

Двухканальный отказоустойчивый АЦП в системе сбора и обработки аналоговой информации

Михаил Селуянов (Москва)

В статье описывается двухканальный отказоустойчивый АЦП с самоконтролем и реконфигурация при отказах устройства. Показывается, что реализация предложенной структуры устройства с использованием режимов параллельного и (или) последовательного опроса датчиков позволяет автоматически производить реконфигурацию устройства при отказах по результатам самоконтроля каждого АЦП. При этом увеличивается среднее время наработки на отказ и снижаются затраты на техническое обслуживание.

В радиоэлектронных системах находят широкое распространение многоканальные средства сбора и обработки аналоговой информации, использующие отдельный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в каждом канале. В таких устройствах, как и в любых других, могут возникать отказы, приводящие к искажению получаемых данных. Многие фирмы выпускают разнообразные «интеллектуальные» АЦП, позволяющие трансформировать алгоритм работы в процессе его выполнения. Известен, например, АЦП типа MAX 1460 фирмы Maxim, представляющий собой измерительную систему с аппаратурно-программным контролем и коррекцией погрешнос-

тей. Такой прибор содержит большой объём дополнительной аппаратуры: множество специализированных регистров, сигнальный процессор, несколько ПЗУ, вспомогательный ЦАП, датчик температуры и т.д.

Однако для обеспечения требуемой достоверности самоконтроля необходимы дополнительная производительность при вычислениях истинного выходного кода и дополнительная память для хранения контролирующих программ и констант. Поэтому быстродействию упомянутого АЦП невелико (частота преобразования 15 Гц). Для систем реального времени необходимы более простые и быстродействующие методы самоконтроля АЦП, которые позволяют

реализовать отказоустойчивые средства сбора и обработки информации.

Рассмотрим структурную схему двухканального отказоустойчивого последовательного АЦП (ДОАЦП), использующего замещение неисправного АЦП работоспособным по результатам самоконтроля и последующим последовательным опросом датчика неисправного канала [1]. Структурная схема ДОАЦП приведена на рисунке 1. Устройство содержит следующие основные узлы: два АЦП, первые входы которых подсоединены к выходам соответствующих датчиков, блок управления и два одинаковых цифровых коммутатора.

Устройство работает следующим образом. По сигналу «сброс», формируемому при включении электропитания устройства, производится установка в лог. 0 триггеров АЦП и блока управления. Сигнал «начало преобразования» (НП), поступающий на входы двух АЦП и блока управления, устанавливает в последнем параллельный режим опроса датчиков. Затем АЦП начинает процесс преобразования измеряемого сигнала в двоичный код с сокращённым циклом кодирования и самоконтролем. По окончании преобразования выходной код АЦП через соответствующие коммутаторы поступает в буферные регистры двух внешних устройств (ВУ-1 и ВУ-2).

Если в процессе преобразования, например, в АЦП-1, сформируется сигнал «не годен» (НГ-1), то по этому сигналу при помощи блока управления АЦП-2 перейдёт в режим последовательного опроса датчика Д-1. Поскольку сигнал НГ-1 в АЦП-1 блокирует сигнал НП, то сигнал от датчика Д-1 поступит на второй вход АЦП-2. После преобразования код этого сигнала записывается в буферный регистр ВУ-1 при помощи коммутатора ЦК-1. Аналогичным образом работает АЦП-1 в режиме последовательного опроса датчика Д-2 в случае формирования сигнала «не годен» в АЦП-2 (НГ-2).

Рассмотрим работу АЦП с самоконтролем, входящего в состав ДОАЦП.

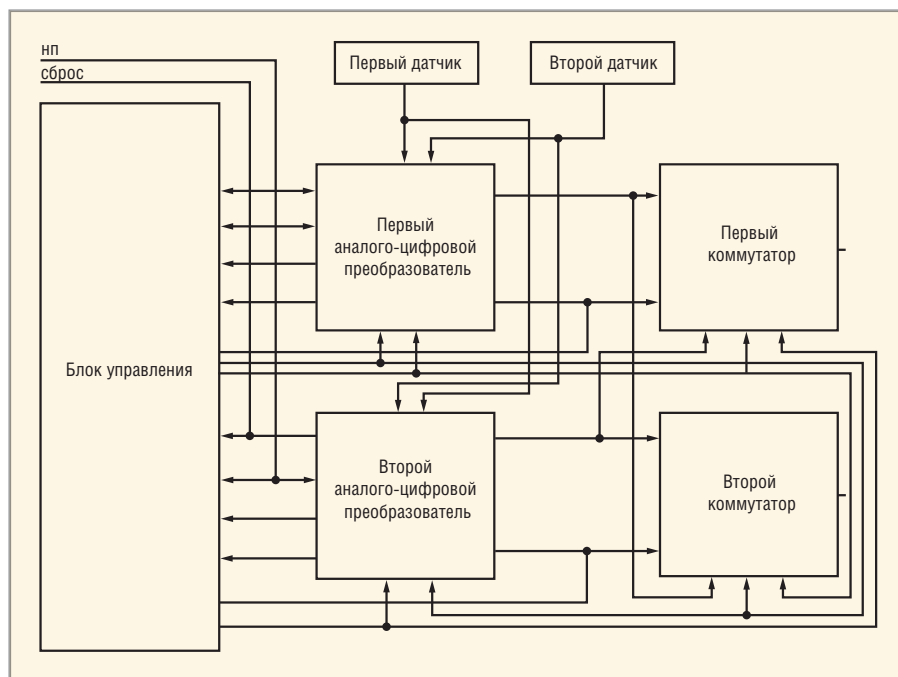


Рис. 1. Структурная схема ДОАЦП

Функциональная схема АЦП приведена на рисунке 2. Сигнал «сброс», поступающий в АЦП, устанавливает триггеры T_2 и T_3 в состояние лог. 0, а сигнал НП через элемент I_8 устанавливает триггер T_1 в состояние лог. 1. От блока управления данного устройства в АЦП поступает разрешающий уровень сигнала ПАРАЛ. При уровнях лог. 0 на входах регистра последовательных приближений (РПП) \overline{ERD} и $\bar{5}$ триггеры РПП устанавливаются в начальное состояние, и на выходах 1 – m будет код 0111 – 1.

Управление работой РПП осуществляется компараторами $КН_1$ и $КН_2$, а также элементами I_1 , I_2 , I_5 , ИЛИ₁, ИЛИ₂ и НЕ₁. Как только на втором входе элемента I_5 сформируется уровень лог. 0, процесс преобразования закончится, и триггер T_1 через элементы НЕ₂ и ИЛИ₃ установится в состояние лог. 0. Уровень лог. 0 на выходе элемента ИЛИ₂ формируется при условии $U_{\text{комп}} - U_{\text{мл.р}} < U_{\text{изм}} < U_{\text{комп}} + U_{\text{мл.р}}$. Выходной код снимается с РПП и через элементы I_9 и цифровой коммутатор поступает в соответствующее ВУ.

Если в процессе преобразования не произошло уравнивание измеряемого сигнала компенсирующим, то

элемент I_6 на m -м такте (с необходимой задержкой во времени, определяемой элементом \mathcal{D}_3) сформирует сигнал «не годен» (НГ-1 или НГ-2), который установит триггер T_3 в состояние лог. 1. Например, сигнал НГ-1, поступив в блок управления, установит триггер T_2 в состояние лог. 0, а триггер T_4 – в состояние лог. 1. При этом режим ПАРАЛ снимается и устанавливается последовательный режим ПОСЛ; разрешающие уровни подаются на входы элементов I_3 , I_4 , а на входы элементов I_1 , I_2 поступают запрещающие уровни лог. 0. Управление работой АЦП будет осуществляться компараторами $КН_3$, $КН_4$, элементами I_3 , I_4 , I_5 , ИЛИ₁, ИЛИ₂ и НЕ₁ аналогично режиму ПАРАЛ.

Если в этом режиме работы не произошло уравнивание измеряемого сигнала компенсирующим, то элемент I_7 на m -м такте (с необходимой задержкой, определяемой элементом задержки \mathcal{D}_3) установит триггер T_2 в состояние лог. 1. При этом нулевой выход триггера T_2 (T_2 -«0»), в дальнейшем обозначаемый как Тпс1-0 или Тпс2-0, поступает в блок управления. В последовательном режиме, при работоспо-

собном АЦП, выходной код снимается с РПП через элементы I_9 и поступает во внешнее устройство.

Функциональная схема блока управления приведена на рисунке 3. Сигнал «сброс», поступивший в блок, устанавливает триггеры T_1 и T_2 в состояние лог. 0, а триггеры T_3 и T_4 – в состояние лог. 1. В двух АЦП установятся параллельные режимы работы Пр.р1 и Пр.р2. В случае формирования в АЦП-1 сигнала НГ-1, в АЦП-1 режим Пр.р1 будет снят, а триггер T_4 будет установлен в состояние лог. 0, с тем чтобы АЦП-2 кодировал сигнал от первого датчика в последовательном режиме Пс.р2, т.к. в АЦП-1 выключился параллельный режим Пр.р1.

В случае формирования в АЦП-2 сигнала НГ-2, в АЦП-2 режим Пр.р2 будет снят, а триггер T_3 будет установлен в состояние лог. 0, с тем чтобы АЦП-1 кодировал сигнал от второго датчика в последовательном режиме Пс.р1, поскольку в АЦП-2 выключился параллельный режим Пр.р2. В случае отказа одного из АЦП в режиме Пс.р1 или Пс.р2, другой АЦП будет продолжать работать. Сигнал ОТКАЗ формируется при наличии сигналов НГ-1, НГ-2, Тпс1-1 и Тпс2-1.

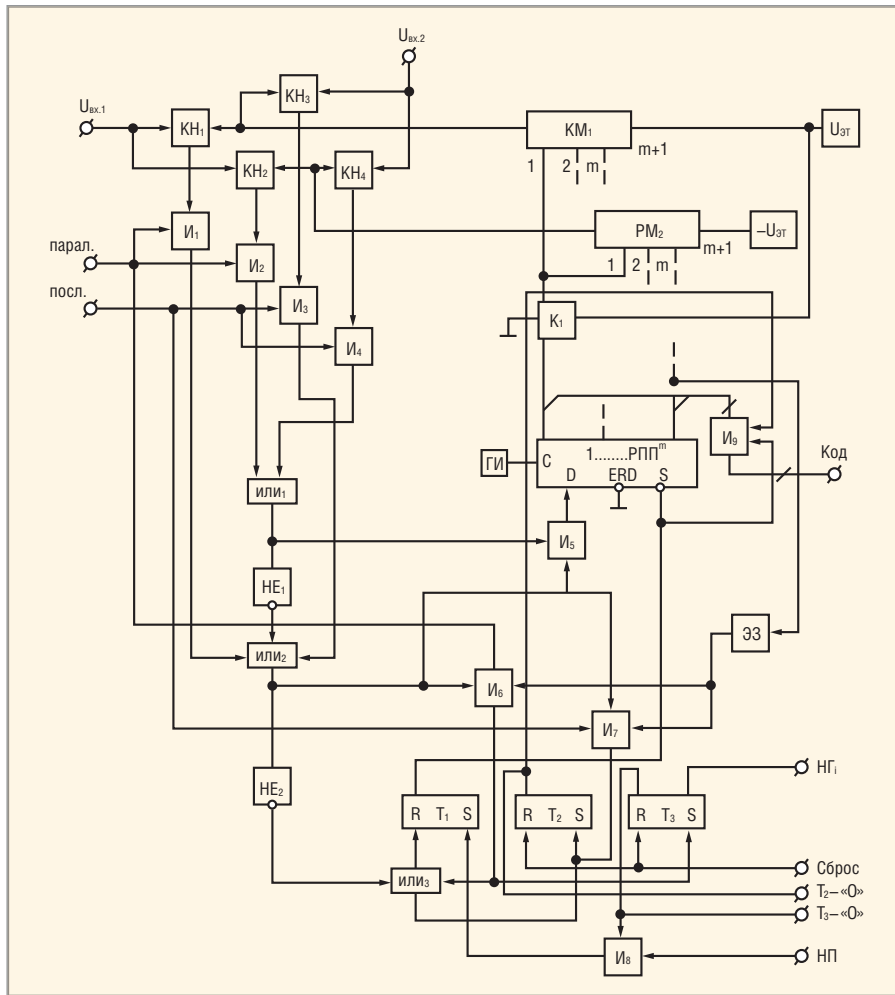


Рис. 2. Функциональная схема АЦП с самоконтролем

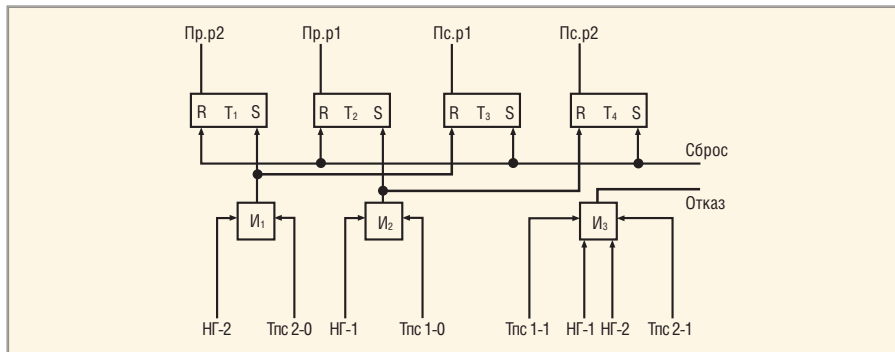


Рис. 3. Функциональная схема блока управления

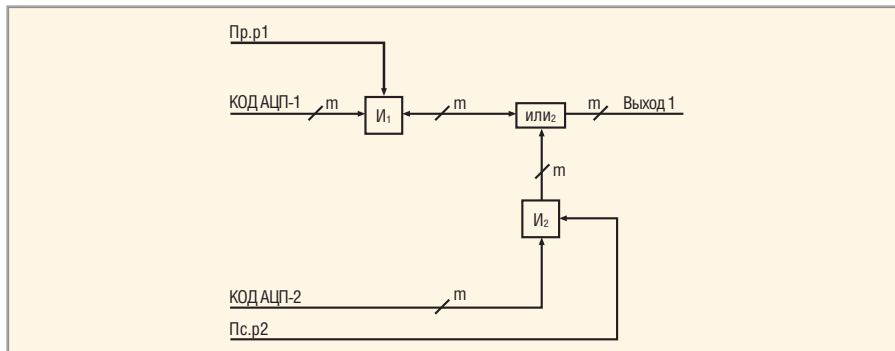


Рис. 4. Функциональная схема цифрового коммутатора

Функциональная схема одного из идентичных цифровых коммутаторов приведена на рисунке 4. В режиме Пр.р1

выходной код АЦП-1 поступает на группу элементов И1 (их количество определяется разрядностью АЦП). На указан-

ной схеме m элементов «И» представлены в виде одного элемента И1, связанного с кодовой шиной (знак /). При наличии разрешающих уровней лог. 1 на входах элементов И1 и сигнала Пр.р1, код АЦП-1 через группы элементов И1 и ИЛИ поступает на выход 1 и далее в буферный регистр ВУ1.

В режиме Пс.р2 при формировании в АЦП-1 сигнала НГ-1 (т.е. при отсутствии сигнала Пр.р1) на группы элементов И2 поступают разрешающие уровни лог. 1 при наличии сигнала Пс.р2 и кода АЦП-2, пропорционального аналоговому сигналу от датчика 1; код АЦП-2 через группы элементов И2 и ИЛИ поступает в тот же самый буферный регистр ВУ1. Код АЦП-1 на входе группы элементов И1 будет заблокирован отсутствием разрешающего уровня лог. 1 сигнала Пр.р1. Аналогично работает второй цифровой коммутатор.

Таким образом, ДООАЦП является отказоустойчивой измерительно-информационной системой, позволяющей повысить надёжность и достоверность преобразования за счёт организации работы АЦП в параллельном и/или последовательном режиме и автоматической смены режимов по результатам самоконтроля каждого АЦП.

Например, если первый АЦП в параллельном режиме Пр.р1 сформирует сигнал «НГ-1», то по этому сигналу второй АЦП перейдёт в режим последовательного опроса датчика Д1 Пс.р2 при сохранении опроса датчика Д2 в параллельном режиме Пр.р2. Если второй АЦП в параллельном режиме Пр.р2 сформирует сигнал «НГ-2», то по этому сигналу первый АЦП перейдёт в режим последовательного опроса датчика Д2 Пс.р1 при сохранении опроса датчика Д1 в параллельном режиме Пр.р1. Если в параллельных режимах откажут два АЦП, тогда в последовательных режимах первый АЦП будет преобразовывать аналоговую информацию от датчика Д2, а второй АЦП – от датчика Д1.

При указанных реконфигурациях не снижается точность преобразования, а выигрыш в использовании оборудования достигает 1,6...1,7 по сравнению с дублированием АЦП. Самоконтроль каждого АЦП производится в процессе его функционирования, т.е. дополнительного времени не требуется, а неисправности АЦП обнаруживаются в момент их появления.

Описанный ДОАЦП можно применять в n-канальных отказоустойчивых АЦП, при этом выход из строя любого АЦП в составной части устройства (ДОАЦП) не нарушит работоспособность всего устройства. Внедрение ДОАЦП в различные радиоэлектронные системы (радионавигация, автоматизированный контроль, измерительная техника и др.) позволит примерно вдвое увеличить среднее время наработки на отказ и снизить затраты на техническое обслуживание.

Для оценки достоверности самоконтроля АЦП воспользуемся обобщённым показателем достоверности контроля (самоконтроля), предложенным в работах [2, 3]:

$$D = P_{\text{СК}}[P_{\text{АЦП}} + V_c(Q_{\text{АЦП}} - \beta - \kappa\alpha) - \alpha(1 - \kappa)] + P_{\text{АЦП}}q_{\text{И}} + Q_{\text{АЦП}}[q_{\text{Н}} + q_{\text{НИ}}(1 - V_c)],$$

где: $P_{\text{АЦП}}$ – вероятность работоспособного состояния АЦП; $P_{\text{СК}}$ – вероятность работоспособного состояния средств самоконтроля АЦП; $q_{\text{И}}$, $q_{\text{Н}}$ – вероятность такого отказа средств самоконтроля АЦП, при котором они «призна-

ют» АЦП соответственно работоспособным или неработоспособным, независимо от его действительного состояния; $q_{\text{НИ}}$ – вероятность такого отказа средств самоконтроля АЦП, при котором выдаваемая ими оценка противоположна истинному состоянию АЦП; V_c – полнота самоконтроля; α – вероятность ложного отказа; β – вероятность необнаружимого отказа; $\kappa = Q_{\text{АЦП}}/P_{\text{АЦП}}$.

При расчёте достоверности самоконтроля на этапе проектирования, когда закон распределения вероятностей $q_{\text{И}}$, $q_{\text{Н}}$, $q_{\text{НИ}}$ неизвестен, можно принять, что их распределение происходит по закону равной вероятности, т.е. $q_{\text{И}} = q_{\text{Н}} = q_{\text{НИ}} = Q_{\text{СК}}/3$. Тогда:

$$D = P_{\text{СК}}[P_{\text{АЦП}} + V_c(Q_{\text{АЦП}} - \beta - \kappa\alpha) - \alpha(1 - \kappa)] + 0,33Q_{\text{СК}}[1 + Q_{\text{АЦП}}(1 - V_c)].$$

Если $V_c = 1$, то $D = P_{\text{СК}}(1 - \alpha - \beta) + 0,33Q_{\text{СК}}$.

В качестве стоимостного коэффициента целесообразно использовать коэффициент избыточного оборудования $K_{\text{И}} = (\lambda + \lambda_{\text{СК}})/\lambda$, где λ – интенсивность отказов АЦП в режиме его работы; $\lambda_{\text{СК}}$ – интенсивность отказов

средств самоконтроля в режиме работы и самоконтроля.

Отказ АЦП определяется по выходу измеряемого сигнала за пределы установленного допуска, например, $U_{\text{ИЗМ}} < U_{\text{КОМП}} - U_{\text{МЛР}}$ или $U_{\text{ИЗМ}} > U_{\text{КОМП}} + U_{\text{МЛР}}$, где $U_{\text{КОМП}}$ – напряжение компенсирующего сигнала, $U_{\text{МЛР}}$ – напряжение младшего разряда. Использование обобщённого показателя достоверности самоконтроля или критерия «достоверность – стоимость» позволяет выбрать наиболее рациональный вариант средств самоконтроля АЦП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 2251209РФ. Двухканальный резервированный аналого-цифровой преобразователь. МН. Селуянов, АП. Ежов. 2005. № 12.
2. Селуянов М.Н. Применение критерия «достоверность – стоимость» к проектированию средств самоконтроля последовательных аналого-цифровых преобразователей. Радиоэлектронные системы. Сер. Общетеchnическая. 1994. Вып. 2. С. 101–124.
3. Селуянов М.Н. Обобщённый показатель достоверности контроля аналоговых и цифровых устройств. Радиоэлектронные системы. Сер. Общетеchnическая. 1993. Вып. 1. С. 56–73.

