

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

Библиотека схемотехнических решений

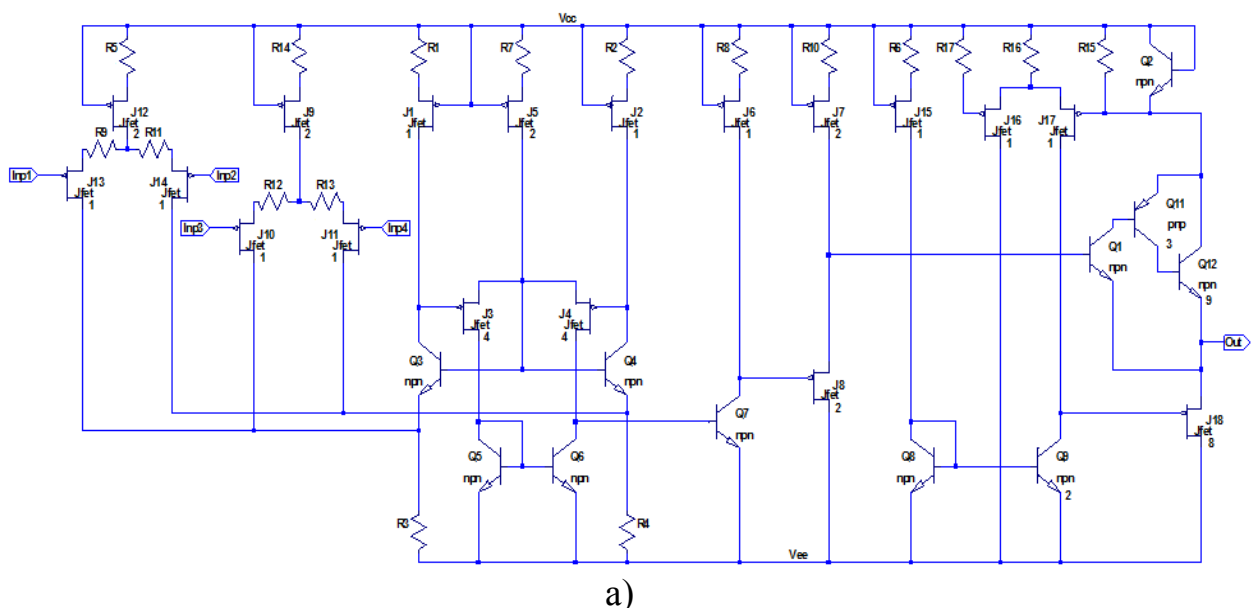
Макромодели мультидифференциального (OАmp5) и  
инструментального усилителей на основе ViJFet микросхемы  
МН2ХА030

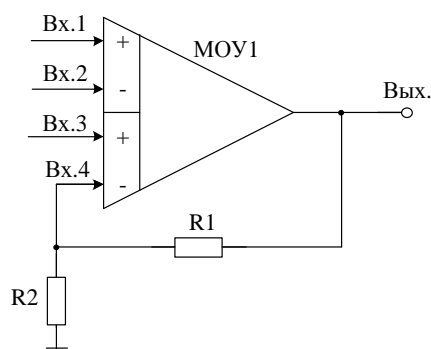
Бутырлагин Н.В., [nbutyrlagin@mail.ru](mailto:nbutyrlagin@mail.ru)  
Дворников О.В., [oleg\\_dvornikov@tut.by](mailto:oleg_dvornikov@tut.by)  
Жук А.А., [alexey.zhuk96@mail.ru](mailto:alexey.zhuk96@mail.ru)

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

1. Области применения инструментального усилителя на основе  
мультидифференциального операционного усилителя (МОУ)

Классические инструментальные усилители на операционных  
усилителях (ОУ) широко используются в измерительных системах [1-3]. В  
качестве альтернативы ОУ могут использоваться МОУ, обладающие рядом  
неоспоримых преимуществ [4]. На рис. 1 показана схема МОУ OАmp5 (а) и  
инструментальный усилитель на её основе (б) [5,6].





б)

Рис. 1. Схема МОУ (а) и инструментальный усилитель его основе (б)

Схема рис. 1 может быть реализована на различных технологических процессах: TSMC (BiCMOS), SiGe (ИП, Германия), NHGRACE SoI (кремний на изоляторе), H10-CMOS090\_LP (АО «Микрон», г. Зеленоград), ЗКБТ (BiJFet-биполярно-полевой техпроцесс, АО «Интеграл», г. Минск), комплементарный биполярный техпроцесс (АО «НПП Пульсар», г. Москва) и др.

## 2. Текстовое описание мультидифференциального операционного усилителя

Схема мультидифференциального операционного усилителя рис.1а включает:

- первый входной каскад (J12-J14, R5, R9, R11),
- второй входной каскад (J9-J11, R12-R14),
- промежуточный каскад (R1-R4, R7-R8, R10, J1-J8, Q3-Q7),
- выходной каскад (R6, R15-R17, Q1-Q2, Q8-Q9, Q11-Q12, J15-J18).

Выходное напряжение инструментального усилителя рис. 1б определяется по формуле [5,6]

$$U_{\text{ВЫХ.}} = \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) U_{\text{ВХ.}}$$

## 3. Компьютерное моделирование инструментального усилителя

В частном случае инструментальный усилитель рис. 1 исследовался в САПР LTSpice [7] и его схема включения показана на рис. 2.

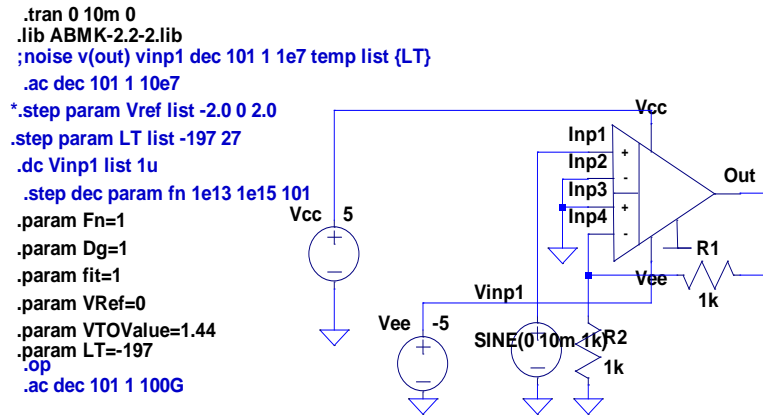


Рис. 2 Инструментальный усилитель в среде LTSpice

На рис. 3 представлены осциллограммы инструментального усилителя (рис.2) при различных значениях сопротивлений резисторов R1 и R2: R1=R2=1кОм (1), R1=4кОм, R2=1кОм (2), R1=6кОм, R2=1кОм (3).

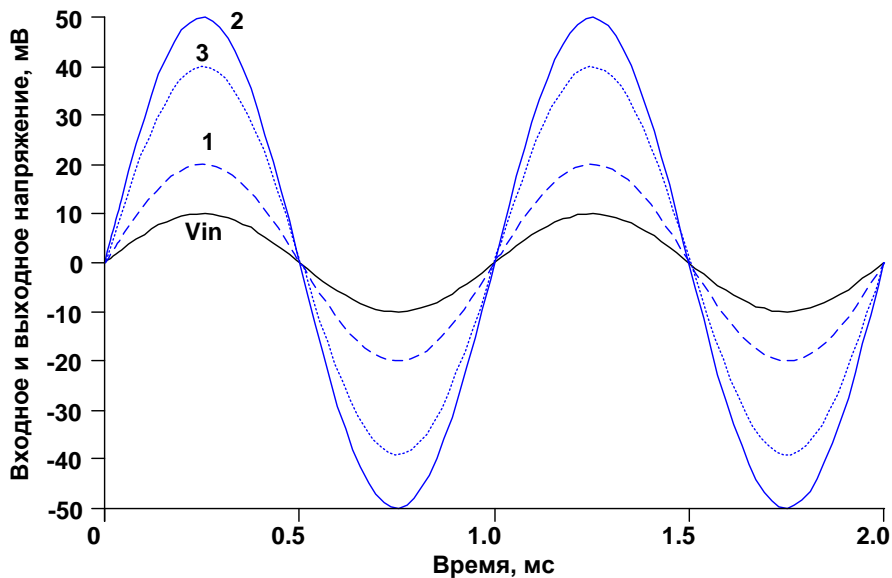


Рис. 3. Осциллограммы входного и выходного сигналов инструментального усилителя (рис.2)

#### 4. Параметры оптимизации

Практический интерес представляет определение оптимальных значений R1-R17 МОУ (рис. 2) при заданных ограничениях на максимальную скорость нарастания выходного напряжения, разомкнутый коэффициент усиления, запас устойчивости по фазе, энергопотребление, ослабление синфазных сигналов, геометрию транзисторов, схемотехнику токовых зеркал [8].

Разработка выполнена в рамках стипендии Президента РФ для молодых ученых.

## Netlist в Spice схемы рис.2а

```
1: C:\Users\Uset\Desktop\29-10-2019_11-33-  
06\MH2XA030_LTSpice\MH2XA030_LTSpice\OAmp_5_1.asc  
2: Vcc N001 0 5  
3: Vinp1 N002 0 SINE(0 10m 1k)  
4: XX2 N002 0 0 N004 N003 N001 N005 dda  
5: R1 N003 N004 6k  
6: R2 N004 0 2k  
7: Vee N005 0 -5  
8: block symbol definitions  
9: .subckt dda Inp1 Inp2 Inp3 Inp4 Out Vcc Vee  
10: J1 N022 Vcc N003 Jfet 1  
11: R1 Vcc N003 Rpr 96k  
12: J2 N023 Vcc N005 Jfet 1  
13: R2 Vcc N005 Rpr 96k  
14: Q3 N022 N021 N030 0 npn  
15: R3 N030 Vee Rpr 10.8k  
16: Q4 N023 N021 N025 0 npn  
17: R4 N025 Vee Rpr 10.8k  
18: Q5 N027 N027 Vee 0 npn  
19: J3 N027 N022 N021 Jfet 4  
20: Q6 N028 N027 Vee 0 npn  
21: J4 N028 N023 N021 Jfet 4  
22: J5 N021 Vcc N004 Jfet 2  
23: R7 Vcc N004 Rpr 48k  
24: J6 N024 Vcc N006 Jfet 1  
25: R8 Vcc N006 Rpr 96k  
26: Q7 N024 N028 Vee 0 npn  
27: J7 N019 Vcc N007 Jfet 2  
28: R10 Vcc N007 Rpr 3.51k  
29: J8 Vee N024 N019 Jfet 2  
30: J9 N015 Vcc N002 Jfet 2  
31: R14 Vcc N002 Rpr 3.51k  
32: J10 N030 Inp3 N016 Jfet 1  
33: J11 N025 Inp4 N017 Jfet 1  
34: J12 N012 Vcc N001 Jfet 2  
35: R5 Vcc N001 Rpr 3.51k  
36: J13 N030 Inp1 N013 Jfet 1  
37: J14 N025 Inp2 N014 Jfet 1  
38: R9 N012 N013 Rpr 48k
```

```

39: R11 N014 N012 Rpr 48k
40: R12 N015 N016 Rpr 48k
41: R13 N017 N015 Rpr 48k
42: Q1 N018 N019 Out 0 npn
43: R15 Vcc N011 Rpr 525
44: Q2 Vcc Vcc N011 0 npn
45: J16 Vee N010 N009 Jfet 1
46: J17 N026 N011 N009 Jfet 1
47: R16 Vcc N009 Rpr 96k
48: R17 Vcc N010 Rpr 525
49: J18 Vee N026 Out Jfet 8
50: Q8 N029 N029 Vee 0 npn
51: Q9 N026 N029 Vee 0 npn 2
52: J15 N029 Vcc N008 Jfet 1
53: R6 Vcc N008 Rpr 96k
54: Q11 N020 N018 N011 0 pnp 3
55: Q12 N011 N020 Out 0 npn 9
56: Vee1 N031 0 -5
57: R18 N031 Vee Rpr 1
58: .ends dda
59: .MODEL NPN NPN
60: .MODEL PNP PNP
61: .LIB C:\USERS\Uset\documents\ltspicexvii\lib\cmp\standard.bjt
62: .MODEL NJF NJF
63: .MODEL PJF PJF
64: .LIB C:\Users\uset\documents\ltspicexvii\lib\cmp\standard.jft
65: .DC VINP1 LIST 1U
66: .LIB ABMK-2.2-2.LIB
67: .PARAM FN=1
68: .PARAM DG=1
69: .PARAM FIT=1
70: .STEP PARAM LT LIST -197 27
71: .PARAM VREF=0
72: *.STEP PARAM VREF LIST -2.0 0 2.0
73: .PARAM VTOVALUE=1.44
74: .AC DEC 101 1 10E7
75: ;NOISE V(OUT) VINP1 DEC 101 1 1E7 TEMP LIST {LT}
76: .TRAN 0 10M 0
77: .OP
78: .AC DEC 101 1 100G
79: .STEP DEC PARAM FN 1E13 1E15 101

```

80: .PARAM LT=-197  
81: .BACKANNO  
82: .END

Вопросы о моделях транзисторов АБМК 2.2 можно задавать д.т.н., доценту Дворникову Олегу Владимировичу, Email: [oleg\\_dvornikov@tut.by](mailto:oleg_dvornikov@tut.by)

### Список литературы:

1. Инструментальные усилители URL: <https://www.analog.com/ru/products/amplifiers/instrumentation-amplifiers.html> (дата обращения: 13.11.2019).
2. Холенарсипур Прашант, Три — это много для инструментальных усилителей // Компоненты и Технологии. 2008. №83. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tri-eto-mnogo-dlya-instrumentalnyh-usiliteley> (дата обращения: 13.11.2019).
3. Власенко Алексей, Инструментальный усилитель AD8555: Измерительные системы на мостовых тензодатчиках становятся проще и совершеннее, (Компоненты и технологии №2'2005) URL: [https://kit-e.ru/articles/usil/2005\\_2\\_78.php](https://kit-e.ru/articles/usil/2005_2_78.php) (дата обращения: 13.11.2019).
4. Прокопенко Н.Н., Бутырлагин Н.В. Компьютерное моделирование базовых схем включения мультидифференциального операционного усилителя [Электронный ресурс] // Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН: [сайт]. [2019]. URL: <http://www.ippm.ru/data/eljrnal/paper/J23.pdf> (дата обращения: 14.11.2019).
5. Oleg V. Dvornikov, Vladimir A. Tchekhovski, Valentin L. Dziatlau, Nikolay N. Prokopenko, Nikolay V. Butyrlagin, Design of Low-Temperature DDOAs on the Elements of BiJFet Array Chip MH2XA030, SERBIAN JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, Vol. 15, No. 2, June 2018, pp. 233–247. DOI: <https://doi.org/10.2298/SJEE1802233D>.
6. Прокопенко Н.Н., Дворников О.В., Будяков П.С. Основные свойства, параметры и базовые схемы включения мультидифференциальных операционных усилителей с высокоимпедансным узлом // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. Выпуск 2 (233), 2014 г. С. 53-64
7. Володин В. Я. LTspice: компьютерное моделирование электронных схем. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 400 с.: ил.
8. Прокопенко Н.Н., Титов А.Е., Бутырлагин Н.В. Токовые зеркала для проектирования КМОП аналоговых микросхем: основные модификации (ТЗ №1-№ 36) [Электронный ресурс] // Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН: [сайт]. [2018]. URL: <http://www.ippm.ru/data/eljrnal/paper/J4.pdf> (дата обращения: 17.04.2018).