

УДК 681.5.09

**О.Г. АВРУНИН<sup>2</sup>, Ю.Н. КОРЖ<sup>1</sup>, О.Я. КРУК<sup>2</sup>, Т.В. НОСОВА<sup>2</sup>, В.В. СЕМЕНЕЦ<sup>2</sup>,  
А.И. ТЫРТЫШНИКОВ<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Украина*<sup>2</sup>*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина*

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АНАЛОГОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И СХЕМОТЕХНИКИ

*Показана актуальность разработки «интеллектуальных» лабораторных стендов для изучения электроники и аналоговой схемотехники, оснащенных гибкой многофункциональной системой защиты от ошибок и «некорректных» действий пользователя. Сформулированы основные требования к встроенной системе защиты лабораторного стенда, представлен пример ее практической реализации. За год интенсивного использования в учебном процессе Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка четырнадцати комплектов ЛС не зафиксировано ни одного отказа.*

**Ключевые слова:** лабораторный стенд, система защиты, отказоустойчивость, надежность функционирования.

### Введение

Особое место в системе подготовки инженеров радиотехнического профиля занимают лабораторные практикумы по исследованию свойств компонентов и типовых схем – как аналоговых, так и цифровых устройств и функциональных узлов. Причем, если цифровые устройства на логическом уровне могут вполне адекватно моделироваться программными средствами, то исследования на физическом уровне (на уровне токов и напряжений) аналоговых схем необходимо проводить, по вполне понятным причинам, с использованием реального измерительного оборудования и соответствующих лабораторных стендов [1].

Проведенное авторами обзорное исследование рынка выявило, в частности, практически полное отсутствие доступных и надежных технических решений для проведения лабораторных практикумов по аналоговой электронике и схемотехнике, при несомненном наличии потребности в таковых. Поэтому специалистами Харьковского национального университета радиоэлектроники и Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка был совместно разработан комплект лабораторных стендов (ЛС), предназначенный для изучения основ электроники и аналоговой схемотехники. ЛС позволяют получить практические навыки исследования полупроводниковых приборов разных типов, различных схем на транзисторах и операционных усилителях (усилителей, генераторов, активных RC- фильтров и др.) [2].

Надежность и отказоустойчивость ЛС, как и любого другого радиоэлектронного оборудования, определяется различными факторами, которые можно разделить на конструктивные, производственные и эксплуатационные. Конструктивные факторы обусловлены надежностью электронных элементов, достоинствами и недостатками схемных и конструктивных решений, принятых при проектировании. Производственные факторы – соблюдение технологии изготовления узлов схемы, контроль качества изготовления и монтажа.

Многолетний опыт проведения авторами лабораторных работ позволяет утверждать, что подавляющее большинство отказов лабораторного оборудования, в силу специфики его использования, происходит именно под влиянием эксплуатационных факторов, которые являются, сравнительно с прочими, наименее предсказуемыми. Следовательно, одним из наиболее эффективных способов повышения надежности и отказоустойчивости ЛС может быть оснащение их гибкой и многофункциональной («интеллектуальной») системой защиты оборудования от ошибок и «некорректных» действий пользователя – обучаемого, выполняющего лабораторную работу [3, 4].

### 1. Постановка задачи

К наиболее часто встречающимся ошибочным действиям пользователя, вызывающим отказы ЛС, можно отнести «переполюсовки» питания, короткие замыкания, ошибки в коммутации эле-

ментов, приводящие к их повреждению и т.д. Современное лабораторное оборудование, в частности, лабораторные источники электропитания, имеют встроенные схемы защиты, позволяющие минимизировать последствия некоторых из названных ошибочных действий. Однако, для обеспечения отказоустойчивости самих исследуемых устройств стандартных решений, защищающих преимущественно источники питания и измерительное оборудование, зачастую недостаточно. Пример – превышение допустимого тока через конкретный компонент исследуемого устройства вовсе не обязательно является превышением допустимого выходного тока источника питания. Кроме того, возможны «некорректные» действия пользователя, не являющиеся, по сути, ошибками, на которые встроенные схемы защиты лабораторного оборудования в принципе не способны реагировать. Например, слишком медленное снятие статических вольтамперных характеристик (ВАХ) транзистора приводит к его перегреву, что может привести как к выходу его из строя, так и к получению мелких ожоговых травм пользователем.

Задача обеспечения отказоустойчивости и надежности функционирования ЛС с учетом рассмотренных специфических условий его эксплуатации сводится к построению встроенной в него гибкой и многофункциональной («интеллектуальной») системы защиты от ошибок и «некорректных» действий пользователя.

При этом система защиты должна отвечать следующим основным требованиям:

- дополнять встроенные схемы защиты лабораторного оборудования, но не дублировать их функции;
- не сужать функциональные возможности стенда;
- не оказывать влияния на измеряемые параметры и характеристики исследуемых устройств;
- не увеличивать существенно стоимость и сложность ЛС.

## 2. Краткая характеристика ЛС

Разработанный комплект ЛС состоит из трех стендов: ЛС-1, ЛС-2 и ЛС-3. Их внешний вид показан на рисунках 1, 2, 3 соответственно.

ЛС-1 предназначен для изучения полупроводниковых приборов и несложных схем с их применением. Он позволяет проводить следующие лабораторные работы:

- исследование ВАХ биполярного транзистора;

- исследование ВАХ полевого транзистора;
- исследование ВАХ полупроводниковых приборов (диод, светодиод, стабилитрон, варикап);
- исследование схемы, форм сигналов и временных характеристик мультивибратора;
- исследование транзисторного ключа и генератора пилообразного напряжения.

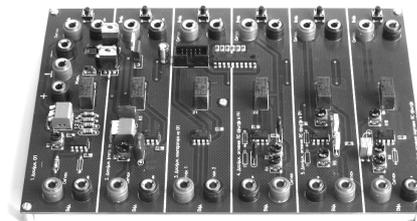


Рис. 1. Стенд ЛС-1

ЛС-2 предназначен для изучения операционных усилителей (ОУ) и схем с их применением и позволяет выполнять следующие лабораторные работы:

- исследование схемы с инвертирующим включением ОУ;
- исследование схем интегратора и дифференциатора на ОУ;
- исследование компаратора;
- исследование активных RC – фильтров на ОУ.

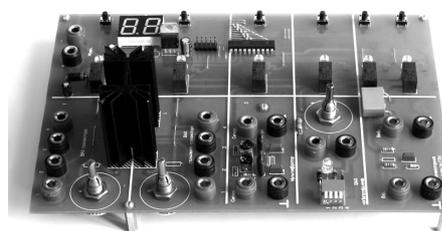


Рис. 2. Стенд ЛС-2

ЛС-3 предназначен для исследования усилителей и генераторов на биполярных транзисторах и позволяет исследовать схемы усилителя напряжения, избирательного усилителя и генератора трехточки.

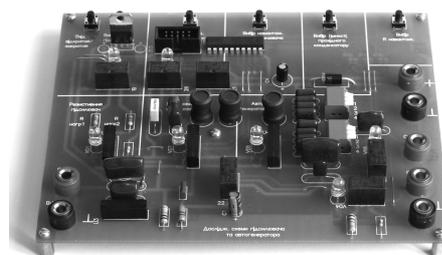


Рис. 3. Стенд ЛС-3

### 3. Система управления ЛС

Как видно, ЛС секционированы – на каждой плате размещен набор схем, сгруппированных по конструктивным и функциональным признакам. Особенностью стендов является то, что шина питания устройств является общей и коммутируемой. Выбор устройства для исследования и подача питания на него производится при помощи схемы управления (представлена на рис. 4.), реализованной на микроконтроллере (МК) фирмы Atmel и наборе реле, что полностью устраняет необходимость каких-либо перекоммутаций блока питания и стенда при смене исследуемого устройства.

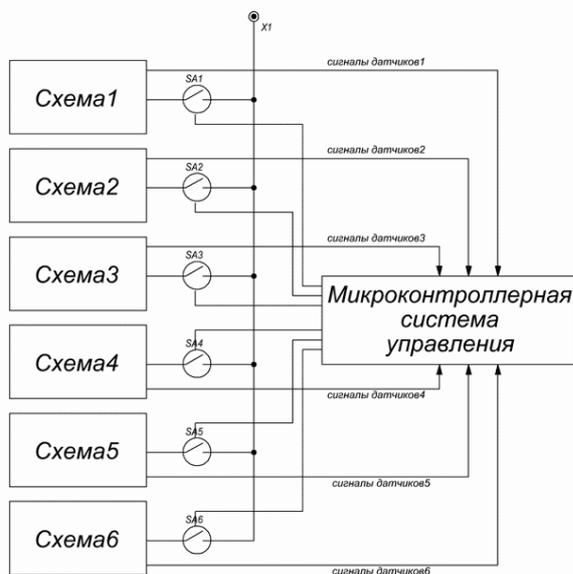


Рис. 4. Схема управления ЛС

Конструктивное исполнение элементов системы управления ЛС представлено на рис. 5.

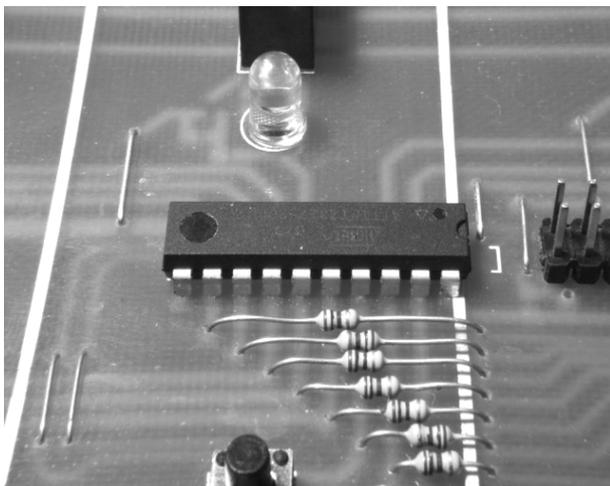


Рис. 5. Конструктивное исполнение элементов системы управления ЛС

### 4. Система защиты ЛС

Схемные решения, примененные в разработанных стендах, можно разделить на две группы. Первая группа – «стандартные» схемные решения, к которым относятся: применение высокоскоростных диодов Шотки, защищающих устройства от «переплюсовки» питающих напряжений, применение широкодиапазонных стабилизаторов напряжения с защитой от перегрева и коротких замыканий в нагрузке. Конструктивное исполнение этих элементов показано на рисунке 6.

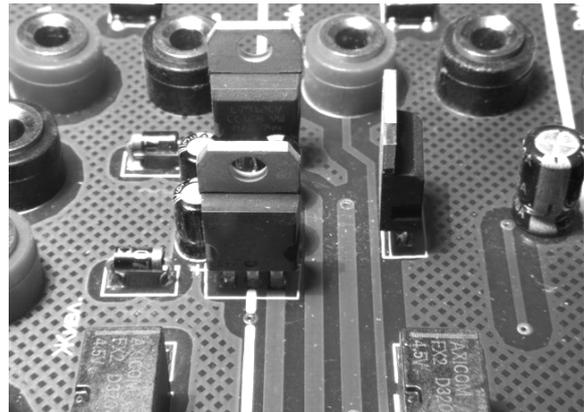


Рис. 6. Конструктивное исполнение стандартных элементов системы защиты ЛС

Наличие в составе стенда микроконтроллерной системы управления, реализованной на МК с богатым набором периферии и поддержкой высокоскоростных интерфейсов, не требующих дополнительных источников питания, позволяет построить на ее основе систему защиты и обеспечения надежности функционирования ЛС, позволяющую «предугадывать и нейтрализовать» ошибки и некорректные действия пользователя при выполнении лабораторной работы. Наличие широкого ассортимента недорогих и функциональных датчиков и исполнительных устройств различного назначения, в сочетании с возможностью перепрограммирования МК без извлечения из его из стенда, позволяет развивать и дополнять систему защиты с учетом опыта эксплуатации ЛС.

В качестве примера рассмотрим реализацию защиты активных элементов стенда ЛС-1 от перегрева при снятии статических характеристик транзисторов.

Для контроля температурного режима мощных транзисторов, примененных в стенде, применен цифровой термометр DS18B20. Эта микросхема обладает рядом отличительных особенностей, среди которых:

- уникальный однопроводный интерфейс (для подключения необходим только один вывод порта МК);

– «паразитное питание» непосредственно от сигнальной линии, благодаря чему необходимости в локальном источнике питания и других внешних компонентах;

– возможность многоабонентской работы, что упрощает создание приложений, осуществляющих распределённое измерение температуры. Датчик имеет уникальный 64-битный серийный номер, который используется как узловой адрес датчика, что и позволяет множеству микросхем DS18B20 сосуществовать на одной проводной шине;

– высокая скорость преобразования температуры в 12-битовое слово (максимум 750 мс);

– точность измерения температуры не хуже  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ;

– задаваемые пользователем энергонезависимые параметры настройки температурных сигналов.

– команда поиска сигнала распознаёт и адресует те устройства, температура которых вне запрограммированных границ (условие температурной сигнализации).

Рисунок 7 иллюстрирует логику изменения состояния выводов МК при «отслеживании» сигнала с датчика температуры. Область безопасных температур (от 0 до  $T_{\text{уст.}} + dT$ ) ограничена максимальным значением в  $60^{\circ}\text{C}$ . Как только температура превышает названный порог, МК с помощью исполнительного реле отключает схему от источника питания. Далее МК обрабатывает данные поступающие с датчика, и при снижении температуры ниже  $40^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{уст.}}$ ) разрешает возобновление питания схемы.

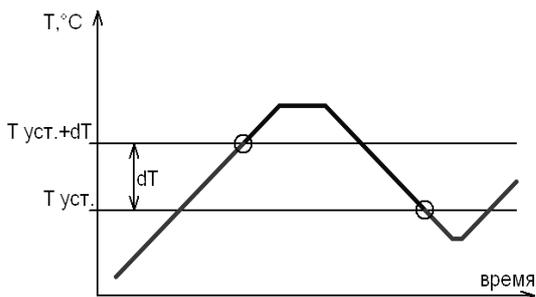


Рис. 7. Логика изменения состояния выводов МК при отслеживании сигнала с выхода датчика температуры

В листинге 1 приведен фрагмент программы, обеспечивающего «отслеживании» сигнала с датчика температуры.

При использовании в качестве термостата во внутренней энергонезависимой памяти DS18B20 пользователем программируются верхнее и нижнее граничные значения температурного диапазона (ТН

и ТЛ). Внутренний регистр флагов будет установлен, когда измеренная температура окажется больше ТН или меньше ТЛ.

Листинг 1.

```
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
    TCNT0=0x0F;
}
//-----
interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)
{
    BYTE t1;
    BYTE t2;
    BYTE i;
    TCNT1H=0x8F;
    TCNT1L=0xD1;
    w1_init();
    for (i=0; i<11; i++)
    {
        RefreshDisplay();
    }
    w1_write(0xCC);
    for (i=0; i<11; i++)
    {
        RefreshDisplay();
    }
    Updating = !Updating;
    if (Updating)
    {
        w1_write(0xBE);
        for (i=0; i<11; i++)
        {
            RefreshDisplay();
        }
        t1=w1_read(); //LSB
        for (i=0; i<11; i++)
        {
            RefreshDisplay();
        }
        t2=w1_read(); //MSB
        Ff = (t1 & 0x0F);
        t2 = t2 << 4;
        t1 = t1 >> 4;
        T = (t2 & 0xF0) | (t1 & 0x0F);
    }
    else
    {
        w1_write(0x44);
    }
}
```

Подпрограмма считывает значения флагов. При этом шестнадцатиразрядный таймер TCNT1 отсчитывает временные интервалы, а восьмизразрядный таймер TCNT0 обеспечивает вывод информации на динамический индикатор. То есть, МК отслеживает, на сколько увеличивается температура за заданный период времени и на основе измерений определяет, может ли схема безопасно функционировать дальше или необходимо ее отключение.

## Заключение

Развитие современной полупроводниковой элементной базы позволяет создавать лабораторные стенды нового поколения, отличающиеся от предшественников наличием недорогой и эффективной системы защиты от ошибок и «некорректных» действий пользователя. При использовании современных МК в системе управления стендом она естественным образом и с минимальными дополнительными затратами способна выполнять функции «интеллектуальной» системы защиты ЛС.

Реализованная в комплекте ЛС для изучения основ электроники и аналоговой схемотехники система защиты, использующая как стандартные, так и «интеллектуальные» решения, действительно обеспечивает надежное и безотказное функционирование стендов. Это подтверждается тем, что за год интенсивного использования в учебном процессе Полтавского национального технического университета им. Юрия Кондратюка четырнадцать комплектов ЛС не зафиксировано ни одного их отказа.

## Литература

1. Швец Ю.А. Организация научно-методической работы в ВУЗЕ с учетом требований дистанционной формы обучения // Сборник научных трудов 9-й Международной конференции Образование и виртуальность / Ю.А. Швец. – Х.: УАДО, 2005. – С. 43-47.

2. Аврунин О.Г., Аверьянова Л.А. Бых А.И. Головенко В.М., Скляр О.И. Методика создания виртуальных средств имитации работы рентгеновского компьютерного томографа // Техническая электродинамика / О.Г. Аврунин. – К., 2007. – С. 105-110.

3. Ревич Ю. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера / Ю. Ревич. – СПб.: БХВ, 2008. – 384 с.

4. Тимофеев А.В. Интеллектуальное и мульти-агентное управление робототехническими системами с использованием моделей виртуальной реальности №3 / А.В. Тимофеев. – М.: Мехатроника, 2000. – С. 26-31.

Поступила в редакцию 3.02.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Ф. Кривуля, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина.

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АНАЛОГОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА СХЕМОТЕХНІКИ

*О.Г. Аврунін, Ю.М. Корж, О.Я. Крук, Т.В. Носова, В.В. Семенец, О.І. Тиртишніков*

Показана актуальність розробки «інтелектуальних» лабораторних стендів для вивчення електроніки і аналогової схемотехніки, оснащених гнучкою багатофункціональною системою захисту від помилок та «некоректних» дій користувача. Сформульовані основні вимоги до убудованої системи захисту лабораторного стенда, представлений приклад її практичної реалізації. За рік інтенсивного використання у учбовому процесі Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка чотирнадцять комплектів ЛС не зафіксовано жодної відмови.

**Ключові слова:** лабораторний стенд, система захисту, надійність функціонування.

### FAULT-TOLERANCE SUPPORT FOR LAB TEST BENCH USED FOR STUDING ANALOG ELECTRONICS AND CIRCUIT ENGINEERING

*O.G. Avrunin, Yu.M. Korzh, O.Ya. Kruk, T.V. Nosova, V.V. Semenev, O.I. Tirtishnikov*

The urgency of development of "intellectual" laboratory stands for studying electronics and the analog circuitry, equipped by flexible multipurpose system of protection against mistakes and "incorrect" actions of the user is shown. The basic requirements to the built in system of protection of the laboratory stand are formulated, the example of its practical realization is presented. It is proved that there were no failures during a year of intensive use of fourteen complexes.

**Keywords:** the laboratory test bench, system of protection, reliability of functioning.

**Аврунин Олег Григорьевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры биомедицинских электронных устройств и систем ХНУРЭ; Харьков, Украина, e-mail: gavrun@list.ru.

**Корж Юрий Николаевич** – старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии Полтавского НТУ имени Юрия Кондратюка; Полтава, Украина.

**Крук Олег Ярославович** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры биомедицинских электронных устройств и систем, ХНУРЭ; Харьков, Украина, e-mail: olegat\_ok@ukr.net.

**Носова Татьяна Витальевна** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры биомедицинских электронных устройств и систем, ХНУРЭ; Харьков, Украина, e-mail: gavrun@list.ru.

**Семенец Валерий Васильевич** – д-р техн. наук, профессор, первый проректор, ХНУРЭ; Харьков, Украина, e-mail: bykh@kture.kharkov.ua.

**Тыртышников Алексей Иванович** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой компьютерной инженерии, Полтавского НТУ имени Юрия Кондратюка; Полтава, Украина, e-mail: alexey\_pntu@mail.ru.