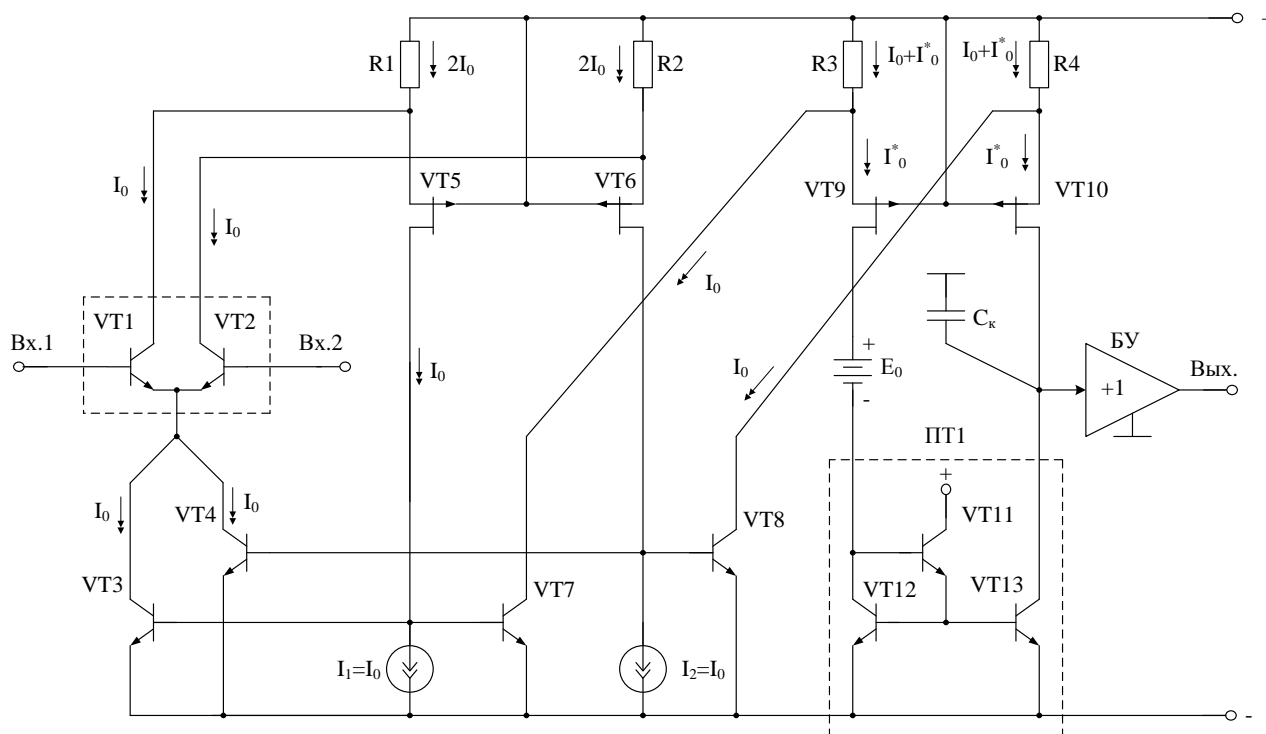


Рис. 1. Функциональная схема BiCJFet ОУ

Практическая реализация схемы рис. 1 может быть осуществлена в рамках технологии: 3КБТ (BiJFet-биполярно-полевой техпроцесс, АО «Интеграл», г. Минск).

2. Текстовое описание схемы рис. 1

Схема ОУ рис.1 включает:

- входной дифференциальный каскад (VT1-VT2);
- первый промежуточный каскад (R1, R2, VT5, VT6, I₁, I₂, VT7) ;
- второй промежуточный каскад (R3, R4, VT8, VT9, VT10, E₀, ПТ1) ;
- выходной каскад – буферный усилитель (БУ);
- интегрирующую цепь коррекции C_к;
- E₀ – минимизирует смещение нуля;
- ПТ1 – токовое зеркало;

Интегрирующая емкость коррекции C_к обеспечивает заданный запас устойчивости ОУ по фазе. Статический режим ОУ рис. 1 устанавливается источниками тока I₁ и I₂, а так же резисторами R1-R4. Источники тока могут изменяться в широких пределах (единицы микроампер – единицы миллиампер).

Цепь смещения потенциалов E₀ обеспечивает уменьшение напряжения смещения нуля ОУ. Численное значение E₀, как правило, близко к напряжению на шине положительного питания. В качестве E₀ могут применяться цепочки из p-n переходов, стабилитроны, а также специальные двухполюсники с низким дифференциальным сопротивлением. Во многих случаях применение E₀ не обязательно.

В качестве буферного усилителя (БУ) могут применяться более 30 классических вариантов схем, отличающихся друг от друга энергетическими и динамическими параметрами.

Таким образом, схема рис. 1 – это некоторая обобщенная схема ОУ, в рамках технологического процесса 3КБТ, на котором можно реализовать десятки частных вариантов ОУ, отличающихся друг от друга схемотехникой выходного каскада БУ, статическим режимом VT1-VT2, и, как следствие, динамическими параметрами.

В этой связи компьютерное моделирование обобщенной структурной схемы рис. 1 с БУ и источниками тока I₁, I₂ позволяет определить предельные параметры широкого класса практических вариантов построения ОУ с архитектурой рис. 1, к которым необходимо стремиться.

3. Компьютерное моделирование ОУ рис. 1

В частном случае схема ОУ рис. 1 исследовалась в среде Orcad 9.2 на моделях библиотеки АБМК_1.4_rad.



Рис. 2 Графическое изображение моделей транзисторов АБМК_1.4_rad с n-p-n (а) и полевым (б) транзисторами

На рис. 3 показана схема ОУ в среде Orcad.

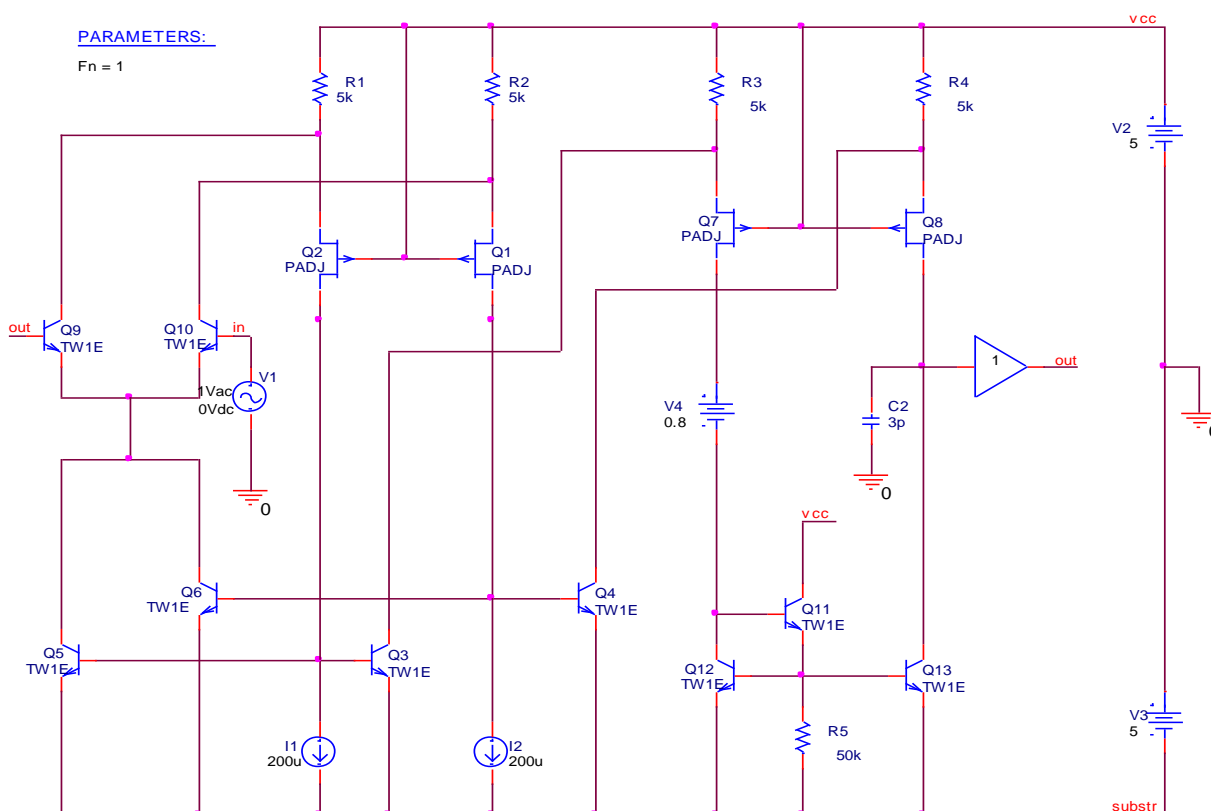


Рис. 3 ОУ рис. 1 в среде Orcad 9.2 на моделях транзисторов АБМК_1.4_rad

4. Ожидаемые параметры и характеристики ОУ

Особенностями ОУ является нетрадиционный метод введения отрицательной обратной связи по синфазному сигналу (ООС) (VT3, VT4), позволяющий повысить дифференциальный коэффициент усиления разомкнутого ОУ. Элементы, образующие ООС (VT3, VT4, I₁, I₂, VT7) и точка суммирования сигналов ООС перенесены в общую эмиторную цепь входного каскада. Кроме этого в ОУ рис. 1 исключены токовые зеркала на p-n-p транзисторах, применение

которых не желательно из-за существенной деградации из основных параметров при воздействии радиации и низких температур.

Результаты компьютерного моделирования основных характеристик ОУ рис. 1 при воздействии потока нейтронов и температуры на систематическую составляющую напряжения смещения нуля приведены на рис. 4 и рис. 5.

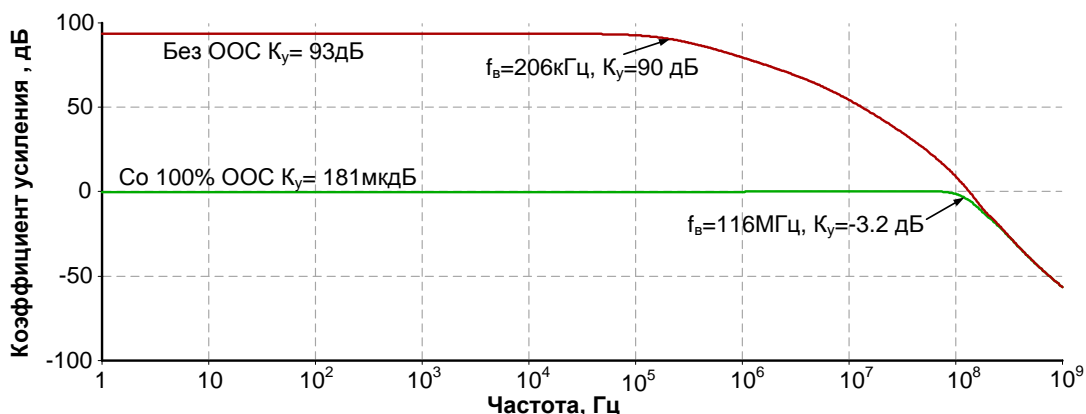


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики ОУ без ООС и со 100% ООС

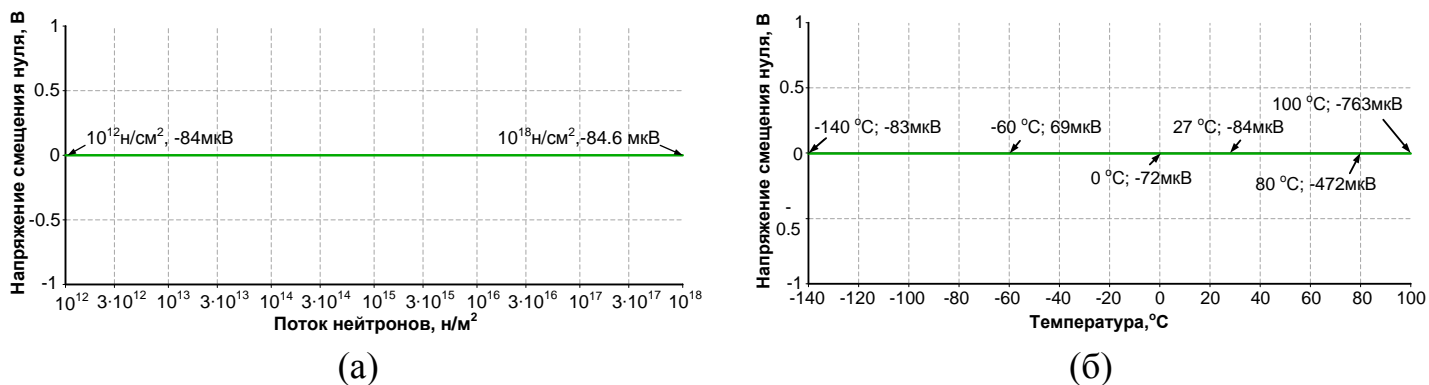


Рис. 5. Зависимость напряжения смещения нуля от потока нейтронов (а) и температуры в диапазоне минус 140⁰С до +100⁰С (б)

5. Параметры оптимизации

Практический интерес представляет определение оптимальных значений сопротивлений резисторов R1-R4 и статических токов входного и промежуточного каскадов $I_1=I_2$ при заданных ограничениях на максимальную скорость нарастания выходного напряжения ОУ, разомкнутый коэффициент усиления, запас устойчивости по фазе, энергопотребление, ослабление синфазных сигналов, схемотехнику токовых зеркал и буферного усилителя и т.п.

6. Netlist in Spice

* source P8118

```
1:X_Q4      N02111 N30879 SUBSTR substr TW1E
2:V_V2      VCC 0 5
3:V_V1      IN 0 DC 0Vdc AC 1Vac
4:X_Q13     N33179 N30973 SUBSTR substr TW1E
5:C_C2      0 N30973 3p
6:V_V3      0 SUBSTR 5
7:R_R3      N30312 VCC 5k
8:X_Q6      N02111 N26802 SUBSTR substr TW1E
9:V_V4      N30942 N33456 0.8
10:R_R4     N30879 VCC 5k
11:X_Q7     N30312 VCC N30942 substr PADJ
12:E_GAIN2  OUT 0 VALUE {1 * V(N30973)}
13:R_R1     N01040 VCC 5k
14:R_R2     N00927 VCC 5k
15:I_I1     N03332 SUBSTR DC 200u
16:X_Q9     OUT N01040 N26802 substr TW1E
17:X_Q11    N33456 VCC N33179 substr TW1E
18:X_Q8     N30879 VCC N30973 substr PADJ
19:I_I2     N02111 SUBSTR DC 200u
20:R_R5     SUBSTR N33179 50k
21:X_Q5     N03332 N26802 SUBSTR substr TW1E
22:X_Q10    IN N00927 N26802 substr TW1E
23:X_Q1     N00927 VCC N02111 substr PADJ
24:X_Q3     N03332 N30312 SUBSTR substr TW1E
25:X_Q2     N01040 VCC N03332 substr PADJ
26:X_Q12    N33179 N33456 SUBSTR substr TW1E
.PARAM Rvar=2k Fn=1
```

Разработка выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (проект 16-19-00122)

ОУ разработан на моделях АБМК – v1.4. Контактная информация: ОАО “Минский научно-исследовательский приборостроительный институт”, Минск, Беларусь, О.В. Дворников, e-mail: oleg_dvornikov@tut.by