

УДК 621.382

А. И. Власов, В. Ф. Зотин, Л. А. Потапов

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ АНАЛОГОВЫХ МИКРОСХЕМ

Рассмотрены возможные варианты автоматизированных испытаний аналоговых микросхем с помощью универсальных тестеров «Формула 2К» и оборудования PXI компании «National Instruments», а также с помощью специализированного тестера TR9574 венгерской фирмы «EMG». Описаны разработанные авторами автоматизированные тестеры АТИКОУ (для испытаний микросхем компараторов и операционных усилителей) и АТИАУДИО (для испытаний микросхем аудиоусилителей).

Ключевые слова: автоматизация испытаний, аналоговые микросхемы, тестеры, аудиоусилители, компараторы, операционные усилители.

На различных этапах производства и применения аналоговых микросхем появляется необходимость определения основных параметров этих изделий и возникает вопрос о соответствующем контрольно-измерительном оборудовании [1].

Для автоматизации испытаний аналоговых микросхем можно использовать универсальный тестер «Формула 2К» [2], ориентированный в основном на испытания цифровых микросхем. Однако из-за универсальности, он имеет сложную конструкцию, избыточные возможности и высокую цену. При этом любая аналоговая микросхема для проведения испытаний требует разработки и изготовления собственного адаптера. Даже похожие микросхемы с одинаковой цоколевкой и в одинаковом корпусе далеко не всегда можно испытывать на одном и том же адаптере. Например, в стандартной схеме измерения параметров операционных усилителей (ОУ) токоизмерительные резисторы для измерения входного тока ОУ 140УД7 должны быть 10 кОм, а для ОУ 140УД6 – 500 кОм. Кроме того, ряд специфических параметров аналоговых микросхем трудно измерить с помощью тестера «Формула 2К».

Иную автоматизированную модульную систему тестирования операционных усилителей (рис.1) можно создать на основе оборудования PXI компании «National Instruments» и программного обеспечения NI LabView [3]. Для тестирования усилителя необходимо сгенерировать аналоговый сигнал модулем PXI arbitrary waveform generator, подать его на вход усилителя, а затем оцифровать данные на выходе осциллографом PXI digitizer, обработать результаты в приложении LabView и, исходя из них, определить все необходимые характеристики. При помощи цифрового осциллографа становится возможной регистрация времени нарастания фронта импульса на выходе усилителя. Используя программное обеспечение NI TestStand, пользователь может автоматизировать измерения параметров ОУ, объединяя многочисленные режимы тестирования, созданные в NI LabView, в единый программно-аппаратный измерительный комплекс, а также разработать удобный пользовательский интерфейс и автоматизировать создание отчетов о проведенных испытаниях.



Рис. 1. Модульная система тестирования операционных усилителей на основе оборудования PXI компании «National Instruments»

С учетом сложности подготовки программ испытаний и высокой стоимости модульной конструкции или универсального тестера «Формула 2К» во многих случаях оправдано применение специализированных тестеров.

Для параметрического контроля микросхем операционных усилителей, компараторов, стабилизаторов и повторителей напряжения можно использовать специализированный тестер TR9574 венгерской фирмы «EMG». Тестер имеет в своем составе энергонезависимое ПЗУ со специализированным программным обеспечением, ОЗУ для ввода переменной части испытательной программы емкостью 4 Кбайта и ППЗУ емкостью 32 Кбайта с библиотекой составленных пользователем программ измерений. Ввод новой программы измерений осуществляется с помощью встроенной клавиатуры в диалоговом режиме на английском языке.

С применением современной элементной базы нами разработаны более компактные автоматизированные тестеры АТИКОУ и АТИАУДИО с расширенными возможностями. Тестер АТИКОУ используется для испытаний компараторов и операционных усилителей, а тестер АТИАУДИО – для испытаний микросхем аудиоусилителей.

Каждый тестер представляет собой переносной блок, выполненный в корпусе осциллографа С1-55 (рис. 2). Для работы к нему подсоединяются адаптер для соответствующей микросхемы, персональный компьютер, сортировщик или многозондовая установка (МЗУ). Тестеры могут работать в автономных режимах с индикацией результата тестирования по типу «брак – годен» и под управлением ЭВМ с разбраковкой по 6 группам и передачей в ЭВМ всех результатов тестирования. При этом выполняется проверка контактирования всех выводов тестируемого изделия.

Тестер обеспечивает контроль входных токов, токов потребления от источников питания положительной и отрицательной полярности, тока утечки по выходу компаратора и выходного тока короткого замыкания (при сопротивлении нагрузки 1 Ом), а также максимального и минимального выходных напряжений операционного усилителя, остаточного выходного напряжения компаратора, напряжения смещения и остаточного выходного напряжения ОУ.



Рис. 2. Автоматизированный тестер для испытаний микросхем аудиоусилителей

Кроме этого, в соответствии с требованиями технических условий он обеспечивает контроль коэффициента усиления дифференциального напряжения, коэффициента ослабления синфазного сигнала в диапазоне, коэффициента влияния нестабильности источника питания на напряжение смещения, максимальной скорости нарастания (спада) выходного напряжения ОУ в режиме повторителя напряжения.

При этом за время порядка одной секунды под управлением микроконтроллера собирается более 10 электрических цепей, содержащих программируемые источники и измерители напряжений и токов, выполняются соответствующие измерения, полученные результаты сравниваются с эталонными и осуществляется разбраковка изделий по 6 группам.

Тестер АТИКОУ состоит из следующих функциональных узлов (рис. 3): контроллера (КТР), коммутатора (КММ), измерителя статических параметров (ИСП), источника напряжений питания (ИНП), стабилизаторов тока нагрузки (СТН), генератора ступени и источника входного напряжения 200 мВ (ГС), источника тока (ИТ), вторичного источника питания (ВИП).

Контроллер на базе однокристалльной микроЭВМ реализует функции программного управления функциональными устройствами тестера автономно или под управлением

внешней ЭВМ. Модуль контроллера содержит также измеритель динамических параметров и устройства ЦАП и АЦП. Кроме того, контроллер обеспечивает синхронизм в работе

тестера совместно с МЗУ или сортировщиком с помощью линий связи, подключаемых к разъему «Упр. сорт.».

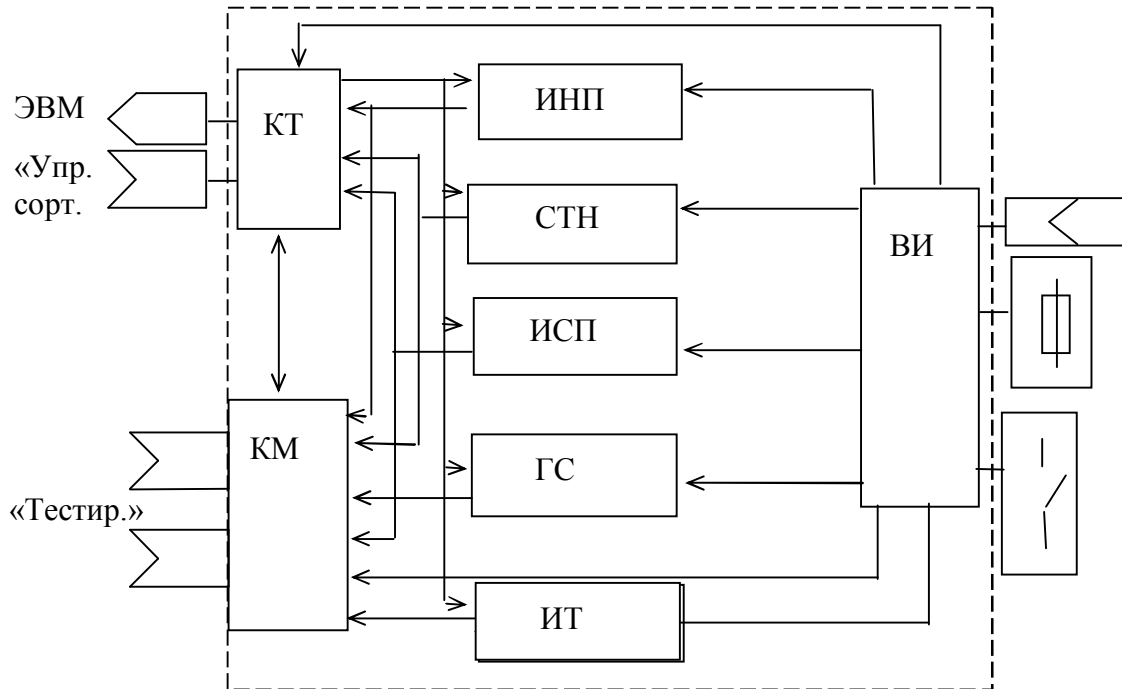


Рис. 3. Блок-схема тестера АТИКОУ

Основное назначение коммутатора – сборка соответствующей схемы тестирования для контроля того или иного параметра, т.е. подключение источников сигналов, источников питания и измерительных устройств к соответствующим выводам интегральной схемы (ИС). Коммутатор реализует возможность тестирования одновременно четырех ОУ или компараторов. При этом два устройства (секции) подключаются к основному разъему «Тестир.» (37 контактов), а два других – к дополнительному (25 контактов). При тестировании одиночных или двухсекционных устройств дополнительный разъем не используется.

Коммутатор содержит узел проверки контакта выводов ИС с устройством подключения (зондами) путем поочередной подачи небольшого отрицательного напряжения (тока) на выводы ИС относительно подложки.

Измеритель статических параметров представляет собой четыре одинаковые схемы (по ГОСТ 23089) для формирования сигналов, пропорциональных напряжению смещения, входным токам, коэффициенту усиления дифференциального напряжения, коэффициенту ослабления синфазного напряжения и другим параметрам тестируемых ИС.

Источник напряжений питания формирует программируемые напряжения положительной и отрицательной полярности. Оба формирователя содержат встроенные измерители потребляемого тока. Кроме того, в состав этого модуля входят четыре одновременно программируемых источника положительного напряжения с соответствующими измерителями тока для контроля токов утечки выходных транзисторов в составе компараторов.

Модуль стабилизаторов тока нагрузки включает четыре одновременно программируемых стабилизатора втекающего тока (для испытуемой ИС) и четыре одновременно программируемых стабилизатора вытекающего тока.

Генератор ступени формирует фронт или спад напряжения по команде контроллера с программируемыми начальным и установившимся уровнями (крутизна фронта и спада более 30 В/мкс). Этот же модуль содержит источник входного (для тестируемой ИС) дифференциального напряжения 200 мВ.

Программируемый источник тока имеет два режима работы. При задании тока не более 0,2 А он может поддерживать его в нагрузке продолжительное время. При задании тока в диапазоне 0,2...2 А формируется импульс тока с заданной амплитудой длительностью 10 мс. В качестве нагрузки к источнику тока могут быть подключены выходные элементы первой и второй секций. Данный модуль предназначен в основном для тестирования ОУ средней мощности.

Модуль вторичного источника питания содержит два стабилизированных преобразователя напряжения. Один из них характеризуется выходными напряжениями -45, -15, +15 и +45 В и служит исключительно для питания модуля ИНП. Другой с выходным напряжением +5 В используется для питания остальных модулей. При этом для гальванической развязки и получения необходимых уровней напряжения в составе этих модулей имеются submodule на базе интегральных конвертеров.

Для контроля скорости нарастания (спада) выходного напряжения ОУ применены два сверхбыстрых компаратора с программируемыми порогами срабатывания и измеритель формируемого временного интервала с разрешением менее 50 нс на базе интегрального счетчика импульсов. Управление счетчиком и вычисление контролируемого параметра реализует микроконтроллер.

Адаптер, подключаемый к разъему «Тестир.», должен содержать дополнительные коммутационные элементы и согласующий резистор. Кроме того, в адаптере должны располагаться нагрузочные резисторы, соответствующие требуемому режиму тестирования.

Программа тестирования микросхемы во всех режимах хранится в энергонезависимой памяти контроллера EEPROM во внутреннем коде и интерпретируется управляющей программой микроконтроллера.

В автономном режиме тестер выполняет программу тестирования, сравнивает результаты с нормами и индицирует результат сравнения на светодиодных индикаторах тестера «Брак», «Годен», «Контакт». Взаимодействие с МЗУ осуществляется по соответствующему протоколу. Данный режим устанавливается по умолчанию при включении тестера.

При работе под управлением ЭВМ реализуются следующие режимы тестирования: автономный с отображением результатов тестирования и измерения, потестовый с отображением результатов тестирования и пошаговый с отображением результатов тестирования и измерения. Все режимы выполняются с остановом или без останова по браку.

Для автоматизированного контроля параметров ИС аудиоусилителей и разбраковки их в корпусах или на МЗУ разработан автоматизированный тестер АТИАУДИО. Конструктивно тестер представляет собой переносной блок (рис. 2), выполненный, так же как и тестер АТИКОУ, в корпусе осциллографа С1-55. Для ИС сдвоенных и счетверенных аудиоусилителей тестер позволяет контролировать ряд параметров в мостовом включении секций попарно. Тестер может управлять МЗУ и автоматическим сортировщиком с раскладкой ИС не менее чем по 6 группам сортировки.

Тестер обеспечивает программирование норм разбраковки, состава и последовательности выполняемых тестов, при этом контролируя следующие параметры ИС аудиоусилителей: средний ток потребления в режиме покоя, входное сопротивление, смещение выходных напряжений в режиме покоя для мостовой схемы включения аудиоусилителей, выходное напряжение шумов и эффективное значение максимального выходного напряжения с заданным коэффициентом гармонических искажений.

Кроме этого, в соответствии с требованиями технических условий он обеспечивает контроль разности параметров каналов усиления (для многоканальных усилителей), коэффициента усиления по напряжению, коэффициента разделения каналов, коэффициента подавления пульсаций напряжения источника питания и коэффициента гармоник  $k_2$  выходного напряжения.

При определении коэффициента гармоник  $k_2$  используется разложение выходного напряжения в ряд Фурье с помощью быстрого преобразования Фурье. Коэффициент гармоник вычисляется по формуле

$$k_2 = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^k U_k^2}}{U_1},$$

где  $U_1 \dots U_k$  – действующие значения гармоник напряжения, входящих в ряд Фурье.

Мощность, потребляемая АТИАУДИО (без управляющей ЭВМ) от сети переменного напряжения 220 В, не более 30 ВА. Габаритные размеры тестера не более 120x270x350 мм. Масса тестера вместе с адаптером не более 3 кг.

Автоматизированные тестеры АТИКОУ и АТИАУДИО показали высокие эксплуатационные качества и существенное повышение производительности труда (по сравнению с известным тестером венгерского производства – в несколько десятков раз). Время испытания по полной программе 4-секционного операционного усилителя LM324 составляет менее одной секунды.

Применение узкоспециализированных тестеров позволило упростить их конструкцию, уменьшить габариты и вес, обеспечить измерение специфических параметров и существенно повысить производительность труда.

Тестеры АТИКОУ и АТИАУДИО используются на предприятии «ЗАО «Группа Кремний Эл». Их целесообразно применять в условиях серийного производства и для организации входного контроля интегральных микросхем различных компараторов, операционных усилителей и аудиоусилителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берту, Ф. Контрольно-измерительное оборудование – какой форм-фактор выбрать?/Ф. Берту // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2013. – № 8. – С. 148 – 150.
2. Тестер «Формула 2К». Режим доступа: [http://www.form.ru/?option=com\\_content&view=article&id=6&Itemid=184&vmenu=0](http://www.form.ru/?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=184&vmenu=0).
3. Система для тестирования операционных усилителей. Режим доступа: <http://russia.ni.com/systems/electronics/operationalamplifiers>.

Материал поступил в редколлегию 20.01.15.