

НАДЕЖНЫЕ ПРЕЦИЗИОННЫЕ ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ С ТОКОМ ПОТРЕБЛЕНИЯ 32.5 МКА НА КАНАЛ

ROBUST PRECISION OP AMPS WITH 32.5 μ A PER CHANNEL

В статье приведена информация о характеристиках прецизионных операционных усилителей ADA4097, предназначенных для использования в составе различных датчиков. Низкий уровень шума, малое напряжение смещения, широкий диапазон напряжений питания позволяют использовать усилители в диапазоне рабочих температур до 150 градусов Цельсия. Усилители имеют встроенную защиту входов от перенапряжения и систему защиты от перегрева кристалла, что позволяет обеспечить высокую надежность устройств, в которых они используются.

В. Макаренко

Abstract - The article provides information about the characteristics of precision operational amplifiers ADA4097, designed for use in various sensors. Low noise level, low bias voltage, wide supply voltage range allow the amplifiers to be used in the operating temperature range up to 150 degrees Celsius. The amplifiers have built-in overvoltage protection of the inputs and a system of protection against overheating of the crystal, which ensures high reliability of the devices in which they are used.

V. Makarenko

Новые прецизионные операционные усилители ADA4097-1/ADA4097-2 компании Analog Devices с rail-to-rail входом и выходом имеют напряжение смещения не превышающее 60 мкВ и входные токи <0,3 нА [1, 2]. Диапазон допустимых значений напряжения питания от 3 до 50 В, ток потребления одним каналом не превышает 32.5 мкА.

Входные каскады, изготовленные по запатентованной технологии Over-The-Top™, обеспечивают надежную защиту входа при значительных изменениях входного напряжения. Входы могут выдерживать дифференциальное напряжение до 80 В без повреждения или ухудшения точности по постоянному току. Рабочий диапазон входного синфазного сигнала составляет 70 В по отношению к напряжению на выводе -VS.

Усилители ADA4097-1/ADA4097-2 устойчиво работают при единичном коэффициенте усиления и обеспечивают ток в нагрузке до 20 мА в каждом из каналов, устойчивы при работе на емкостную нагрузку до 200 пФ.

Основные параметры усилителей:

- сверхширокий диапазон входного синфазного сигнала от $-(VS - 0,1 \text{ В})$ до $(-VS + 70 \text{ В})$
- широкий диапазон напряжения питания от +3 В до +50 В (от ± 1.5 до ± 25 В для двухполярного питания)
- ток потребления от источника питания, 32.5

мкА типовое значение

- входное напряжение смещения, не более ± 60 мкВ
- низкий дрейф входного напряжения смещения, не более ± 1 мкВ/°C (класс В)
- типовое значение частоты перегиба спектра низкочастотного шума 1/f составляет 6 Гц
- уровень низкочастотного шума 1 мкВ от пика до пика в диапазоне частот от 0.1 до 10 Гц
- частота единичного усиления 130 кГц
- скорость нарастания выходного напряжения 0.1 В/мкс (типовое значение при амплитуде выходного напряжения 4 В)
- ток потребления в спящем режиме не более 20 мкА
- входной ток смещения не более ± 300 пА
- коэффициент усиления по напряжению не менее 120 дБ
- коэффициент подавления синфазного сигнала не менее 120 дБ
- коэффициент подавления изменения напряжения источника питания не менее 123 дБ
- устойчивость к перегрузке на входе без реверса фазы
- устойчивостью к электростатическим разрядам ± 2 кВ (HBM) и разрядам индуцированным полем (FICDM) $\pm 1,25$ кВ
- диапазон рабочих температур от -55 до 150 °C

(класс H)

- корпус TSOT-6 для ADA4097-1 и LFCSP-10 для ADA4097-2.

Усилители предназначены для использования с промышленными датчиками и датчиками температуры. На рис. 1 приведена типовая схема включения ADA4097 для усиления сигналов датчика тока с диапазоном измерения $i_H = 10 \text{ мА} \dots 1 \text{ А}$.

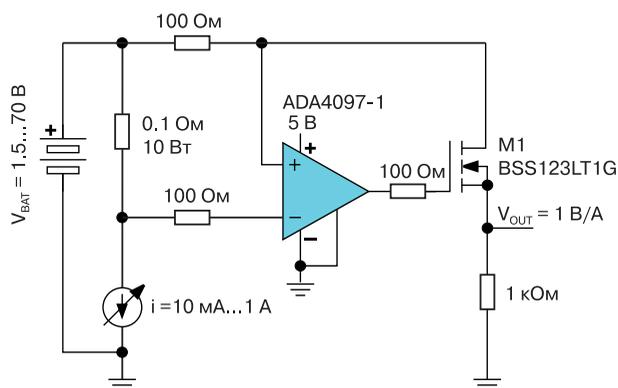


Рис. 1. Типовая схема включения ADA4097 для усиления сигналов датчика тока

Графики зависимостей погрешности измерения от величины тока для схемы на рис. 1 приведена на рис. 2.

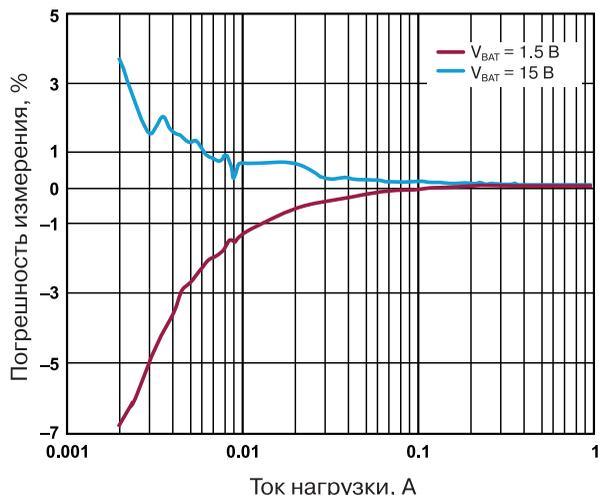


Рис. 2. Графики зависимостей погрешности измерения от величины тока нагрузки для схемы, приведенной на рис. 1

Так как основное назначение ОУ использование в различных датчиках, в том числе и в беспроводных сенсорных сетях, то очень существенным параметром является собственный ток потребления усилителя как в рабочем, так и в спящем режиме. На рис. 3 приведены графики зависимости тока потребления усилителя от напряжения питания при различных

температурах.

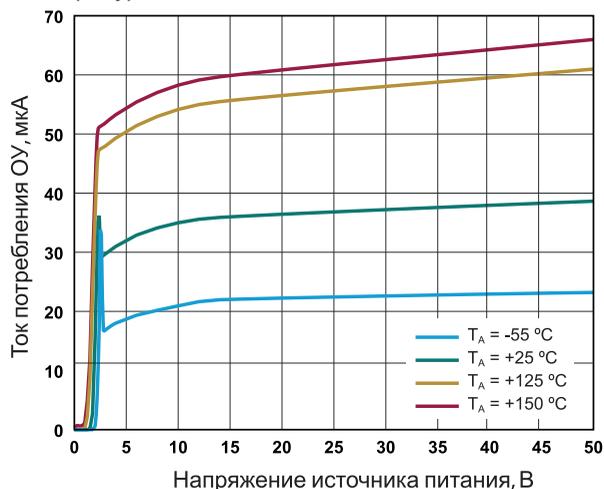


Рис. 3. Графики зависимости тока потребления усилителя от напряжения питания при различных температурах

Отключение операционного усилителя (перевод в спящий режим) осуществляется подачей напряжения на 1.5 В выше напряжения на выводе $-VS$ (отрицательного источника напряжения) на вывод SHDN. Если вывод SHDN не подключен или подключен к выводу $-VS$, то усилитель находится в активном режиме.

В спящем режиме выход усилителя переходит в состояние высокого импеданса. Если контакт SHDN остается плавающим, рекомендуется подключить конденсатор небольшой емкости (примерно 1 нФ) между выводом SHDN и выводом $-VS$ для предотвращения емкостной связи между инвертирующим входом $-IN$ и входом управления SHDN.

На рис. 4 приведены графики зависимости тока потребления усилителя в спящем режиме от напряжения питания при различных температурах.

На рис. 5 приведены зависимости напряжения смещения от температуры для 10 различных экземпляров ОУ при различных напряжениях питания.

Зависимости входного тока от температуры для 10 различных экземпляров ОУ при различных напряжениях питания приведены на рис. 6.

При перегрузке по напряжению на входе входной ток увеличивается до 1...1.1 мкА, как показано на рис. 7.

Напряжение смещения в гораздо меньшей степени зависит от перегрузки по входу. На рис. 8 приведены графики зависимости напряжения смещения от входного напряжения при различных значениях температуры.

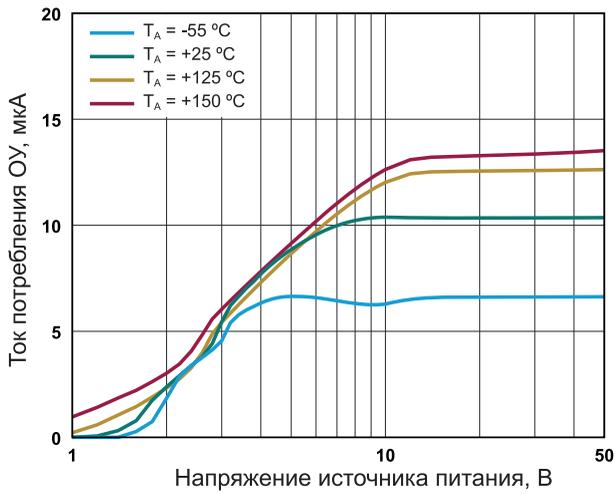


Рис. 4. Графики зависимости тока потребления усилителя в спящем режиме от напряжения питания при различных температурах

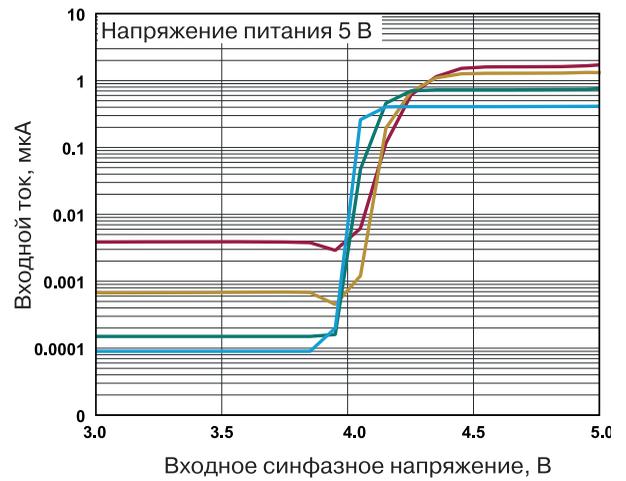


Рис. 7. Графики зависимостей входного тока от значения входного синфазного напряжения при различных значениях температуры

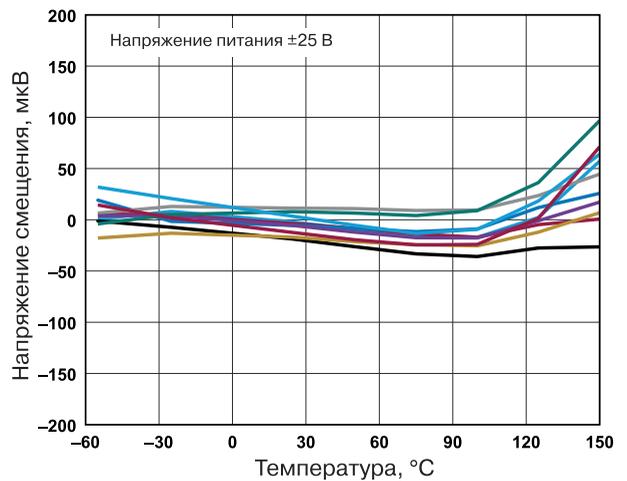
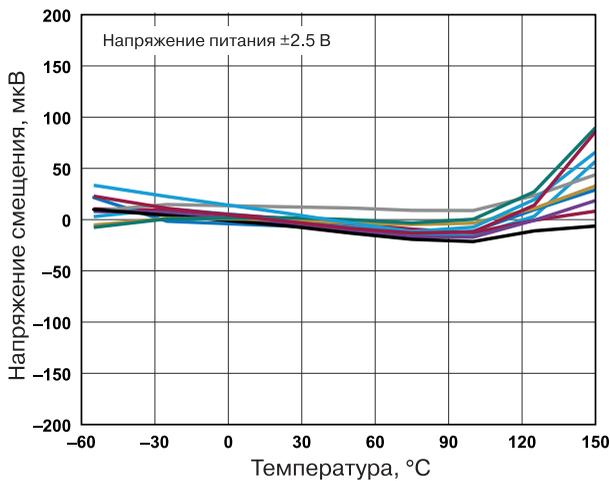


Рис. 5. Зависимости напряжения смещения от температуры для 10 различных экземпляров ОУ при напряжении питания $\pm 2.5\text{ В}$ (а) и $\pm 25\text{ В}$ (б)

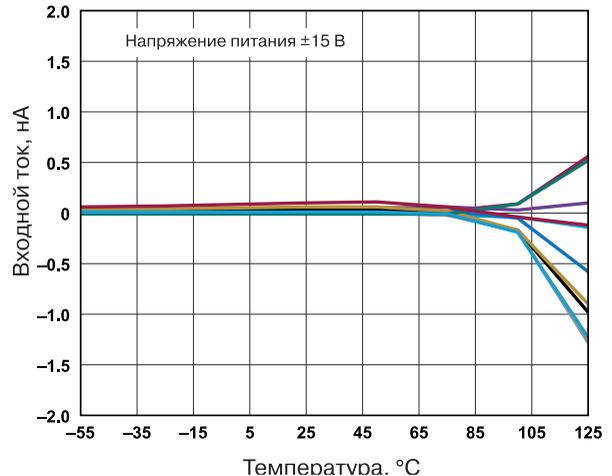
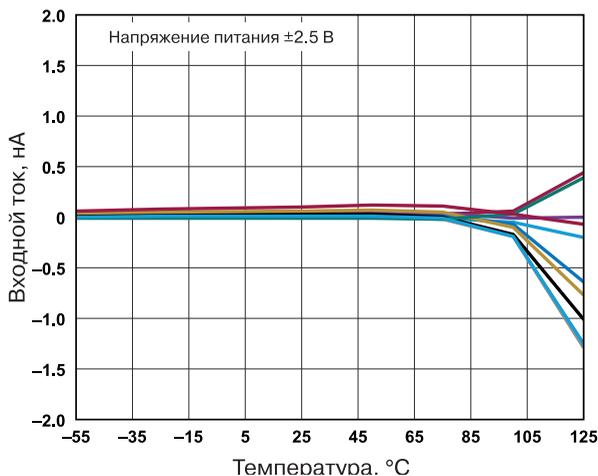


Рис. 6. Зависимости входного тока от температуры для 10 различных экземпляров ОУ при напряжении питания $\pm 2.5\text{ В}$ (а) и $\pm 15\text{ В}$ (б)

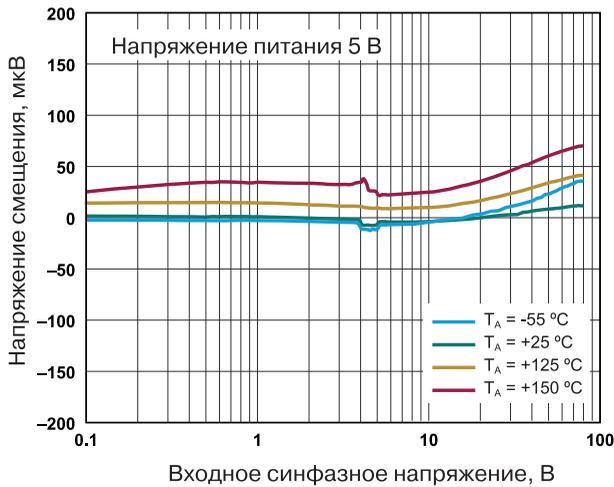


Рис. 8. Графики зависимости напряжения смещения от входного синфазного напряжения при различных значениях температуры

Другие зависимости различных параметров от температуры, напряжения питания, амплитуды входного напряжения можно найти в [2].

Рассмотрим параметры усилителя, используя программу моделирования LTspice. На рис. 9 приведена модель усилителя с единичным коэффициентом усиления на базе ОУ ADA4097-2.

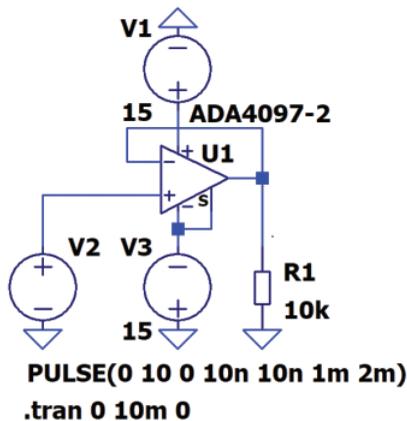


Рис. 9. Модель усилителя с единичным коэффициентом усиления на базе ОУ ADA4097-2

Реакция усилителя на входной импульс амплитудой 10 В при напряжении источников питания ± 15 В приведена на рис. 10. Скорость нарастания выходного напряжения составляет 0.1 В/мкс, что точно соответствует данным, приведенным в [2].

В неинвертирующем включении при единичном коэффициенте усиления полоса пропускания усилителя составляет примерно 197 кГц (рис. 11).

Для исследования АЧХ инвертирующего усилителя

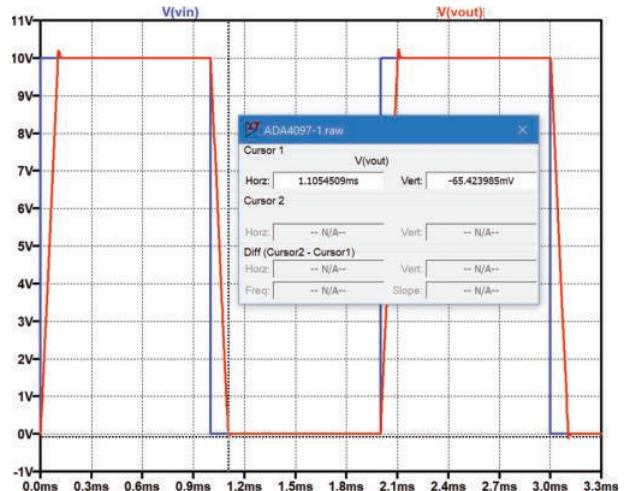


Рис. 10. Реакция усилителя с единичным коэффициентом усиления на импульс амплитудой 10 В

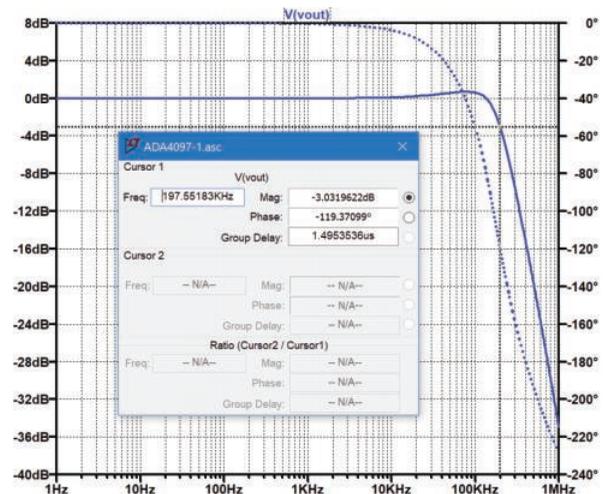


Рис. 11. АЧХ (сплошная линия) и ФЧХ усилителя с коэффициентом усиления 1

можно воспользоваться моделью, приведенной на рис. 12. На рис. 13 и 14 приведены АЧХ для коэффициентов усиления 1 и 10, соответственно. Как следует из рис. 13, АЧХ при коэффициенте усиления -1 линейна в диапазоне от 0 до 92 кГц, в то время как при неинвертирующем включении и коэффициенте усиления равном 1 полоса пропускания на 100 кГц шире.

При коэффициенте усиления 10 ширина полосы мало отличаются для инвертирующего и неинвертирующего включения. Для инвертирующего она составляет 16.2 кГц (рис. 14), а для неинвертирующего – 17 кГц. Полученные результаты хорошо согласуются с приведенными в [2].

Влияние сопротивления нагрузки на спектр вы-

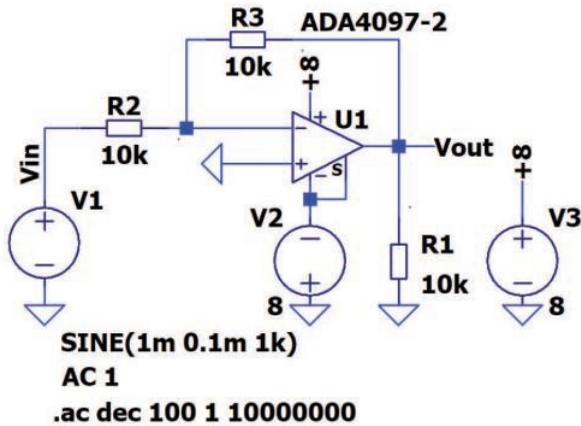


Рис. 12. Модель для исследования АЧХ инвертирующего усилителя

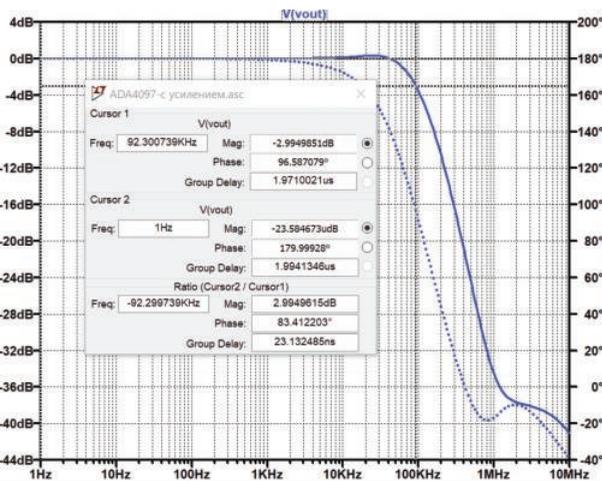


Рис. 11. АЧХ (сплошная линия) и ФЧХ усилителя с коэффициентом усиления 1

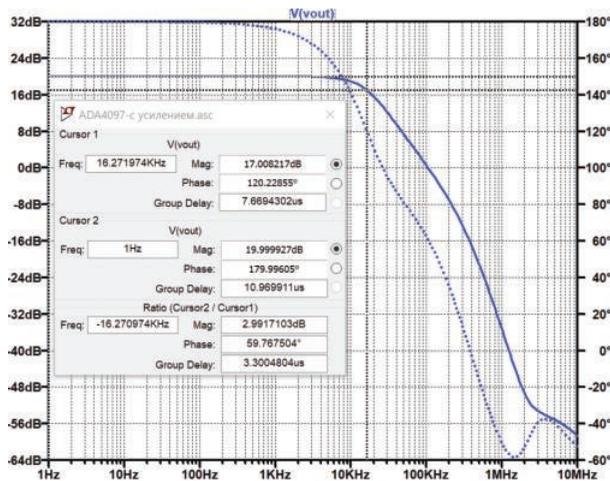
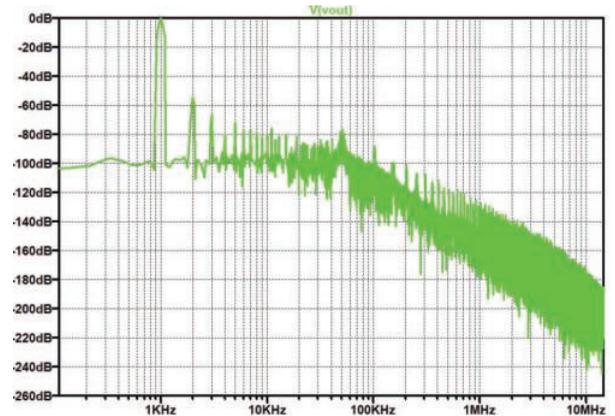
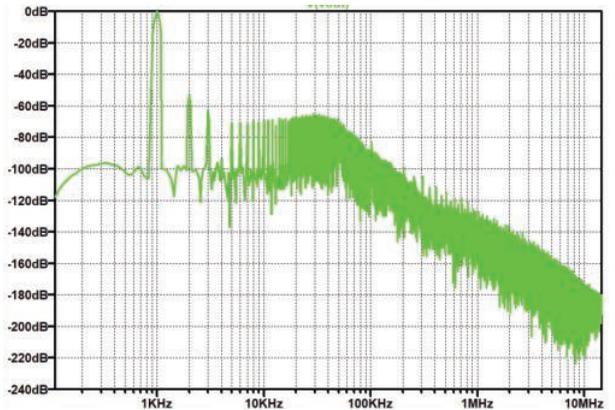


Рис. 11. АЧХ (сплошная линия) и ФЧХ усилителя с коэффициентом усиления 1

ходного сигнала иллюстрирует рис. 15. Измерения проведены для неинвертирующего усилителя с коэффициентом усиления 1 и напряжении питания ± 8 В для двух фиксированных значений сопротивления нагрузки – 200 Ом и 10 кОм. Спектр выходного сигнала, а, следовательно, и уровень вносимых нелинейных искажений, практически от напряжения питания не зависит если амплитуда входного сигнала не превышает 0.8 значения напряжения питания.



а)



б)

Рис. 15. Спектр выходного сигнала инвертирующего усилителя при напряжении питания ± 8 В, эффективном значении входного напряжения 1 В и сопротивлении нагрузки 10 кОм (а) и 200 Ом (б)

Для проверки работы усилителя совместно с датчиком тока (рис. 1) использована модель, приведенная на рис. 16.

Эксперимент показал, что при напряжении генератора V1 равным 2 В, использовании в качестве R3 постоянного резистора с сопротивлением 100 Ом и тока через R1 равным 1 А, напряжение на выходе составило 1.05 В. При использовании потенциометра можно подстроить значение сопротивления R3 для получения значения 1 В, что соответствует ука-

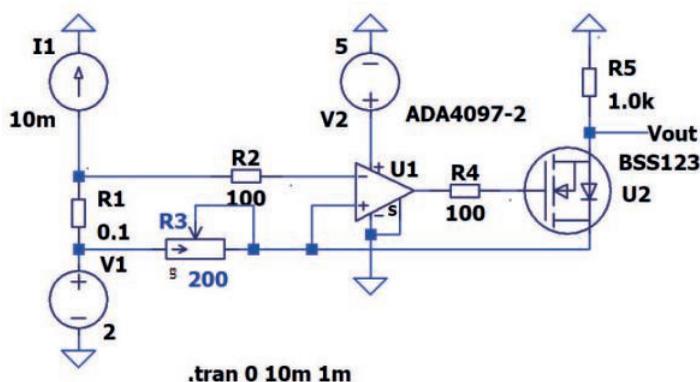


Рис. 16. Модель для исследования датчика тока

занному в [2] значению для такого устройства. Однако при токе 10 мА напряжение на выходе будет вместо 10 мВ равно 10.6 мВ. В то же время, при изменении напряжения генератора V1 до 50 В, напряжение на выходе строго линейно соответствует изменению тока через резистор R1. Чем меньше напряжение на выходе V1, тем больше погрешность при измерении малых токов. Эти результаты также хорошо согласуются с графиками, приведенными на рис. 2.

Этот эксперимент показывает, что целесообразно провести моделирование для требуемых условий эксплуатации, для минимизации погрешностей измерений.

При больших токах нагрузки температура кристалла может превысить 175 °С, а уже при температуре кристалла 125 °С происходит ускоренное старение ИМС и ухудшение ее параметров. Чтобы избежать перегрева в ИМС ADA4097 предусмотрена тепловая защита.

При возрастании температуры кристалла свыше 175 °С выходные каскады усилителей отключаются и снижаются токи потребления. Выход переводится в третье состояние и остается в нем до тех пор, пока температура перехода не снизится на 20 °С. При значительных токах нагрузки и высокой температуре окружающей среды такие отключения могут повторяться периодически. На рис. 17 приведены осциллограммы входного и выходного сигналов усилителя в режиме теплового отключения выходной нагрузки.

В [2] приведены расчетные соотношения для определения рассеиваемой на кристалле мощности. Для заданного напряжения питания можно воспользоваться графиками на рис. 18 в качестве ориентира для оценки минимального сопротивления нагрузки, которое обеспечивает безопасный ре-

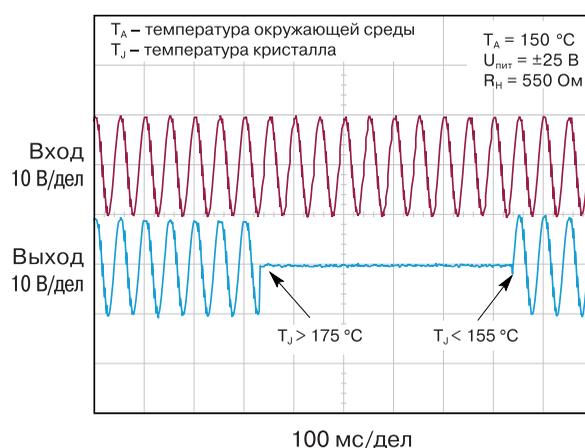


Рис. 17. Осциллограммы входного и выходного сигналов в режиме теплового отключения выходной нагрузки (при перегреве кристалла выше 175 °С)

жим работы ADA4097-1/ADA4097-2 для заданных напряжения питания и повышения температуры кристалла (ΔT_j). Например, чтобы ограничить ΔT_j значением 50 °С, сопротивление нагрузки при напряжении источника питания ± 15 В не должно быть меньше 800 Ом.

В [2] приведен ряд примеров включения усилителей и характеристики предлагаемых схем для использования в различных приложениях.

Для работы с усилителями ADA4097-2 компания Analog Devices предлагает отладочную плату EVAL-ADA4097-2EBZ [3]. Фото платы приведено на рис. 19.

Миниатюрные разъемы версии А (SMA) на входах и выходах EVAL-ADA4097-2EBZ обеспечивают удобное подключение к испытательному оборудованию или другим цепям. Большое число тестовых точек также позволяет подключать измерительные приборы к различным точкам схемы.

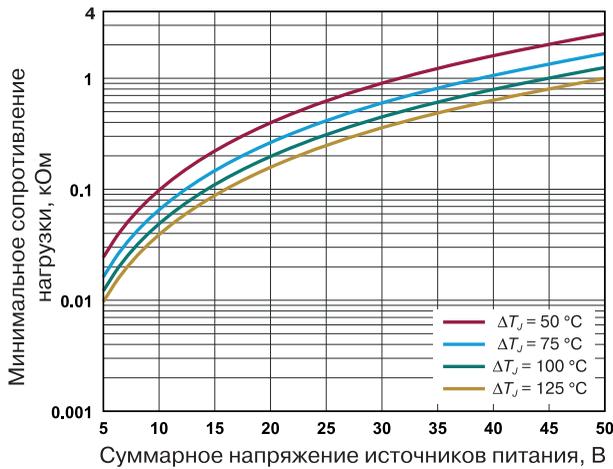


Рис. 18. Графики зависимостей минимального сопротивления нагрузки для заданных значений напряжения питания и повышения температуры кристалла ΔT_J

В EVAL-ADA4097-2EBZ используется комбинация технологии поверхностного монтажа (SMT) с большинством компонентов в корпусе размером 0603, за исключением шунтирующих конденсаторов емкостью 10 мкФ. EVAL-ADA4097-2EBZ также содержит отдельные резисторы и площадки для подключения дополнительных конденсаторов, что позволяет пользователям менять конфигурацию схемы по своему усмотрению.

В [3] можно найти принципиальную схему отладочной платы, расположение элементов и подробное описание работы с ней.

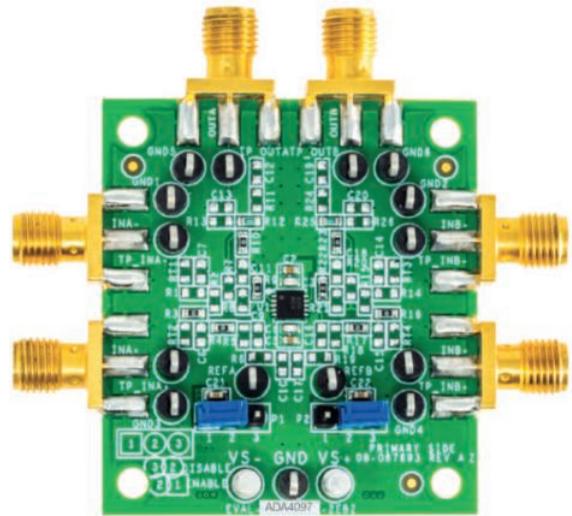


Рис. 19. Фото отладочной платы EVAL-ADA4097-2EBZ

Более подробную информацию о характеристиках прецизионных ОУ ADA4097 можно найти в [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.analog.com/en/products/ADA4097-2.html?tab=documentation-pane-1#product-overview>
2. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ada4097-1-4097-2.pdf>
3. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/user-guides/eval-ada4097-2-ug-2036.pdf>

VD MAIS
Контрактное производство электроники
 (по стандарту IPC-A-610)

- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 2,5 млн в сутки)
- автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
- монтаж прототипов печатных плат
- 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
- изготовление опытных образцов изделий
- мелко- и крупносерийное производство
- 10-летний опыт контрактного производства
- гарантия качества

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016

Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
 e-mail: info@vdm.ais.ua, www.vdm.ais.ua



VD MAIS
Электронные компоненты и системы

- Микросхемы • Датчики • Оптоэлектроника
- Источники питания • Драйверы светодиодов
- Резонаторы и генераторы
- Дискретные полупроводники
- Пассивные компоненты
- СВЧ-компоненты
- Системы беспроводной связи

Дистрибуция и прямые поставки:
 Analog Devices, Bluetech, Cree, DDC, Dynex, Fordata, Foryard, Gaia, Geyer, IXYS, Kendell, Kingbright, Ledil, Littelfuse, Mean Well, Microsemi, Omron, Recom, Siti, Sonitron, Suntan, Telit, Vacuumschmelze, Xilinx, Yitran

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
 e-mail: info@vdm.ais.ua, www.vdm.ais.ua

