

УДК 621.375.4

Методы улучшения параметров операционных усилителей с помощью моделирования

Кузнецов Вадим Вадимович

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Козлов Александр Игоревич

kozlovai@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Объектом исследования является инструментальный операционный усилитель (ОУ), реализованный на биполярных транзисторах, который представляет собой ключевой элемент в области аналоговой электроники и используется для точного усиления сигналов. В ходе работы были подробно проанализированы методы улучшения характеристик операционных усилителей, включая повышение коэффициента усиления, улучшение линейности, расширение полосы пропускания и снижение уровня шумов. Исследование проводилось с применением современных средств схемотехнического моделирования, что позволило тщательно оценить влияние различных схемных решений и компонентов на итоговые параметры ОУ. Симуляции и моделирование предоставили возможность детально исследовать схемы и выявить наиболее эффективные подходы к улучшению их характеристик.

Ключевые слова: операционный усилитель, ОУ, моделирование, Qucs-S, проектирование

Моделирование играет ключевую роль в процессе проектирования. Создание модели дает возможность исследовать работу устройства в различных режимах, получать характеристики, а также выявлять потенциальные недостатки и ошибки на ранних этапах разработки. Кроме того, моделирование облегчает процесс внесения изменений и усовершенствований конструкции, позволяя эффективно анализировать различные параметры и режимы работы, которые трудно или долго проверять на реальных испытаниях, а иногда это и вовсе невозможно [1].

Основные способы улучшения параметров ОУ. Улучшение параметров операционных усилителей (ОУ) с помощью моделирования — это комплексный процесс, включающий применение специализированных программных инструментов и методов анализа. Моделирование позволяет инженерам и разработчикам точно оценивать и оптимизировать параметры, такие как коэффициент усиления, полоса пропускания и уровни шума, еще на этапе проектирования. Ниже рассмотрены ключевые методы улучшения характеристик ОУ с использованием моделирования.

Анализ частотной характеристики помогает выявить слабые места в АЧХ и корректировать параметры схемы для расширения полосы пропускания и улучшения стабильности [2]. Используя программы, такие как SPICE, Qucs-S и т. д., разработчики могут находить оптимальные конфигурации компонентов, например, корректировать номиналы резисторов и конденсаторов,

чтобы улучшить коэффициент усиления и линейность [3]. Моделирование также позволяет учитывать влияние температуры. Путем проведения симуляций при различной температуре можно подобрать схемные решения, устойчивые к изменениям окружающей среды, что улучшает надежность работы ОУ [4]. Методы моделирования переходных процессов помогают исследовать поведение ОУ при внезапных изменениях входных сигналов [5]. Точность модели напрямую влияет на результаты симуляции. Подбирая компоненты с параметрами, максимально приближенными к реальным, можно достичь большей достоверности анализа [4].

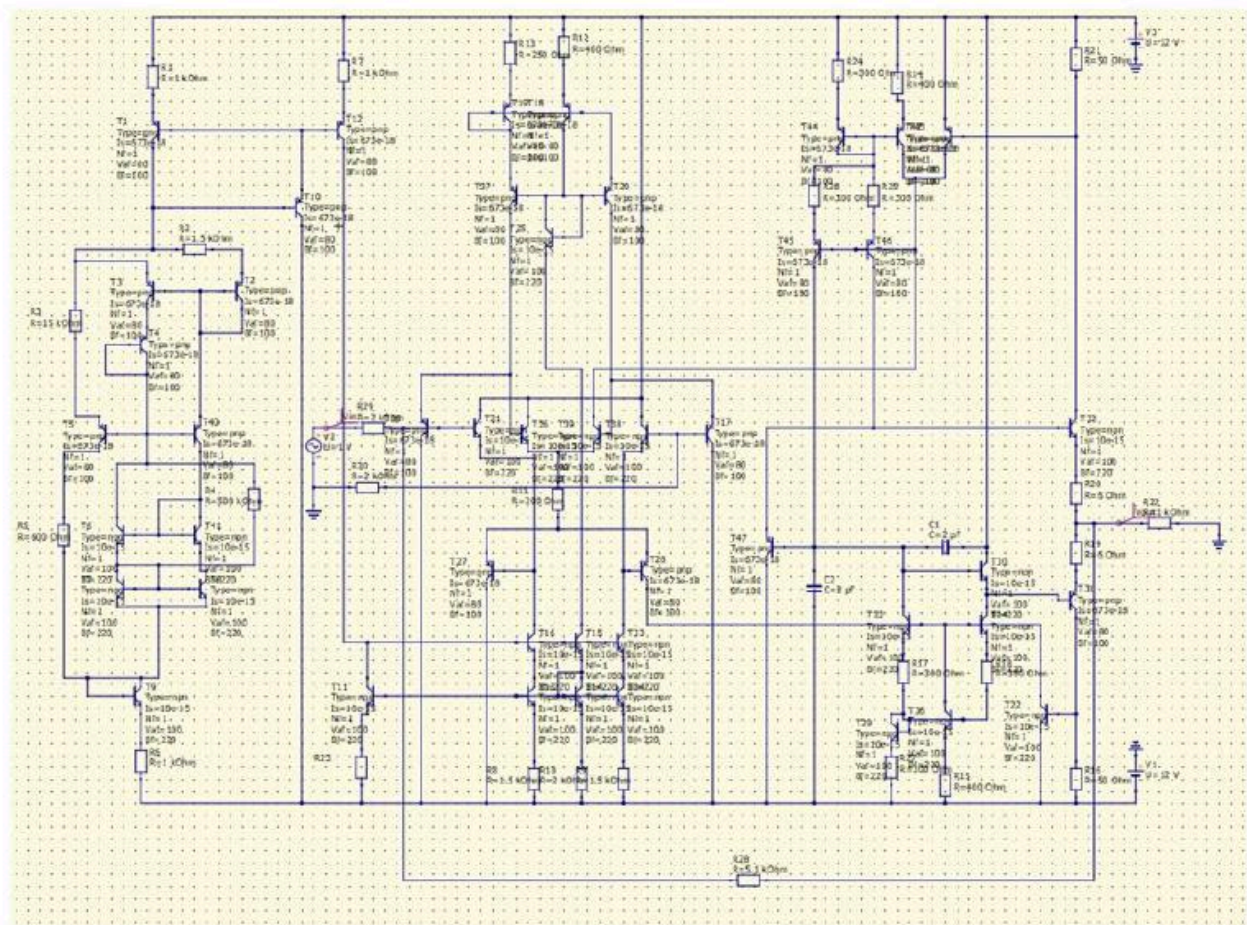


Рис. 1. Пример принципиальной схемы канала ОУ, смоделированной в программе Qucs-S

Канал операционного усилителя состоит из источника тока, находящегося в левой части схемы и двух усилительных каскадов, обеспечивающих необходимый коэффициент усиления по напряжению. Также реализована обратная связь с коэффициентом усиления равному 2.5. Канал включен по схеме инвертирующего усилителя.

На рис. 2 представлены результаты моделирования переходного процесса и амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) канала. АЧХ определяет частотный диапазон работы схемы, а переходный процесс показывает, насколько быстро и качественно она реагирует на изменения.

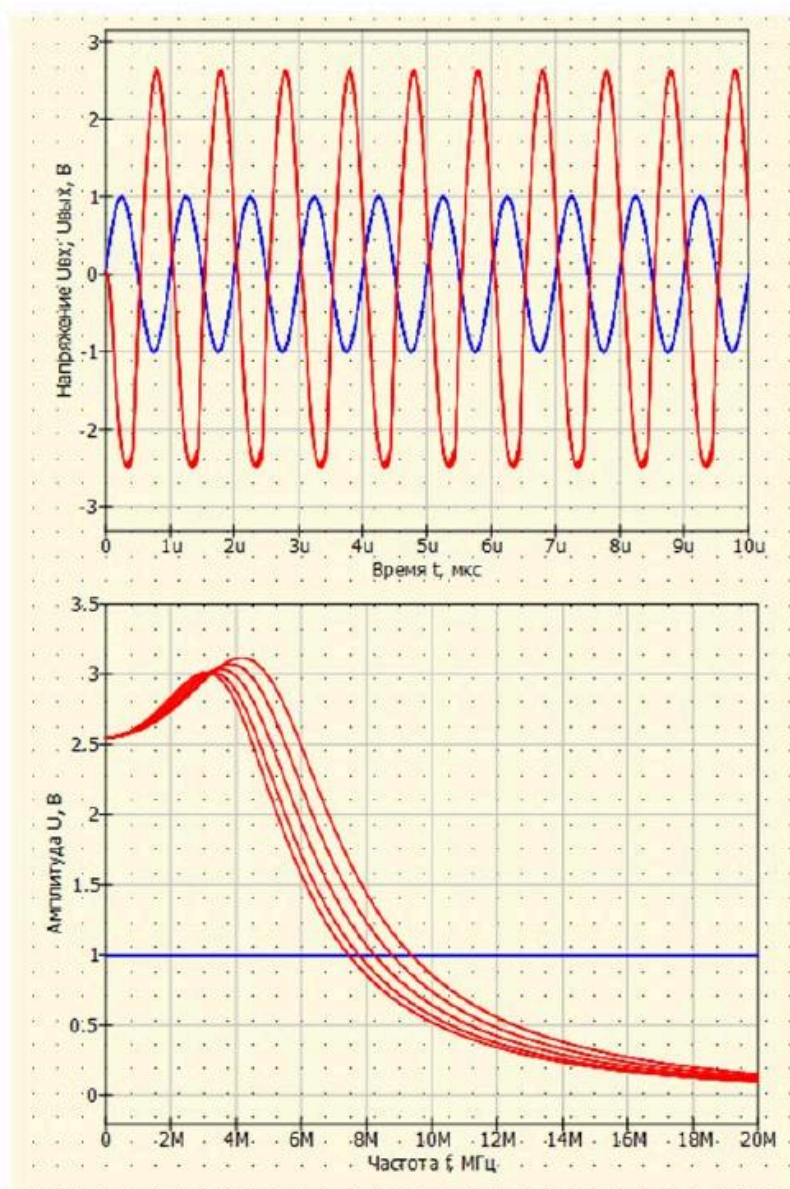


Рис. 2. Пример моделирования канала ОУ

Заключение. Моделирование — это важный инструмент в проектировании и улучшении параметров операционных усилителей. С его помощью инженеры могут проводить детальный анализ и оптимизацию схем на этапе разработки, что существенно повышает эффективность и надежность работы устройств. Методы, такие как частотный анализ, параметрическая симуляция, исследование шумовых характеристик и температурная устойчивость, помогают не только улучшить параметры усилителя, но и адаптировать его для работы в различных условиях. Использование современных программ, включая SPICE и Qucs-S, позволяет разработчикам находить оптимальные решения быстрее и с меньшими затратами [1].

Литература

- [1] Кузнецов В.В. Моделирование высокочастотных схем в частотной области при помощи САПР Qucs. *Компоненты и технологии*, 2015, № 8, с. 120–126.
- [2] Картер Б., Манчини Р. *Операционные усилители для всех*. Москва, ДМК Пресс, 2016, 528 с.
- [3] Бутковский Ю.П., Токарев И.В. *Моделирование в электронных устройствах*. Москва, Машиностроение, 1989.
- [4] Николаев В.Г. *Моделирование в проектировании электронных устройств*. Москва, Техносфера, 2004.
- [5] Horowitz P., Hill W., Robinson I. *The art of electronics*. Cambridge, Cambridge university press, 1989, vol. 2, 658 p.

Methods for improving the parameters of operational amplifiers through modeling

Kuznetsov V.V. vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Kozlov A.I. kozlovai@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The object of research is an instrumental operational amplifier (OPA), implemented on bipolar transistors, which is a key element in the field of analog electronics and is used for precise amplification of signals. During the work, methods for improving the characteristics of operational amplifiers were analyzed in detail, including increasing the gain, improving linearity, expanding the bandwidth, and reducing the noise level. The study was conducted using modern circuit design tools, which allowed for a thorough evaluation of the impact of various circuit designs and components on the final performance of the OY. Simulations and modeling provided an opportunity to explore circuits in detail and identify the most effective approaches to improving their characteristics.

Keywords: operational amplifier, OA, modeling, Qucs-S, designing

