

УДК 004.48

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ФОРМЫ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА НА ПРИМЕРЕ ГОСТ Р 52070-2003

Е.А. Солодянкина, Г.А. Смелчакова, В.В. Язева

АО «НПО автоматики», Россия (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 145), e-mail: gasmelchakova@gmail.com

Аннотация: Рассматривается задача автоматизации процесса контроля параметров сигнала ГОСТ Р 52070-2003 аппаратуры, имеющей в составе устройство интерфейса, на этапе автономной и комплексной проверки перед выпуском с предприятия-изготовителя. Проводится обзор известных методов и средств решения задачи. Предлагается метод расчета параметров сигнала. Описывается автоматическая система контроля формы сигнала.

Ключевые слова: автоматизированная система, контроль сигнала, ГОСТ Р 52070-2003, программное обеспечение, алгоритм.

AUTOMATION OF PROCESS OF CONTROL OF ANALOG SIGNAL ON THE EXAMPLE OF MIL-STD-1533

E.A. Solodyankina, G.A. Smelchakova, V.V. Yazeva

SPA of Automatics, Yekaterinburg, Russia (620075, Russia, Yekaterinburg, street Mamina-Sibiryaka, 145), e-mail: gasmelchakova@gmail.com

Abstract: Discussed the problem of automating the process of control of MIL-STD-1533 signals of system with this interface device at the stage of autonomous and complex check before system release. A review of known methods and means of problem solving is done. The method for estimating the parameters of the signal is suggested. Described automated control system.

Key words: automation system, fault diagnosis, digital computing system, MIL-STD-1533, software, method.

Введение

В соответствие со стандартом ГОСТ Р 52070-2003 [1; С.19] к характеристикам выходного сигнала устройства интерфейса ГОСТ Р 52070-2003 предъявляются специальные требования: значения размаха амплитуды, амплитуды выбросов на вершинах импульсов, длительностей фронтов и спадов, остаточного напряжения в линии должны лежать в установленных стандартом диапазонах. Данные параметры сигнала необходимо контролировать на этапе лабораторных отработочных испытаний аппаратуры, имеющей в составе устройство интерфейса.

Согласно ГОСТ Р 52070-2003 взаимодействие по интерфейсу осуществляется пакетами длиной не более 34 слов, каждое слово преобразуется в последовательность сигналов, параметры которых необходимо контролировать. Временная пауза между пакетами – не менее 14 мкс. Анализ осциллограммы ГОСТ Р 52070-2003 без средств автоматизированного анализа является трудоемким процессом. В случае частых обменов

по интерфейсу в ручном режиме совершенно невозможно проконтролировать значения параметров всех сигналов.

Целью работы является автоматизация процесса анализа формы сигнала интерфейса ГОСТ Р 52070-2003.

Задачами работы являются:

- анализ методов и средств автоматизированного контроля формы аналоговых сигналов, выбор аппаратных средств контроля параметров сигнала ГОСТ Р 52070-2003;
- разработка системы автоматического контроля формы сигнала.

Параметры сигнала

Согласно ГОСТ Р 52070-2003 [1; С.20] необходимо контролировать значения следующих параметров сигнала: размах амплитуды (U_n), амплитуду выбросов на вершинах импульсов (b_1 , b_2), длительность фронта (t_ϕ), длительность спада (t_c), остаточное напряжение. Правила измерения параметров показаны на рисунке 1.

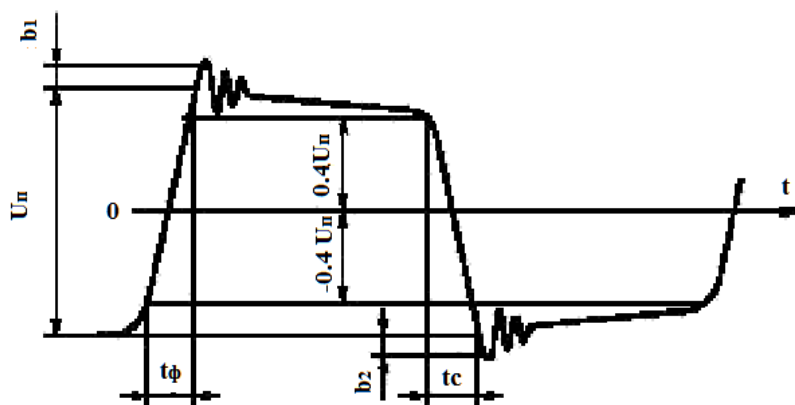


Рисунок 1. Правила измерения параметров сигнала

Анализ известных методов и средств контроля сигнала

В настоящее время существует большое количество осциллографов – устройств, предназначенных для исследования амплитудных и временных параметров сигнала. В системы автоматического тестирования могут быть включены управляемые осциллографы, то есть те, управление которых возможно удаленно по какому-нибудь интерфейсу (например, осциллографы Agilent InfiniiVision [2], Tektronix 3000C [3]). В состав осциллографа может входить цифровой анализатор, позволяющий анализировать пакеты цифровых данных, передаваемых через различные интерфейсы, в том числе по интерфейсу ГОСТ Р 52070-2003.

В системах автоматического контроля сигнала распространенным является корреляционный метод, основанный на измерении степени подобия (коэффициентов корреляции) эталонного образца сигнала и исследуемого фрагмента той же размерности при сканировании вдоль временной оси с шагом в один отсчет [4]. В результате исследования получается массив коэффициентов корреляции, распределенный по временной оси сигнала, которые максимально приближаются к единичному значению в участках максимального сходства образца и исследуемого фрагмента. Эталонный

фрагмент выбирается автоматически или вручную на исходном сигнале. Метод сравнения по маске позволяет осуществить проверку параметров сигнала на соответствие эталонным в пределах заданной погрешности.

Данные методы могут быть использованы в качестве дополнительных средств контроля сигнала ГОСТ Р 52070-2003.

Все управляемые осциллографы обеспечивают выбор способа синхронизации осциллографа, запись осциллограммы во внутреннюю память и внешнее устройство. Осциллографы, выполняющие автоматические измерения параметров сигнала (амплитуду, нарастание и спад фронта, колебания и остаточное напряжение), а также сбор статистики измерений (например, Agilent InfiniiVision 3000) достаточно дорогие. При разработке системы автоматического тестирования сигнала ГОСТ Р 52070-2003 целесообразно получить относительно дешевую систему тестирования, независимую от выбора осциллографа.

Использование средств автоматического измерения значений параметров сигнала осциллографа не всегда оправдано. Так осциллограф Agilent 3000 позволяет автоматически измерить параметры сигнала, выведенного на экран. Однако значения параметров зависят от масштаба отображения сигнала и формы выведенного фрагмента. Например, для одного и того же сигнала длительность спада будет рассчитана равной 18 нс (рис. 2, а) и 108 нс (рис. 2, б), в то время как по ГОСТ Р 52070-2003 это значение равно 55 нс.



Рисунок 2. Пример использования средств автоматического измерения

Процесс анализа сигнала ГОСТ Р 52070-2003 с использованием управляемого осциллографа показан на рис. 3.

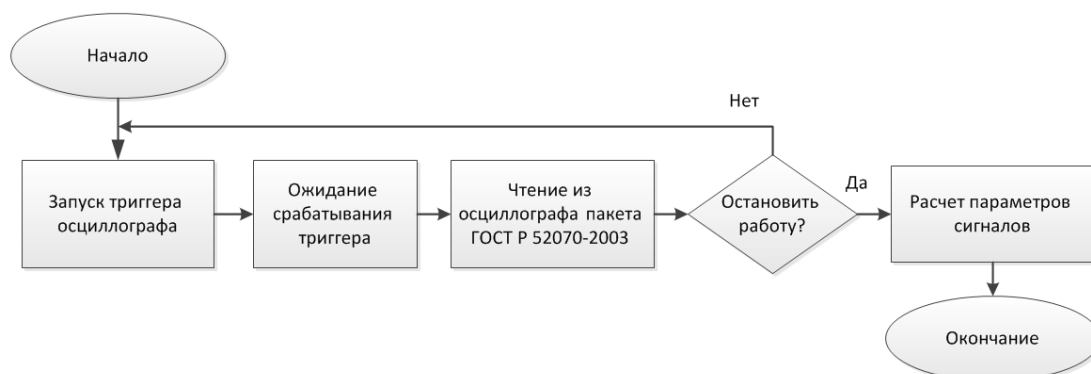


Рисунок 3. Процесс анализа сигнала ГОСТ Р 52070-2003

Метод расчета параметров сигнала

Предложен следующий метод расчета значений параметров сигнала. Исходя из знаний о сигнале, можно сделать следующие допущения:

- сигнал является непрерывным;
- нарастание и спад фронта изменяются линейно.

Оциллограмма представляет собой кусочно-линейную функцию $f(t)$, где t – значение времени. Значениями функции являются значения напряжения в вольтах в точке измерения сигнала.

Построим множество экстремумов $f(t)$: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, такое, что $t_i < t_{i+1}$ и $|f(t_i) - f(t_{i+1})| < \text{EPS}$ для любого $i = \overline{1, n-1}$, где n – количество экстремумов, EPS – величина помехи на линии сигнала. Согласно ГОСТ Р 52070-2003, EPS можно принять равным 0,3.

Построим $ff(t)$ – кусочно-линейную функцию, состоящую из отрезков, соединяющих локальные экстремумы (рисунок 4):

$$ff(t) = \{ (f(t_i) - f(t_{i+1})) / (t_i - t_{i+1}) \cdot t + f(t_i), t_i < t < t_{i+1} \}, i = \overline{1, n-1}.$$

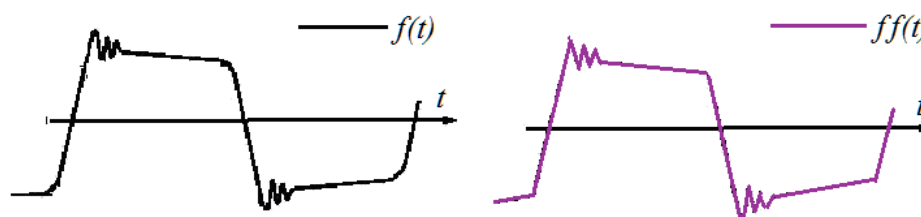


Рисунок 4. Аппроксимация кусочно-линейной функции

Кусочно-линейная функция $ff(t)$ представляет собой аппроксимацию функции $f(t)$, которую можно использовать для расчета значений параметров сигнала. Использование $ff(t)$ вместо $f(t)$ позволяет сократить временные параметры расчета.

Алгоритм расчета значений:

1. Определить конец сигнала. Для этого
 - 1.1 Положить $i = n$.
 - 1.2 Если $(ff(t_{i+1}) - ff(t_{n-1})) > 2$ или $i = 0$, перейти на п. 1.4.
 - 1.3 Положить $i = i - 1$.
 - 1.4 Присвоить $k = i$ – последний локальный экстремум сигнала.
2. Рассчитать значения параметров сигнала.
 - 2.1 Положить $\min U = 300$, $\max U = 0$, где $\max U$ и $\min U$ – текущие максимальное и минимальное значения напряжения пика выбранного фрагмента сигнала;
 $\min R_{is} = 300$, $\max R_{is} = 0$, где $\min R_{is}$ и $\max R_{is}$ – минимальное и максимальное значения нарастания фронта сигнала соответственно;
 $\min F_{all} = 300$, $\max F_{all} = 0$, где $\min F_{all}$ и $\max F_{all}$ – минимальное и максимальное значения спада фронта сигнала соответственно;
 $\min O_{st} U = 300$, $\max O_{st} U = 0$, где $\min O_{st} U$ и $\max O_{st} U$ – минимальное и максимальное значения остаточного напряжения сигнала соответственно;

$\text{minAmplit} = 300$, $\text{maxAmplit} = 0$, где minAmplit и maxAmplit – минимальное и максимальное значения амплитуды сигнала соответственно;

$\text{minOvershoot} = 300$, $\text{maxOvershoot} = 0$, где minOvershoot и maxOvershoot – минимальное и максимальное значения выбросов на вершине сигнала соответственно.

2.2 Для всех i от 1 до $k-1$ выполнить

2.2.1 Если $ff(t_i) \cdot ff(t_{i+1}) \leq 0$ и $ff(t_{i+1}) \geq \text{EPS}$

2.2.1.1 Если $i > n - 3$, то перейти на п. 2.2

2.2.1.2 Рассчитать значение напряжения пика: $X = (ff(t_{i+1}) - ff(t_{i+2}))/2$.

2.2.1.3 Если $X > 0$, то положить $\text{maxU} = X$, иначе если $X < 0$, то положить $\text{minU} = X$.

Если $ff(t_i) < \text{EPS}$, то перейти на п. 2.2

2.2.1.4 Рассчитать значение амплитуды:

если $\text{maxU} - \text{minU} < \text{minAmplit}$, то $\text{minAmplit} = \text{maxU} - \text{minU}$.

если $\text{maxU} - \text{minU} > \text{maxAmplit}$, то $\text{maxAmplit} = \text{maxU} - \text{minU}$.

2.2.1.5 Рассчитать нарастание и спад фронта:

$S = (0.1 \cdot (\text{maxU} - \text{minU}) - b)/a - (\text{minU} + 0.9 \cdot (\text{maxU} - \text{minU}) - b)/a$,

где $a = (ff(t_i) - ff(t_{i+1})) / (t_i - t_{i+1})$, $b = ff(t) - a \cdot t$.

2.2.1.6 Если $ff(t_i) > 0$, то:

если $\text{minFall} > S$, то $\text{minFall} = S$; если $\text{maxFall} < S$, то $\text{maxFall} = S$;

2.2.1.7 Если $ff(t_i) < 0$, то:

если $\text{minRis} > S$, то $\text{minRis} = S$; если $\text{maxRis} < S$, то $\text{maxRis} = S$;

2.2.2. Рассчитать выбросы на вершине:

Если $ff(t_i) \cdot ff(t_{i+1}) \geq 0$ и $ff(t_{i+1}) \geq \text{EPS}$, то

2.2.1 Если $ff(t_i) > \text{maxU}$ и $\text{maxU} \neq 0$, то если $\text{overshoot} < ff(t_i) - \text{maxU}$, то $\text{overshoot} = ff(t_i) - \text{maxU}$;

иначе, если $ff(t_i) < \text{minU}$ и $\text{minU} \neq 0$, то если $\text{overshoot} < ff(t_i) - \text{minU}$, то $\text{overshoot} = ff(t_i) - \text{minU}$.

Если $\text{overshoot} > 0$, то если $\text{minOvershoot} > \text{overshoot}$, то $\text{minOvershoot} = \text{overshoot}$; если $\text{maxOvershoot} < \text{overshoot}$, то $\text{maxOvershoot} = \text{overshoot}$.

$\text{overshoot} = 0$.

3. Рассчитать значение остаточного напряжения:

3.1 Для всех i от n до k выполнить:

Если $\text{ostU} < ff(t_i)$ и $ff(t_{i+1}) > \text{EPS}$, то $\text{ostU} = ff(t_i)$.

Если $\text{minOstU} > \text{ostU}$, то $\text{minOstU} = \text{ostU}$;

если $\text{maxOstU} < \text{ostU}$, то $\text{maxOstU} = \text{ostU}$.

Достоинствами предложенного алгоритма расчета значений параметров сигнала являются высокое быстродействие (сложность алгоритма – $O(n)$), независимость от масштаба отображения сигнала и положения выведенного фрагмента сигнала.

Программное обеспечение

Разработано программное обеспечение (ПО), предназначенное для автоматизации процесса анализа формы сигнала ГОСТ Р 52070-2003, выполняющее следующие функции:

- взаимодействие с управляемым осциллографом Agilent 3000 посредством драйвера, предоставляемого производителем осциллографа;
- выбор канала и способа синхронизации осциллографа;
- чтение осциллограмм во внутреннюю память персонального компьютера;

- автоматическое измерение параметров сигнала ГОСТ Р 52070-2003;
- настройка параметров сбора статистики измерений, чтение статистических данных;
- настройка эталонного сигнала, анализ отклонений формы сигнала от эталонного (метод контроля сигнала по маске);
- формирование отчетов с результатами анализа.

ПО обеспечивает работу в следующих режимах:

- автоматический анализ формы сигнала ГОСТ Р 52070-2003 методом контроля сигнала по маске – в этом режиме используются встроенные средства осциллографа;
- автоматический режим измерений сигналов ГОСТ Р 52070-2003 – в данном режиме сравнение сигнала с эталоном не производится, выполняется автоматическое измерение параметров сигналов и сохранение результатов в отчет.

В состав ПО входят:

- интерпретатор – предназначен для формирования последовательности воздействия на управляемый осциллограф;
- средства архивации – предназначены для ведения протокола проверки, их хранения и поиска в соответствии с заданными критериями;
- средства визуализации – предназначены для взаимодействия с операторами (запуск проверки, отображение ее текущего состояния и результатов анализа), предоставления средств работы с архивом;
- набор драйверов управляемого осциллографа.

Для формирования последовательности воздействий на осциллограф разработан пользовательский язык описания этих воздействий: каждое воздействие определяется командой пользовательского языка. Описание воздействий хранится в виде текстового файла (скрипта). Пример скрипта представлен на рисунке 5.

```

ISHODNOE // сброс настроек осциллографа
SET_CHANNEL: 1 // установки канала
SET_SCALE_U: 5 // установки цены деления осциллографа
SET_SCALE_T: 0,002 // установки временной развертки осциллографа
SET_TRIGGER_M1553: C Start // установки типа синхронизации
READ_VALUE: Amplitude <Am.txt> // считывание характеристик осциллограммы
START_TEST_MEASURE: <StartTest.bin> // запуск анализа сигнала
START_TEST_MASK: <StartTestMask.html> // запуск анализа сигнала по маске
STOP_TEST // остановка режима анализа сигнала
CONVERT: <StartTest.bin> <StartTest.html> // конвертация отчета

```

Рисунок 5. Пример скрипта

ПО реализовано в виде динамических библиотек: `sc_agilent.dll`, предназначенной для обработки скриптов, и `drv_agilent.dll`, предназначенной для работы непосредственно с осциллографом. ПО встраивается в системное программное обеспечение аппаратуры автономных проверок [5].

Результаты анализа представляются в бинарном виде и в виде html-отчета. В состав ПО входит инструмент преобразования из одного формата в другой – постобработчик осциллограмм, который может быть запущен командой пользовательского языка.

Разработанное ПО позволяет проконтролировать в автоматическом режиме около 39% пакетов длиной 34 слова данных (СД), выдаваемых непрерывно, при сохранении результатов анализа в бинарном виде. В ручном режиме работы с осциллографом добиться такой эффективности анализа невозможно.

Заключение

Задача автоматизации процесса контроля формы сигнала ГОСТ Р 52070-2003 успешно решена применением управляемого осциллографа, обеспечивающего выбор способа синхронизации, запись осциллограмм и чтение данных внешним устройством. Функции сбора данных с осциллографа, автоматического измерения параметров сигнала, формирования статистики измерений реализованы в разработанном программном обеспечении.

Разработанная система контроля позволяет решить следующие задачи автоматизации: сокращение времени анализа сигналов, увеличение объема обработанных сигналов, автоматическое формирование отчетов проверок.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 24 с.
2. Осциллографы Agilent InfiniiVision 3000 серии X. Руководство пользователя. – Agilent Technologies, Inc., 2013. – 420 с.
3. Tektronix TDS3000C Series User Manual 3000C. – Tektronix, 2009. – 182 p.
4. Богатов Н.М., Гук В.Ф. Сравнительный анализ методов распознавания электрокардиограмм // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 1 – С. 71-72
5. Антимиров Я.В., Наронов А.С., Пентин А.С. и др. Системное программное обеспечение аппаратуры автономных проверок. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2015613241 от 10.03.2015 по заявке № 2015610055 от 12.01.2015. Правообладатель – ОАО «НПО автоматики».

The References

1. MIL-STD-1533 / 1760. 5V Monolithic Dual Transceivers. – Holt Integrated circuits inc., 2014. – 10 p.
2. Agilent 3000 X. Programmer's Guide. – Agilent Technologies, Inc., 2013. – 420 p.
3. Tektronix TDS3000C Series User Manual 3000C. – Tektronix, 2009. – 182 p.
4. Bogatov N.M., Guk V.F. Comparative analysis of methods of recognition of electrocardiograms // Modern high technologies. – 2006. – № 1 – С. 71-72
5. Antimirov Ya.V., Naronov A.S., Pentin A.S. System software hardware Autonomous inspections. State registration certificate of the computer program №2015613241, 10.03.2015. The copyright holder – SPA of Automatics.