

Жук Алексей Андреевич, Сергеевко Марсель Алексеевич

**АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫЙ ВЫХОДНОЙ КАСКАД
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С
ВХОДНЫМ P-N-P БИПОЛЯРНЫМ ТРАНЗИСТОРОМ**

Предлагаются схемы выходных каскадов (ВК) с входным GaAs биполярным транзистором для различных модификаций GaAs операционных усилителей, которые могут быть реализованы на совмещенном арсенид-галлиевом (GaAs) технологическом процессе, позволяющем создавать n-канальные полевые транзисторы с управляющим p-n переходом и GaAs биполярные p-n-p транзисторы. Приведены результаты сравнительного компьютерного моделирования статического режима, амплитудных и амплитудно-частотных характеристик ВК в среде LTspice. Предлагаемые схемотехнические решения

рекомендуются для применения в GaAs микромошных операционных усилителях нового поколения, а также для использования в составе различных GaAs аналоговых микрoэлектронных устройств, в т.ч. работающих в условиях воздействия проникающей радиации, низких и высоких температур.

Операционный усилитель, выходной каскад, совмещенный технологический процесс, арсенид-галлиевый полевой транзистор, арсенид-галлиевый биполярный транзистор.

Zhuk Aleksey Andreevich, Sergeenko Marsel Alekseyevich

GALLIUM-ARSENIDE OUTPUT STAGE OF HIGH-SPEED OPERATIONAL AMPLIFIER WITH INPUT P-N-P BIPOLAR TRANSISTOR

The schemes of output stages (OS) with input GaAs bipolar transistors for various modifications of GaAs operational amplifiers are proposed, which can be realized on the combined gallium-arsenide (GaAs) technological process allowing to create n-channel field-effect transistors with control p-n junction and GaAs bipolar p-n-p transistors. The results of comparative computer modeling of static mode, amplitude and amplitude-frequency characteristics of OS in LTspice environment are presented. The proposed circuit solutions are recommended for application in GaAs micropower operational amplifiers of new generation, as well as for use in various GaAs analog microelectronic devices, including those operating under the influence of penetrating radiation and low temperatures.

Operational amplifiers, output stages, combined technological processes, gallium-arsenide field-effect transistors, gallium-arsenide bipolar transistors.

Введение

В настоящее время в российской и зарубежной микроэлектронике уделяется повышенное внимание арсенид-галлиевым (GaAs) инструментальным и операционным усилителям (ОУ) [1-5]. Данное направление создания электронной компонентной базы относится к числу наиболее перспективных в задачах космического приборостроения. Одна из особенностей, совмещенных GaAs технологических процессов состоит в том, что они накладывают существенные ограничения на типы реализуемых транзисторов и их характеристики. Так, например, GaAs технологический процесс, предлагаемый фирмами США [6-9], а также Минским научно-исследовательским институтом радиоматериалов (ОАО МНИИРМ, г.

Минск, <https://mniim.by/>) [10], ориентирован на изготовление аналоговых схем, содержащих только полевые GaAs транзисторы с управляющим p-n переходом и биполярные GaAs p-n-p транзисторы. Применение других полупроводниковых приборов не допускается. Это накладывает существенные ограничения на схемотехнику аналоговых устройств, реализуемых по данному технологическому процессу.

GaAs выходной каскад с входным p-n-p биполярным транзистором

В схеме GaAs ВК на рис. 1 обеспечивается контроль за режимом отсечки выходного биполярного транзистора VT1, что позволяет за счет управления по цепи базы транзистором VT2 обеспечить положительный ток в нагрузке R_n .

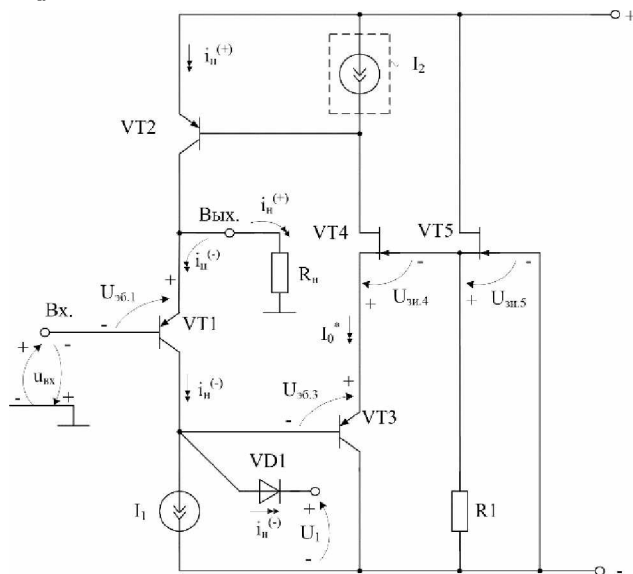


Рис. 1. GaAs ВК с входным биполярным транзистором VT1

За счет отрицательной обратной связи по цепи «биполярный транзистор VT3 – полевой транзистор VT4 – выходной биполярный транзистор VT2» статический ток эмиттера транзистора VT1 определяется током токостабилизирующего двухполюсника I_1 и устанавливается разработчиком на заданном уровне $I_0=I_1$.

Если на вход подается положительное напряжение относительно общей шины, то это вызывает увеличение тока эмиттера выходного p-n-p

транзистора VT2 и формирование положительного тока $i_n^{(+)}$ в нагрузке R_n . Максимальное значение тока $I_{n,max}^{(+)}$ зависит от β транзистора VT2.

Когда на базу входного транзистора VT1 подается отрицательное напряжение $u_{вх}^{(-)}$, то этот транзистор формирует отрицательное приращение $i_n^{(-)}$ в нагрузке R_n . В этом режиме VT2 запирается и не влияет на работу схемы. Увеличение тока коллектора транзистора VT1 на величину $i_n^{(-)}$ приводит к отпирианию р-п перехода VD1 и, как следствие, большие значения тока $i_n^{(-)} \geq I_0 = I_1$ будут «закорачиваться» на вспомогательный источник напряжения U_1 . Это предотвращает насыщение входного транзистора VT1.

Для получения повышенных значений $I_{n,max}^{(-)}$ в качестве входного р-п-р транзистора VT1 может применяться составной транзистор по так называемой схеме Дарлингтона (рис.2).

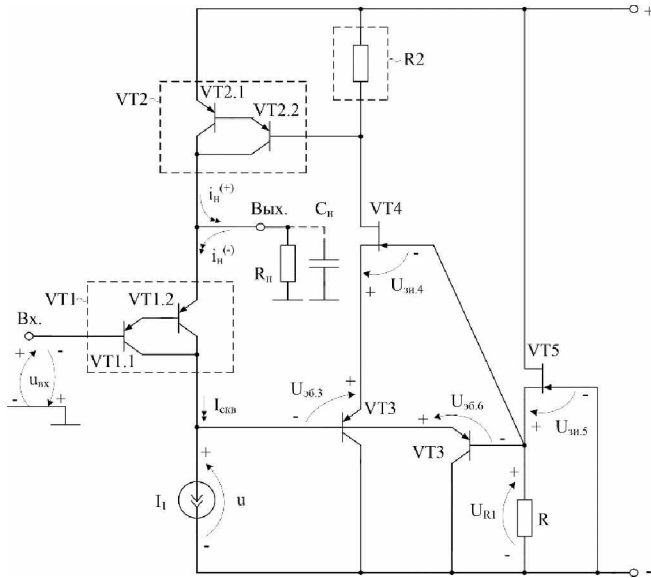


Рис. 2. Модификация предлагаемой схемы GaAs ВК с составными транзисторами VT1, VT2

Результаты компьютерного моделирования. Амплитудная характеристика GaAs ВК на рис. 2, представленная на графиках рис. 3 при комнатной температуре $t=27$ °С, $I_1=I_2=100$ мкА, $R_1=10$ кОм, $R_2=1$ ГОм, $V_1=4$ В, показывает, что рассматриваемая схема при двуполярном питании

$\pm 10\text{В}$ и разных R_{load} обеспечивает выходные напряжения с максимальной амплитудой от $-8,69\text{ В}$ до $+9,66\text{ В}$.

На рис. 4 приведена логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) GaAs ВК на рис. 2 в среде LTspice. Коэффициент передачи по напряжению предлагаемой схемы на рис. 2 незначительно отличается от единицы в диапазоне частот до 1 ГГц.

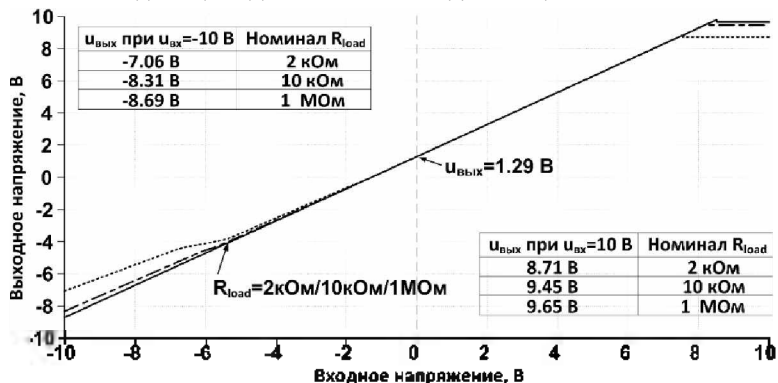


Рис. 3. Амплитудная характеристика GaAs ВК на рис. 2 в среде LTspice

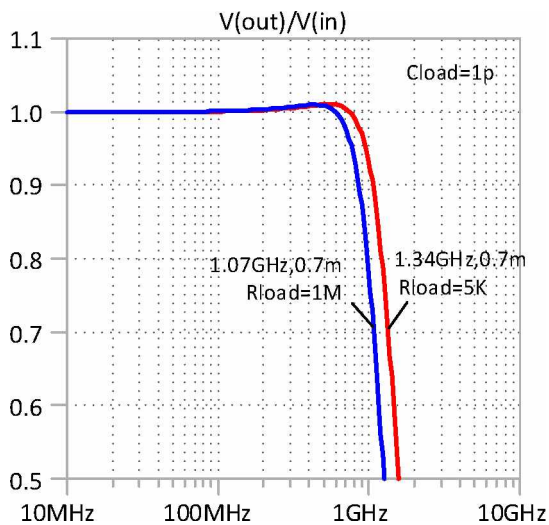


Рис. 4. ЛАЧХ GaAs ВК на рис. 2

Амплитудная характеристика ВК на рис. 1, представленная на рис. 5, показывает, что рассматриваемая схема при двуполярном питании $\pm 10\text{В}$ и разных R_{load} обеспечивает выходные напряжения с максимальной амплитудой от $-8,69\text{ В}$ до $+9,66\text{ В}$.

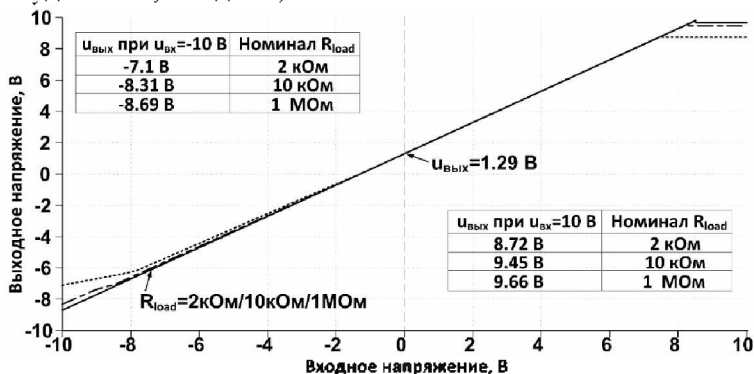


Рис. 5. Амплитудная характеристика GaAs выходного каскада на рис. 6 в среде LTspice при $t=27\text{ }^\circ\text{C}$, $R_{\text{load}}=2\text{ кОм}/10\text{ кОм}/1\text{ МОм}$, $I_1=100\text{ мкА}$, $R1=14\text{ кОм}$, $R2=10\text{ кОм}$

На рис. 6 приведена ЛАЧХ GaAs ВК на рис. 1 в среде LTspice при $t=27\text{ }^\circ\text{C}$, $R_{\text{load}}=5\text{ кОм}/1\text{ МОм}$, $I_1=100\text{ мкА}$, $R1=14\text{ кОм}$, $R2=10\text{ кОм}$. Коэффициент передачи по напряжению схемы на рис. 1 также незначительно отличается от единицы в диапазоне частот до 1 ГГц.

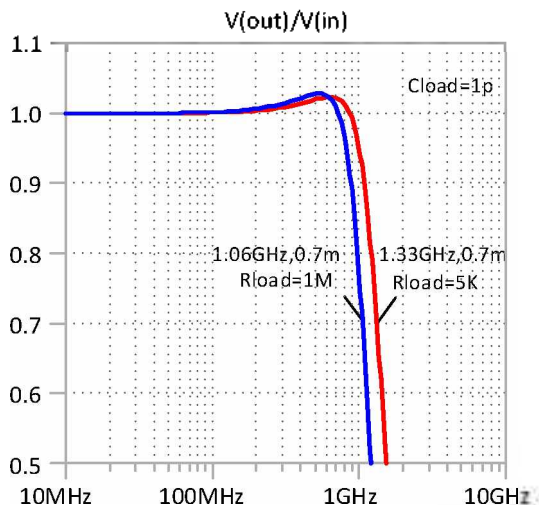


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика GaAs выходного каскада на рис.1 в среде LTspice

Заключение

Компьютерное моделирование (рис. 3-рис. 6) показывает, что предлагаемый GaAs выходной каскад, схемотехника которого адаптирована на применение в широком диапазоне температур и воздействия проникающей радиации, имеет существенные достоинства в сравнении с известными вариантами построения ВК при его реализации в рамках арсенид-галлиевого технологического процесса, обеспечивающего создание только полевых транзисторов с управляющим р-п переходом и биполярных р-п-р транзисторов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (№ 23-79-10069, <https://rscf.ru/project/23-79-10069/>)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Du X., Hua N., Chen K., Shen Y., Wang J. and Wang Z. A miniaturized S-band GaAs SSPA for Satellite Application // 2021 2nd China International SAR Symposium (CISS), Shanghai, China, 2021, pp. 1-4.
2. Chumakov V., Bugakova A., Prokopenko N., Kunts A. Circuitry Features of the Gallium Arsenide Operational Amplifier and its Basic Functional Units // 2022

- International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE), Saratov, Russian Federation, 2022, pp. 199-202. DOI: 10.1109/APEDE53724.2022.9913002.
3. *Ma Y.* A bias circuit for the thermal stability of GaAs HBT power amplifier // *Electronics Letters*. 2021. Vol. 57. No. 22. Pp. 839-841.
 4. *Khobragade R. D., Vidhale B. R.* Design and analysis of V-Band Low Noise Amplifier for High Speed Data Application using GaAs pHEMT Process Technology // *IEEE Second International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies (ICEEICT)*, 2023. Pp. 1-4.
 5. *Yan J., Thangarasu B. K. and Yeo K. S.* RF mixer design techniques using GaAs process // *2017 IEEE 12th International Conference on ASIC (ASICON)*, Guiyang, China, 2017, pp. 1013-1016, DOI: 10.1109/ASICON.2017.8252650.
 6. *Fresina M.* Trends in GaAs HBTs for wireless and RF // *IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting/ Atlanta, GA, USA, 2011*, Pp. 150-153. DOI: 10.1109/BCTM.2011.6082769.
 7. *Zampardi P. J., Sun M., Cismaru C. and Li J.* Prospects for a BiCFET III-V HBT Process // *2012 IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium (CSICS)*, La Jolla, CA, USA, 2012, Pp. 1-3. DOI: 10.1109/CSICS.2012.6340116.
 8. *Liu W., Hill D., Costa D., Harris J. S.* High-performance microwave AlGaAs-InGaAs Pnp HBT with high-DC current gain // *in IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1992, Vol. 2, No. 8, Pp. 331-333. DOI: 10.1109/75.153604.
 9. *Peatman W.* InGaP-Plus™: advanced GaAs BiFET technology and applications // *CS MANTECH Conference, Austin, Texas, USA, 2007*, Pp. 243-246.
 10. *Дворников О.В., Павлючик А.А., Прокопенко Н.Н., Чеховский В.А., Кунц А.В., Чумаков В.Е.* Унифицированные схемотехнические решения аналоговых арсенид-галлиевых микросхем // *Известия вузов. Электроника*. 2022. Т. 27. № 4. С. 475–488. DOI: 10.24151/1561-5405-2022-27-4-475-488.

Жук Алексей Андреевич, ассистент кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79185880301, email: alexey.zhuk96@mail.ru.

Сергеенко Марсель Алексеевич, студент кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия,

город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79185704519, email: mars1327el@gmail.com.

Zhuk Alexey Andreevich, assistant of Department of Information Systems and Radio Engineering of Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin square, 344000, phone: +79185880301, email: alexey.zhuk96@mail.ru.

Sergeenko Marsel Alekseyevich, student of Department of Information Systems and Radio Engineering of Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin square, 344000, phone: +79185704519, email: mars1327el@gmail.com.