

## МЕТОДИКИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

А. В. Светлов, М. Ю. Паршуков, В. В. Комаров, Е. В. Сапунов

### *Введение*

Параметры узлов и изделий радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), а также ее надежность во многом определяются качеством используемых полупроводниковых элементов. Затраты на выявление и замену элементов, не соответствующих техническим требованиям, многократно возрастают при обнаружении отказа на каждой последующей стадии производства РЭА (входной контроль – установка элементов и монтаж плат – испытания – эксплуатация). Поэтому технический контроль элементов необходимо проводить на самом раннем этапе производства – на входном контроле. Задачей входного контроля комплектующих полупроводниковых элементов является не только определение их соответствия требованиям технических условий, но и рассортировка элементов на группы по измеренным значениям параметров и отбор комплектующих для наиболее критичных применений. Важнейшими элементами современной аналоговой электронной техники являются интегральные операционные усилители (ОУ). Проблема повышения производительности и достоверности входного контроля ОУ является актуальной.

### *1. Систематизация методик входного контроля ОУ*

Методы измерений статических и динамических параметров ОУ регламентированы в 17 нормативных документах (ГОСТ 23089.1-83 – 23089.17-83). Практическая реализация этих методов с использованием комплекта отдельных измерительных приборов (генераторов сигналов, вольтметров, осциллографов) требует больших затрат времени на коммутацию, настройку приборов и считывание их показаний. Такой подход применим только для выборочного исследования отдельных экземпляров микросхем. Для массового входного контроля ОУ необходима разработка специализированных методик и средств, выбор которых определяется спецификой производимой продукции. На предприятиях, производящих бытовую электронику, можно ограничиться оценкой работоспособности ОУ. При производстве изделий электронной техники специального назначения необходимы количественные оценки параметров ОУ. Исходя из глубины и объема контроля, можно предложить следующую систематизацию методик входного контроля ОУ:

1. Проверка работоспособности ОУ, в результате которой отбраковываются полностью неработоспособные микросхемы. Такая проверка является обязательной и в качестве первой стадии контроля входит во все методики, поскольку позволяет сэкономить время и исключить возможность вывода из строя дорогостоящего измерительного оборудования в случае короткого замыкания в испытуемой микросхеме. На предприятиях, производящих бытовую электронику, входной контроль, как правило, ограничивается только проверкой работоспособности ОУ.

2. Контроль электрических параметров ОУ в объеме, ограниченном возможностями имеющихся на предприятиях промышленных тестеров аналоговых интегральных схем. В отечественном приборостроении наиболее широко применяются:

- универсальный тестер функционального контроля и параметрических измерений цифровых и аналоговых микросхем FORMULA 2K;
- тестер операционных усилителей, разработанный ОАО «ЦНИИИА»;
- измеритель параметров аналоговых интегральных схем Л2-71.

Все перечисленные выше промышленные тестеры аналоговых интегральных схем предназначены для контроля только лишь статических параметров ОУ и не позволяют контролировать такие важные динамические параметры, как частота единичного усиления и запас по фазе на этой частоте, максимальная скорость нарастания выходного напряжения.

3. Контроль электрических параметров ОУ в объеме, установленном техническими условиями (ТУ) на интегральные схемы, включая все статические и динамические параметры ОУ, пере-

численные в паспорте. Для организации такого контроля необходима разработка автоматизированных аппаратно-программных комплексов (АПК), обладающих высокой производительностью, гибкостью и многофункциональностью [1]. Кроме процедур контроля электрических параметров, такие комплексы могут обеспечить также автоматизированное создание паспорта и Spice-макромодели каждого экземпляра микросхемы [2]. Методика входного контроля ОУ с оценкой его статических и динамических параметров рассмотрена ниже.

## 2. Методика проверки работоспособности ОУ

В простейшем случае проверка работоспособности ОУ может выполняться без проведения каких-либо измерений. При этом проверяемый ОУ включается в тестовую схему усилителя или автогенератора. О работоспособности ОУ судят по наличию на выходе схемы сигнала требуемой амплитуды или частоты, оцениваемых на слух или визуально. Достоинством такой методики является предельная простота и дешевизна реализации, а недостатком – условность контроля из-за отсутствия какого-либо метрологического обеспечения.

Более высокую достоверность контроля обеспечивает методика, предусматривающая выполнение следующих простейших измерительных процедур:

1. Измерение тока потребления ОУ  $I_{\text{пот}}$  по каждому из выводов питания при подаче на них номинальных положительного и отрицательного напряжений. Если ток потребления по какому-либо из питающих выводов окажется нулевым, то это может означать обрыв вывода. Если же ток потребления значительно превышает номинальный, то это говорит о том, что поврежден кристалл ОУ или имеется внутреннее замыкание между выводами. И в том, и в другом описанных случаях дальнейший контроль не имеет смысла. Процедуру контроля можно продолжить только при значениях тока потребления  $I_{\text{пот}}$ , близких к номинальному значению  $I_{\text{пот ном}}$ , указываемому в справочниках или ТУ на микросхемы, например, для ОУ К544УД2  $I_{\text{пот ном}} = 7 \text{ мА}$  [3]. Учитывая разброс параметров ОУ, можно установить следующие границы допустимых значений тока потребления:

$$0,5 I_{\text{пот ном}} \leq I_{\text{пот}} \leq 1,5 I_{\text{пот ном}} . \quad (1)$$

2. Контроль выходного напряжения ОУ при отсутствии сигнала на входе и полной отрицательной обратной связи. При этом в случае исправности выходного каскада выходное напряжение ОУ равно напряжению смещения нуля входного каскада. У работоспособного ОУ общего применения значение этого параметра не превышает нескольких десятков милливольт. Если выходное напряжение близко к одному из напряжений питания, то это говорит о пробое одного из плеч схемы. Выполнение дальнейших измерений при этом надо прекратить, так как это опасно для измерительной аппаратуры. Испытания следует продолжить при выходном напряжении ОУ, не превышающем допустимого напряжения смещения нуля входного каскада:

$$|U_{\text{вых ОУ}}| \leq |U_{\text{см доп}}| \text{ при } U_{\text{вх ОУ}} = 0 . \quad (2)$$

Еще одна возможная неисправность ОУ заключается в одновременном выходе из строя транзисторов обоих плеч выходного каскада, при этом выходное напряжение также будет близко к нулю. Поэтому проверки выполнения условий (1) и (2) недостаточно. Необходим еще один следующий тест, подтверждающий работоспособность всех трактов ОУ в целом.

3. Проверка компенсации синфазной составляющей входного сигнала и усиления его дифференциальной составляющей выполняется при включении испытуемого ОУ в схему, изображенную на рис. 1.

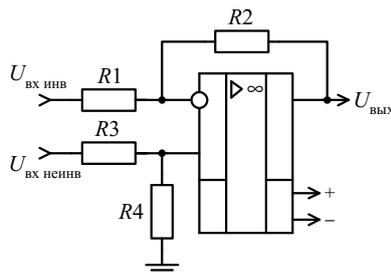


Рис. 1. Схема проверки компенсации синфазных и усиления дифференциальных сигналов

Для проверки компенсации синфазных сигналов на инвертирующей и неинвертирующей входы измерительной схемы подаются одинаковые тестовые сигналы, например:  $U_{\text{вх инв}} = +1 \text{ В}$  и  $U_{\text{вх неинв}} = +1 \text{ В}$ . При равенстве сопротивлений  $R1 = R2 = R3 = R4$  напряжение на выходе испытуемого ОУ должно быть равно разности входных напряжений, т.е. близко к нулю.

Для проверки усиления дифференциальных сигналов на входы схемы подаются тестовые сигналы противоположной полярности, например,  $U_{\text{вх инв}} = -1 \text{ В}$  и  $U_{\text{вх неинв}} = +1 \text{ В}$ . Напряжение на выходе должно быть равным сумме абсолютных значений напряжений, т.е. 2 В.

Если функция сложения и вычитания аналоговых сигналов выполняется успешно, т.е.

$$\begin{cases} U_{\text{вых ОУ}} = 0 & \text{при } U_{\text{вх инв}} = U_{\text{вх неинв}} \\ U_{\text{вых ОУ}} = 2U_{\text{вх инв}} & \text{при } U_{\text{вх инв}} = -U_{\text{вх неинв}} \end{cases} \quad (3)$$

то можно сделать вывод о работоспособности испытуемого ОУ.

Рассмотренная методика проверки работоспособности ОУ может быть дополнена контролем напряжений на выводах ОУ, предназначенных для подключения внешних цепей коррекции и балансировки (имеются не у всех типов ОУ). Указанные напряжения должны находиться в пределах диапазона допустимых значений, найденного путем статистических экспериментальных исследований [4].

Достоверность результатов контроля работоспособности ОУ путем последовательной проверки выполнения перечисленных условий по разным оценкам может лежать в пределах 0,8 – 0,9 [5], что приемлемо только при производстве аппаратуры неотчетливого гражданского применения [6].

### 3. Методика входного контроля ОУ с оценкой его параметров

Автоматизированный входной контроль ОУ с оценкой его статических и динамических параметров, установленных требованиями ТУ, осуществляется с помощью разработанного авторами АПК [7]. Для проведения входного контроля ОУ предложена методика, предусматривающая следующие этапы функционирования АПК и взаимодействия оператора с программой, управляющей работой комплекса:

1. Подготовка АПК к работе производится автоматически и включает в себя запуск аппаратной части и программной оболочки, а также самотестирование аппаратной части комплекса, заключающееся в сквозном тестировании измерительных каналов, при котором сигналы с выходов формирователей поступают в каналы обработки. Если все параметры измерительных каналов в норме, то программа переходит к выполнению следующих процедур. Если имеются отклонения параметров системы от нормы, то работа комплекса останавливается, формируется код ошибки, выключается питание аппаратной части и выдается сообщение об ошибке, в соответствии с которым оператор может устранить неисправность.

2. Ввод информации об ОУ производится в автоматизированном режиме: оператором выбирается наименование ОУ из предлагаемого перечня, после чего программой из базы данных извлекается необходимая информация:

- схема расположения и назначение выводов микросхемы, тип корпуса;
- номинальные значения положительного и отрицательного напряжений питания;
- указанные в ТУ минимальные и максимальные допустимые значения электрических параметров, используемые при разбраковке ОУ.

При отборе микросхем для конкретных применений оператор может самостоятельно установить границы поля допусков параметров ОУ. Оператор также может дополнить базу данных сведениями об ОУ с новыми наименованиями. При вводе новой информации используется предлагаемый программой шаблон.

3. Установка ОУ в тестовую панель с переходной платой, номер которой указывается в сообщении, выдаваемом программой с учетом сведений, полученных из базы данных. Завершение установки ОУ подтверждается оператором нажатием кнопки на лицевой панели виртуального прибора, управляющего работой АПК.

4. Автоматизированная проверка работоспособности ОУ в соответствии с методикой, описанной выше, осуществляется с целью своевременной отбраковки негодных ОУ и оценки возможности безопасного выполнения дальнейших измерительных процедур.

5. Автоматизированное измерение статических и динамических параметров ОУ обеспечивается программным управлением режимами работы аппаратной части комплекса, включая:

- коммутацию измерительных цепей при переходе от одного измеряемого параметра к другому;
- подачу питающих напряжений;
- формирование тестовых синусоидальных и импульсных сигналов;
- проведение измерений, регистрацию и обработку их результатов.

Программное управление аппаратной частью АПК обуславливает его multifunctionality и высокую производительность.

6. По измеренным значениям параметров ОУ программой составляется и выдается в виде файла и в распечатанном на бумаге виде паспорт ОУ, в котором указываются фактические параметры данного экземпляра микросхемы.

7. Автоматизированный допусковый контроль ОУ, осуществляемый путем сравнения измеренных значений параметров ОУ с заданными границами поля допустимых значений параметров, позволяет отобрать ОУ, параметры которых соответствуют установленным требованиям. При предварительном задании нескольких границ поля допустимых значений параметров ОУ возможна разбраковка микросхем на большее число групп в зависимости от значений контролируемых параметров.

Для реализации предложенной методики входного контроля ОУ разработан алгоритм, блок-схема которого приведена на рис. 2. После самотестирования аппаратной части комплекса и ввода необходимой информации запускается цикл контроля параметров ОУ, начинающийся с установки ОУ в тестовую панель и заканчивающийся составлением паспорта ОУ и сообщением о принадлежности ОУ к той или иной группе разбраковки по значениям параметров. Цикл повторяется до тех пор, пока не будет протестировано необходимое (заданное заранее) количество экземпляров ОУ или пока оператор не нажмет кнопку «Остановить тестирование» на лицевой панели виртуального прибора.

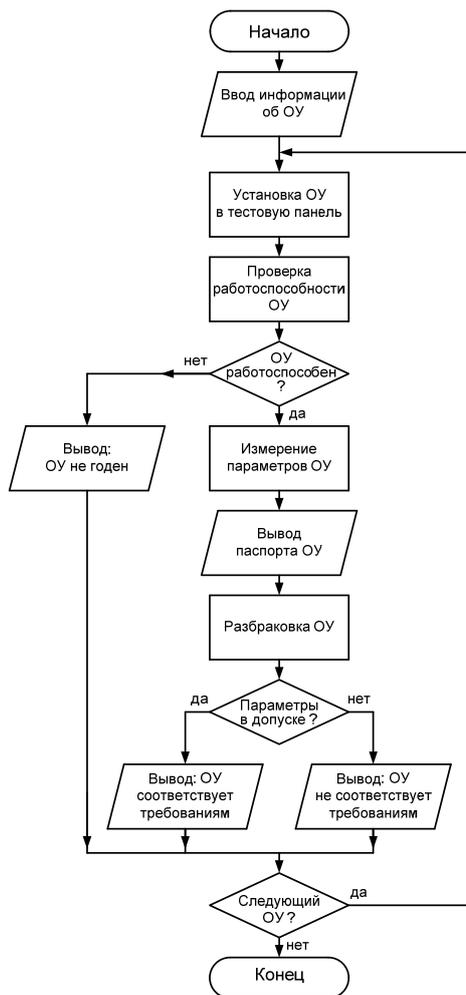


Рис. 2. Блок-схема алгоритма входного контроля ОУ

В соответствии с рассмотренными методикой и алгоритмом в среде LabVIEW разработано программное обеспечение аппаратно-программного комплекса для входного контроля и измерения параметров ОУ.

### Список литературы

1. Принципы построения аппаратно-программных комплексов для формирования и измерения параметров импульсных сигналов / А. В. Светлов, М. Ю. Паршуков, И. В. Ханин, П. Мишра // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 3. – С. 102–112.
2. Методика обработки результатов измерений параметров операционного усилителя / А. В. Светлов, М. Ю. Паршуков, С. Ю. Байдаров, В. В. Комаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 128–140.
3. Операционные усилители и компараторы. – М. : Додэка-XXI, 2001. – 560 с.
4. Цыпин, Б. В. Диагностика интегральных операционных усилителей, установленных на платах / Б. В. Цыпин, Н. К. Юрков // Измерительная техника. – 2002. – № 2. – С. 64–66.
5. Измерение динамических параметров операционных усилителей с применением цифровых формирователей сигналов / А. В. Светлов, М. Ю. Паршуков, В. В. Комаров, Е. В. Сапунов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 62–65.
6. Литвинов, А. Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния в слоистых структурах РЭС при технологических и эксплуатационных воздействиях / А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 16–22.
7. Использование технологии виртуальных приборов при разработке аппаратно-программного комплекса для измерения параметров операционных усилителей / А. В. Светлов, М. Ю. Паршуков, С. Ю. Байдаров, В. В. Комаров // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 2. – С. 7–10.

### УДК 621.317.3

**Методики входного контроля операционных усилителей** / А. В. Светлов, М. Ю. Паршуков, В. В. Комаров, Е. В. Сапунов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2(6). – С. 56–61.

#### **Светлов Анатолий Вильевич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой радиотехники  
и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: rtech@pnzgu.ru

#### **Паршуков Максим Юрьевич**

инженер, аспирант,  
кафедра радиотехники и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: parshucow@bk.ru

#### **Комаров Всеволод Владимирович**

инженер, аспирант,  
кафедра радиотехники и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: v.komarov09@rambler.ru

#### **Сапунов Евгений Владимирович**

инженер, аспирант,  
кафедра радиотехники и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: rtech@pnzgu.ru

#### **Svetlov Anatoliy Vil'evich**

doctor of technical sciences, professor,  
head of sub-department of radio engineering  
and radio electronic systems,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### **Parshukov Maksim Yur'evich**

engineer, postgraduate student,  
sub-department of radio engineering  
and radio electronic systems,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### **Komarov Vsevolod Vladimirovich**

engineer, postgraduate student,  
sub-department of radio engineering  
and radio electronic systems,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### **Sapunov Evgeniy Vladimirovich**

engineer, postgraduate student,  
sub-department of radio engineering  
and radio electronic systems,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Аннотация.** Рассмотрены методика проверки работоспособности операционных усилителей и методика входного контроля операционных усилителей с автоматизированным измерением статических и динамических параметров, составлением паспорта и разбраковкой операционных усилителей. Приведена блок-схема алгоритма, реализующего методику входного контроля.

**Ключевые слова:** операционный усилитель, параметры, методика, проверка работоспособности, контроль параметров.

**Abstract.** Considered technique of operability test operational amplifiers and incoming inspection method of the operational amplifiers with the automated measurement of static and dynamic parameters, the certificates and grading of operational amplifiers. Was given a flowchart that implements an incoming inspection procedure.

**Key words:** operational amplifier, parameters, method, operability test, parameters check.