УДК 621.3

А. Ю. Юриков

(г. Новосибирск, НГТУ)

**Сравнительный анализ методов стабилизации крутизны входного каскада rail-to-rail КМОП операционного усилителя во всем диапазоне входного синфазного сигнала**

*Аннотация. Выполнено моделирование и сравнительный анализ различных методов стабилизации крутизны входного каскада rail-to-rail КМОП операционного усилителя во всем диапазоне входного синфазного сигнала.*

*Annotation. A simulation and comparative analysis of various methods of constant gm of the input cascade of the rail-to-rail CMOS operational amplifier over the entire input common-mode signal range has been performed.*

*Ключевые слова: операционный усилитель, rail-to-rail, стабилизация gm*

*Keywords: operational amplifier, rail-to-rail, constant gm*

КМОП rail-to-rail операционные усилители являются неотъемлемой и самой важной частью как аналого-цифровых систем на кристалле (АЦП), так и прецизионных измерительных систем. Самый простой и эффективный способ достижения rail-to-rail характеристики по входу – использование параллельно включённой комплементарной пары МОПТ во входном дифференциальном каскаде. При таком включении общая крутизна входного каскада сильно зависит от величины входного синфазного сигнала, что в свою очередь влияет на некоторые характеристики. На рис. 1 видно, что в некотором диапазоне синфазных напряжений общая крутизна каскада увеличивается в 2 раза. От крутизны входного каскада зависят частота единичного усиления и КОСС ОУ [1].

*Рисунок 1. Rail-to-rail входной диф. каскад (слева) и зависимость его суммарной крутизны от входного синфазного напряжения (справа).*

Все методы стабилизации крутизны gm в целом можно разделить на две большие категории:

1. выполнение условия постоянства суммы корней режимных токов;
2. смещение режима работы одной из диф. пар входного каскада.

Методы первой категории отличаются способом стабилизации тока (принципиальные схемы методов приведены на рис. 2):

1. величина режимного тока входного каскада устанавливается в зависимости от режима работа диф. каскада [1, 2];
2. диод зенера (интегральный стабилитрон) [3];
3. использование дополнительной пары транзисторов с отрицательным gm для компенсации [4];
4. перекрестная схема с компенсирующим источником тока [5].

*(б)*

*(а)*

**

*(в)*

*(г)*

*Рисунок 2. Методы стабилизации gm первой категории.*

Основная идея методов второй категории заключается в том, что за счет смещения рабочего диапазона напряжений одной либо двух диф. пар происходит взаимная компенсация gm диф. пар. В зависимости от требуемых характеристик устройства возможны как крайне простые варианты исполнения данного метода [6], так и более прецизионные (рис. 3) [7].



*Рисунок 3. Методы стабилизации gm второй категории: смещение с помощью МОПТ в диодном включении (слева); смещение одного диф. каскада с помощью истокового повторителя (справа).*

Все схемы в той или иной мере обеспечивают стабилизацию gm. В табл.1 указаны отклонения gm относительно среднего значения.

*Таблица 1. Относительное изменение gm во всем диапазоне изменения входного синфазного сигнала.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Методы стабилизации gm | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] |
| ∆gm моделирование, % | 11 | 11 | 12 | 7 | 29 | 16 | 31 |

В зависимости от степени усложнения схемы (использование дополнительных источников тока) увеличилась рассеиваемая мощность схемы (табл.2).

*Таблица 2. Относительное увеличение Pстат по сравнению со схемой без стабилизации.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод стабилизации gm | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] |
| +∆Pстат, % | 68 | 1 | 75 | 7 | 33 | 4 | 0 |

На рис. 4 представлены результаты моделирования КОСС. Для всех методов первой категории видны две характерные области резкого уменьшения КОСС. Для метода [6] наблюдается только один подобный участок. Метод [7] имеет наихудший вид характеристики.





*Рисунок 4. Зависимость КОСС от входного синфазного сигнала для различных методов стабилизации крутизны.*

Характеристика единичной частоты усиления (рис. 5) имеет разный вид для всех методов. Наилучшие результаты показывают методы [2] и [6].



*Рисунок 5. Зависимость частоты единичного усиления от входного синфазного сигнала для различных методов стабилизации крутизны.*

**Список литературы**

1. Baker R. J. CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation. Third Edition – New York: Wiley-IEEE Press. – 2010. – 1208 с.
2. Knee D. I., Moore C. E. General-Purpose 3V CMOS Operational Amplifier with a New Constant-Transconductance Input Stage // Hewlett-Packard Journal – 1997. – №8. – С. 1-9.
3. Hogervorst R., Tero J. P., Huijsing J. H. Compact CMOS Constant-gm Rail-to-Rail Input Stage with gm-Control by Electronic Zener Diode // IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 31. – 1996. – №7. – С. 1035-1040.
4. Prodanov V. I., Green M. M. New CMOS Universal Constant-gm Input Stage // IEEE ICECS, 7-10 сен. 1998.
5. Redman-White W. A High Bandwidth Constant gm and Slew-Rate Rail-to-Rail CMOS Input Circuit and its Application to Analog Cells for Low Voltage VLSI Systems // IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 32. – 1997. – №5. – С. 701-712.
6. Lee B., Higman T. Extremely Simple Constant-gm Technique for Low Voltage Rail-to-Rail Amplifier Input Stage // IEEE ICECS, 11-14 дек. 2011.
7. Wang M., Mayhugh T. L. Constant-gm Rail-to-Rail CMOS Op-Amp Input Stage with Overlapped Transition Regions // IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 34. – 1999. – №2. – С. 148-156.