

ГЛАВА 4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

4.1. Ввод аналоговых сигналов в компьютер

Функциональные компоненты входного и выходного интерфейсов компьютера показаны на рис. 4.1.

Сигнал, выработанный датчиком, должен быть отфильтрован от всех посторонней частот до того, как он будет обработан компьютером. В частности, необходимо устранить высокочастотный шум, который обычно наводится в кабеле при передаче сигнала. Отфильтрованные измерительные сигналы собираются в мультиплексоре. Это устройство, которое имеет несколько входов и один выход. Основное назначение мультиплексора – уменьшить общую стоимость системы за счет применения только одного устройства обработки (в данном случае – управляющего компьютера), которое обычно существенно дороже мультиплексора для всех входных сигналов. Преобразование аналогового сигнала в цифровой происходит в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Схема выборки и хранения запоминает мгновенные значения входного сигнала в заранее установленные моменты времени и удерживает его постоянным на выходе в течение интервала дискретизации. Перед дальнейшей обработкой в компьютере значение сигнала измерительной информации необходимо дополнительно проверить, чтобы удостовериться в том, что оно приемлемо и имеет смысл в контексте физического процесса.

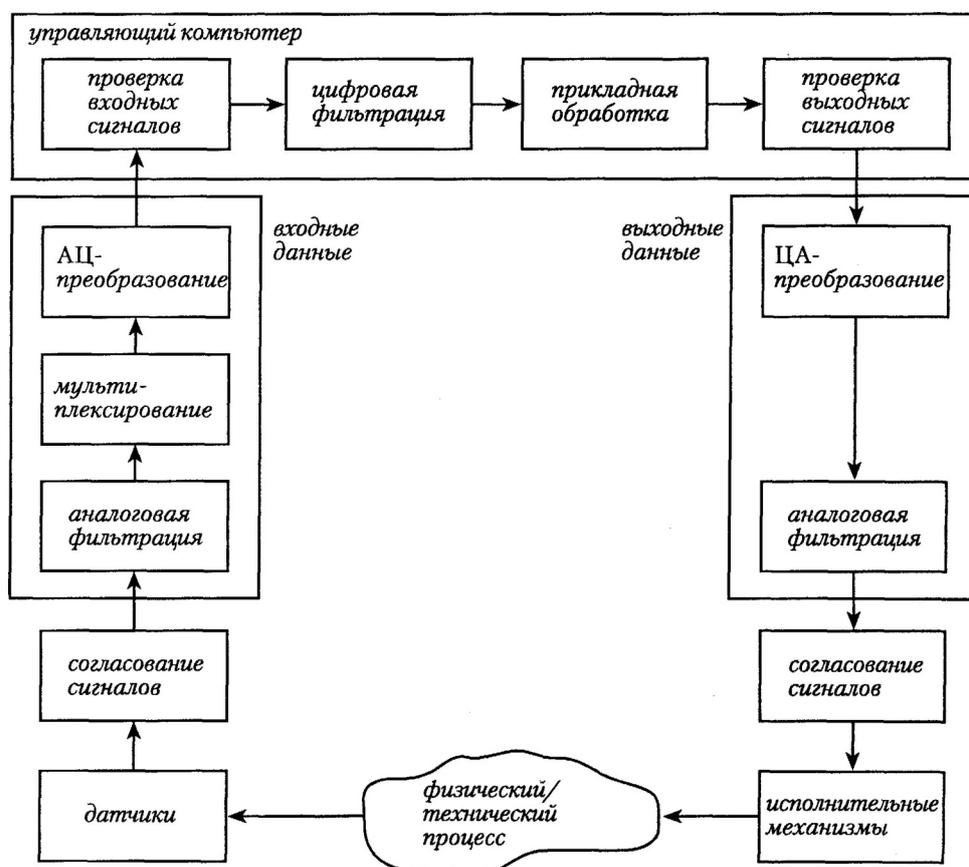


Рис. 4.1. Схема ввода/вывода в системе «процесс-управляющий компьютер».

4.2. Мультиплексоры

Во многих случаях различные элементы системы должны совместно использовать некоторые ограниченные ресурсы, например входной порт компьютера или длинный сигнальный кабель, по которому передается информация от нескольких датчиков. Мультиплексирование (*multiplexing*) позволяет компьютеру в любой момент времени выбирать, сигнал какого датчика необходимо считать. Иначе говоря **мультиплексор** (*multiplexer*) можно рассматривать как переключатель (коммутатор), соединяющий компьютер в каждый момент времени только с одним датчиком (рис. 4.2). Мультиплексирование применяется не только в области измерений, но и играет, хотя и в другом смысле, важную роль в технике связи.

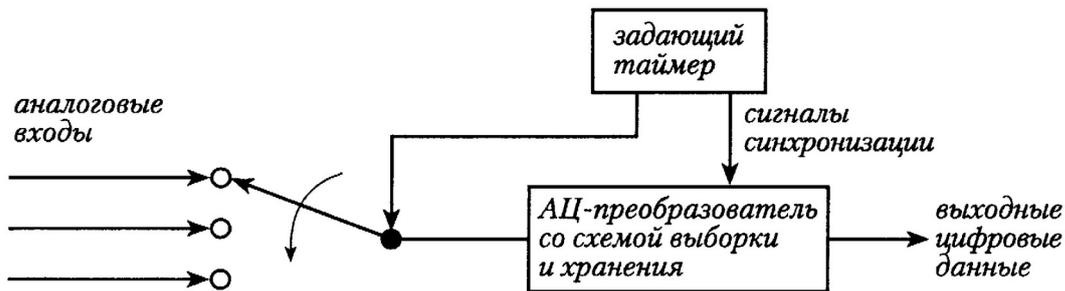


Рис. 4.2. Мультиплексирование и АЦ-преобразование измерительной информации.

Мультиплексор может быть либо электромеханическим, либо электронным. Если считать, что все входы мультиплексора пронумерованы, то переключение обычно происходит последовательно в соответствии с порядковым номером; однако применяются и другие алгоритмы. Электромеханический мультиплексор с язычковым реле – надежная, хотя до некоторой степени медленная, система; он может выполнять до сотни коммутаций в секунду. Эксплуатационный период мультиплексоров этого типа ограничен естественным износом подвижных частей, хотя с другой стороны, такие системы имеют хорошие изолирующие качества и низкую стоимость. Другой немаловажный фактор – очень малое падение напряжения на контактах. Для сравнения: электронный полупроводниковый мультиплексор намного быстрее (коммутация занимает не более чем несколько микросекунд). В сочетании с развязывающим усилителем этот тип мультиплексоров имеет очень хорошие эксплуатационные характеристики, но он существенно дороже релейного мультиплексора.

Токовые утечки и скачки напряжения на входах мультиплексора могут представлять собой серьезную проблему. Развязывающий усилитель между датчиком и компьютером работает с дифференциальным входом, но потенциал сигнала может «плавать» относительно «земли». В этом случае проводники, подходящие к мультиплексору или АЦП, должны быть гальванически изолированы, например с помощью переключаемого проходного конденсатора.

4.3. Цифро-аналоговые преобразователи сигналов

Важным этапом во многих процессах управления является **цифро-аналоговое** (ЦА, *Digital/Analog* – DA) преобразование – генерация аналогового сигнала с уровнем напряжения, соответствующим цифровому значению на входе. Эта процедура используется для передачи от компьютера управляющего сигнала исполнительному механизму или опорного значения для регулятора. ЦА-преобразование – также необходимый шаг в выполнении обратного аналого-цифрового (АЦ) преобразования.

Идеальный **цифро-аналоговый преобразователь** (ЦАП, *Digital-analog Converter, D/A converter*– DAC) вырабатывает выходной аналоговый сигнал, линейно зависящий от n -битного цифрового входного сигнала. В наиболее распространенных схемах каждый бит входного слова управляет некоторой составляющей выходного напряжения, которое генерируется каскадом сопротивлений (рис. 4.3). Величины резисторов выбираются так, чтобы получать напряжения, равные $1/2, 1/4, \dots, 1/2^n$ опорного значения, которые соответствуют позиции соответствующего бита в слове. Эти значения складываются под управлением входных бит и затем усиливаются. ЦАП можно также сконструировать и для получения токового выхода.

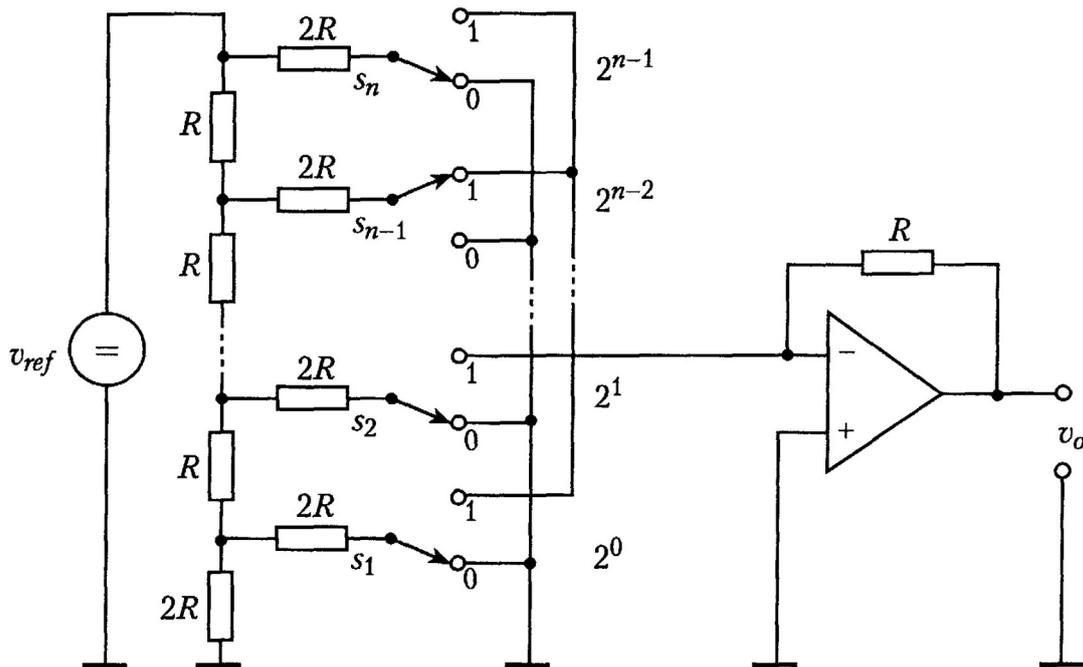


Рис. 4.3. Цифро-аналоговый преобразователь с каскадом сопротивлений.

Положение ключей s_1, \dots, s_n соответствует либо 0, либо 1 во входном цифровом слове. входное напряжение составляется из последовательно убывающих членов

$$v_o = -v_{ref} \cdot \left(\frac{s_1}{2^1} + \frac{s_2}{2^2} + \dots + \frac{s_n}{2^n} \right).$$

Например, в 8-битном ЦАП байт 01011001 приводит к следующему выходному напряжению (при $v_{ref} = -10\text{ В}$)

$$v_o = v_{ref} \cdot \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{256} \right) \approx 3.48 \text{ В}$$

Очевидно, что ЦАП выдает только дискретные выходные напряжения с разрешением $v_{ref} \cdot 2^{-n}$.

Необходимо отметить, что если при изменении значения входного слова соответствующие ключи ЦАП не изменяют своего состояния все одновременно, то в переходном режиме может появиться нежелательный всплеск (*glitch*) напряжения на аналоговом выходе. Для устранения этой проблемы последовательно с ЦАП включают схему выборки и хранения (стабилизатор), которая поддерживает выходное значение постоянным, пока ключи не установятся.

Самые важные характеристики ЦАП, которые нужно учитывать при его выборе или разработке, перечислены ниже.

- **Линейность** (*linearity*): в какой степени связь между цифровым входом и выходным напряжением линейна, или, иначе, величина отклонения реального выходного напряжения от расчетного из-за нелинейности.
- **Нулевое смещение** (*offset error*): значение выходного сигнала при нулевом значении на цифровом входе. Всегда должна быть возможность подстроить это значение, например с помощью потенциометра или программного управления.
- **Время установления** (*settling time*): время, необходимое для установления выходного напряжения на новое постоянное значение.
- **Быстродействие** (*slew rate*): максимальная скорость изменения выходного напряжения (выражается в В/мкс). Быстродействие зависит от времени установления.

4.4. Аналого-цифровые преобразователи сигналов

Для компьютерной обработки дискретные аналоговые значения измерительного сигнала необходимо представить в цифровой форме, т. е. выполнить **аналого-цифровое** (АЦ, *Analog-Digital – A/D*) преобразование. Соответствующее устройство называется **аналого-цифровым преобразователем** (АЦП, *Analog-Digital Converter, A/D converter – ADC*). АЦП генерирует двоичное слово – цифровой выход – на основе аналогового сигнала. Существуют АЦП, выполненные, например, в виде платы расширения компьютера.

АЦП может работать в соответствии с различными принципами; два широко распространенных метода – параллельное сравнение и пошаговое приближение (аппроксимация).

В АЦП, работающем по принципу **сравнения** (*comparison*), входное значение сравнивается с различными уровнями напряжения, выработанными на основе известного опорного напряжения и каскада сопротивлений (рис. 4.4). На выходе каждой схемы сравнения – компаратора – появляется 0 либо 1 в зависимости от соотношения входного и опорного напряжений. Выход

каждого компаратора затем преобразуются в двоичный код. Такие АЦП обладают хорошим быстродействием, но довольно дороги из-за применения компараторов.

АЦП, работающий по принципу **пошагового приближения** (*incremental approximation*), построен на основе ЦАП (рис. 4.5 а). Диапазон входного сигнала разделен на $2^n - 1$ интервалов, где n – число бит в выходном слове. Счетчик быстро генерирует последовательные числа, которые сразу преобразуются в аналоговые значения. Счетчик продолжает наращивать выход до тех пор, пока разница напряжений между выходом АЦП и входным аналоговым значением не станет меньше разрешающей способности АЦП (рис. 4.5 б). Преобразование на основе пошагового приближения требует определенного времени, которое зависит от времени ЦА-преобразования и от входного значения. Вообще говоря, время ЦА-преобразования находится в наносекундном диапазоне, а АЦ-преобразования – в микросекундном; для типового АЦП это время составляет от 0.5 до 400 мкс. Разрешение преобразования обычно составляет 10-12 бит, т. е. 1023 либо 4095 интервалов по напряжению; следовательно, входной сигнал квантуется в соответствующих долях от полной входной величины. Часть характеристик АЦП определены так же, как для ЦАП, – разрешение, нулевое смещение, линейность и время преобразования.

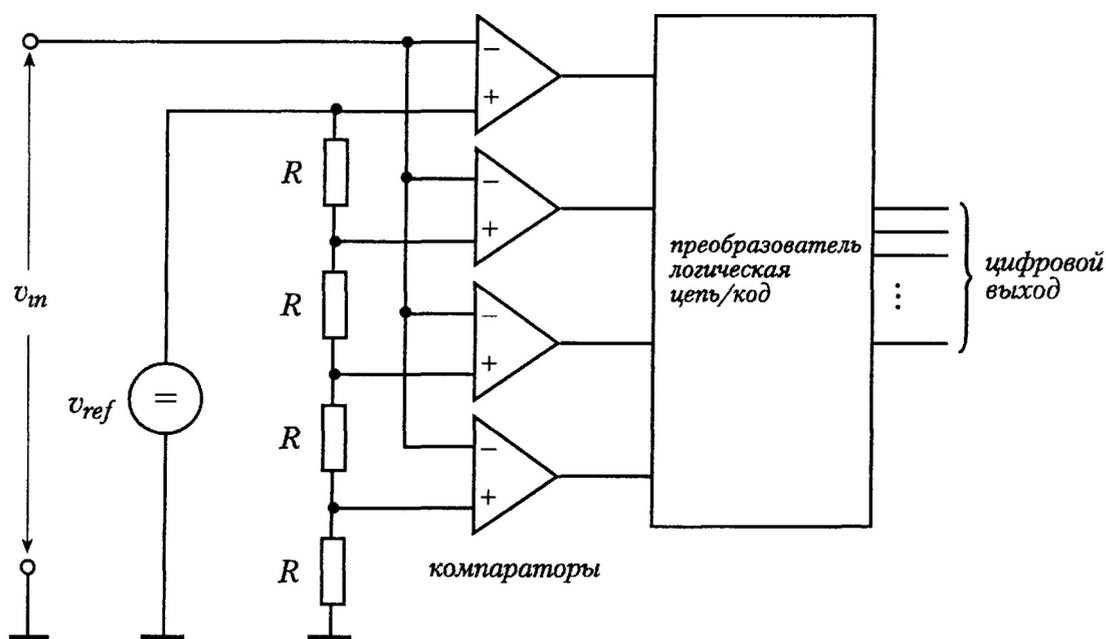


Рис. 4.4. АЦП с параллельными схемами сравнения.

При работе АЦП важно, чтобы его разрешающая способность (*conversion resolution*) использовалась полностью. На практике редко бывает так, что преобразуемый входной сигнал (выход датчика) изменяется от 0 до 100 % всего своего диапазона; обычно нормальным является изменение в пределах 10-20 %. Если, например, сигнал изменяется в пределах 5 % от его

теоретического диапазона и поступает на 10-битный АЦП, тогда действительный входной диапазон сигнала будет составлять 5 % от 1023 или около 50 интервалов напряжения. Таким образом, цифровое разрешение будет определяться только 1/50 частью всего диапазона, т. е. 2 % (рис. 4.6 а). Если вместо этого АЦП можно настроить на 0 при 20 % и на 1023 при 25 % входного сигнала, то разрешение становится намного выше – 1/1023 или 0.1 % диапазона датчика.

Для того чтобы использовать весь диапазон АЦП, нужно подстраивать как коэффициент усиления, так и смещение напряжения входного аналогового сигнала. Это можно сделать с помощью операционного усилителя (рис. 4.6 б). Смещение напряжения настраивается переменным резистором R_1 так, чтобы выход усилителя постоянного тока соответствовал минимуму входного сигнала АЦП, который в свою очередь соответствует минимальному значению измерительного сигнала. Переменный резистор R_2 используется для настройки усиления так, чтобы выходной уровень усилителя для максимума входного измерительного сигнала соответствовал максимальному входному значению АЦП.

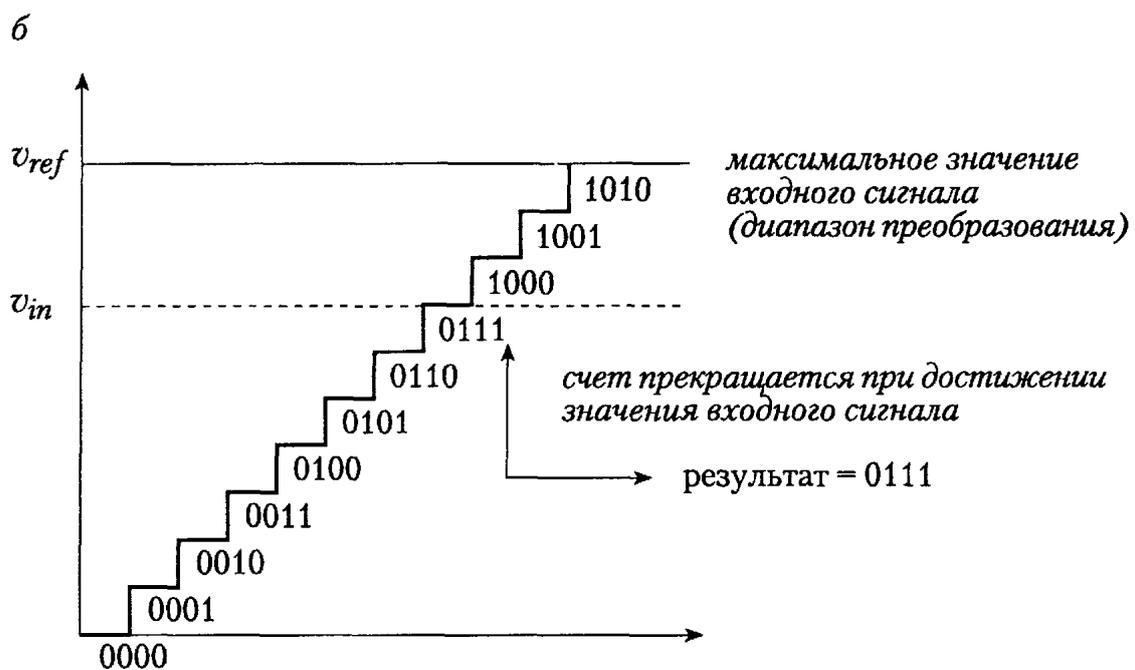
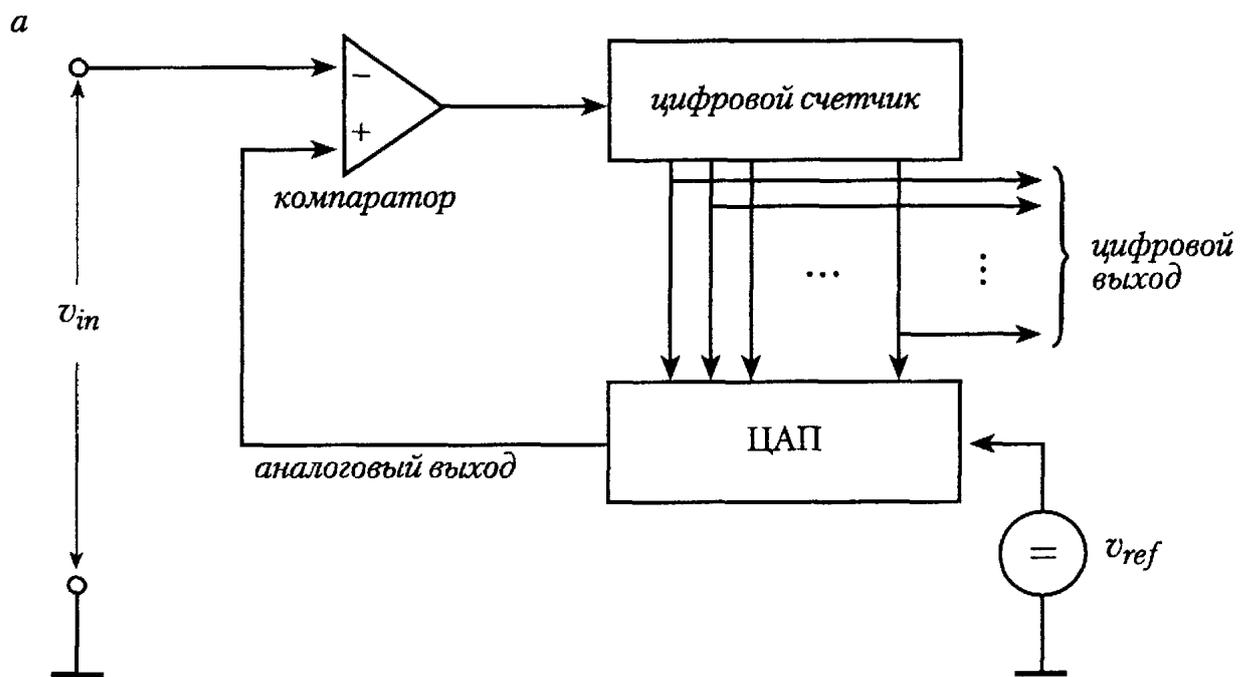


Рис. 4.5. АЦП, работающий по принципу пошагового приближения:
 а – схема; б – принцип работы.

Если для передачи сигналов используется диапазон 4-20 мА, то разрыв цепи можно обнаружить как сигнал 0 мА. АЦП можно использовать также для индикации нерабочего состояния датчика. Если АЦП откалиброван так, что максимальный входной сигнал (например, 20 мА) соответствует значению 4000 вместо 4095 в 12-битовом АЦП, то большие значения выходного слова можно использовать для индикации исключительных и ошибочных ситуаций. Это, однако, требует некоторых дополнительных электронных схем и средств обработки.

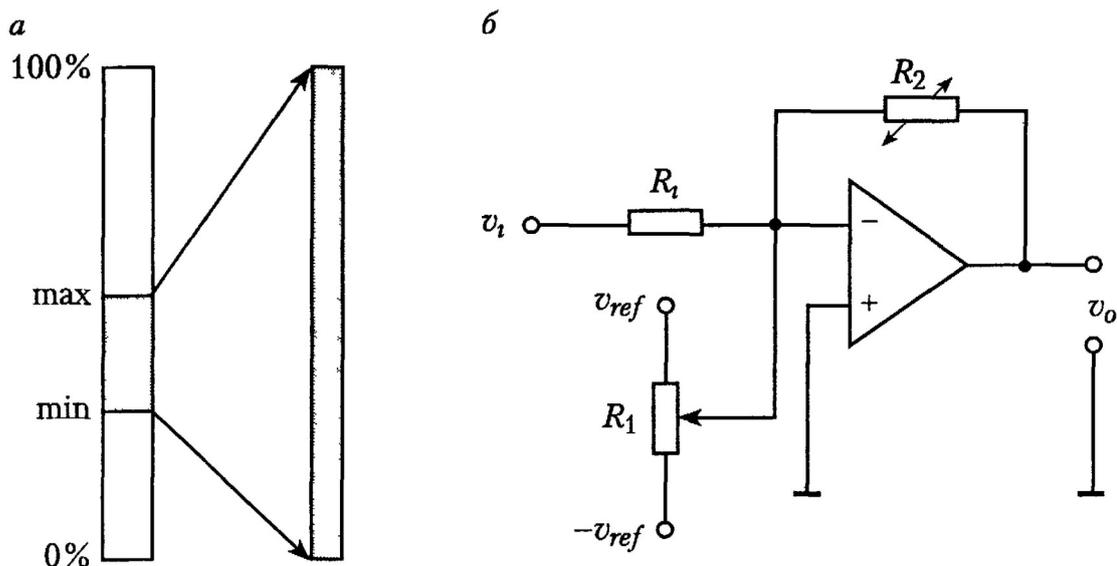


Рис. 4.6. Использование всего диапазона АЦП – 0-100 % (а); настройка смещения нуля резистором R_1 и коэффициента усиления резистором R_2 (б).

Простой способ выявить отсоединенный датчик основан на схеме с переключателем и источником постоянного напряжения. Напряжение должно быть немного выше, чем максимальное выходное напряжение датчика, или, в случае замкнутой токовой петли, выше, чем уровень напряжения, соответствующий значению тока в 20 мА. Переключатель помещается перед мультиплексором (рис. 4.7).

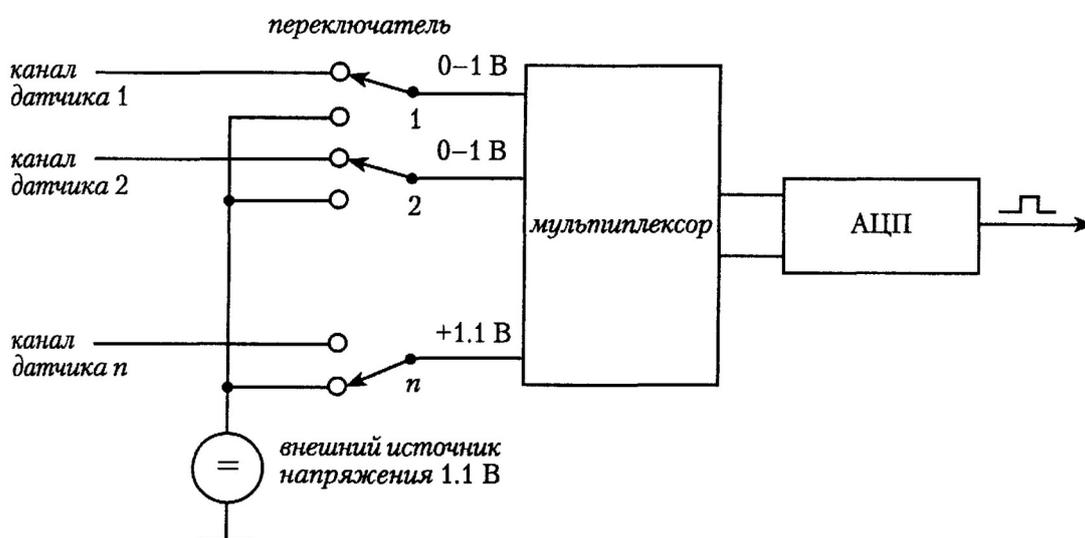


Рис. 4.7. Индикация отключенного датчика.

Переключатель канала 1 в положении «включен» – датчик подключен; переключатель канала n в положении «выключен» – датчик отключен.

При включенном положении переключателя вход мультиплексора соединяется с датчиком и оконечным резистором, следовательно, входной сигнал соответствует значению измеряемой величины. При отключенном

положении переключателя вход мультиплексора соединяется с внешним источником напряжения. Когда датчик не работает, например во время обслуживания или калибровки, переключатель переводится в положение «выключен» и значение на выходе АЦП превысит нормальный диапазон. Управляющий компьютер, соответственно, определит, что датчик не работает.