

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

## Часть 2

С. Белов<sup>1</sup>

УДК 621.317.799 + 53.089.6 + 53.087.4 + 004.42 | ВАК 2.2.8

В первой части статьи [1] в рамках работ по углублению самоконтроля контрольно-проверочной аппаратуры (далее – КПА) изделий систем управления (далее – ИСУ) была обоснована необходимость введения в состав проверок дополнительного этапа: проверки плат аналогового ввода (далее – ПАВ) в составе КПА до использования стандартных тестов самоконтроля КПА. Была предложена методика проверки, приведены состав обеспечивающих ее аппаратно-программных средств и общие результаты макетирования рабочего места для проведения данной проверки.

В данном материале процесс макетирования освещен более подробно. Актуальность статьи обусловлена тем, что правильная постановка макетирования позволяет не только подтвердить пригодность создаваемого инструмента контроля для выполнения изначально поставленных перед ним задач, но и сформировать точное понимание границ его применимости, то есть глубины и достоверности проверок и настроек объекта контроля, проводимых с его помощью.

### ВВЕДЕНИЕ

Основными преимуществами, которые дает предложенная в [1] методика проверки ПАВ в составе КПА по сравнению с переходом к самоконтролю собранной КПА сразу после автономной проверки ПАВ по инструкции производителя, являются:

- исключение ошибок человеческого фактора при монтаже делителей напряжения на плату, ее калибровке, проверке функционирования;
- обеспечение возможности автоматического расчета масштабных коэффициентов с точностью до 5-го знака включительно без использования лабораторного оборудования;
- получение значений сопротивления каналов ПАВ.

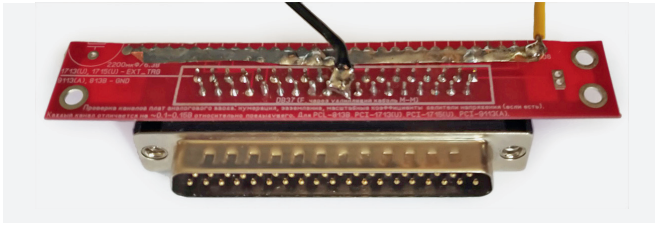
Были разработаны диагностическая печатная плата (далее – ДПП) [2] и ПО [3]. Произведено макетирование

рабочего места, основу которого составили ДПП с ее источником питания, тестовая ЭВМ, тестируемая ПАВ. Для удобства описания тесты и исследования, выполненные в ходе макетирования, выделены отдельными пунктами в соответствии с их целевым назначением, вне зависимости от реальной последовательности их проведения.

### ОЦЕНКА ПОМЕХИ В ЗНАЧЕНИЯХ ПАВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЕЮ СИГНАЛОВ С ДПП

До написания собственного ПО была предпринята попытка использовать ПО производителя (Advantech Device Manager). Однако это привело к наблюдению на экране помехи: флуктуации напряжения 0,024 В [1]. Потребовалось определить происхождение помехи (ПО, источник питания ДПП, ДПП или сама ПАВ) и установить величину максимальных флуктуаций напряжения на канале ( $U_{\text{разброса максимальное}}$ ).

<sup>1</sup> АО «ГосНИИП», ведущий инженер, for-work2016@mail.ru.



**Рис. 1.** Внешний вид ДПП2. 32 канала соединены между собой, 4 GND соединены между собой. EXT\_TRG не подключен ни к одной из групп

Для решения указанной задачи была создана другая ДПП (далее – ДПП2), в которой все 32 канала ПАВ соединены друг с другом (рис. 1), и написана отдельная технологическая программа, с помощью которой измерялось  $U_{\text{разброса максимальное}}$  при различных комбинациях ДПП, ДПП2, источника питания DSA-0131F-05 – и ПАВ как измерителя.

Были получены следующие результаты:

- ДПП2: 0 В;
- ДПП2 + источник (не в сети): 0,0189 В;
- ДПП2 + источник (в сети): 0,0322 В;
- ДПП: 0 В;
- ДПП + источник (не в сети): 0,00244 В;
- ДПП + источник (в сети): 0,0138 В;
- дополнительно ДПП2 + источник другого типа – Gwinstek SPS-3610 (в сети): 0,0161 В.

Частота проводимых измерений – до 834 Гц (на ядре Intel Core2Duo E4500 2,2 ГГц, Windows XP SP2) и до 1082 Гц (то же ядро, Windows XP RealTime Edition [4]). Оптимальное опорное напряжение по критерию точности измерения вычислялось автоматически для каждого отдельного канала ПАВ. Пример работы ПО и выдаваемая им информация показаны на рис. 2.

Полученные с помощью ПО массивы данных и их анализ соответствующими математическими инструментами позволили сделать выводы:

- ПАВ откалибрована корректно, все зафиксированные помехи происходят от источника питания ДПП;
- в максимальную помеху ДПП 0,0138 В ( $U_{\text{разброса максимальное}}$ ) входят помеха от источника питания, обычный и температурный шумы резисторов, смещение нуля и сторонние наводки. Средняя флуктуация напряжения ( $U_{\text{разбр. ср.}}$ ) оказалась в 2,43–7,11 раз меньше максимальной – что делает максимальную помеху при усреднении данных ничтожной;
- конденсаторы емкостью 6 600 мкФ дополнительно сглаживают считываемую ПАВ помеху – хотя их емкость ничтожна, исходя из формулы расчета сглаживающего конденсатора как ФНЧ [5]. Именно конденсаторы сглаживают  $U_{\text{разброса максимальное}}$  до 0,0138 В, без них – 0,0216 В.

Каналы	Стоп (допуска)	Урасч.	Усчит.	Усчит. цифр.	Усчит. ср.	Уразбр. макс.	Уразбр. ср.	Кмассит. ср. рас.	Уопорн.	Усмещ. 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	2480	3.0392229	0.0102682	0.0019016	0.9999716	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	3954	2.4148908	0.0067455	0.0012849	0.9998723	0-2.5В	-21474836
18	18	2.2572501	2.2509765	3703	2.2577685	0.0062742	0.0012634	0.9997707	0-2.5В	-21474836
19	19	2.0998551	2.0977783	3439	2.1005671	0.0063500	0.0012286	0.9996613	0-2.5В	-21474836
20	20	1.9427151	1.9403076	3185	1.9432200	0.0054600	0.0011069	0.9997405	0-2.5В	-21474836
21	21	1.7848711	1.7828369	2923	1.7853709	0.0056962	0.0011397	0.9997200	0-2.5В	-21474836
22	22	1.6276681	1.6259765	2668	1.6283571	0.0050218	0.0011167	0.9995771	0-2.5В	-21474836
23	23	1.4706511	1.4715576	2414	1.4713516	0.0045669	0.0010687	0.9995240	0-2.5В	-21474836
24	24	1.3133811	1.3146972	2150	1.3139686	0.0043675	0.0009997	0.9995530	0-2.5В	-21474836
25	25	1.1559861	1.1572265	3793	1.1566671	0.0030711	0.0009274	0.9994115	0-1.25В	-21474836
26	26	0.9999791	1.0000610	3273	0.9997829	0.0029122	0.0009149	0.9991966	0-1.25В	-21474836
27	27	0.8412001	0.8416748	2762	0.8420310	0.0029155	0.0009482	0.9990137	0-1.25В	-21474836
28	28	0.6845341	0.6851196	2244	0.6854666	0.0030260	0.0009607	0.9986407	0-1.25В	-21474836
29	29	0.5275991	0.5282592	1730	0.5286074	0.0027956	0.0009913	0.9980939	0-1.25В	-21474836
30	30	0.3705291	0.3720092	1219	0.3716253	0.0033112	0.0010856	0.9970501	0-1.25В	-21474836
31	31	0.2141601	0.2151489	708	0.2153208	0.0028192	0.0011582	0.9946119	0-1.25В	-21474836

**Рис. 2.** Пример полученных значений с ПАВ Advantech PCI-1713U, без делителей напряжения в составе ПАВ, ДПП + источник (в сети)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЕЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СОСТАВЕ ДПП

В ДПП погрешность резисторов  $R_{\text{делит}}$  должна вычисляться исходя из практически полученного  $U_{\text{разброса}}^{\text{максимальное}} = 0,0138$  В. Погрешность  $R$  должна обеспечивать разницу напряжений между каналами ПАВ больше данной величины, поскольку только в этом случае можно гарантировать достоверность проверки независимости каналов ПАВ друг от друга и качества работы делителей напряжения ПАВ. При средней расчетной разнице напряжений между каналами 0,156 В теоретическая допустимая погрешность  $R_{\text{делит}}$  составляет  $\pm 2 \cdot 1130\%$  (удвоение за счет параллельного соединения резисторов).

Действительно, при использовании в ДПП резисторов 2,26 Ом на канал вместо 0,2 Ом (максимальное приближение к допустимой погрешности в большую сторону) каналы остаются различимыми друг от друга на величину 0,0142 В, и ПО успешно фиксирует эту величину.

Одномоментная разница напряжений между соседними каналами (с резисторами 0,2 Ом) составила 0,14–0,177 В, среднее значение – 0,158 В.

Усреднение результатов 32 тыс. измерений на тест гарантирует лучшую точность полученных результатов в сравнении с усреднением 10–100 измерений, производимых при самоконтроле КПА, – в том числе, расчета масштабных коэффициентов для делителей напряжения.

Однако если ПАВ содержит делители напряжения, то ситуация меняется. Перерасчет допустимой погрешности  $R_{\text{делит}}$ , с учетом погрешностей сопротивлений этих делителей, показал значение  $\pm 2 \cdot 14,89\%$  – намного меньше  $\pm 2 \cdot 1130\%$ , рассчитанной без учета делителей напряжения.

Спустя время после сборки ДПП выявилась проблема ненадежности поставщика резисторов. Флуктуация разности напряжений на каналах составила 9%, из чего следует вывод: на AliExpress под видом резисторов 0,2 Ом с погрешностью  $\pm 1\%$  продали резисторы с погрешностью  $\pm 18\%$ . ДПП при этом исправно функционирует, так как погрешность  $\pm 29,78\%$  для  $R_{\text{делит}}$  не превышена.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛА ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕЗИСТОРОВ ДПП В ЦЕПЯХ, ПОДКЛЮЧЕННЫХ К КАНАЛАМ ПАВ

ПАВ способна функционировать в дифференциальном режиме, при котором все четные каналы переключаются в режим GND. Также можно предположить гипотетическую ситуацию, когда ПАВ будет работать в однополюсном режиме, при котором 31 канал будет заземлен, и для измерений используется лишь один канал.

Тогда при токоограничивающих резисторах  $R_{(AI)}$  220 Ом, первоначально установленных в черновом варианте ДПП, суммарный ток по заземленным каналам составляет 0,384 А, что не удовлетворяет требованию  $I_{\text{делителя}} \geq 10 \cdot I_{\text{нагр}}$  [6]. Поэтому  $R_{(AI)}$  были заменены на 680 Ом

(0,128 А при погрешности изготовления резисторов 5%), что и отражено в электрической схеме ДПП [1, рис. 1].

## ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ РЕШЕНИЯ ПО КОНТАКТУ ПАВ Ext\_Trg

Тестирование ПАВ с заземленным контактом Ext\_Trg показало, что его заземление не влияет на результаты измерений. Однако в ДПП было решено его не заземлять и оставить в неподключенном состоянии: данные о его назначении в открытых источниках не обнаружены, и последствия его использования неизвестны.

## ПРОВЕРКА РЕАКЦИИ ДПП НА КРИТИЧЕСКИЕ НЕИСПРАВНОСТИ ПАВ И ЕЕ ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Был смоделирован разрыв делителя напряжения как потеря сигнала для незаземленного канала ПАВ. ПО обнаружило разрыв в виде паразитного положительного напряжения на канале 0,305 В (в плате PCI-9113А бывает и отрицательным, вплоть до –4 В).

Было произведено испытание ДПП с намеренно раскалиброванной ПАВ – ПО показало ошибку в виде реального смещения нуля.

## ОЦЕНКА РАССЧИТАННЫХ МАСШТАБНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

На рис. 2 в столбце  $K_{\text{масшт. ср. рас}}$  показаны значения масштабного коэффициента для делителей напряжения, если они планируются для использования как в составе ПАВ (если присутствуют посадочные места), так и в отдельном блоке сопряжения. В данном случае делителей напряжения на ПАВ не было – указанные коэффициенты приближены к 1.

Автоматически выведенные коэффициенты более точны, чем измеренные вручную. При измерении вручную используется лабораторный источник питания, питание подается на один канал ПАВ, но при этом остальные каналы ПАВ не задействованы, флуктуация напряжения на канале не создается. При проверке ПАВ с помощью ДПП: задействованы все каналы одновременно, присутствует флуктуация в ПАВ от ДПП, что приближает условия измерений к режимам самоконтроля КПА и основной работы КПА. Реальная точность измерений выше за счет 32 тыс. измерений и отсутствия человеческого фактора в виде чтения постоянно меняющихся значений с монитора и выбора единственного правильного значения.

Не должны вводить в заблуждение значения коэффициентов вида 0,9946 (канал AI31), подразумевающие якобы точность измерений до двух знаков после запятой включительно (имея в виду, что значение 1 здесь уже получается как результат округления во втором знаке). На практике, после измерения коэффициентов вручную и запуска самоконтроля КПА, эти коэффициенты приходится





# Многофункциональные генераторы сигналов произвольной формы АКИП-3428



Произвольная  
форма



Генератор  
импульсов



Векторный  
генератор



Генератор  
шума



Функциональные  
сигналы



Генератор  
ПСДП/PRBS

## Основные возможности и преимущества

- Двухканальный дифференциальный/несимметричный выход и опциональный 16-битный выход цифровой шины LVDS/LVTL
- Максимальная частота дискретизации сигнала синусоидальной формы 5 Гвыб/с, разрешение по вертикали 14-бит
- Диапазон частот: 350 / 500 МГц / 1 ГГц
- Память 512 МБ
- Опциональный генератор векторных сигналов с максимальной символьной скоростью до 500 Мвыб/с
- Генерация импульсных сигналов с низким уровнем джиттера и минимальной длительностью импульса 1 нс, фронтом/срез от 1 нс
- Формирование сигнала белого гауссовского шума в полосе частот до 1 ГГц (в зависимости от модели)
- Поддержка псевдослучайной двоичной последовательности (PRBS) до 312,5 Мбит/с



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

prist.ru



дополнительно регулировать по результатам самоконтроля КПА. В итоге, для канала без резистора, для которого теоретический коэффициент равен 1, вручную выставляется коэффициент вида 1,004 или 0,995, то есть именно результат, автоматически рассчитанный с помощью ПО.

### ИЗМЕРЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ

Попытки измерить смещение нуля при поданном напряжении с помощью ПО заканчивались неудачей, так как имеется второе неизвестное в виде масштабного коэффициента.

Запущенное ПО с ДПП с выключенным источником питания показало максимальное смещение нуля 0 В (точная полуавтоматическая калибровка с помощью утилиты Advantech A/D Calibration Wizard), масштабный коэффициент в этом случае принят за единицу.

### ОЦЕНКА ИЗМЕРЕНИЯ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАНАЛОВ ПАВ. ПОЛУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДПП ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАНАЛОВ

Был собран простой тестовый стенд без ДПП для проверки входного сопротивления каналов ПАВ. Постоянное напряжение 5 В с лабораторного источника Gwinstek SPS-3610 подавалось в канал ПАВ через определенное сопротивление. Падение напряжения на сопротивлении измерялось мультиметром Appa 505. По закону Ома рассчитывалось сопротивление канала ПАВ.

Опыт с платой PCI-1713U показал входное сопротивление канала 5,63–349,92 МОм (плавающее) при заявленном 1 ГОм. При сопротивлении 80 кОм: напряжение, измеренное ПАВ, равно 4,93 В. На резисторе падает 0,07 В – сопротивление канала ПАВ составляет 5,63 МОм. При сопротивлении 10 080 кОм: 4,86 В измерено ПАВ – сопротивление канала ПАВ 349,92 МОм.

Опыт с платой PCI-9113A (изначально с браком при изготовлении) показал аналогичным способом сопротивление канала 80 кОм.

Взяв в расчет это наименьшее значение, получаем следующий вывод: реализация измерения внутреннего сопротивления каналов ПАВ при помощи ДПП и алгоритма, изложенного выше, возможна при замене  $R_{(AI)}$  680 Ом на 100 кОм, что освобождает от необходимости тока 1,5 А в делителе ДПП (соблюдение условия  $I_{\text{делителя}} \geq 10 \cdot I_{\text{нагр}}$ ).

Однако если ПАВ имеет в составе свои делители напряжения – эти 100 кОм сильно исказят результаты измерений, сделав ДПП не способной к выполнению своих функций. Таким образом, для измерения внутреннего сопротивления каналов ПАВ требуется другое исполнение платы ДПП. Реализовать оба исполнения на плате 100 × 100 мм, что позволило бы на одной печатной плате смонтировать ДПП для работы в двух режимах, оказалось невозможным.

### ПРОЧИЕ МОМЕНТЫ ОТЛАДКИ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ДПП С УЧЕТОМ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ РАЗРАБОТАННОГО ПО

Дальнейшие действия были направлены на отладку ДПП, в том числе с делителем напряжения:

- были взяты резисторы 39 и 120 кОм для создания делителя напряжения с теоретическим масштабным коэффициентом 4,21621, с учетом реальной погрешности изготовления этих резисторов. Однако на практике был получен коэффициент 4,198. Обнаружилось, что 50 мВ падает на минусовых проводниках ДПП, что искажало напряжение на каналах ПАВ и приводило к неправильному расчету масштабного коэффициента. В итоге проводники были утолщены и сделаны двухслойными. Масштабные коэффициенты стали измеряться точно;
- на практике один из двух параллельных резисторов  $R_{\text{(делит)}} 0,2$  Ом оказался некачественно припаян к площадке, что привело к искажению напряжения на канале AI4 в большую сторону. В ПО добавлен анализ данной ситуации (кнопка «Самоконтроль») – оно уведомит о неисправности ДПП;
- возможно, есть смысл использовать источник питания с напряжением чуть меньше 5 В, чтобы вместо опорного напряжения 0–10 В на канале AI0 использовать 0–5В – и так для всех каналов ПАВ. Для этого идеально подходит разъем USB ЭВМ (напряжение при токе 1,5 А понизится до значения <5 В за счет малого сечения проводов и разъемного соединения);
- в ПО есть логическая недоработка: не хватает 64 текстовых полей для ручного ввода значений сопротивлений делителей напряжения в составе ПАВ. Зная неизменные напряжения, генерируемые ДПП, и расчетный масштабный коэффициент, можно проверять ПАВ, не рассчитывая вручную текущее эталонное напряжение для каждого канала ПАВ с уникальным делителем на нем. Также можно не использовать заведомо исправную и точно настроенную ПАВ с делителями для считывания эталонных напряжений, что делает процесс проверки более удобным для проводящего его оператора;
- сделаны прочие доработки, не требующие отражения в материале: например, установлен резистор-разрядник для безопасности оператора.

### ФАКТЫ, ЗАФИКСИРОВАННЫЕ В ПРОЦЕССЕ МАКЕТИРОВАНИЯ И НЕ НАШЕДШИЕ ОДНОЗНАЧНОГО ОБЪЯСНЕНИЯ:

- если зациклить измерение напряжения с каналов ПАВ, то раз в несколько часов возникает помеха 0,0756 В по всем каналам сразу (возможно, из-за помехи электросети 230 В / 50Гц);

# Testing&Control

25–27 октября 2022  
Москва, Крокус Экспо

19-я Международная выставка  
испытательного и контрольно-  
измерительного оборудования



[testing-control.ru](http://testing-control.ru)



Измерительное  
и метрологическое  
оборудование



Оборудование  
для лабораторного  
контроля



Испытательное  
оборудование



Оборудование  
для неразрушающего  
контроля и технической  
диагностики



Производственный  
контроль и машинное  
зрение



Системы диагностики  
и мониторинга

Забронируйте стенд  
[testing-control.ru](http://testing-control.ru)



Организатор



Международная  
Выставочная  
Компания

+7 (495) 252 11 07  
[control@mvk.ru](mailto:control@mvk.ru)

- выполнение каждой из функций DRV\_MAIconfig и DRV\_MAIVoltageIn в составе драйвера Advantech v.2.1.0.0 занимает 602–614 мкс (измерялось процессорными тиками как системой реального времени). При том, что производитель заявляет частоту измерения данных платой PCI-1713U до 100 кГц, в реальности она составляет лишь 1,661 кГц – в 60,2 раза меньше. Для реализации более скоростной работы ПАВ требуется ядро с максимально возможной тактовой частотой или асинхронный режим работы ПАВ, при котором нельзя отслеживать наполнение данных в реальном времени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произведена доработка ДПП для более точной работы с ПАВ после произведенного макетирования, получены дополнительные данные:

- определена эмпирически максимальная помеха ДПП – 0,0138 В, в которую входят помеха с источника питания, обычный и температурный шум резисторов;
- установлено, что реальная частота ПАВ Advantech PCI-1713U напрямую зависит от частоты ядра центрального процессора и процента его загрузки. Эта величина всегда много меньше максимальной частоты измерений, заявленной производителем;
- рассчитана допустимая погрешность номинала резисторов ДПП  $R_{\text{делит}} \pm 2 \cdot 14,89\%$ , с учетом различных вариантов исполнения ПАВ;
- определен номинал токоограничивающих резисторов ДПП в цепях, подключенных к каналам ПАВ: 680 Ом;
- тестирование ПАВ с заземленным контактом Ext\_Trg показало, что его заземление не влияет на результаты измерений;
- проверка реакции ДПП на критические неисправности ПАВ и ее делителей напряжения показала успешное определение разрыва в делителе напряжения и смещения нуля на канале ПАВ;

- уточнен способ оценки рассчитанных с помощью ПО масштабных коэффициентов делителей напряжения;
- выявлена нестабильность входного сопротивления каналов платы Advantech PCI-1713U (5,63–349,92 МОм при заявленном 1 ГОм). Выявлена неисправность платы ADLINK PCI-9113A (входное сопротивление 80 кОм). В связи с этим, предложен вариант ДПП, ориентированный именно на измерение сопротивления каналов ПАВ.

## ЛИТЕРАТУРА\*

1. **Белов С.** Углубление самоконтроля контрольно-проверочной аппаратуры изделий систем управления: самоконтроль плат аналогового ввода до сборки аппаратуры // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, бизнес. 2022. № 6. С. 94–98.
2. **Белов С.** Тестер плат аналогового ввода v.5. М.: личный сайт, 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://bad-good.ru/attach/archives/equipments/adc-tester.zip>.
3. **Белов С.** Тестер плат аналогового ввода PCI-1713x v.1.3.0.0. М.: личный сайт, 2020. [Электронный ресурс] URL: [https://bad-good.ru/programs.html#pci-1713\\_test](https://bad-good.ru/programs.html#pci-1713_test).
4. **Белов С.** Windows XP и реальное время (23.06.2020). М.: личный сайт, 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://bad-good.ru/2020/june/windows-xp-realtime.html>.
5. **Белов С.** Корректная формула расчета емкости сглаживающего конденсатора (06.04.2016). М.: личный сайт, 2016. [Электронный ресурс] URL: <https://bad-good.ru/2016/april/capacity-voltage.html>.
6. ГОСТ 24838-87. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры. М.: ИПК Издательство стандартов, 1990 (табл. 4).

\* Тематика самоконтроля КПА была выбрана как перспективная в числе прочего, потому, что анализ порядка 64 тыс. работ на портале Elibrary.ru (по ключевому слову «самоконтроль», 2019 г.) показал отсутствие работ, посвященных самоконтролю стационарной КПА ИСУ. В связи с этим, список содержит мало публикаций по этой тематике, но в нем полностью приведены материалы, использованные при написании данной статьи.

## ООО «АК Микротех»

Комплексные решения в области микроэлектронного и микросборочного производства  
Поставка, наладка и ремонт технологического оборудования  
Отработка и постановка технологических процессов  
Обеспечение материалами и комплектующими

WWW.AKMICROTECH.RU +7 (499) 398 0770 SALES@AKMICROTECH.RU

