

# СОДЕРЖАНИЕ

---

Введение .....	5
----------------	---

---

<b>1 Аналоговые ключи и коммутаторы .....</b>	<b>6</b>
1.1. Аналоговый ключ .....	7
1.1.1. Общие сведения .....	7
1.1.2. Проводящее состояние ключа .....	8
1.1.3. Непроводящее состояние ключа .....	10
1.1.4. Динамическая погрешность ключа .....	11
1.1.5. Условное графическое обозначение (УГО) .....	11
1.1.6. Выбор микросхемы ключа .....	12
1.2. Аналоговый коммутатор .....	12
1.2.1. Внутренняя структура и УГО .....	12
1.2.2. Параметры .....	13
1.2.3. Пример использования коммутатора .....	14
1.2.4. Разновидности микросхем .....	15
1.3. Схема выборки-хранения .....	16
1.3.1. Схема и принцип действия .....	16
1.3.2. Погрешность нездозаряда .....	17
1.3.3. Погрешность хранения .....	18
1.3.4. Микросхема КР1100СК2 .....	19
1.4. Аналоговые ключи с изолированным управлением .....	19
1.4.1. Ключ с трансформаторным управлением .....	19
1.4.2. Ключ с оптическим управлением .....	20
1.4.3. Контактные ключи .....	21
1.4.4. «Летающий конденсатор» .....	23

---

<b>2 Цифроаналоговые преобразователи .....</b>	<b>25</b>
2.1. Структура ЦАП .....	26
2.1.1. Общие сведения .....	26
2.1.2. Параметры ЦАП .....	27
2.1.3. Структура ЦАП .....	28
2.1.4. ЦАП на основе двоично-взвешенных резисторов .....	28
2.1.5. ЦАП на основе резисторной матрицы R-2R .....	30
2.2. Микросхемы ЦАП и их применение .....	31
2.2.1. УГО ЦАП .....	31
2.2.2. Параллельный интерфейс ЦАП .....	31
2.2.3. Последовательный интерфейс типа SPI .....	33
2.2.4. Последовательный интерфейс типа Up/Down .....	34
2.2.5. Области использования ЦАП .....	35
2.3. Время-импульсный ЦАП .....	36
2.3.1. Общие сведения .....	36
2.3.2. Формирование ШИМ-сигнала .....	38
2.3.3. Аппаратное формирование ШИМ-сигнала .....	39
2.3.4. Сглаживающий фильтр .....	40

<b>3</b>	<b>Пороговые устройства</b> .....	42
3.1.	Аналоговые компараторы .....	43
3.1.1.	Общие сведения .....	43
3.1.2.	Основные параметры .....	45
3.1.3.	Схемы сравнения .....	46
3.1.4.	Двухпороговый компаратор .....	48
3.1.5.	Формирование прямоугольного сигнала .....	49
3.2.	Пороговое устройство с гистерезисом – триггер Шмитта .....	50
3.2.1.	Общие сведения .....	50
3.2.2.	Формирование прямоугольного импульса .....	51
3.2.3.	Логический элемент с гистерезисом .....	52
3.2.4.	Прецизионный триггер Шмитта .....	52
<b>4</b>	<b>Аналого-цифровые преобразования (АЦП)</b> .....	54
4.1.	Общие сведения и параллельный АЦП .....	55
4.1.1.	Основные параметры АЦП .....	55
4.1.2.	Параллельный АЦП .....	56
4.1.3.	Последовательно-параллельный АЦП .....	57
4.2.	АЦП на основе ЦАП и компаратора .....	58
4.2.1.	Общие сведения .....	58
4.2.2.	Развертывающий алгоритм .....	59
4.2.3.	Следящий алгоритм .....	60
4.2.4.	Алгоритм поразрядного уравнивания .....	61
4.3.	Особенности обслуживания микросхем АЦП .....	62
4.3.1.	Обслуживание АЦП К572ПВЗ .....	62
4.3.2.	АЦП с последовательным интерфейсом .....	63
4.3.3.	Особенности встроенных АЦП .....	65
4.4.	Времяимпульсный АЦП развертывающего типа .....	66
4.4.1.	Основные сведения .....	66
4.4.2.	Схема простейшего время-импульсного АЦП .....	67
4.4.3.	Расчетные соотношения .....	68
4.4.4.	Уменьшение погрешности .....	69
4.5.	АЦП двойного интегрирования .....	70
4.5.1.	Общие сведения .....	70
4.5.2.	Реализация АЦП двойного интегрирования .....	72
4.6.	Частотные и сигма-дельта АЦП .....	73
4.6.1.	Частотные АЦП .....	73
4.6.2.	Преобразователь напряжения в частоту (ПНЧ) .....	74
4.6.3.	Структура сигма-дельта АЦП .....	76
4.6.4.	Передискретизация .....	77
4.6.5.	Замена однобитовых устройств .....	77
	<b>Литература</b> .....	79

# Введение

Для взаимодействия цифрового процессора с внешними аналоговыми объектами необходим определенный набор аналого-цифровых устройств для подключения сигналов от датчиков, для оцифровки аналогового сигнала, для обратного превращения цифры в аналог с целью воздействия на реальный объект. Такие устройства имеют как аналоговые, так и цифровые цепи. К ним относятся аналоговые ключи и коммутаторы, пороговые устройства (с гистерезисом и без), цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) и аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

В пособии описаны принципы действия и структура указанных устройств.

Чтобы изложенный материал можно было использовать в курсовом проектировании, особое место в пособии уделено особенностям практического подключения аналого-цифровых устройств к однокристалльной вычислительной машине (ОВМ) семейства *x51*. При этом предполагается, что читатель знаком с основами программирования в рамках учебного процесса, потому что в некоторых случаях для пояснения правил взаимодействия с внешними схемами приведены фрагменты программ на ассемблере, что позволяет наглядно совместить пояснение алгоритмики и детализацию отдельных операций, выполняемых ОВМ.

Примечание: имена переменных и адресных меток, вводимые пользователем, в примерах программных фрагментов начинаются с префикса *mu*, чтобы отличать их от стандартных операторов и директив языка ассемблера, которые для большей заметности набраны жирным шрифтом.

# 1 АНАЛОГОВЫЕ КЛЮЧИ И КОММУТАТОРЫ

<b>2</b>	Цифроаналоговые преобразователи	25
<b>3</b>	Пороговые устройства	42
<b>4</b>	Аналого-цифровые преобразования (АЦП)	54

Для подключения сигналов с аналоговых датчиков к входу АЦП, соединенного с ВМ, служат аналоговые коммутаторы (мультиплексоры). На управляющих входах аналогового коммутатора действуют цифровые сигналы, разрешающие или запрещающие прохождение аналогового сигнала с одного из входов на общий выход.

Основными элементами коммутатора являются аналоговые ключи, которые входят в состав и более сложных устройств, таких как ЦАП и АЦП, и оказывают существенное влияние на их характеристики.

## 1.1. Аналоговый ключ

### 1.1.1. Общие сведения

Аналоговый ключ, в отличие от цифрового, работает с непрерывным множеством передаваемых значений и должен максимально точно передать сигнал от источника информации к приемнику. Поэтому аналоговый ключ по своим свойствам ближе к идеальному ключу, чем цифровой, то есть имеет минимальное сопротивление в проводящем состоянии и максимальное – в непроводящем.

Информационный сигнал, обычно представляющий напряжение, отсчитывается относительно общей точки системы, условно называемой «землей». Поэтому аналоговый ключ, подсоединяемый между источником сигнала и приемником (нагрузкой), чаще всего включается непосредственно в информационный провод, как показано на функциональной схеме, приведенной на рис. 1.1.

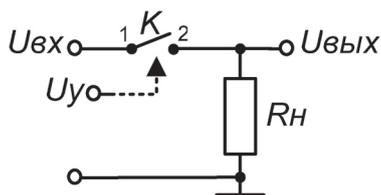


Рис. 1.1

В качестве ключей можно использовать контактные ключи, например герконы, которые рассмотрены в параграфе 1.3. Но их быстродействие и ресурс работы не велики, и поэтому в микропроцессорной технике в основном применяются бесконтактные ключи на основе полевых транзисторов с изолированным затвором.

Например, на схеме рис. 1.2 в качестве ключа  $K$  использован полевой транзистор с изолированным затвором и каналом  $p$ -типа. В принципе, тип транзистора зависит от используемой технологии и реально в одном ключе могут комбинироваться два транзистора для улучшения его характеристик. Например, параллельное соединение двух разнотипных транзисторов уменьшает сопротивление ключа в проводящем состоянии и позволяет коммутировать двухполярное входное напряжение.

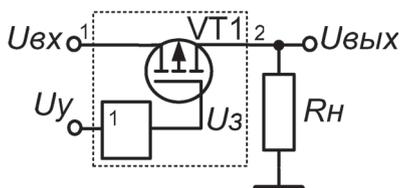


Рис. 1.2

Вывод 1 аналогового ключа называют входом, а вывод 2 – выходом. Отметим, что вход и выход можно поменять местами, то есть *аналоговый ключ, в отличие от цифрового, является обратимым элементом.*

Управление ключом осуществляется напряжением на затворе транзистора. Оно должно обеспечивать надежное переключение при заданных величинах и полярностях входного сигнала. Формирование напряжения  $U_3$  обеспечивается специальными каскадами внутри микросхем и скрыто от пользователей. Наружное управление аналоговым ключом обычно осуществляется цифровым сигналом  $U_y$ , близким по уровням к ТТЛ-сигналу.

Принято считать сигнал  $U_y$  *активным*, когда ключ проводит, и *пассивным*, когда не проводит. Если активный уровень нулевой, то вход называют *инверсным* и его условно-графическое обозначение (УГО), как и в цифровых схемах, помечается кружочком. Если активный уровень единичный, то управляющий вход называют *прямым* (см. п. 1.1.5).

Таким образом, аналоговый ключ имеет два состояния – проводящее и непроводящее. Рассмотрим их особенности по отдельности.

### 1.1.2. Проводящее состояние ключа

Будем считать, что напряжение  $U_y$  имеет активный уровень. Тогда ключ находится в проводящем состоянии и его в простейшем случае можно заменить внутренним сопротивлением канала  $R_o$  транзистора

(рис. 1.3). Значение  $R_o$  зависит от типа ключа, приводится в справочниках и имеет величину от единиц до сотен омов.

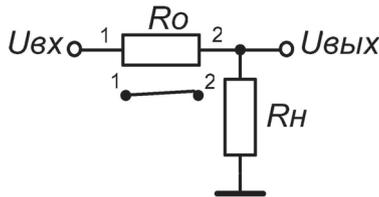


Рис. 1.3

Полученную схему замещения можно использовать для оценки влияния ключа на выходной сигнал:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_o} \quad (1.1)$$

Из формулы видно, что дробь меньше единицы и  $U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{ВХ}}$ , то есть ключ ослабляет сигнал и вносит определенную погрешность.

Относительную погрешность для проводящего состояния можно рассчитать как отношение напряжения, падающего на ключе, к максимальному входному сигналу:

$$\delta_o = \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХмакс}}} \quad (1.2)$$

Подставив сюда значение  $U_{\text{ВЫХ}}$  при  $U_{\text{ВХмакс}}$ , получим (при  $R_{\text{н}} \gg R_o$ ):

$$\delta_o \approx \frac{R_o}{R_{\text{н}}} \quad (1.3)$$

Пусть, например,  $R_o = 50$  Ом, а  $R_{\text{н}} = 10$  кОм, тогда  $\delta_o = 0,5\%$ . Здесь следует отметить, что не так важна величина этой погрешности (ведь ее можно учесть после оцифровки, введя поправочный коэффициент в программе), как ее неизменность. Дело в том, что  $R_o$  для конкретного ключа в точности неизвестно, поскольку производитель дает чаще всего максимально возможные значения. Вдобавок нужно помнить, что  $R_o$  нелинейно зависит от входного сигнала и, кроме того, существенно меняется при изменении температуры. Поэтому на практике стараются максимально увеличивать  $R_{\text{н}}$ , чтобы даже в худшем случае погрешность была не более заданной. Один из способов увеличения  $R_{\text{н}}$  путем подключения нагрузки к коммутатору через повторитель сигнала с большим входным сопротивлением иллюстрирован в п. 1.2.3.

### 1.1.3. Непроводящее состояние ключа

Характеризуется огромным сопротивлением (более ГОм), которое в большинстве случаев не учитывается в расчетах. Однако паразитный ток через ключ все-таки протекает – это достаточно малый ток утечки через различные внутренние цепи, попадающий на нагрузку. Поэтому эквивалентная схема замещения ключа в непроводящем состоянии (рис. 1.4) учитывает этот источник тока  $I_{ут}$ . Отметим также, что на направление и величину этого тока дополнительно оказывают влияние полярность и величина входного сигнала.

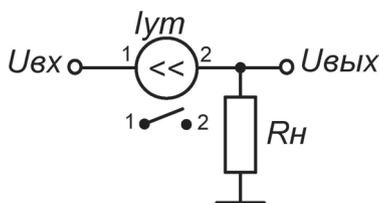


Рис. 1.4

Нетрудно видеть, что на выходе будет отличное от нуля неинформационное напряжение:

$$U_H = I_{ут}R_H. \quad (1.4)$$

Однако в составе коммутатора ток утечки непроводящего ключа будет замыкаться через малое сопротивление проводящего ключа в соседнем канале, и тогда паразитная составляющая будет значительно меньше:

$$U_H = I_{ут}R_0. \quad (1.5)$$

Для оценки относительной погрешности нужно поделить неинформационную составляющую  $U_H$  на максимальный входной сигнал:

$$\delta_y = \frac{U_H}{U_{\text{МАКС}}} = \frac{I_{ут}R_0}{U_{\text{МАКС}}}. \quad (1.6)$$

Например, имеем справочные значения  $I_{ут} = 1$  мкА,  $R_0 = 50$  Ом, а напряжение  $U_{\text{МАКС}} = 1$  В известно из технического задания. Тогда для одиночного ключа найдем  $\delta_y = 10^{-6} \cdot 50/1 = 0,005\%$ .

И опять отметим, что поскольку точное значение тока  $I_{ут}$  для конкретного ключа неизвестно, то речь идет только об упрощенной оценке максимально возможного значения погрешности. На практи-

ке нужно также учитывать температурные изменения тока  $I_{ут}$ , которые могут быть весьма значительными.

#### 1.1.4. Динамическая погрешность ключа

Кроме статических, медленно изменяющихся погрешностей, которые мы рассмотрели, в аналоговом ключе имеются и динамические составляющие, вызванные перезарядом внутренних паразитных емкостей при переключении управляющего сигнала. Токи заряда и разряда этих емкостей просачиваются в информационный канал и образуют на нагрузке так называемые *всплески* (см. рис. 1.5).

Эти всплески подмешиваются к информационному сигналу и вносят определенную погрешность, зависящую от способа оцифровки. Например, при использовании в цепи обработки сигнала осредняющих цепей погрешность будет максимальна. Если же осреднения нет, то стараются проводить оцифровку спустя некоторое время после переключения (участок А на рис. 1.5).

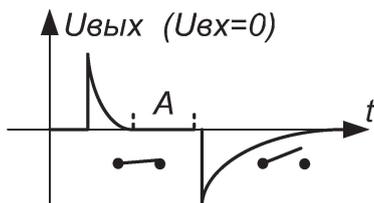


Рис. 1.5

Подобная динамическая погрешность не всегда указывается в документации, чаще приводится *время переключения* из одного состояния в другое (десять и сотни наносекунд), которое характеризует потенциальное быстродействие ключа.

#### 1.1.5. Условное графическое обозначение (УГО)

На принципиальных схемах внутреннюю структуру ключа не изображают, а пользуются стандартным обозначением в виде прямоугольника (рис. 1.6), внутри которого указывают символ функции, выполняемой ключом, —  $SW$  (от  $SWITCH$ ). Аналоговый и управляющий входы ключа расположены, как обычно, с левой стороны, а выход — с правой. Аналоговые выводы чаще всего не маркируются отдельными буквами, а управляющий вход, для отличия, имеет буквенное обозначение, например  $E$  (от  $ENABLE$  — разрешить).

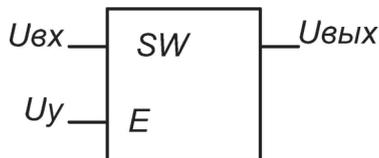


Рис. 1.6

### 1.1.6. Выбор микросхемы ключа

Микросхемы аналоговых ключей в настоящее время выпускаются множеством зарубежных фирм. В России номенклатура выпускаемых ключей значительно меньше и ограничивается в основном устаревшими микросхемами серии К590, имеющими буквенный индекс КН, например КР590КН13.

При выборе типа ключа обычно обращают внимание на время переключения, значения  $R_0$  и  $I_{ут}$ , напряжение питания микросхемы, диапазон переключаемых напряжений и уровни управляющего сигнала.

Одиночные аналоговые ключи используются сравнительно редко. В основном они входят в состав более сложных устройств, таких как коммутаторы, схемы выборки-хранения, ЦАП, АЦП, синхронные детекторы, усилители с программируемым коэффициентом усиления, усилители постоянного тока с коррекцией нуля и др. [1]. Часть из этих ключевых устройств будет рассмотрена далее.

## 1.2. Аналоговый коммутатор

### 1.2.1. Внутренняя структура и УГО

Коммутатор представляет собой набор аналоговых ключей, выходы которых объединены (рис. 1.7). Для уменьшения числа управляющих внешних выводов используется внутренний дешифратор  $DC$ . Сигналы на входе дешифратора задают в двоичном виде номер выбранного канала, то есть активным будет только один управляющий выход дешифратора. В том случае, если разрешающий сигнал дешифратора  $E$  пассивен, все ключи находятся в непроводящем состоянии. Этот режим позволяет подключать выходы нескольких микросхем коммутаторов на одну нагрузку, разрешая работу только одному из них по входу  $E$ .

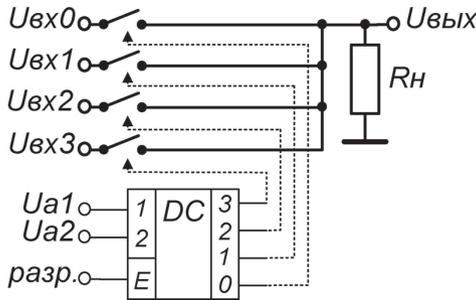


Рис. 1.7

Условное графическое обозначение аналогового коммутатора (рис. 1.8) похоже на обозначение цифрового, имеет входы и выходы, адресные входы и вход разрешения. Отличие состоит только в том, что в буквенном обозначении выполняемой функции коммутатора (мультиплексора) присутствует буква *A* и информационные цепи – аналоговые. Допускается вместо *АМХ* использовать обозначение *SW*, как в электронных ключах.

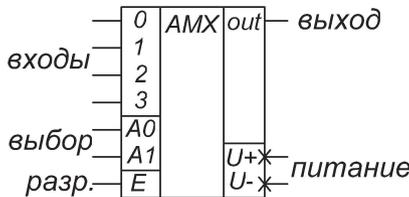


Рис. 1.8

Отметим, что обратимость аналоговых коммутаторов (выход может стать входом) позволяет использовать их в режиме демультиплексора, когда один источник информации подключен к выходу, который становится входом, а адресуемые входы становятся выходами информации, к которым подключены приемники.

### 1.2.2. Параметры

Микросхемы коммутаторов характеризуются в основном такими же параметрами, как и аналоговые ключи, –  $R_o$ ,  $I_{ум}$ , время переключения, диапазон входных напряжений, напряжение питания и уровни управляющих сигналов.

Например, 8-входовая микросхема КР590КН6 имеет следующие параметры:  $R_o \approx 300$  Ом,  $I_{\text{УТ}} \approx 70$  нА, время переключения 300 нс [2]. Указанные параметры зависят от напряжения питания, уровня входного сигнала, температуры, и поэтому справочные данные лишь приблизительно указывают границу параметров для определенного режима тестирования.

Следует отметить, что микросхемы серии К590 требуют двухполярного напряжения питания, тогда как большинство современных микропроцессорных систем имеют единственный источник +5 В или менее. Поэтому разработчики применяют или импортные коммутаторы, или в не очень ответственных случаях пользуются цифровыми микросхемами, позволяющими коммутировать и аналоговые сигналы. К таким микросхемам относятся КР561КП1 (два коммутатора с 4 входами) и КП2 (8 входов), имеющие при пятивольтовом питании  $R_o \approx 200\text{--}400$  Ом,  $I_{\text{УТ}} \approx 20$  нА, время переключения 30 нс. Уровни управления:  $U^0 \approx 0$ ,  $U^1 \approx 5$  В.

### 1.2.3. Пример использования коммутатора

Пусть имеются восемь датчиков, которые необходимо по программе подключать к АЦП и оцифровывать соответствующий параметр. В структурной схеме, приведенной на рис. 1.9, для этой цели используются аналоговый коммутатор, управляемый от ОВМ *x51*, буферный повторитель и АЦП.

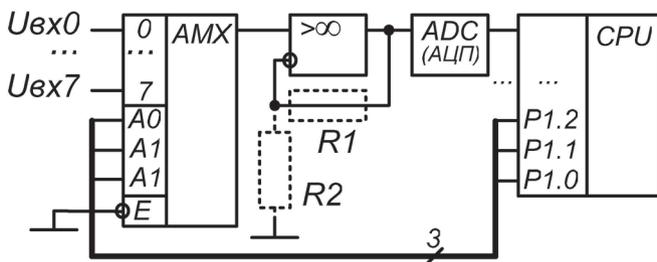


Рис. 1.9

Повторитель сигнала играет особую роль. Имея, как известно, очень большое входное сопротивление, он практически не нагружает коммутатор, и вследствие этого снижается погрешность в проводящем состоянии ключей. Поэтому в формуле (1.3) для расчета

погрешности ключа в проводящем состоянии вместо сопротивления  $R_H$  нужно использовать

$$R_{ВХ П} = R_{ВХ ИОУ} (1 + K_{ИОУ} \cdot \delta_{ОС}). \quad (1.7)$$

Нужно, конечно, помнить, что вместе с ИОУ вносятся и его погрешности, в основном обусловленные входным током и напряжением смещения микросхемы усилителя.

ОВМ по программе должна задать адрес выбранного канала, запустить АЦП после некоторой паузы, учитывающей время переключения коммутатора, и, дождавшись окончания преобразования, прочитать результат. Особенности обслуживания АЦП будут рассмотрены в главе 2, здесь мы остановимся на особенностях управления коммутатором.

Будем считать, что в программе определена байтовая переменная *myNomerK*, которая задает номер канала коммутатора, требующий обслуживания.

Обычная операция копирования **Mov P1, myNomerK** в данном случае непригодна, так как переменная *myNomerK* может принимать значения от 0 до 7, поэтому старшие пять битов порта **P1** будут обнулены, что нарушит работу системы, потому что эти биты могут использоваться для обслуживания других объектов.

Поэтому требуется неразрушающее копирование только трех битов. Для этого программа должна прочитать текущее значение порта **P1** и, обнулив при помощи операции **AND** три младших бита, поместить на их место значение *myNomerK* с помощью операции **OR**:

<b>Mov A, P1</b>	; Читать биты порта P1.
<b>Anl A, #11111000b</b>	; Обнулить три младших бита.
<b>Orl A, myNomerK</b>	; Поместить НомерКанала.
<b>Mov P1, A</b>	; Вернуть P1 с измененными битами

Подобные системы, реализованные в виде БИС и имеющие в своем составе коммутатор, АЦП и процессорное ядро, часто называют системами сбора аналоговых данных или даже (преувеличенно) аналоговыми процессорами.

#### 1.2.4. Разновидности микросхем

Рассмотренные коммутаторы имеют параллельную и асинхронную форму задания номера канала. Некоторые из микросхем имеют дополнительно внутренний регистр для хранения двоичного адресного кода и параллельный интерфейс с сигналами синхронизации,

позволяющий подключаться к информационным шинам микропроцессора.

При удаленном расположении обслуживаемых датчиков или большом числе коммутируемых каналов подобный параллельный интерфейс становится неэкономичным, и поэтому в некоторых микросхемах используют последовательные интерфейсы с меньшим числом проводов. Не останавливаясь на подробностях, которые изучаются в курсе «Сети ЭВМ», отметим, что такими интерфейсами, используемыми для управления коммутаторами, являются трехпроводный *SPI* [1] и двухпроводный *I<sup>2</sup>C* [3].

Для сложных соединений аналоговых сигналов, когда необходимо соединить несколько источников сигнала с несколькими приемниками, разработаны специальные матричные коммутаторы [1].

## 1.3. Схема выборки-хранения

### 1.3.1. Схема и принцип действия

Схема выборки-хранения, иногда называемая ячейкой аналоговой памяти, применяется для фиксации мгновенных значений быстроизменяющихся аналоговых сигналов на время, необходимое АЦП для преобразования напряжения в код. При использовании таких схем *уменьшается* динамическая (апертурная) погрешность АЦП.

Простейшая схема имеет всего два функциональных элемента, ключ  $K$  и конденсатор  $C$  (рис. 1.10). Но на работу устройства оказывают влияние и внешние факторы, поэтому на схеме показаны сопротивление нагрузки  $R_H$ , сопротивление источника сигнала  $R_{И}$ . Явно не выделены остаточные параметры ключа, но и они вносят свою долю погрешности.

Предположим, что в исходном состоянии конденсатор был разряжен. Поэтому в момент перехода ключа в проводящее состояние (этап

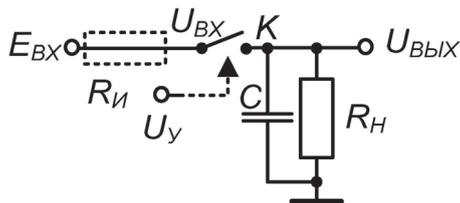


Рис. 1.10

выборки сигнала) начнется заряд конденсатора (рис. 1.11). И конденсатор должен запомнить  $U_{ВХ}$ , то есть его напряжение должно достигнуть уровня входного сигнала, прежде чем выборка закончится.

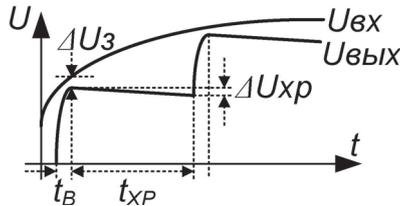


Рис. 1.11

Затем ключ под действием управляющего сигнала перейдет в непроводящее состояние, а конденсатор должен сохранить запомненное  $U_{ВХ}$  до окончания интервала хранения – пока АЦП не закончит оцифровку.

Основные требования – малые погрешности при записи (выборке) и хранении. Однако процессы в этой схеме имеют экспоненциальный характер, поэтому возникают погрешности как на этапе выборки, так и на этапе хранения.

### 1.3.2. Погрешность недозаряда

Считая на коротком этапе выборки напряжение  $U_{ВХ}$  неизменным и  $(R_{и} + R_{о}) \ll R_{и}$ , напряжение на конденсаторе можно записать в виде стандартного решения дифуравнения первого порядка:

$$U_c(t) = U_c(\infty) - [U_c(\infty) - U_c(0)]e^{-t/(R_{и} + R_{о})C}. \quad (1.8)$$

В нашем случае  $U_c(t) = U_{ВЫХ}(t)$ . Тогда, учитывая, что на интервале выборки  $U_c(\infty) = U_{ВХ}$ , а  $U_c(0) = 0$ , найдем

$$U_{ВЫХ}(t) = U_{ВХ} - U_{ВХ}e^{-t/(R_{и} + R_{о})C}. \quad (1.9)$$

Время выборки  $t_{Б}$  не может быть большим, поэтому выходной экспоненциальный сигнал в момент перехода в режим хранения не будет в точности равен  $U_{ВХ}$ , и недозаряд емкости можно оценить как разность входного и выходного напряжений:

$$\Delta U_з = U_{ВХ} - U_{ВЫХ}(t_{Б}) = U_{ВХ}e^{-t_{Б}/(R_{и} + R_{о})C}. \quad (1.10)$$

С использованием этой формулы по заданным значениям  $\Delta U_з$ ,  $t_{Б}$  можно определить постоянную времени  $(R_{и} + R_{о})C$  и найти затем максимальное значение емкости конденсатора  $C$ .

Для уменьшения влияния сопротивления источника сигнала  $R_{и}$  на заряд обычно используют дополнительный повторитель сигнала (рис. 1.12). При этом напряжение  $E_{вх}$  передается на ключ практически без ослабления. А выходное сопротивление повторителя благодаря глубокой ООС оказывается значительно меньшим сопротивления проводящего ключа  $R_о$ . Поэтому в формулах для данного случая можно не учитывать  $R_{и}$ .

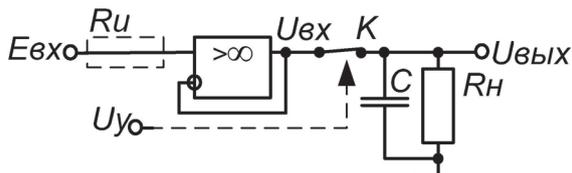


Рис. 1.12

### 1.3.3. Погрешность хранения

На этапе хранения ключ не проводит и выходное напряжение не остается неизменным, поскольку идет разряд конденсатора током нагрузки и токами утечки ключа. Причем характер изменения напряжения близок к линейному и можно воспользоваться упрощенной оценкой, используя формулу

$$C = \Delta Q / \Delta U_{XP}, \quad (1.11)$$

где

$$\Delta Q = \Delta t I = t_{XP}(I_{YT} + I_{и}), \quad (1.12)$$

где  $I_{и}$  – ток через нагрузку  $R_{н}$ .

Для уменьшения тока  $I_{и}$  на этапе хранения нагрузку обычно подключают через дополнительный повторитель (рис. 1.13). В этом случае входное сопротивление повторителя практически не будет нагружать емкость, но входной ток ИОУ  $I_{вх}$  учитывать приходится. Поэтому изменение выходного напряжения на этапе хранения можно оценить по формуле:

$$\Delta U_{XP} = t_{XP}(I_{YT} + I_{вх})/C. \quad (1.13)$$

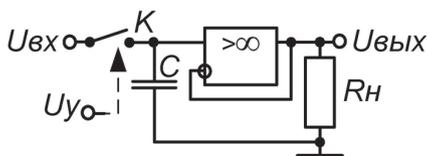


Рис. 1.13

Отметим, что погрешность имеет и динамическую составляющую, например из-за прохождения  $U_y$  через паразитные емкости.

### 1.3.4. Микросхема КР1100СК2

Кроме ключа и внешнего запоминающего конденсатора, схема имеет (рис. 1.14) два повторителя сигнала, на входе и выходе, которые уменьшают влияние источника сигнала и нагрузки на заряд и разряд конденсатора. Особенностью входного повторителя является обратная связь непосредственно с выхода устройства, что позволяет форсировать заряд конденсатора во время выборки.

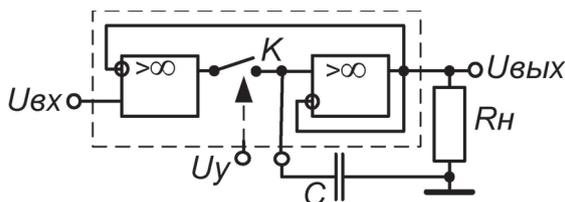


Рис. 1.14

Схема работоспособна при  $C = 10 \dots 1000$  пФ и  $t_B = 5 \dots 10$  мкс.

В настоящее время схемы выборки-хранения выполняются обычно внутри микросхем АЦП и более сложных систем сбора аналоговых данных.

## 1.4. Аналоговые ключи с изолированным управлением

В некоторых случаях при оцифровке сигналов, например на фоне больших паразитных составляющих, приходится использовать аналоговые ключи с изолированным управлением. Передача сигнала управления на ключ при этом осуществляется магнитным полем (через импульсный трансформатор или электромагнитное реле) или оптическим излучением (через оптрон).

### 1.4.1. Ключ с трансформаторным управлением

При использовании импульсного трансформатора для прямой передачи сигнала управления (рис. 1.15) необходимо помнить, что

трансформатор имеет ограничения на длительность передаваемых импульсов, поскольку низкочастотные трансформаторы имеют большие габариты. Поэтому подобные ключи применяют для сравнительно высоких частот коммутации.

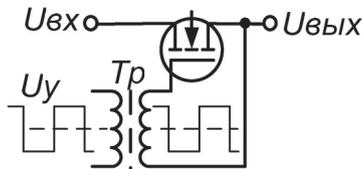


Рис. 1.15

Другим вариантом использования трансформатора является передача сигнала управления пачками импульсов путем амплитудной модуляции высокочастотного сигнала (рис. 1.16). Но и здесь есть свои ограничения, связанные с затянутостью фронтов переданного и выпрямленного сигнала из-за наличия фильтра, подавляющего гармоники несущей частоты.

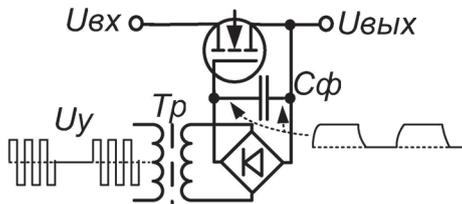


Рис. 1.16

Трансформаторное управление аналоговыми ключами в настоящее время используется сравнительно редко, поскольку изготовление трансформатора достаточно трудоемко. Однако в высокоскоростных цифровых трактах передачи информации иногда используют миниатюрные трансформаторы, которые конкурируют с оптронами, обеспечивая большее быстродействие.

### 1.4.2. Ключ с оптическим управлением

Оптроны более технологичны, чем трансформаторы, и поэтому широко используются для гальванического разделения цепей.

Наиболее простыми оптически управляемыми ключами являются транзисторные оптроны, состоящие из светодиода (излучателя) и фототранзистора (приемника). Подобные оптически управляемые ключи, ориентированные на коммутацию больших уровней тока и напряжения, называют *оптореле*. Отметим, что оптореле в большинстве случаев непригодны для работы с аналоговыми датчиками.

Например, *биполярный фототранзистор* в оптроне (рис. 1.17) имеет существенное остаточное напряжение в доли вольта, и поэтому такие оптроны используются только в цифровых или высокоуровневых ключевых схемах.

Оптроны на основе *полевых фототранзисторов* (рис. 1.18) более пригодны для коммутации аналоговых сигналов от датчиков. Например, оптореле К249КП4АТ с двумя отдельными ключами, предназначенное для коммутации сигналов до 60 В, имеет  $R_o < 15 \text{ Ом}$ ,  $I_{\text{УТ}} < 1 \text{ мкА}$ .

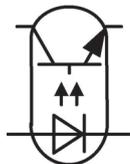


Рис. 1.17

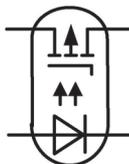


Рис. 1.18

Общим недостатком оптически управляемых биполярных и полевых фототранзисторов является сравнительно большое время их переключения (единицы и десятки мкс и более), особенно при переходе в непроводящее состояние.

### 1.4.3. Контактные ключи

В ряде случаев при коммутации сигналов милливольтового уровня приходится применять более близкие к идеальным контактные ключи, которые имеют значительно меньшую погрешность. Известны две основные разновидности управляемых контактных ключей, как-то: электромеханическое реле и магнитоуправляемый контакт (геркон).

В *реле* используется подвижный якорь, притягиваемый магнитным полем к сердечнику катушки и воздействующий через механическую тягу на контакты, то есть между магнитным полем и контактами есть механический посредник, и поэтому быстродействие реле невелико.

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)