

**Естественные
и
Технические
науки[®]**

№ 12 (199) 2024 г.

ISSN 1684-2626

*Журнал «Естественные и технические науки» входит
в Перечень ВАК РФ и Международную базу данных
и систему цитирования Chemical Abstracts.*

*Журнал публикует основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук и на соискание ученой
степени доктора наук по естественным и техническим наукам.
В соответствии с пунктом 5 Правил издания, текущие номера кото-
рых или их переводные версии входят хотя бы в одну из междуна-
родных реферативных баз данных и систем цитирования, считаются
включенными в Перечень по отраслям науки, соответствующим
их профилю. При рассмотрении вопроса о присвоении ученого звания
публикации соискателя ученого звания в данных изданиях засчитыва-
ются в качестве научных трудов, опубликованных в рецензируемых
научных изданиях, включенных в Перечень (на основании пункта 5
Правил формирования перечня рецензируемых научных изданий,
утвержденных приказом Минобрнауки России от 12.12.2016 № 1586,
и письма Минобрнауки МН-06.2/1059 от 08.11.2018).*

Учредитель – Издательство «Спутник+»

Компьютерный набор и верстка – Д. Абдулвахидова

Адрес редакции: 109428, Москва, Рязанский проспект, д. 8А, стр. 1

Телефон: (495) 730-47-74, 778-45-60, 730-48-71 (с 9 до 18, обед с 14 до 15)

E-mail: print@sputnikplus.ru

**Издание зарегистрировано
Министерством Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций**

**Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-39983 от 20 мая 2010 г.**

Объем 49,25 печ. л.

Тираж 1000 экз. Заказ № 269.

Подписано в печать 28.12.2024.

Отпечатано в ООО «Издательство «Спутник+»

Электроника, фотоника,
приборостроение и связь

**Проектирование и технология приборостроения
и радиоэлектронной аппаратуры**

*Абатуров М.А., кандидат химических наук, старший научный сотрудник
Андреев В.Н., доктор химических наук, зав. лабораторией
(Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук)*

DOI: 10.25633/ETN.2024.12.22

УДК: 621.3.083.8

**МАЛОШУМЯЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ: УСЛОВИЕ
ОПТИМАЛЬНОГО СОГЛАСОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ В СПАРЕННОЙ СХЕМЕ**

Рассмотрены особенности малошумящего усилителя, построенного на базе спаренных усилителей. Показано, что возникающая проблема различия шумовых характеристик усилителей может быть решена с помощью специальных мер по согласованию. На основе методов математической статистики определены условия оптимального согласования. Показано, что эффективность решения сохраняется даже при рассогласовании, превышающем критическое значение $\sqrt{3} \sim 1.73$. Результаты работы будут полезны при создании аппаратуры для исследований фундаментальных флуктуаций в электрохимии, в микросейсмике и в других областях.

Ключевые слова: прецизионные усилители; флуктуация; шумы.

*Abaturov M.A.
Andreev V.N.*

**LOW NOISE AMPLIFIER: THE CONDITION FOR OPTIMAL MATCHING
OF AMPLIFIERS IN A PAIRED CIRCUIT**

The features of a low-noise amplifier based on paired amplifiers are considered. It is shown that the emerging problem of differences in the noise characteristics of amplifiers can be solved with the help of special coordination measures. Based on the methods of mathematical statistics, the conditions for optimal matching are determined. It is shown that the effectiveness of the solution remains even with a mismatch exceeding the critical value of $\sqrt{3} \sim 1.73$. The results of the work will be useful in creating equipment for the study of fundamental fluctuations in electrochemistry, microseisms and other fields.

Keywords: precision amplifiers; fluctuation; noise.

ВВЕДЕНИЕ

Основными параметрами любого измерительного прибора являются чувствительность, точность, динамический диапазон, которые, в свою очередь, определяются таким фактором, как собственные шумы используемых усилителей (СШУ).

Один из способов улучшения этих характеристик основан на построении специальной усилительной схемы с параллельным включением двух усилителей (рис. 1). Эффект снижения СШУ при этом может достигать полуторакратного значения [1].

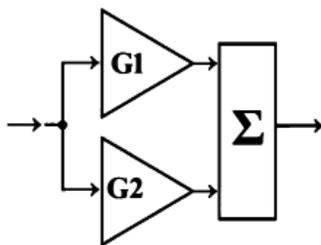


Рис. 1. Схема параллельного включения двух сверхмалозумящих усилителей G1 и G2 с последующим суммированием сигнала Σ

Но при практической реализации неизбежно возникает проблема различия в шумовых параметрах спаренных усилителей, что снижает эффективность метода [2]. В настоящее время, в связи с новыми исследованиями предельно малых фундаментальных шумов в электрохимии, в микросейсмике и др., решение данной проблемы приобретает особую актуальность.

Известно, что для решения указанной проблемы было предложено применить специальные меры по согласованию усилителей [2]. Возможности такого решения требуют четкого обоснования, что и является целью настоящей работы. При этом ставится конкретная задача подробного математического описания и анализа работы такой спаренной схемы.

МЕТОД

Для описания шумовых сигналов в настоящей работе использовались методы математической статистики. Предполагается, что шумовые сигналы напряжения СШУ для каждого из усилителей, носят случайный, взаимно независимый характер и описываются среднеквадратичными оценками U_1 и U_2 . Следовательно, оценка их суммы U_Σ будет определяться квадратичным законом суммирования их дисперсий в виде: $U_\Sigma = (U_1^2 + U_2^2)^{1/2}$.

Учитывая различие уровней шумов СШУ усилителей, вводим соответствующий параметр β , показывающий превышение шумов одного усилителя над шумами другого. Положим для определенности, что $U_2 = \beta U_1$, где $\beta \geq 1$. Далее, для компенсации повышенного шума второго усилителя вводим для него специальный согласующий коэффициент α , где $0 \leq \alpha \leq 1$. Результат суммирования с учетом введенных параметров будет описываться следующим выражением:

$$U_\Sigma = (U_1^2 + (\alpha\beta U_1)^2)^{1/2}. \quad (1)$$

Полученный уровень шумов U_Σ , приведенный ко входу такой схемы U_Σ^* , с учетом коэффициента передачи сумматора $1 + \alpha$, будет определяться следующим соотношением:

$$U_\Sigma^* = U_\Sigma / (1 + \alpha). \quad (2)$$

Для обобщенной оценки получаемого эффекта ослабления шумов СШУ по отношению к исходному уровню СШУ первого усилителя вводим безразмерный показатель $\gamma = (U_\Sigma^* / U_1)$. Для введенного показателя на основании формул (1) и (2) можно получить следующее выражение:

$$\gamma = (1 + (\alpha\beta)^2)^{1/2} / (1 + \alpha). \quad (3)$$

Полученное выражение полностью описывает процесс преобразования шумовых сигналов СШУ в зависимости от параметров α , β и может быть использовано для анализа работы рассматриваемой схемы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

Для анализа полученного выражения (3) было построено семейство соответствующих графиков для показателя γ в зависимости от согласующего коэффициента α с охватом всего диапазона возможных значений параметра рассогласования $1 \leq \beta < \infty$ (рис. 2). Как видно, все кривые имеют характерный вид дуги с прогибом. Наличие отмеченного прогиба вниз означает снижение показателя γ в этой области и позволяет сделать вывод о возможности дополнительного снижения шумов в рассматриваемой схеме.

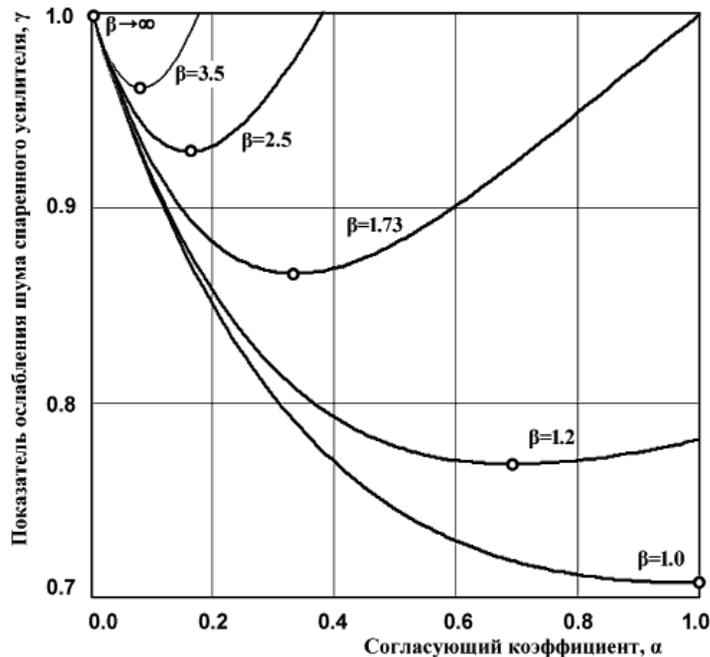


Рис. 2. Показатель ослабления шума спаренного усилителя в зависимости от согласующего коэффициента для различных уровней рассогласования β . Кружком обозначены точки оптимального согласования

Точка минимума прогиба кривой означает предельно возможное снижение шумов при условии оптимального согласования усилителей. Такое оптимальное значение коэффициента согласования α_o , как можно определить из анализа выражения (3), зависит от степени рассогласования следующим образом: $\alpha_o = 1/\beta^2$.

Следует особо отметить, что рассматриваемая схема сохраняет эффективность даже при различии шумов усилителей, превышающем критическое значение $\beta = \sqrt{3} \sim 1.73$. Для предельных значений $\beta = 1$ и $\beta \rightarrow \infty$ кривые вырождаются и не представляют практического интереса.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного рассмотрения малошумящего усилителя со спаренной схемой методами математической статистики доказана необходимость применения специальных мер по согласованию используемых усилителей с учетом различия их уровней СШУ. Показано, что оптимальное значение согласующего коэффициента однозначно определяется степенью рассогласования. Установлено, что эффективность такой схемы сохраняется при любых степенях рассогласования. Результаты работы будут полезны при создании прецизионной аппаратуры в различных областях исследований.

Авторы выражают признательность профессору д.х.н. Б.М. Графову за ценные замечания. Работа выполнена в соответствии с Госзаданием и при финансовой поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gerstenhaber, Moshe, Rayal Johnson, and Scott Hunt.* No Pain High Gain: Building a Low Noise Instrumentation Amplifier with Nanovolt Sensitivity. // *Analog Dialogue*, Vol. 49, May 2015
2. *Абатуров М.А., Сиротинский Ю.В.* Достижение минимального уровня шумов усилителя при измерении шумов химических источников тока // *Фундаментальные проблемы ионки твердого тела: Труды 16-го Совещания с международным участием, Черногловка, 27 июня – 03 июля 2022 г.* Изд. Черногловка: ИПХФ РАН, 2022. – 805 с. – ISBN 978-5-6044508-8-8. с. 477-475