

ИНФОРМАТИКА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

УДК 621.31

DOI: 10.17223/19988605/52/13

А.В. Асадчий, А.И. Солдатов, О.Х. Ким, А.А. Солдатов

ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ОЗУ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Работа выполнена в рамках Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

Рассматриваются функции устройств контроля и функции сбора данных. Описаны возможные способы минимизации объема сохраняемых данных. Предложены способ и устройство, позволяющие минимизировать объем сохраняемых данных, которые основаны на синхронизации получения отсчетов с изменениями электрических параметров во времени. Продемонстрированы требования, предъявляемые к устройству. Проведена экспериментальная оценка объема сохраняемых данных при изменении параметров дифференцирующего устройства. Уточнена разница в объемах требуемой памяти при двух значениях постоянной времени дифференцирующей цепи.

Ключевые слова: устройство контроля; генератор, управляемый напряжением; спектр; дифференцирующая цепь; постоянная времени дифференцирования; оперативное запоминающее устройство.

В практике управления большое значение имеют устройства контроля технических объектов (дискретных или аналоговых), которые позволяют проводить оценку их рабочего состояния по полученным измерениям [1–6]. Функции данных устройств заключаются в слежении за параметрами контролируемых объектов, их обработке и выдаче информации потребителю в определенной форме [7]. К данным устройствам также предъявляется требование выполнения функции накопления информации за определенный период времени штатной работы и до момента аварии с последующей фиксацией данных.

Как известно, для выполнения функции хранения данных необходимо использование элементов памяти, которые, в свою очередь, подвергаются физическому износу при многократных перезаписях информации. Данная задача на сегодняшний день решается различными способами, а именно: увеличение объема памяти с применением схемотехнических решений, использование современной элементной базы или применение алгоритмов сжатия информации [8–10].

Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. Схемотехнические методы наращивания объема оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) приводят к усложнению структуры устройства, увеличению габаритных показателей и снижению надежности. Алгоритмические способы при большем количестве контролируемых параметров могут значительно задействовать вычислительные ресурсы. Также стоит отметить, что не каждый способ сжатия способен обработать высокочастотные изменения контролируемых параметров, при этом может происходить пропуск информации о контролируемом параметре.

Одним из возможных вариантов оптимизации сохранения данных может быть синхронизация процесса обработки информации с процессом изменения контролируемого параметра. Данный способ позволяет контролировать параметр с переменной частотой записи информации, которая зависит от скорости изменения самого контролируемого параметра [11].

1. Минимизация объема сохраняемых данных

Для реализации этого способа был разработан блок синхронизации, структурная схема которого приведена на рис. 1. Основная функция данного блока – изменение частоты записываемой в память информации в зависимости от скорости изменения контролируемого параметра [11, 12].

Блок состоит из следующих узлов: согласующего устройства (СУ), аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), дифференцирующего устройства (ДУ), генератора, управляемого напряжением (ГУН), микроконтроллера (МК), запоминающего устройства (ЗУ), персонального компьютера (ПК).

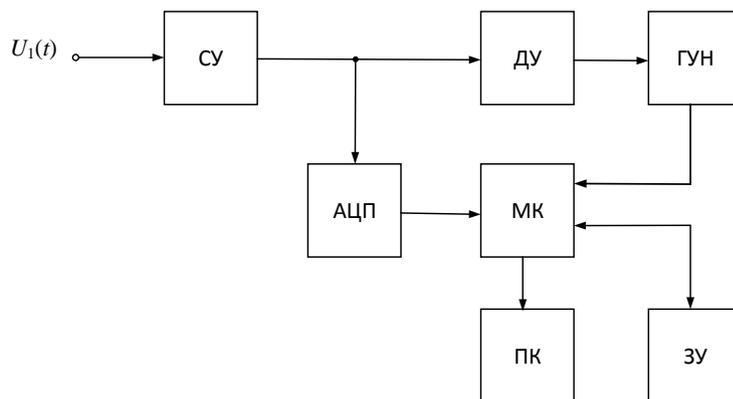


Рис.1. Структурная схема устройства
Fig. 1. Structural scheme of device

Принцип работы заключается в следующем. Контролируемый параметр $U_1(t)$ поступает на вход согласующего устройства, где он преобразовывается до уровня, необходимого для работы аналогово-цифрового преобразователя и дифференцирующего устройства. Аналогово-цифровой преобразователь преобразовывает контролируемый сигнал в цифровую форму и передает данные на микроконтроллер. Дифференцирующее устройство формирует на своем выходе значение напряжения, пропорциональное скорости изменения контролируемого параметра. Выходное напряжение дифференцирующего устройства поступает на генератор, управляемый напряжением, который формирует импульсы синхронизации, необходимые для работы микроконтроллера [13, 14]. Микроконтроллер сохраняет информацию о контролируемом параметре в запоминающее устройство, а также запрашивает данную информацию из запоминающего устройства по команде с персонального компьютера. Персональный компьютер через свой интерфейс связи обеспечивает взаимодействие между пользователем (оператором) и микроконтроллером, а также отображает информацию о контролируемых параметрах [14].

2. Требования, предъявляемые к устройству

Одним из важных факторов, влияющих на объем сохраняемых данных, является постоянная времени дифференцирования, которая характеризует длительность протекания переходного процесса.

Как известно [15, 16], при дифференцировании входного импульса активная ширина его спектра ограничена граничной частотой $f_{гр}$.

Если неравенство [16] $\omega RC \leq 0,25$ выполняется при $\omega = 2\pi f_{гр}$, то оно будет обязательно выполняться и при $f < f_{гр}$. Это позволяет из активной ширины спектра сигнала определить требования к постоянной времени дифференцирующей цепи:

$$\omega RC = 2\pi f_{гр} RC = 0,25. \quad (1)$$

Для грубой оценки активной ширины спектра сигнала при $t_{\phi} = t_c$ можно использовать приближенное выражение:

$$f_{гр} \approx K_c / t_{\phi},$$

где $K_C = 0,2-0,4$ для импульсов, у которых $t_\phi/t_{и}$ и $t_c/t_{и} < 0,2$, t_ϕ – длительность фронта, t_c – длительность спада импульса, $t_{и}$ – длительность плоской вершины импульса.

Тогда, подставив в (1) значение $f_{гр}$, получим оценку для значения RC (при $K_C \approx 0,4$):

$$RC = \frac{0,25t_\phi}{(2\pi K_C)} = 0,1t_\phi.$$

Таким образом, постоянная времени дифференцирующей RC -цепи должна быть примерно в 10 раз меньше активной длительности фронта (спада) дифференцируемого импульса.

Как известно, любой контролируемый сигнал имеет свою форму спектральной плотности, по которой можно определить требуемую частоту дискретизации, необходимую для его восстановления с заданной точностью.

Рассмотрим сигнал в виде случайного переходного процесса и проведем анализ его спектральной плотности по аппроксимированной функции. Длительность спада импульса составляет t_c (рис. 2).

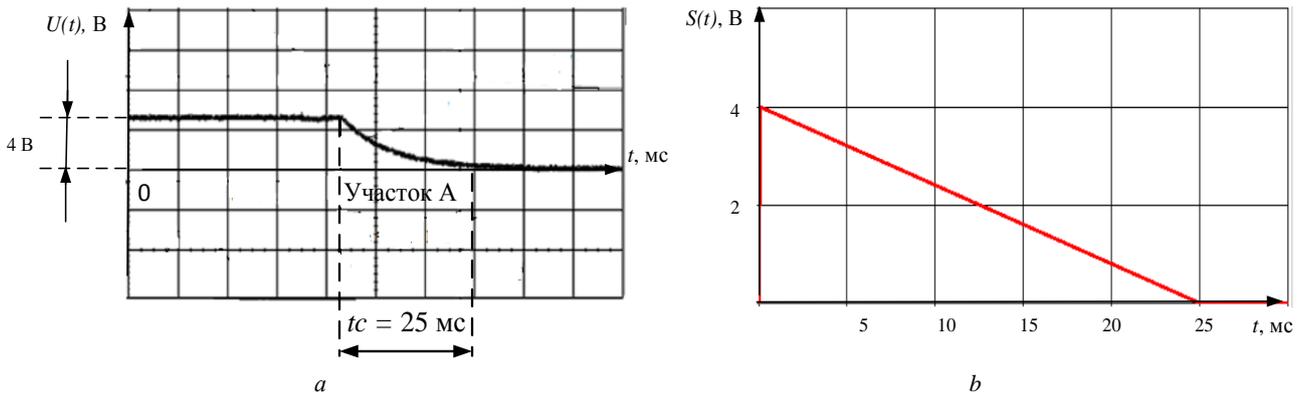


Рис. 2. Случайный переходный процесс (а) и его аппроксимированная функция (б)

Fig. 2. Random transient (a) and approximated function (b)

Для упрощения анализа аппроксимированная функция построена только для участка, изменяющегося во времени, а именно участка А, остальные участки исключены.

Аппроксимированная функция выражена через поинтервальное описание и имеет вид:

$$S(t) = \begin{cases} S(t_0) - \frac{S(t_0)}{t_c} \cdot t, & t \in [0; t_c.] \\ 0, & t \in (-\infty; 0) \cup (t_c; +\infty). \end{cases}$$

Исходя из теоремы Котельникова, частоту дискретизации ω_d выбирают так, чтобы $\omega_d = 2\omega_B$, где ω_B – верхняя граничная частота спектра сигнала.

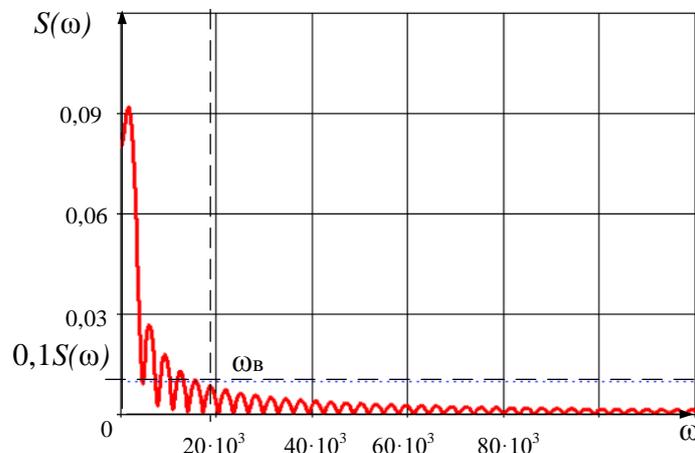


Рис. 3. Спектральная плотность сигнала $S(t)$

Fig. 3. Spectral density of $S(t)$ signal

Верхнюю граничную частоту ω_B определяют, исходя из построения функции спектральной плотности по пороговому критерию. Выражение для спектральной плотности функции, изображенной на рис. 2, имеет вид:

$$\dot{S}(\omega) = \int_0^{t_c} S(t)e^{-j\omega t} dt.$$

где j – мнимая единица ($j = \sqrt{-1}$); ω – круговая частота.

Исходя из графика модуля спектральной плотности (рис. 3), для определения верхней граничной частоты спектра сигнала воспользуемся пороговым критерием: на частотах выше ω_B модуль спектральной плотности не должен превышать уровня 0,1 от максимального значения.

Из рис. 3 можно определить ω_B и, соответственно, частоту дискретизации f_d .

3. Экспериментальная часть

Проведем экспериментальную оценку ресурсов памяти, которые необходимы для сохранения данных при трех значениях постоянной времени RC -цепи дифференцирующего устройства, и обозначим их: $\tau_1 = 0,01t_c$, $\tau_2 = 0,1t_c$, и $\tau_3 = t_c$. Дифференцируемый сигнал представлен в виде экспоненциально спадающего импульса с длительностью плоской вершины 30 мс и длительностью спада $t_c = 25$ мс (см. рис. 2). Из спектральной плотности сигнала определяем диапазон рабочих частот ГУН 50–10 кГц. Стоит отметить, что 50 Гц – это нижняя рабочая частота ГУН.

Результаты эксперимента для трех значений постоянной времени представлены на рис. 4–6 соответственно. Рисунки 4, а–б, а условно разбиты на три участка, которые характеризуют определенный процесс: участок А» и участок В характеризуют установившийся процесс, участок Б представляет спадающий аperiодический процесс. На рис. 4, б–б, б представлены исходные и восстановленные сигналы.

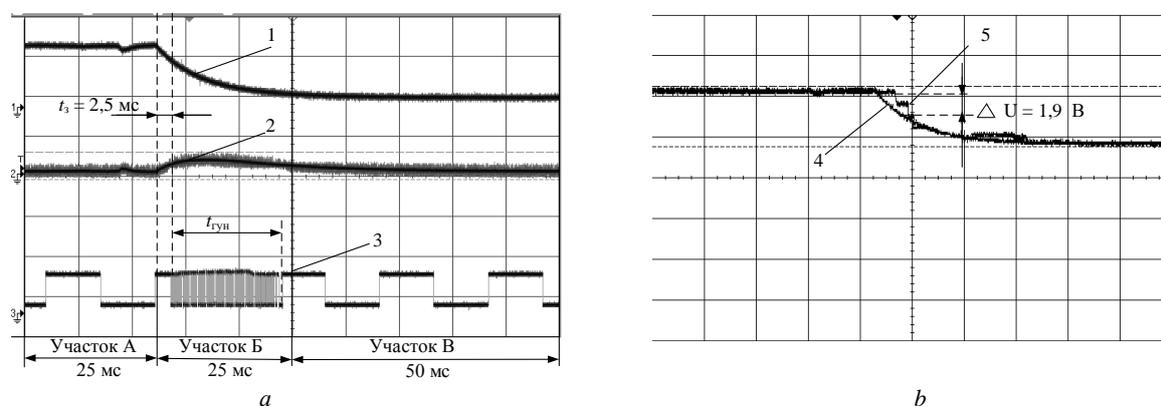


Рис. 4. Дифференцирование переходного процесса (а): $\tau_1 = 0,01t_c$. Восстановленный и исходный сигнал (б): 1 – переходный процесс; 2 – выход ДУ; 3 – выходные импульсы ГУН, 4 – исходный сигнал, 5 – восстановленный сигнал
Fig. 4. Differentiation of transient process (a): $\tau_1 = 0,01t_c$. Restored and original signal (b): 1 – transient process, 2 – output voltage of differentiator, 3 – output pulses of voltage controlled oscillator, 4 – original signal, 5 – restored signal

Проведем количественную оценку объема сохраняемых данных для участка Б при значениях постоянной времени $\tau_1 = 0,01t_c = 0,25$ мс (см. рис. 4, а). На этом участке выходное напряжение дифференцирующего устройства составляет 0,5 В и практически не изменяется. Длительность этого участка 25 мс, однако время работы ГУН на максимальной частоте $t_{\text{гун макс}}$ составило порядка 20 мс. При входном напряжении ГУН 0,5 В его частота работы равна 3 кГц, а период дискретизации $T_d = 333$ мкс. Для обеспечения высокой точности восстановления сигнала используем 16-разрядный АЦП.

Определим количество отсчетов, затраченных для сохранения данных о переходном процессе за время генератора, управляемого напряжением, $t_{\text{гун}}$:

$$N_1 = \frac{t_{\text{гун}}}{T_d} = 60.$$

Объем требуемой памяти определится как

$$V = N_1 \cdot M = 960 \text{ бит.}$$

Дополнительно стоит отметить, что на рис. 4, *а* имеется время задержки $t_3 = 2,5$ мс, обусловленное инертностью генератора, управляемого напряжением, и плавным нарастанием фронта выходного импульса дифференцирующего устройства. Очевидно, что данный фактор приведет к значительной погрешности восстановленного сигнала (см. рис. 4, *б*), так как количество отсчетов на данном участке минимально.

Определим максимальную погрешность восстановления сигнала (рис. 4, *б*). Максимальное отклонение восстановленного сигнала от исходного равно $\Delta U = 1,9$ В. Полный размах исходного сигнала составляет 4 В (см. рис. 2, *а*). Следовательно, значение погрешности составит (при $U = 4$)

$$\delta = \frac{\Delta U \cdot 100}{U} \% = 47,5 \%,$$

где U – полный размах исходного сигнала, ΔU – максимальное отклонение восстановленного сигнала от исходного.

На рис. 5. представлен процесс дифференцирования переходного процесса при $\tau_2 = 0,1t_c$.

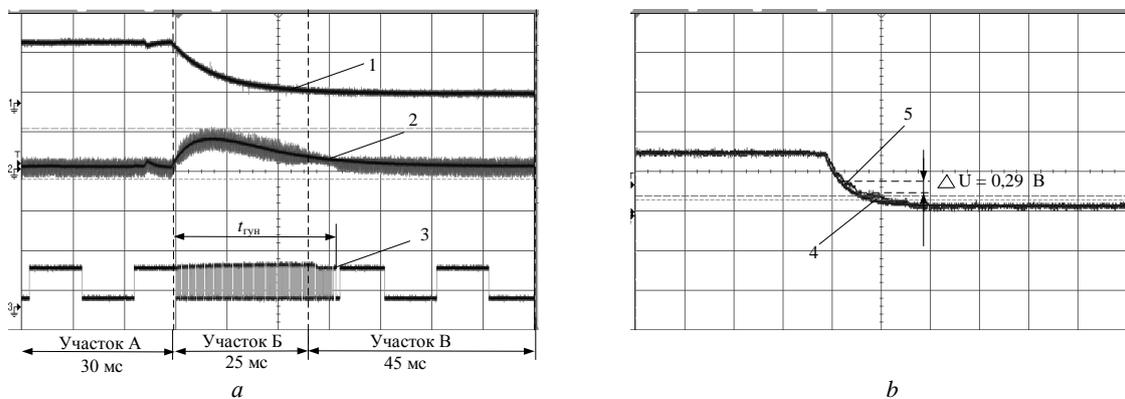


Рис. 5. Дифференцирование переходного процесса (*а*): $\tau_2 = 0,1 \cdot t_c$. Восстановленный и исходный сигнал (*б*): 1 – переходный процесс; 2 – выход ДУ; 3 – выходные импульсы ГУН, 4 – исходный сигнал, 5 – восстановленный сигнал

Fig. 5. Differentiation of transient process (*а*): $\tau_2 = 0,1 \cdot t_c$. Restored and original signal (*б*): 1 – transient process, 2 – output voltage of differentiator, 3 – output pulses of voltage controlled oscillator, 4 – original signal, 5 – restored signal

Проведем количественную оценку объема сохраняемых данных при значениях постоянной времени $\tau_2 = 0,1t_c = 2,5$ мс. Для этого случая максимальное выходное напряжение дифференцирующего устройства получилось 1 В. При входном напряжении ГУН 1 В его частота работы равна 6 кГц, а период дискретизации равен $T_d = 166$ мкс. Время работы ГУН на повышенной частоте $t_{гун}$ составило порядка 30 мс.

Определим количество отсчетов, затраченных для сохранения данных за время работы генератора, управляемого напряжением на повышенной частоте $t_{гун}$:

$$N_1 = \frac{t_{гун}}{T_d} = 180.$$

При этом длительность переходного процесса исходного сигнала t_c составляет 25 мс. Определим количество отсчетов необходимое для записи переходного процесса:

$$N_n = \frac{t_c}{T_d} = 150.$$

Объем требуемой памяти для записи переходного процесса определится как

$$V = N_n \cdot M = 12900 \text{ бит.}$$

Так как генератор, управляемый напряжением, работает на повышенной частоте больше времени переходного процесса, то в результате мы получаем избыточное количество тактовых импульсов, которые приведут к увеличению объема сохраняемых данных и требуемого объема ОЗУ. Определим избыточный объем данных, записываемых в ОЗУ, который обусловлен длительностью работы ГУН,

равной $t_{гун} = 30$ мс. Он будет определяться как разность количества бит, записанных в ОЗУ, и количества бит, необходимых для записи только переходного процесса, длительность которого равна 25 мс:

$$V_{из1} = N_1 \cdot M - N_{п} \cdot M = 480 \text{ бит.}$$

По результатам расчета видно, что избыточный объем памяти составит 480 бит при условии, что значение постоянной времени составляет $\tau_2 = 0,1t_c$. Максимальное отклонение восстановленного сигнала от исходного равно $\Delta U = 0,29$ В, следовательно, погрешность восстановления сигнала по рис. 5, б составит

$$\delta = \frac{\Delta U \cdot 100 \%}{U} = 7,25 \%,$$

где U – полный размах исходного сигнала, ΔU – максимальное отклонение восстановленного сигнала от исходного.

На рис. 6. представлен процесс дифференцирования переходного процесса при $\tau_3 = t_c$.

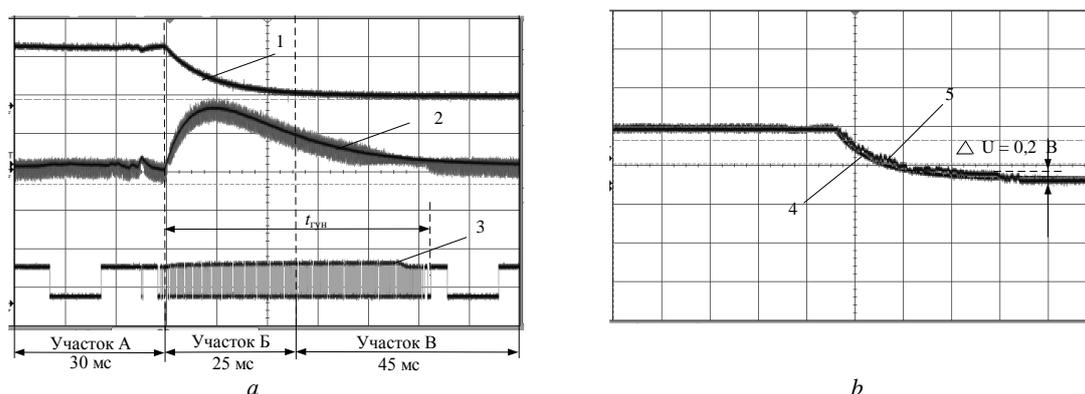


Рис. 6. Дифференцирование переходного процесса (а): $\tau_3 = t_c$. Восстановленный и исходный сигнал (б): 1 – переходный процесс; 2 – выход ДУ; 3 – выходные импульсы ГУН, 4 – исходный сигнал, 5 – восстановленный сигнал
Fig. 6. Differentiation of transient process (a): $\tau_3 = t_c$. Restored and original signal (b): 1 – transient process, 2 – output voltage of differentiator, 3 – output pulses of voltage controlled oscillator, 4 – original signal, 5 – restored signal

Для этого случая максимальное выходное напряжение дифференцирующего устройства получилось 2 В. При входном напряжении ГУН 2 В его максимальная частота работы равна 10 кГц, а период дискретизации $T_d = 100$ мкс. Время работы ГУН на повышенной частоте $t_{гун}$ составило порядка 52,5 мс.

Определим количество отсчетов затраченных для сохранения данных:

$$N_3 = \frac{t_{гун}}{T_d} = 525.$$

При этом длительность переходного процесса t_c также составляет 25 мс. Определим количество отсчетов, необходимое для записи переходного процесса:

$$N_n = \frac{t_c}{T_d} = 250.$$

Объем требуемой памяти для записи переходного процесса

$$V = N_{п} \cdot M = 4000 \text{ бит.}$$

Аналогичным образом, как при постоянной времени τ_2 , определим избыточный объем ОЗУ, который обусловлен увеличенной длительностью работы ГУН, равной $t_{гун} = 52,5$ мс:

$$V_{из2} = N_3 \cdot M - N_{п} \cdot M = 4400 \text{ бит.}$$

Максимальное отклонение восстановленного сигнала от исходного равно $\Delta U = 0,2$ В, следовательно, погрешность восстановления сигнала по рис. 6, б составит:

$$\delta = \frac{\Delta U \cdot 100 \%}{U} = 5 \%.$$

Оценим разницу в объемах требуемой памяти при двух значениях постоянной времени RC-цепи, а именно: при $0,1t_c$ и t_c (учитывая, что $V_{из1}(0,1t_c) = 480$):

$$\frac{V_{из2}(t_c)}{V_{из1}(0,1 \cdot t_c)} = 9,2.$$

Разница в объемах требуемой памяти для сохранения одного и того же контролируемого сигнала при двух значениях постоянной времени отличается в 9,2 раза.

На участках А и В для всех рассмотренных выше случаев частота работы ГУН составила 50 Гц, а период дискретизации $T_d = 20$ мс. Определим количество отсчетов, затраченных для сохранения данных:

$$N_4 = \frac{t_{\text{ГУН}}}{T_d} = 3,73 \approx 4.$$

Объем требуемой памяти для записи участков А и В определится как

$$V = N_n \cdot M = 48 \text{ бит.}$$

С учетом записи переходного процесса для случая $\tau_2 = 0,1 \cdot t_c$, получаем

$$V_1 = N_2 \cdot M + N_4 \cdot M = 2944 \text{ бит.}$$

При работе АЦП с постоянной частотой дискретизации получилось бы намного большее количество отсчетов:

$$N_2 = \frac{t_{\text{ГУН}}}{T_d} = 1000,$$

и объем требуемой памяти:

$$V_2 = N_n \cdot M = 16\,000 \text{ бит.}$$

Оценим разницу в объемах требуемой памяти:

$$\frac{V_2}{V_1} = 5,4.$$

Использование предложенного подхода для сохранения данных о контролируемых параметрах позволяет более чем в 5 раз уменьшить объем требуемого ОЗУ.

Заключение

Проведенные исследования показали, что при изменении постоянной времени дифференцирования пропорционально изменяется время работы ГУН на повышенной частоте, что приводит к увеличению общего объема сохраняемых данных и объема избыточной информации.

Оптимальный объем памяти для сохранения данных достигается при значениях постоянной времени дифференцирования, равной $0,1t_c$, так как при данном значении длительность переходного процесса близка к времени дифференцирования, при этом погрешность восстановления сигнала не превысила 7,5%.

При значении постоянной времени дифференцирования, равной $0,01t_c$, время дифференцирования меньше времени переходного процесса. При этом количество отсчетов АЦП будет минимальным, что позволяет уменьшить объем необходимой памяти для сохранения контролируемого параметра, однако погрешность восстановления сигнала оказывается очень большой.

При значении постоянной времени дифференцирования, равной t_c , время дифференцирования почти в 2 раза больше времени переходного процесса. Тогда количество отсчетов АЦП будет максимальным, и это увеличивает объем необходимой памяти для сохранения контролируемого параметра, при этом в память производится запись избыточной информации. Погрешность восстановления сигнала будет менее 5%, а разница в объемах требуемой памяти для сохранения одного и того же контролируемого сигнала при двух значениях постоянной времени отличается в 9,2 раза. Поэтому для уменьшения ресурсов ОЗУ оптимальное значение постоянной времени цепи должно составлять порядка $0,1t_c$.

Использование предложенного подхода для сохранения данных о контролируемых параметрах позволяет более чем в 5 раз уменьшить объем требуемого ОЗУ или при неизменных параметрах ОЗУ уменьшить его износ, поочередно используя разные его области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мосин С.Г. Оптимизация построения нейроморфного справочника неисправностей для тестирования и диагностики аналоговых интегральных схем // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 48. С. 92–103.

2. Матросова А.Ю., Митрофанов Е.В., Шах Т. Упрощение контролепригодных комбинационных схем и поиск тестовых пар для неисправностей задержек путей // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 39. С. 85–93.
3. Сапожников В.В., Сапожников В.В., Ефанов Д.В., Пивоваров Д.В. Синтез систем функционального контроля многovyходных комбинационных схем на основе метода логического дополнения // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 41. С. 69–80.
4. Смирнов В.А. Поиск неисправностей в бортовых системах управления в процессе приемочного контроля // Информационно-управляющие системы. 2013. № 2. С. 24–28.
5. Голованов Д.А. Цифровое устройство диагностики для многоканальных вторичных источников питания // Электронные и электромеханические системы и устройства : сб. науч. тр. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2016. С. 104–109.
6. Пат. 2682802 Российская Федерация, МПК G05B 23/02, G05B 21/02, G05R 19/255. Контрольное устройство / Асадчий А.В., Солдатов А.И., Солдатов А.А., Сорокин П.В. № 2017137456. Заявл. 25.10.2017; опубл. 21.03.2019.
7. Асадчий А.В., Солдатов А.И. Моделирование алгоритма формирования диагностических сигналов в преобразовательном устройстве при неисправностях // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность : материалы VI Всерос. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых. Томск, 2016. Т. 2. С. 8–12.
8. Асадчий А.В. Способ минимизации физического износа EEPROM-памяти для устройств контроля преобразователей напряжения // XXIV Макеевские чтения : материалы науч.-техн. конф. Екатеринбург : НПО автоматики им. акад. Н.А. Семихатова, 2017 С. 5–10.
9. Федулеева М.В. Разработка многоканального блока сжатия в составе измерительной системы / Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 5 (130). С. 190–194.
10. Андрейко Д.Н., Комаров П.Ю., Игнатов Ф.М. Основные методы сжатия в передаче цифровых видеоизображений // Технологии информационного общества. 2013. № 9. С. 10–14.
11. Пат. 2687302 Российская Федерация, СПК G01R 19/165 (2019.02), G01R 19/257 (2019.02). Способ контроля параметров вторичного источника бесперебойного питания / Асадчий А.В., Солдатов А.И., Солдатов А.А., Сорокин П.В., Шульгина Ю.В., Костина М.А., Чубов С.В. № 2018133184. Заявл. 18.09.2018; опубл. 13.05.2019.
12. Пат. 2689323 Российская Федерация, СПК G01R 19/165 (2019.02), G01R 19/257 (2019.02). Устройство для контроля параметров вторичного источника бесперебойного питания / Асадчий А.В., Солдатов А.И., Солдатов А.А., Сорокин П.В., Шульгина Ю.В., Костина М.А., Чубов С.В. № 2018133185. Заявл. 18.09.2018; опубл. 27.05.2019.
13. Гальперин М.В. Введение в схемотехнику. М. : Энергоатомиздат, 1982. 120 с. (Библиотека по автоматике; вып. 623).
14. Гальперин М.В. Практическая схемотехника в промышленной автоматике. М. : Энергоатомиздат, 1987. 320 с.
15. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника : учеб. пособие для вузов. М. : Высшая школа, 1982. 622 с.
16. Герасимов В.М., Скворцов В.А. Электронные цепи и микросхемотехника : учеб. пособие. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2004. Ч. 2: Схемотехника ключевых устройств формирования и преобразования сигналов. 209 с.

Поступила в редакцию 10 декабря 2019 г.

Asadchiy A.V., Soldatov A.I., Kim O.H., Soldatov A.A. (2020) EVALUATION OF THE AMOUNT OF RAM IN THE MONITORING OF TECHNICAL OBJECTS. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tehnik i informatika*. [Tomsk State University Journal of Control and Computer Science]. 52. pp. 104–113

DOI: 10.17223/19988605/52/13

The current state of control systems shows that the monitoring devices of technical objects are of great importance. Monitoring devices allow to evaluate the parameters of the testing object by the received data. Their main function is to monitor the parameters, process and transmit it to the consumer in a convenient form. Minimizing the amount of data without loss of quality is the main requirement in the construction of such devices.

One of the possible options for such minimization can be synchronization of the information processing with the change of the monitoring parameter. This method allows you to monitor the parameter with a variable frequency, which depends on the input rate.

Synchronization is carried out through the use of a differentiating circuit. The output signal of this circuit is used to change the frequency of the voltage-controlled oscillator (VCO), which determines the sampling period of the ADC. One important factor determining the amount of data is the differentiation time constant. As is known [15, 16], when differentiating the input pulse, the active width of its spectrum is limited by the boundary frequency f_{fp} . This allows you to determine the requirements for the time constant of the differentiating circuit:

$$RC \approx 0,1 \cdot t_{\phi}.$$

To analyze of the proposed approach, a linearly decreasing function was chosen:

$$S(t) = S(t_0) - \frac{S(t_0)}{t_f} \cdot t, \quad t \in [0; t_f],$$

where t_f is pulse fall time, $S(t_0)$ is initial value.

The analysis was carried out for three values of the derivative time constant: $\tau_1 = 0,01 \cdot t_f$, $\tau_2 = 0,1 \cdot t_f$, and $\tau_3 = t_f$. For these cases, the amount of data stored was 960, 2880 and 8400 bits, respectively. The distortion of the recovered signal was 47,5%; 7,25% and 5%, respectively. It should be noted that the increase of the derivative time constant leads not only to a decrease in the distortion of the restored signal, but also to an increase in the running time of the VCO at a high frequency and an increase in the amount of RAM, respectively.

Keywords: monitoring device; voltage-controlled oscillator; the spectrum; the differentiating circuit; the time constant of differentiation; random-access memory.

ASADCHIY Artem Vladimirovich (Postgraduate Student, Department of Electronic Engineering, School of Non-Destructive Testing and Safety, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation).
E-mail: asadchiav118@gmail.com

SOLDATOV Alexei Ivanovich (Doctor of Technical Sciences, Professor, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation)
E-mail: asoldatof@mail.ru

KIM Oleg Honbinovich (Scientist National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation).
E-mail: oh.kim@mail.ru

SOLDATOV Andrey Alexeevich (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation).
E-mail: Soldatov.88@bk.ru

REFERENCES

1. Mosin, S.G. (2019) Optimization of constructing the neuromorphic fault dictionary for testing and diagnostics of analog ICs. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 48. pp. 92–103. DOI: 10.17223/19988605/48/12
2. Matrosova, A., Mitrofanov, E. & Shah, T. (2017) Simplification of fully delay testable combinational circuits and finding of PDF test pairs. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 39. pp. 85–93. DOI: 10.17223/19988605/39/11
3. Sapozhnikov, V.V., Sapozhnikov, V.V., Efanov, D.V. & Pivovarov, D.V. (2017) Synthesis of concurrent error detection systems of multioutput combinational circuits based on Boolean complement method. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 41. pp. 69–80. DOI: 10.17223/19988605/41/9
4. Smirnov, V.A. (2013) Malfunction Searching in Onboard Control Systems during Acceptance Control. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy – Information and Control Systems*. 2. pp. 24–28.
5. Golovanov, D.A. (2016) Tsifrovoe ustroystvo diagnostiki dlya mnogokanal'nykh vtorichnykh istochnikov pitaniya [Digital diagnostic device for multichannel power supplies]. In: *Elektronnye i elektromekhanicheskie sistemy i ustroystva* [Electronic and electromechanical systems and devices]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University. pp. 104–109.
6. Asadchiy, A.V., Soldatov, A.I., Soldatov, A.A. & Sorokin, P.V. (2017) Device for control. *Patent of the Russian Federation*. № 2682802. MPK G05B 23/02, G05B 21/02, G05R 19/255. Application dated October 25, 2017; published March 21, 2019.
7. Asadchiy, A.V. & Soldatov, A.I. (2016) [Modelling of algorithm formation diagnostics signals in converter device at malfunctions]. *Nerazrushayushchiy kontrol': elektronnoe priborostroenie, tekhnologii, bezopasnost'* [Non-destructive test, electronic equipment and protection]. *Proc. of the Sixth All-Russian Conference*. Vol. 2. Tomsk. pp. 8–12.
8. Asadchiy, A.V. (2018) [Method of minimization of physical wear of EEPROM-memory for control device of voltage transducer]. *XXIV Makeevskie chteniya* [Proc. of the 24th Makeev Readings]. Ekaterinburg. pp. 5–10.
9. Feduleeva, M.V. (2012) Development of the multi-channel compression block as a part of measuring system. *Izvestiya YUFU. Tehnicheskie nauki – Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences*. 5(130). pp. 190–194.
10. Andreyko, D.N., Komarov, P.Yu. & Ignatov, F.M. (2013) Osnovnye metody szhatiya v peredache tsifrovyykh videoizobrazheniy [Basic compression methods in digital video transmission]. *Tekhnologii informatsionnogo obshchestva – Information Society Technologies*. vol. 9. pp. 10–14.
11. Asadchiy, A.V., Soldatov, A.I., Soldatov, A.A., Sorokin, P.V., Shulgina, Yu.V., Kostina, M.A. & Chubov, S.V. (2018) Method for controlling parameters of secondary uninterruptible power supply. *Patent of the Russian Federation*. № 2687302. SPK G01R 19/165 (2019.02), G01R 19/257 (2019.02). Application dated September 18, 2018; published May 13, 2019.
12. Asadchiy, A.V., Soldatov, A.I., Soldatov, A.A., Sorokin, P.V., Shulgina, Yu.V., Kostina, M.A. & Chubov, S.V. (2018) Device for controlling parameters of secondary uninterruptible power supply. *Patent of the Russian Federation*. № 2689323. SPK G01R 19/165 (2019.02), G01R 19/257 (2019.02). Application September 18, 2018; published May 27, 2019.

13. Galperin, M.V. (1982) *Vvedenie v skhemotekhniku* [Introduction of Circuitry]. Moscow: Energoatomizdat.
14. Galperin, M.V. (1987) *Prakticheskaya skhemotekhnika v promyshlennoy avtomatike* [Practical circuitry in industrial automation]. Moscow: Energoatomizdat.
15. Gusev, V.M. & Gusev, V.Y. (1982) *Elektronika* [Electronics]. Moscow: Vysshaya shkola.
16. Gerasimov, V.M. & Skvortsov, V.A. (2004) *Elektronnye tsepi i mikroskhemotekhnika* [Electronic circuit and circuit engineering]. Vol. 2. Tomsk: Tomsk State University of Automated Control Systems and Radioelectronics.