

Углубление самоконтроля контрольно-проверочной аппаратуры изделий систем управления: самоконтроль плат аналогового ввода до конечной сборки аппаратуры

Часть 1

С. Белов¹

УДК 621.317.799+53.089.6+53.087.4+004.42 | ВАК 05.11.13

В рамках работ по углублению самоконтроля контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) изделий систем управления (ИСУ) предлагается методика проверки плат аналогового ввода в составе КПА после их покупки, настройки, ремонта или модернизации – до использования стандартных тестов самоконтроля КПА.

Методика позволяет исключить ошибки человеческого фактора при монтаже делителей напряжения (контроль очередности каналов, работы делителей напряжения, качества пайки), калибровке (контроль смещения нуля), проверке функционирования (контроль внутреннего сопротивления каналов, отсутствия наводок). Становится возможным автоматический расчет масштабных коэффициентов без использования лабораторного оборудования с точностью до 4-го знака включительно.

Были разработаны диагностическая печатная плата и ПО, произведено макетирование на тестовой ЭВМ с платой аналогового ввода от КПА.

ВВЕДЕНИЕ

Политика повышения качества продукции и бережливо-го производства подразумевает разработку новых и переработку существующих средств самоконтроля аппаратуры с целью его углубления. Практика показала, что качественный самоконтроль требует не только обнаружения существующих ошибок [1], но и предотвращения их возникновения в будущем [2].

В данной статье рассматриваются ошибки не КПА, собранной для конечного потребителя, а плат аналогового ввода в ее составе. Предлагаемая методика направлена на поиск ошибок, связанных с человеческим фактором при сборочно-монтажных и калибровочных работах, а также брака производителя.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Разработка КПА на предприятии предполагает наличие в ее составе нескольких плат аналогового ввода, приобретенных у сторонних производителей.

КПА использует напряжение +27 В для питания ИСУ [3] как электроприемников первой категории [4]. Однако технические характеристики выбранных плат аналогового ввода позволяют измерять на канале не более ± 10 В при работе в биполярном режиме [5, 6].

Для анализа напряжения +27 В данными платами требуется резистивный делитель напряжения на каждом канале. Делители монтируются либо на саму плату (если предусмотрены посадочные места), либо на отдельную печатную плату в составе блока сопряжения. Эти операции выполняются монтажным цехом. В обоих вариантах возможны ошибки сборочно-монтажных работ в результате влияния человеческого фактора:

- перекрестная пайка делителей напряжения (паразитные припойные перемычки, остаточный флюс), вследствие чего напряжение направляется на не предназначенные для него каналы. Возникает опасность превышения порогового напряжения 10 В на этих каналах. В итоге при запуске самоконтроля КПА (проведении теста длительностью десятки секунд) плата аналогового ввода может быть повреждена;

¹ АО «ГосНИИП», ведущий инженер, for-work2016@mail.ru.

- резисторы перепутаны в рамках одного делителя напряжения. В результате реальное напряжение на канале становится не равным расчетному. На канал может поступить напряжение, превышающее пороговое. При запуске самоконтроля КПА плата может быть повреждена;
- непропай, вызывающий искажение измеряемой величины вследствие падения напряжения на его участке цепи.

Платы аналогового ввода могут поставляться изготовителем без первоначальной калибровки. Калибровка должна проводиться пользователем либо вручную, либо полуавтоматически с помощью ПО изготовителя, согласно предоставляемой им инструкции по эксплуатации платы. Такая методика калибровки вводит в процесс человеческий фактор.

Нельзя исключать и брак производителя: например, низкое внутреннее сопротивление каналов.

Из вышесказанного следует вывод: до проведения самоконтроля КПА в сборе необходимо производить предварительный контроль плат аналогового ввода. Для этого требуется разработать аппаратно-программные средства их проверки в составе КПА безопасным напряжением, не превышающим пороговое.

ТЕОРИЯ

Во избежание путаницы здесь и далее плата аналогового ввода обозначается аббревиатурой ПАВ, диагностическая печатная плата – ДПП.

Для решения задачи предполагается разработка ДПП, подключаемой к входному разъему ПАВ. ДПП подает в каналы ПАВ определенные сигналы, разработанное ПО для ДПП анализирует результаты измерения.

Концепция ДПП:

- на каждый канал ПАВ подается уникальное безопасное напряжение, отличающееся от канала к каналу на определенную величину;
- эталонным значением на канале считается напряжение, измеренное с заведомо исправной и точно настроенной ПАВ с помощью заведомо исправной ДПП;
- отклонение измеренного каналом ПАВ напряжения от заданного ДПП считается признаком ошибки;
- в случае наличия ошибок по номиналам напряжений ПАВ возвращается в монтажный цех на доработку;
- в случае отсутствия ошибок по номиналам напряжений возможна проверка калибровки платы (оценка смещения нуля). При наличии ошибок по смещению нуля ПАВ должна быть откалибрована повторно;
- в случае отсутствия ошибок по смещению нуля появляется возможность автоматически рассчитать

масштабные коэффициенты для каждого канала ПАВ, зная разницу напряжения на каналах ДПП и каналах ПАВ.

Плюсом использования ДПП является отсутствие необходимости лабораторных источников питания, сторонних плат и жгутов. Прежний способ расчета масштабных коэффициентов для КПА, производившегося вручную, требовал наличия лабораторного источника питания (подача стабилизированного напряжения), удлинителя кабеля (подведение контактов ПАВ к рабочей зоне), специальной платы (адаптация каналов ПАВ под ручную работу). Требовались большая длина проводников, дорогостоящее оборудование, избыток разъемных соединений, ручная работа, что приводило к ошибкам, порожденным человеческим и техническим факторами.

Уникальность напряжения на каждом канале ПАВ может быть реализована простым делителем напряжения +5 В DC на 32 части для 32 каналов ПАВ, с дискретным изменением 0,156 В/канал (32 последовательных резистора).

Использование источников питания, не обладающих точностью лабораторных моделей, подразумевает отклонение напряжения от номинала +5 В в обе стороны, как постоянного, так и изменяющегося в реальном времени (высокочастотные помехи). Кроме того, погрешность резисторов в составе делителя напряжения может отличаться от заявленной. Из этого следует, что специалист, проверяющий ПАВ, должен знать заранее, какое напряжение с ДПП должно подаваться на каждый из каналов ПАВ. Для этого требуется указывать в анализирующем ПО номиналы делителей напряжения для каждого канала ПАВ и подаваемое на делители сглаженное напряжение от источника питания +5 В DC.

ПРАКТИКА

Напряжение +5 В DC является безопасным для ПАВ, легким в получении от разъема USB материнской платы КПА, а также от имеющихся в изобилии внешних источников питания.

Практическое исследование максимального тока от разъема USB [7] показало значительное его превышение над заявленным в стандарте USB 2.0 значением 0,5 А. На практике эта величина может достигать 2,66 А и зависит от сечения проводника производителя кабеля USB [8]. Зная напряжение разъемов USB конкретной КПА, можно использовать ее совместно с ДПП как тестовый стенд для проверки ПАВ, что исключает необходимость создания отдельного тестового стенда.

Электрическая схема ДПП показана на рис. 1. С учетом опыта прошлых разработок и взаимодействия с изготовителями плат [9] был определен максимальный размер ДПП 100 × 100 мм (для уменьшения стоимости) и толщина 1,6 мм (для улучшения охлаждения). Конструкция

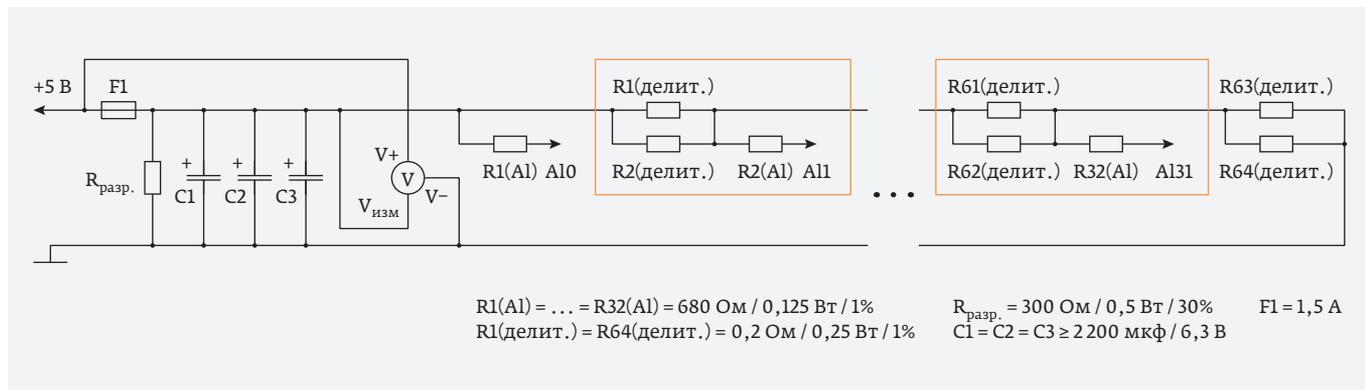


Рис. 1. Электрическая схема ДПП

печатного основания ДПП в ПО Sprint-Layout v.6.0 показана на рис. 2.

Размер ДПП определил использование резисторов с рассеиваемой мощностью 0,25 Вт, удалось использовать и выводные, и SMD-резисторы. Для защиты резисторов от перегрева, а проводящего проверку специалиста – от ожогов количество резисторов R1(делит) было увеличено вдвое. В результате их температура при многочасовой работе, температуре в помещении +24 °С, толщине ДПП 0,6 мм и рассеиваемой мощности 0,125 Вт составила +97 °С. При толщине ДПП 1,6 мм значение температуры будет еще меньше.

Три конденсатора суммарной емкостью до 9900 мкФ (больше не позволяют размеры ДПП) обеспечивают сглаживание входного напряжения на ПАВ.

В качестве источника питания использовался адаптер 5 В/2.5 А DSA-0131F-05. При измерении напряжения с помощью мультиметра Арра 505 было получено неизменное значение 5,218 В на холостом ходу источника питания. Флуктуация напряжения, полученная осциллографом Tektronix TPS 2024, составила ±0,024 В от усредненного значения на холостом ходу. Мультиметр Арра 205 при включении в сеть показал ток ≈1,4 А (измерение тока искажено из-за малого сопротивления нагрузки и высокого внутреннего сопротивления мультиметра).

ДПП была подключена к откалиброванной ПАВ Advantech PCI-1713U без делителей напряжения и проанализирована с помощью встроенного ПО Advantech Device Manager. Максимальная флуктуация напряжения

на каналах ПАВ составила 0,024 В (равна значению, полученному на осциллографе), разница напряжения на каналах составила 0,13–0,16 В при опорном напряжении ±10 В. Это доказывает на практике, что напряжения источника питания 5 В достаточно при работе с ДПП.

Однако ПО Advantech Device Manager имеет ряд недостатков:

- минимальный период измерения данных 200 мс, в то время как в составе КПА период обращения к ПАВ составляет 2 мс;
- присутствует человеческий фактор при чтении значений;
- опорное напряжение по умолчанию не оптимально по критерию точности измерения напряжения на канале;

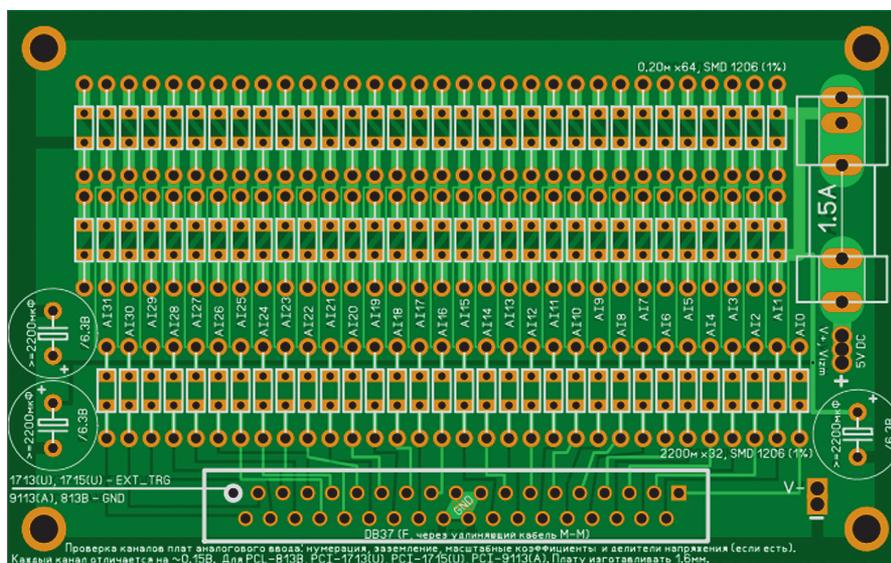


Рис. 2. Внешний вид печатного основания ДПП в ПО Sprint-Layout v.6.0. Двусторонняя печатная плата, позволяет использовать разъемы DB37M и переходной DB37F (в случае необходимости использования удлиняющего кабеля D-SUB DB37 – например, Advantech PCL-10137H)

- неизвестны алгоритмы работы ПО, разработанного сторонней организацией; это может приводить к неверным результатам, что было доказано ранее [10].

В связи с вышесказанным было разработано собственное ПО с увеличенной частотой измерения и оценкой дополнительных величин [11]:

- $U_{\text{эталонное}}$ – эталонное напряжение, от которого зависят все расчеты. Измеряется при заведомо исправных ДПП и ПАВ и сохраняется в настройках ПО;
- $U_{\text{считанное}}$ – напряжение, одновременно получаемое с каналов ПАВ путем вызова функции DRV_MAIVoltageIn;
- $U_{\text{считанное цифровое}}$ – величина, получаемая с каналов АЦП ПАВ путем вызова функции DRV_MAIBinaryIn;
- $U_{\text{считанное среднее}}$ – среднее арифметическое значений напряжения на канале за все время считывания;
- $U_{\text{разброса максимальное}}$ – максимальная разница между расчетным и считанным напряжением за все время считывания;
- $U_{\text{разброса среднее}}$ – средняя разница между расчетным и считанным напряжением за все время считывания;
- $K_{\text{масштабный средний расчетный}}$ – масштабный коэффициент делителя напряжения канала, если он присутствует между выходом ДПП и входом ПАВ. Рассчитывается путем деления $U_{\text{эталонное}}$ на $U_{\text{считанное среднее}}$. Если эталонное напряжение равняется 0 В, данный коэффициент считается равным 1 при расчетах смещения нуля;

- $U_{\text{опорное}}$ – напряжение, определяющее точность измерения ПАВ;
- $U_{\text{смещения расчетное}}$ – смещение нуля на канале ПАВ. Рассчитывается так же, как $U_{\text{разброса среднее}}$ за все время измерений. Смещение нуля рассчитывается только при $U_{\text{эталонное}} = 0$ В и отключенном источнике питания ДПП, чтобы иметь фиксированный масштабный коэффициент, равный 1.

Пример использования ДПП и разработанного для нее ПО показан на рис. 3. В данном случае делители напряжения не установлены, и расчеты масштабного коэффициента приближены к значению 1 с точностью 4-го знака после запятой.

Дальнейшие действия были направлены на отладку и модернизацию ПО и платы ДПП, в том числе на:

- определение характера флуктуации напряжения на канале, полученной программой Advantech Device Manager;
- добавление проверки внутреннего сопротивления каналов ПАВ.

Данные исследования будут представлены во второй части статьи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Макетирование с использованием ДПП и ПАВ показало эффективность создаваемых средств автоматического самоконтроля ПАВ в составе КПА при решении задач:

- идентификации каналов;
- поиска разрывов, замыканий, непропаев;
- оценки смещений нуля;

| Каналы | Стоп (допуска) | Усроч | Усчит | Усчит цифр. | Усчит ср. | Уразбр. макс. | Уразбр. ср. | Кмашит ср. рас | Uопорн. | Uсмещ. расч. |
|--------|----------------|-----------|-----------|-------------|-----------|---------------|-------------|----------------|---------|--------------|
| 0 | 0 | 5,0851241 | 5,0756835 | 2084 | 5,0835205 | 0,0192060 | 0,0033742 | 1,0003154 | 0-10В | -21474836 |
| 1 | 1 | 4,9259391 | 4,9291992 | 4035 | 4,9245693 | 0,0162720 | 0,0024281 | 1,0002783 | 0-5В | -21474836 |
| 2 | 2 | 4,7689301 | 4,7668457 | 3908 | 4,7680063 | 0,0167331 | 0,0023548 | 1,0001938 | 0-5В | -21474836 |
| 3 | 3 | 4,6120201 | 4,6130371 | 3781 | 4,6113935 | 0,0148520 | 0,0022748 | 1,0001358 | 0-5В | -21474836 |
| 4 | 4 | 4,4551641 | 4,4555664 | 3650 | 4,4547397 | 0,0130252 | 0,0022390 | 1,0000952 | 0-5В | -21474836 |
| 5 | 5 | 4,2983151 | 4,2993164 | 3524 | 4,2980805 | 0,0136475 | 0,0021701 | 1,0000547 | 0-5В | -21474836 |
| 6 | 6 | 4,1408191 | 4,1418457 | 3389 | 4,1409018 | 0,0124020 | 0,0021056 | 0,9999802 | 0-5В | -21474836 |
| 7 | 7 | 3,9831771 | 3,984375 | 3264 | 3,9838122 | 0,0134503 | 0,0020735 | 0,9998404 | 0-5В | -21474836 |
| 8 | 8 | 3,8259921 | 3,8269042 | 3132 | 3,8267995 | 0,0112950 | 0,0020592 | 0,9997890 | 0-5В | -21474836 |
| 9 | 9 | 3,6683011 | 3,6657714 | 3006 | 3,6690192 | 0,0110750 | 0,0020397 | 0,9998043 | 0-5В | -21474836 |
| 10 | 10 | 3,5108711 | 3,5119628 | 2875 | 3,5112158 | 0,0123360 | 0,0019557 | 0,9999018 | 0-5В | -21474836 |
| 11 | 11 | 3,3534441 | 3,3508300 | 2749 | 3,3536235 | 0,0099389 | 0,0019482 | 0,9999467 | 0-5В | -21474836 |
| 12 | 12 | 3,1959791 | 3,1982421 | 2618 | 3,1962065 | 0,0099444 | 0,0019078 | 0,9999290 | 0-5В | -21474836 |
| 13 | 13 | 3,0388321 | 3,0407714 | 2488 | 3,0392229 | 0,0102682 | 0,0019016 | 0,9998716 | 0-5В | -21474836 |
| 14 | 14 | 2,8858721 | 2,8833007 | 2365 | 2,8862526 | 0,0098962 | 0,0017587 | 0,9998683 | 0-5В | -21474836 |
| 15 | 15 | 2,7288901 | 2,7307128 | 2236 | 2,7291916 | 0,0103845 | 0,0017921 | 0,9998896 | 0-5В | -21474836 |
| 16 | 16 | 2,5714291 | 2,5732421 | 2108 | 2,5716948 | 0,0091733 | 0,0017619 | 0,9998967 | 0-5В | -21474836 |
| 17 | 17 | 2,4145821 | 2,4169921 | 1984 | 2,4148908 | 0,0067455 | 0,0012849 | 0,9998723 | 0-2,5В | -21474836 |
| 18 | 18 | 2,2572501 | 2,2509765 | 1859 | 2,2577685 | 0,0062742 | 0,0012634 | 0,9997707 | 0-2,5В | -21474836 |
| 19 | 19 | 2,0998551 | 2,0977783 | 1739 | 2,1005671 | 0,0063500 | 0,0012286 | 0,9996613 | 0-2,5В | -21474836 |
| 20 | 20 | 1,9427151 | 1,9403076 | 1615 | 1,9432200 | 0,0054600 | 0,0011069 | 0,9997405 | 0-2,5В | -21474836 |
| 21 | 21 | 1,7848711 | 1,7828369 | 1491 | 1,7853709 | 0,0056962 | 0,0011397 | 0,9997200 | 0-2,5В | -21474836 |
| 22 | 22 | 1,6276681 | 1,6259765 | 1367 | 1,6283571 | 0,0050218 | 0,0011167 | 0,9995771 | 0-2,5В | -21474836 |
| 23 | 23 | 1,4706511 | 1,4715576 | 1243 | 1,4713516 | 0,0045869 | 0,0010687 | 0,9995240 | 0-2,5В | -21474836 |
| 24 | 24 | 1,3133811 | 1,3146972 | 1119 | 1,3139686 | 0,0043675 | 0,0009997 | 0,9995530 | 0-2,5В | -21474836 |
| 25 | 25 | 1,1559861 | 1,1572265 | 1000 | 1,1566671 | 0,0030711 | 0,0009274 | 0,9994115 | 0-1,25В | -21474836 |
| 26 | 26 | 0,9989791 | 1,0000610 | 876 | 0,9997829 | 0,0029122 | 0,0009149 | 0,9991966 | 0-1,25В | -21474836 |
| 27 | 27 | 0,8412001 | 0,8416748 | 752 | 0,8420310 | 0,0029155 | 0,0009482 | 0,9990137 | 0-1,25В | -21474836 |
| 28 | 28 | 0,6845341 | 0,6851196 | 628 | 0,6854666 | 0,0030260 | 0,0009607 | 0,9986407 | 0-1,25В | -21474836 |
| 29 | 29 | 0,5275991 | 0,5282592 | 504 | 0,5286074 | 0,0027956 | 0,0009913 | 0,9980939 | 0-1,25В | -21474836 |
| 30 | 30 | 0,3705291 | 0,3720092 | 380 | 0,3716253 | 0,0033112 | 0,0010856 | 0,9970501 | 0-1,25В | -21474836 |
| 31 | 31 | 0,2141601 | 0,2151489 | 256 | 0,2153208 | 0,0028192 | 0,0011582 | 0,9946119 | 0-1,25В | -21474836 |

Рис. 3. Пример значений, полученных с ПАВ Advantech PCI-1713U без делителей напряжения в ее составе

- расчета масштабных коэффициентов делителей напряжения ПАВ без использования дополнительного оборудования (пока на примере отсутствия делителей).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Белов С.** Углубление самоконтроля контрольно-проверочной аппаратуры изделий систем управления: однократные и многократные тесты плат расширения // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2022. № 4. С. 120–123.
2. **Белов С.** Углубление самоконтроля контрольно-проверочной аппаратуры изделий систем управления: расширение областей контроля // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2022. № 5. С. 88–91.
3. ГОСТ Р 54073-2017. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. П. 6.7. М.: Стандартинформ, 2018.
4. **Сазыкин В. Г., Кудряков А. Г.** Проектирование систем электроснабжения АПК. Книга 1. Современная концепция. Учебное пособие. Краснодар: ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2014. С. 79.
5. ADLINK. NuDAQ PCI-9113A. 32 Channels Isolated Analog Input Card. User's Guide/Taiwan, Taipei: ADLINK Technology Inc., 2002. P. 3.
6. Advantech. PCI-1713U. 32-ch Isolated Analog Input Card. User Manual/Taiwan, Taipei: Advantech Co., Ltd., 2009. P. 3.
7. Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC, Philips. Universal Serial Bus Specification. Revision 2.0 / World: Compaq Computer Corporation, Hewlett-Packard Company, Intel Corporation, Lucent Technologies Inc, Microsoft Corporation, NEC Corporation, Koninklijke Philips Electronics N.V., 2000. P. 178.
8. **Белов С. П.** Максимальная мощность от разъема USB (20.03.2015) / [Электронный ресурс] URL: <https://bad-good.ru/2015/march/usb-power.html>. 2015.
9. **Белов С. П.** Изготовление печатных плат на AliExpress (18.12.2017) / [Электронный ресурс] URL: <https://bad-good.ru/2017/december/pcb-ali.html>. 2017.
10. **Белов С. П.** Макетирование производительности файловой системы NTFS при нагрузке типа «запись данных на накопитель SSD» и разных размерах кластера NTFS // Петербургский журнал электроники. 2019. № 2. С. 59–66.
11. **Белов С. П.** Тестер плат аналогового ввода PCI-1713x v.1.3.0.0 / [Электронный ресурс] URL: https://bad-good.ru/programs.html#pci-1713_test. 2020.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 840 руб.

ЭТАЛОНЫ И СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Лукашкин В. Г., Булатов М. Ф.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России (2012–2018 годы)»

В книге рассмотрены общие вопросы метрологического обеспечения и единицы физических величин. Изложены основные задачи технических средств метрологического обеспечения в области электрорадиоизмерений. Даны оценки погрешности и неопределенности первичных и рабочих эталонов.

Книга может быть полезна студентам и аспирантам при выборе и обосновании эталонной базы в области электрорадиоизмерений, а также специалистам, занимающимся вопросами разработки, производства и оценки качества средств измерений, контроля и испытаний.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2018. – 402 с.,
ISBN 978-5-94836-512-1

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru

PRIST.RU



С НАМИ СУХО И ТОЧНО

Поставка, поверка и сервис:

Осциллографы | Генераторы сигналов | Анализаторы спектра | Анализаторы цепей | Усилители
Частотомеры | Вольтметры | Источники питания | Электронные нагрузки | Мультиметры
Токовые клещи | Измерители RLC | Калибраторы | Стандарты частоты | Тепловизоры | Меры



119071, г. Москва, 2-й Донской пр., д. 10, стр. 4; тел.: +7 (495) 777-5591; факс: +7 (495) 640-3023
196006, г. Санкт-Петербург, ул. Цветочная, д. 18, лит. В, офис 202; тел./факс: +7 (812) 677-7508
620089, г. Екатеринбург, ул. Цвиллинга, д. 58, офис 1; тел./факс: +7 (343) 317-3999; ek@prist.ru