

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

Библиотека схемотехнических решений

Каскодное Vi-CJFet токовое зеркало с повышенным выходным сопротивлением: модификация ТЗ-1

Пахомов И.В., [ilyavpakhomov@gmail.com](mailto:ilyavpakhomov@gmail.com)

Жук А.А., [alexey.zhuk96@mail.ru](mailto:alexey.zhuk96@mail.ru)

Будяков П.С., [budyakovp@gmail.com](mailto:budyakovp@gmail.com)

Бугакова А.В., [annabugakova.1992@mail.ru](mailto:annabugakova.1992@mail.ru)

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

1. Каскодное Vi-CJFet токовое зеркало

Предлагаемое Vi-CJFet токовое зеркало (ТЗ) может быть использовано в качестве функционального узла различных ВJT-CJFET устройств усиления аналоговых сигналов, в структуре аналоговых ВJT-CJFET микросхем различного функционального назначения (например, операционных усилителях (ОУ), стабилизаторах напряжения, компараторах) в условиях низких температур и проникающей радиации [1-2].

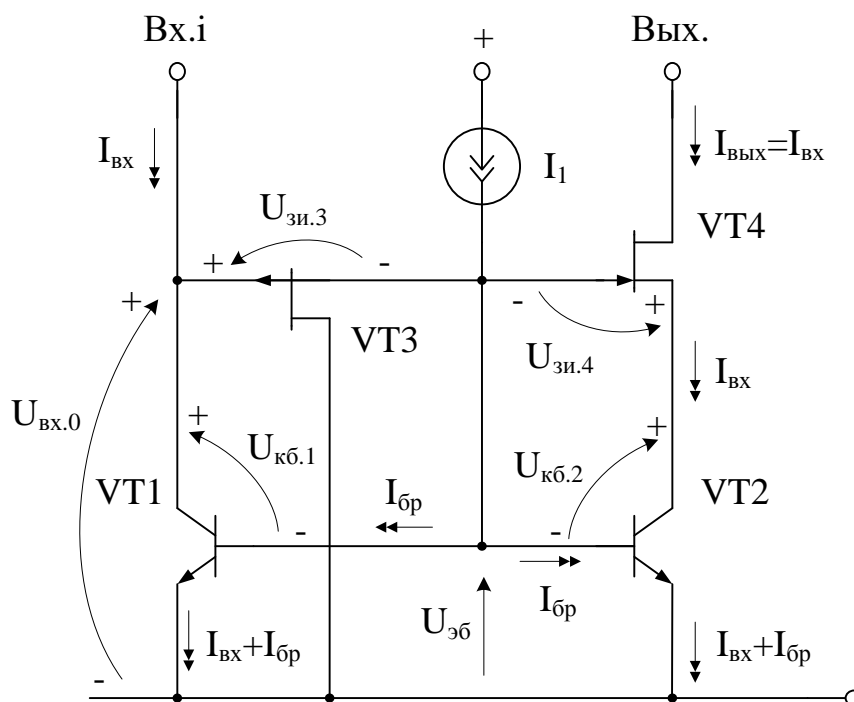


Рисунок – 1 Каскодное Vi-CJFet ТЗ с повышенным выходным сопротивлением

## 2. Компьютерное моделирование Vi-CJFet ТЗ

Практическая реализация схемы рис. 1 может быть осуществлена в рамках различных технологий: ЗКБТ (BiJFet-биполярно-полевой техпроцесс АО «Интеграл», г. Минск), комплементарный VJT-CJFET технологический процесс АО «НПП Пульсар», г. Москва и др.

На рис. 2-3 представлены статические режимы исследуемого Vi-CJFet ТЗ на основе элементов радиационно-стойкого базового матричного кристалла АБМК\_2.2 и библиотеки элементов CJFET\_3 в САПР LTspice при  $t=27^{\circ}\text{C}$  и  $t=-197^{\circ}\text{C}$  соответственно [3].

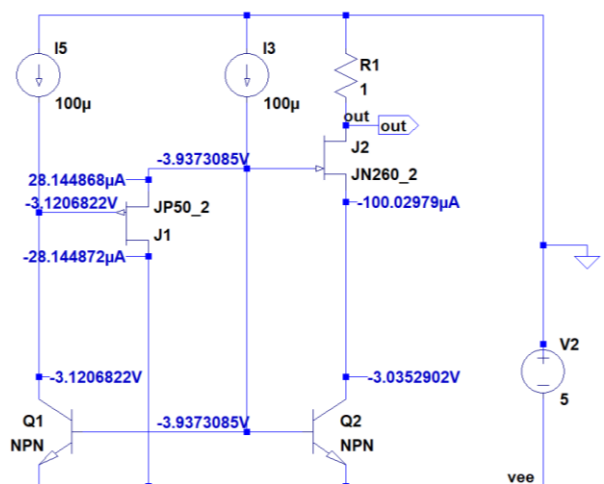
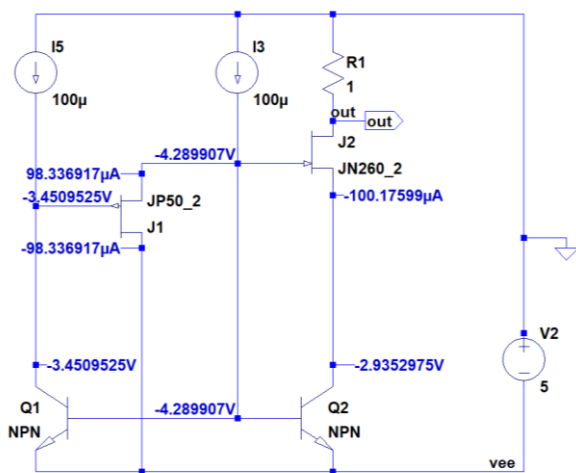


Рисунок 2 – Статический режим Vi-CJFet ТЗ рис. 1 при  $t=27^{\circ}\text{C}$ ,  $I_3=100$  мкА в среде LTspice

Рисунок 3 – Статический режим Vi-CJFet ТЗ рис.1 при  $t=-197^{\circ}\text{C}$ ,  $I_3=100$  мкА в среде LTspice

На рис. 4-7 представлены результаты компьютерного моделирования проходной характеристики схемы ТЗ рис. 2, а на рис. 8-11 схемы ТЗ рис. 3. Моделирование проводилось при  $I_3=10\div 500$  мкА.

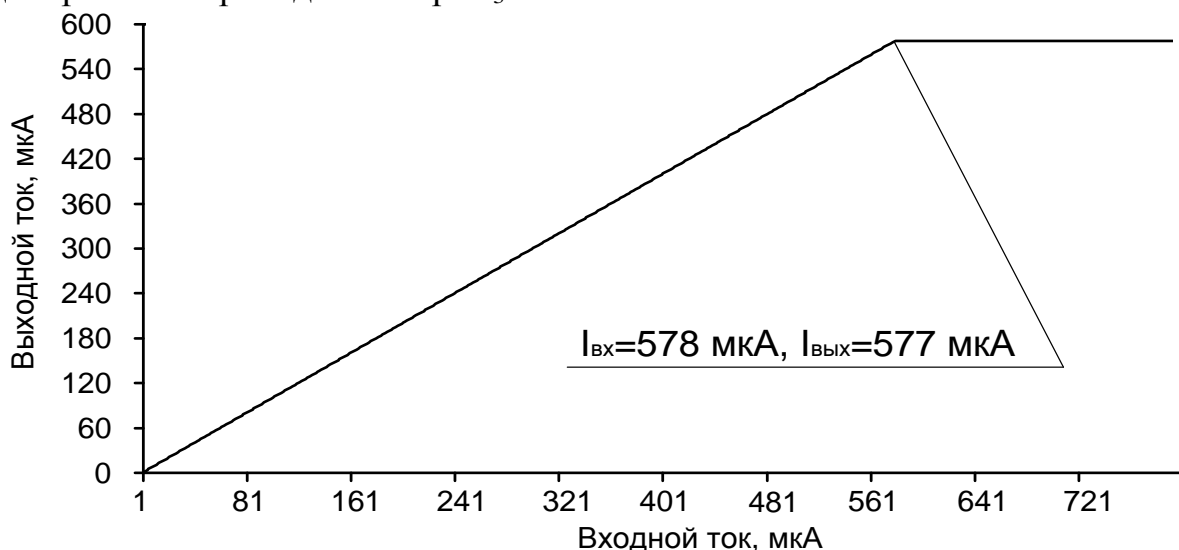


Рисунок 4 – Зависимость выходного тока от входного тока Vi-CJFet ТЗ рис. 2 при  $t=27^{\circ}\text{C}$ ,  $I_3=10$  мкА

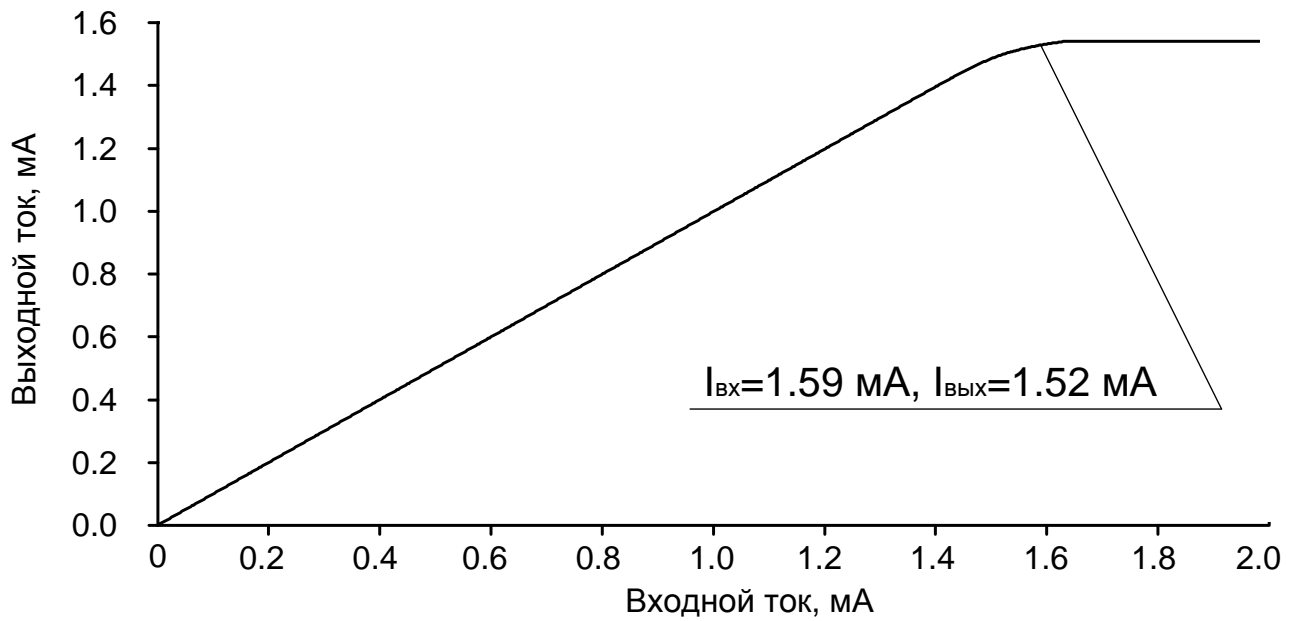


Рисунок 5 – Зависимость выходного тока от входного тока Bi-CJFet Т3 рис. 2 при  $t=27^{\circ}\text{C}$ ,  $I_3=100 \text{ мкА}$

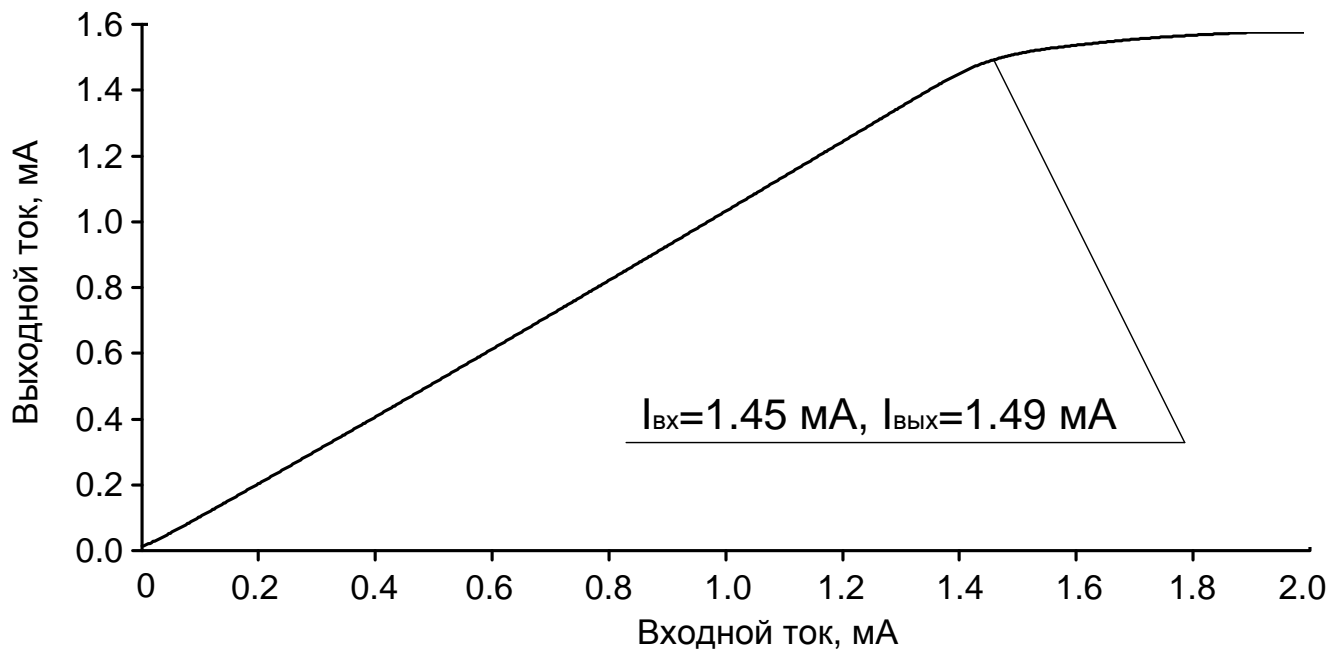


Рисунок 6 – Зависимость выходного тока от входного тока при Bi-CJFet Т3 рис. 2  $t=27^{\circ}\text{C}$ ,  $I_3=300 \text{ мкА}$

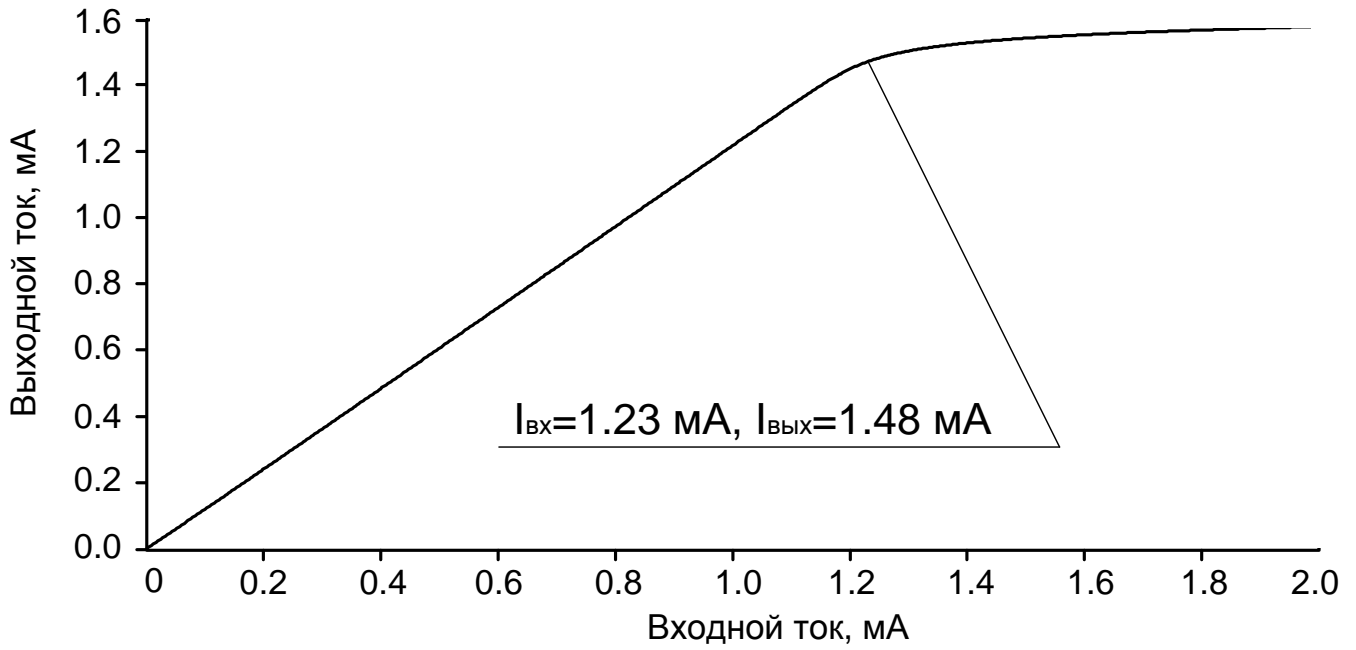


Рисунок 7– Зависимость выходного тока от входного тока Bi-CJFet ТЗ рис. 2 при  $t=27^\circ\text{C}$ ,  $I_3=500 \text{ мкА}$

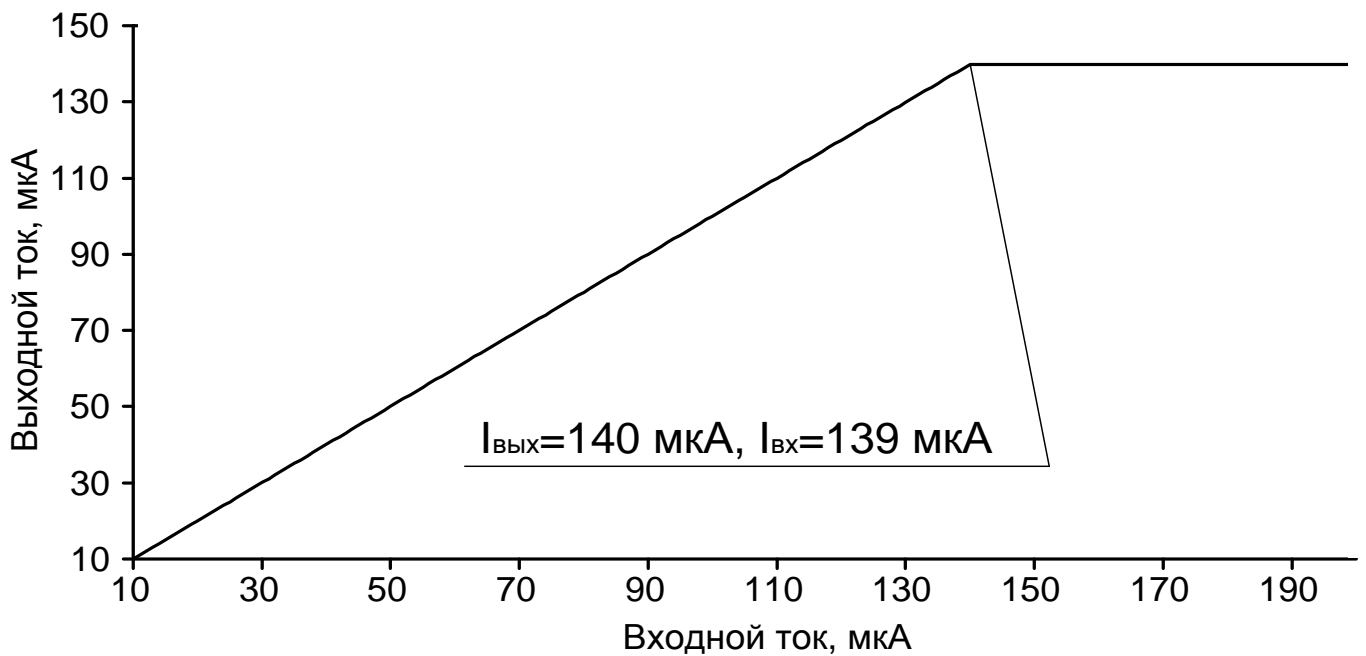


Рисунок 8 – Зависимость выходного тока от входного тока Bi-CJFet ТЗ рис. 3 при  $t=-197^\circ\text{C}$ ,  $I_3=10 \text{ мкА}$

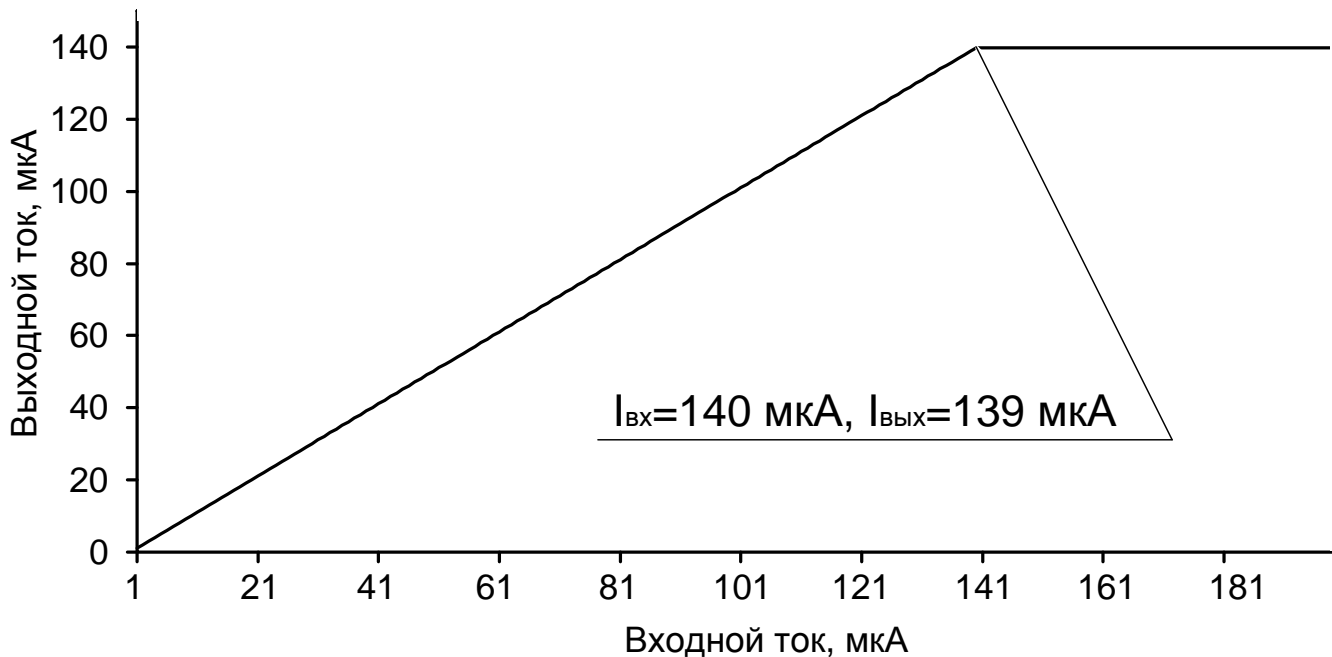


Рисунок 9 – Зависимость выходного тока от входного тока Vi-CJFet ТЗ рис. 3 при  $t=-197^{\circ}\text{C}$ ,  $I_3=100 \text{ мкА}$

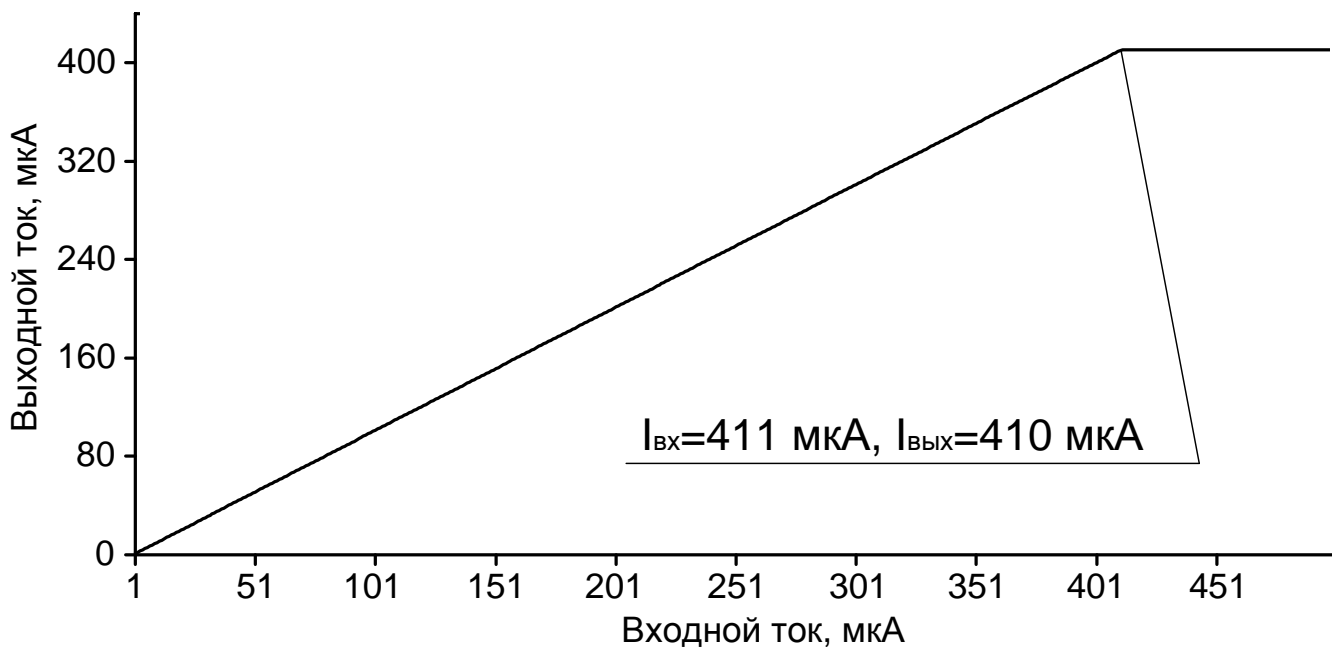


Рисунок 10 – Зависимость выходного тока от входного тока Vi-CJFet ТЗ рис. 3 при  $t=-197^{\circ}\text{C}$ ,  $I_3=300 \text{ мкА}$

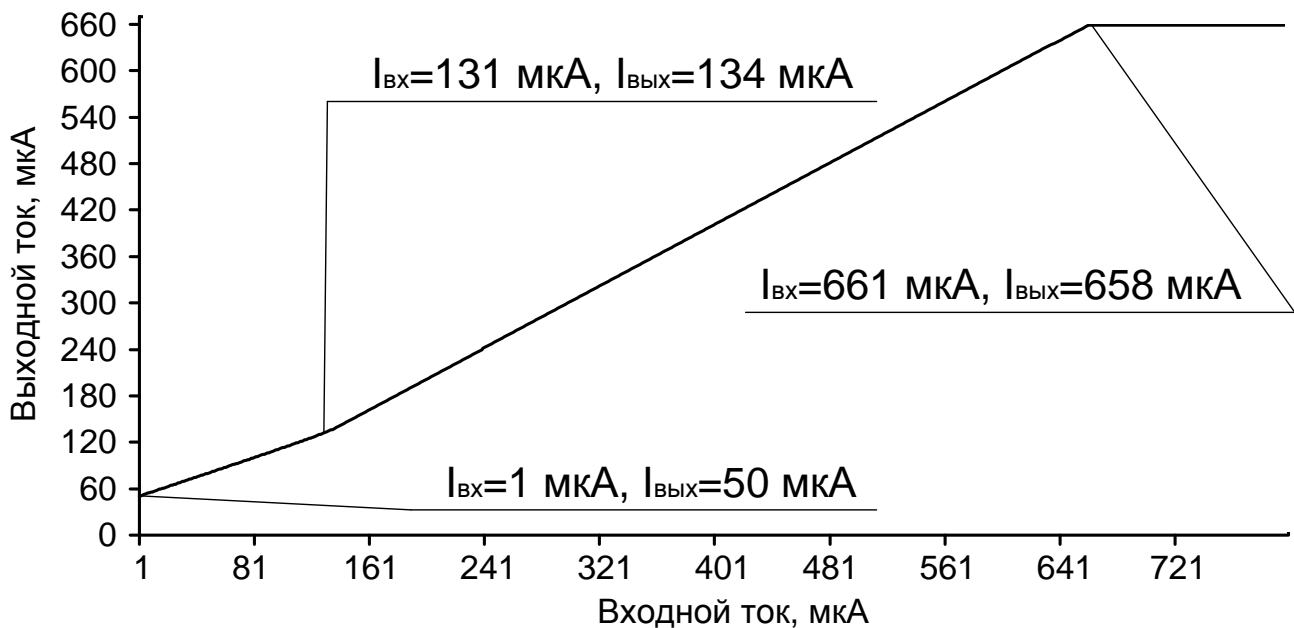


Рисунок 11 – Зависимость выходного тока от входного тока Vi-CJFet T3 рис. 3 при  $t=-197^{\circ}\text{C}$ ,  $I_3=500 \text{ мкА}$

Представленные на рис. 4-11 зависимости выходного тока  $I_{вых}=I_{R1}$  от входного тока  $I_{вх}=I_5$  T3 рис. 2-3 для разных температурных условий ( $27^{\circ}\text{C}$  и  $-197^{\circ}\text{C}$ ), показывают, что данное устройство имеет устойчивый близкий к единице коэффициент передачи в условиях криогенных и комнатных температур.

На рис. 12-13 представлены результаты компьютерного моделирования частотной зависимости выходного сопротивления T3 рис. 2, а на рис. 14-15 – T3 рис. 3. Моделирование проводилось при  $I_3=10 \div 100 \text{ мкА}$ .

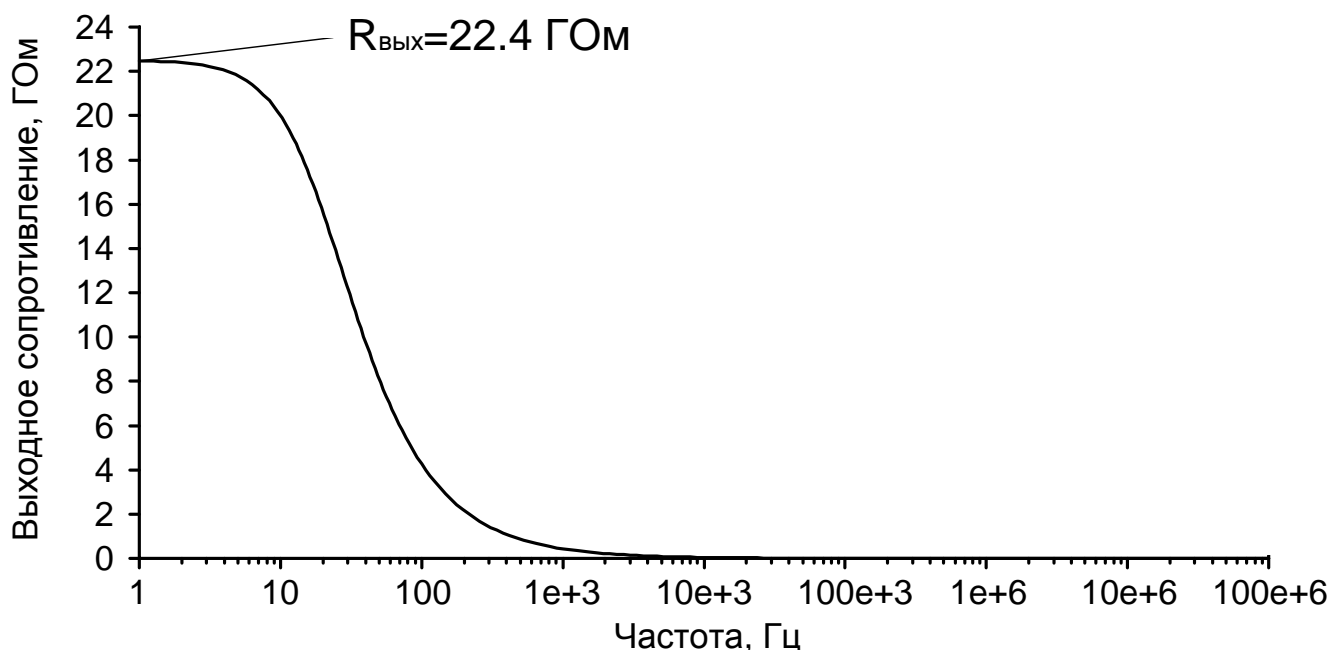


Рисунок 12 – Частотная зависимость выходного сопротивления Vi-CJFet T3 рис. 2 при  $t=27^{\circ}\text{C}$ ,  $I_{вх}=10 \text{ мкА}$

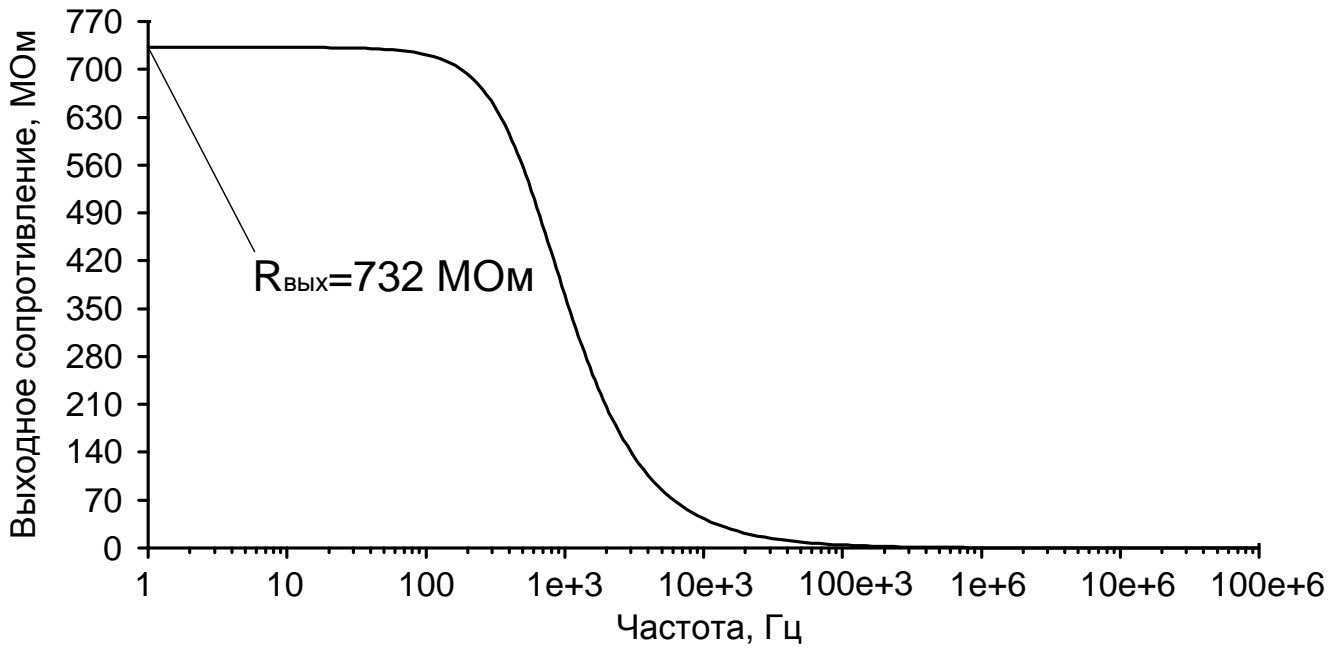


Рисунок 13 – Частотная зависимость выходного сопротивления Vi-CJFet T3 рис. 2 при  $t=27^{\circ}\text{C}$ ,  $I_{\text{вх}}=100 \text{ мкА}$

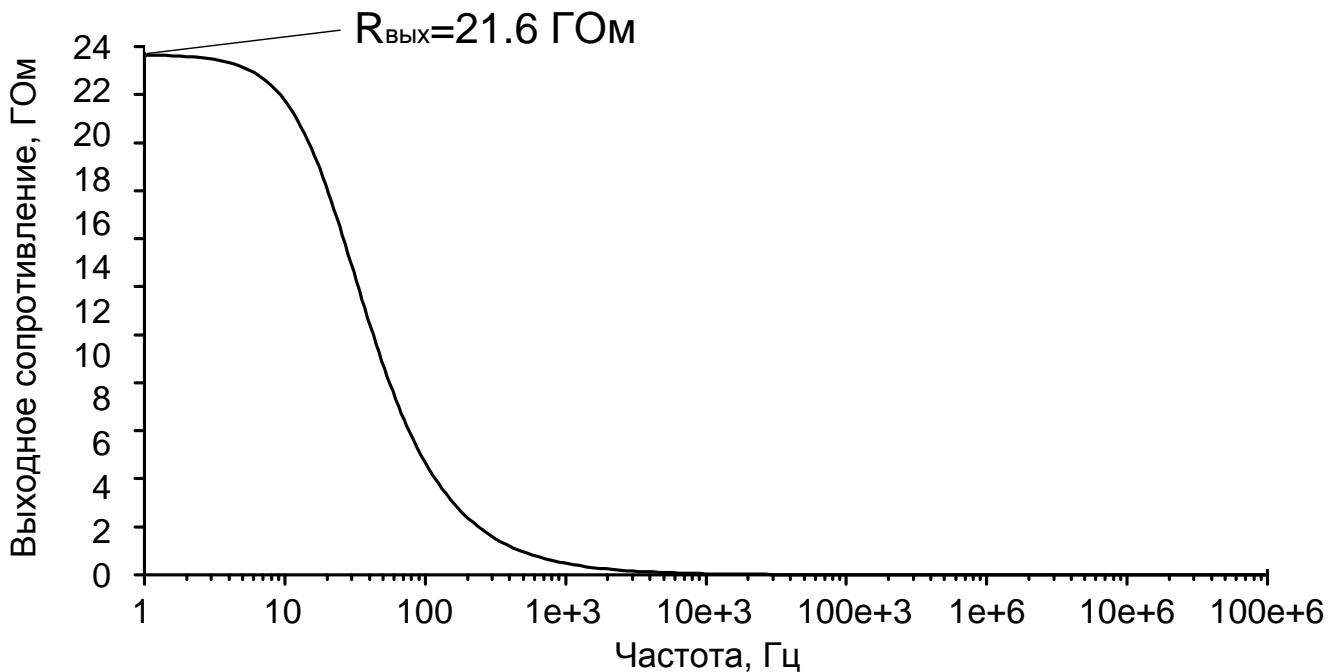


Рисунок 14 – Частотная зависимость выходного сопротивления Vi-CJFet T3 рис. 3 при  $t=-197^{\circ}\text{C}$ ,  $I_{\text{вх}}=10 \text{ мкА}$

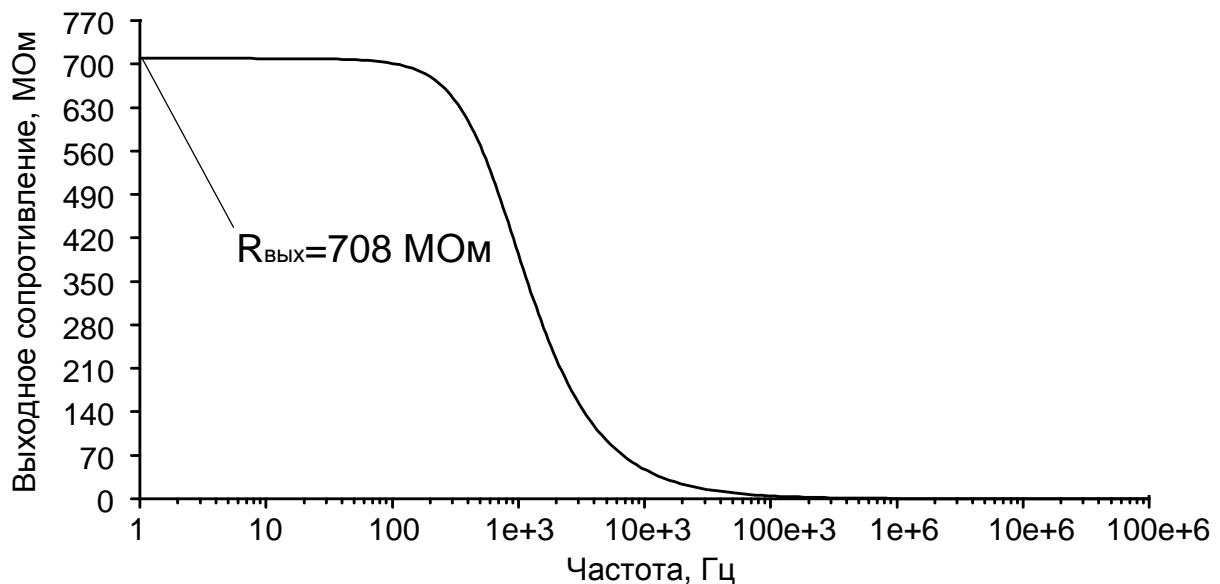


Рисунок 15 – Частотная зависимость выходного сопротивления Bi-CJFet T3 рис. 3 при  $t=-197^{\circ}\text{C}$ ,  $I_{\text{вх}}=100 \text{ мкА}$

Результаты компьютерного моделирования показывают, что главная особенность схемы T3 рис. 1 состоит в том, что:

- по инвертирующему токовому выходу коэффициент передачи T3 по току равен единице в широком диапазоне входных токов, как при комнатных, так и при криогенных температурах. Это значительно расширяет функциональные возможности предлагаемого схемотехнического решения при его использовании в современной Bi-CJFet аналоговой схемотехнике, а также позволяет рекомендовать данную схему для прецизионных устройств усиления и фильтрации сигналов;

- рассмотренная схема Bi-CJFet T3 обладает повышенным выходным сопротивлением. Как следствие, на ее основе можно создавать высокоимпедансные узлы в аналоговых устройствах, например, в операционных усилителях, что позволит увеличить их коэффициенты усиления по напряжению, и уменьшить число каскадов усиления.

### 3. Netlist Bi-CJFet T3 (рис.3) в САПР LTspice

1. V2 0 vee 5
2. J1 vee N003 N001 JP50\_2
3. J2 out N001 N002 JN260\_2
4. Q1 N003 N001 vee 0 NPN
5. I3 0 N001 100μ
6. Q2 N002 N001 vee 0 NPN
7. I5 0 N003 100μ
8. R1 0 out 1
9. .model NPN NPN
10. .model PNP PNP



```

11..lib C:\Users\Elija\OneDrive\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp\standard.bjt
12..model NJF NJF
13..model PJF PJF
14..lib
15.C:\Users\Elija\OneDrive\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp\standard.jft
16..lib CJFET_3.lib
17..op
18..param LT=-197
19..temp={LT}
20.* .ac dec 100 1 100Meg
21.* .tran 0 1m 0 1u
22.* .step param LT -197 27 2
23.* .step param Dg 1 1Meg 300
24.* .step dec param fn 1e12 1e18 1e2
25..param fn=1
26..param Dg=1
27..dc I5 list 10u 100u 1m
28..backanno
29..end

```

Моделирование проводилось на моделях Bi-CJFet транзисторов библиотек АБМК\_2.2 и CJFET\_3, разработанных Дворниковым Олегом Владимировичем (г. Минск, МНИПИ, Беларусь [oleg\\_dvornikov@tut.by](mailto:oleg_dvornikov@tut.by)).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-00122-П).

#### Список литературы

1. O. V. Dvornikov, V. L. Dziatlau, N. N. Prokopenko, K. O. Petrosiants, N.V. Kozhukhov and V. A. Tchekhovski, "The accounting of the simultaneous exposure of the low temperatures and the penetrating radiation at the circuit simulation of the BiJFET analog interfaces of the sensors," 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), Astana, Kazakhstan, 2017, pp. 1-6. DOI: 10.1109/SIBCON.2017.7998507

2. A. E. Titov, I. V. Pakhomov and A. I. Serebryakov, "The Low-Temperature Radiation-Hardened Analog Interfaces of Sensors on the Base of BiJFET Array Chips," 2018 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Kazan, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524615.

3. Дворников О.В., Чеховский В.А., Прокопенко Н.Н., Галкин Я.Д., Кунц А.В., «Учет одновременного воздействия низких температур и проникающей радиации на характеристики биполярных и JFET транзисторов при схемотехническом моделировании» // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем. 2020. Выпуск 1. С. 46-55.