

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

13-84-846

А.П.Крячко

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КЛЮЧЕЙ
В АНАЛОГОВЫХ КОММУТАТОРАХ

1984

1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ КОММУТАТОРОВ

Коммутаторы, или мультиплексоры, подключают посредством электромеханических или электронных ключей сигнальные входы в последовательном или произвольном порядке к аппаратуре, выполняющей разделенное во времени усиление и /или/ аналого-цифровое преобразование^{1/}. Они применяются там, где имеется большое число аналоговых сигналов и не требуется высокой скорости преобразования^{2/}. Коммутаторы также используют в обратном режиме: для разделения поступающих последовательно на один канал сигналов на несколько выходов^{7/}.

Коммутаторы классифицируют по уровням сигналов, быстродействию и числу проводов в канале (однопроводные, или однополюсные, или несимметричные; двухпроводные, или симметричные, дифференциальные; трехпроводные, или дифференциальные с охраняемым экраном).

Диапазон измерения выходных сигналов датчиков колеблется от 1 мВ до нескольких десятков вольт. Сигналы меньше 1 В принято считать низкоуровневыми, а больше - высокоуровневыми^{1/}. Максимальные погрешности от полной шкалы в % и погрешности, приведенные ко входу в мкВ для различных диапазонов измеряемых напряжений типовых подсистем аналогового входа^{1/}, представлены на рис.1. Вклад в эти погрешности коммутатора должен быть значительно меньше, особенно для сигналов низкого уровня. Такому требованию мог бы удовлетворить идеальный ключ с нулевым сопротивлением в замкнутом и бесконечным - в разомкнутом состоянии.

2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ КЛЮЧИ

Электрические характеристики электромеханических ключей, кроме скорости и возможного числа переключений, близки к идеальным. В качестве таких ключей используют реле с магнитоуправляемыми контактами, называемые также герконовыми или язычковыми.

2.1. Герконовые реле с сухими контактами

Сопротивление замкнутых контактов составляет 0,1-0,25 Ом и может изменяться в течение срока службы на 25%^{1/}, в разомкнутом состоянии его значение более 10^8 Ом. Время срабатывания -

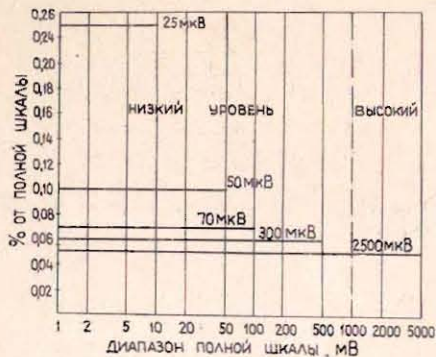


Рис.1. Максимальные погрешности типовых аналоговых подсистем в функции от полной шкалы. В конце шкалы указаны погрешности, приведенные ко входу. Штрихпунктирная линия разграничивает сигналы низкого и высокого уровней.

0,35-1,5 мс, время отпускания - 0,2-0,5 мс. Максимальная частота включений при максимальном токе нагрузки находится в пределах от 50 до 1500 Гц^{/3/}. Однако герконовые реле редко работают со скоростями более 250 переключений в секунду, т.к. после замыкания контактный шум может иметь амплитуду в несколько мВ и удерживаться на высоком уровне 5-10 мс^{/1/}. Проблемой становится и срок службы. Возможное число срабатываний реле уменьшается с увеличением коммутируемых напряжений и токов, температуры окружающей среды и при реактивном характере нагрузки. При +20 °С максимальное число срабатываний в зависимости от тока нагрузки - $10^5 - 10^8$.

2.2. Герконовые реле со смоченными ртутью контактами

Такие реле отличаются отсутствием дребезга при замыкании контактов, меньшим начальным амплитудным значением напряжения шума, меньшим и стабильным значением сопротивления замкнутых контактов $\sim 0,05$ Ом и большим сроком службы (число включений 10^8) при максимальном токе нагрузки. Их недостатками являются большее время срабатывания и отпускания, трудности использования в условиях вибрации, необходимость установки в вертикальном положении с отклонением не более $\pm 30^\circ$ ^{/1,3,4/}.

Для сигналов с уровнем ниже 10 мВ рекомендуется применять не полупроводниковые, а механические ключи. Минимальную контактную разность потенциалов (<10 мкВ) и другие аналоговые погрешности дают ртутные герконовые реле^{/5/}.

3. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КЛЮЧИ

Частота переключений превышает 10^5 в секунду, сопротивление в разомкнутом состоянии $10^8 - 10^{10}$ Ом, срок службы значительно выше, чем у реле. Ограничения: низкое напряжение пробоя, токи утечки, высокое сопротивление в замкнутом состоянии, напряжение смещения нуля. По этим характеристикам они дальше отстают от

идеального ключа. Чаще всего для этих целей используют биполярные и полевые транзисторы.

3.1. Ключи на биполярном транзисторе

Такие ключи имеют наименьшее сопротивление в замкнутом состоянии: 5-50 Ом^{/6/}.

Использование биполярных транзисторов ограничивается переключением сигналов, уровень которых превышает 500 мВ из-за погрешности сдвига нуля, вызываемой наличием остаточного напряжения на замкнутом транзисторном ключе^{/1/}. Оно составляет 1-2 мВ для германиевых и 10-20 мВ - для кремниевых транзисторов. Дополнительную погрешность создают токи утечки разомкнутых ключей других каналов коммутатора, протекающие через импеданс источника сигнала в подключенном канале. Токи утечки у германиевых транзисторов ~ 1 мкА и - много меньше у кремниевых при комнатной температуре^{/1/}. Ключ на одном биполярном транзисторе пропускает сигнал только одной полярности и редко используется^{/1,7/}.

Схема с инверсным включением (управляющее напряжение подается между базой и коллектором) позволяет уменьшить напряжение смещения на замкнутом транзисторе и его ток утечки почти на 2 порядка. Однако они увеличиваются с ростом температуры. Дальнейшее уменьшение напряжения смещения получают при инверсном включении двух транзисторов, коллекторы которых объединены. Остаточное напряжение на ключе равно разности между остаточными напряжениями на каждом транзисторе. Подбором транзисторов можно добиться, что оно не будет превышать 50 мкВ во всем температурном диапазоне. Выпускаются ключи, имеющие два идентичных интегральных транзистора с таким включением, выполненные на одном кристалле^{/16/}. Сопротивление замкнутого транзистора при инверсном включении в ~ 25 раз выше, чем при прямом^{/1/}. Если входной импеданс усилителя после коммутатора составляет сотни тысяч ом, а не мегаомы, то применяется двухтранзисторный ключ с прямым включением управляющего сигнала как имеющий меньшее сопротивление в замкнутом состоянии. Суммарное напряжение смещения здесь в сотни раз выше, чем при инверсном включении. Обе двухтранзисторные схемы могут переключать сигналы любой полярности^{/1/}.

Как правило, в низкоуровневых коммутаторах на биполярных транзисторах базовые токи для управления ключами обеспечиваются с помощью трансформаторов и конденсаторов^{/1,2/}.

Таким образом, управляющие цепи гальванически развязываются от источников входных аналоговых сигналов и от цепей, на которые нагружены аналоговые выходы коммутатора.

В работе^{/2/} приводится схема коммутатора сигналов низкого уровня с дифференциальным входом, где ключ построен на двух со-

гласованных транзисторах (по одному в каждом проводе) с инверсным включением. Управление осуществляется непосредственно (гальваническая связь) от других транзисторов. В схеме предусмотрена компенсация управляющих токов. Погрешность коммутации аналогового сигнала, приведенная ко входу, составляет менее ± 50 мкВ в широком диапазоне температур.

3.2. Ключи на полевых транзисторах

В настоящее время в коммутаторах применяются исключительно полевые транзисторы, вытеснившие биполярные, напряжение смещения которых затрудняет их использование^{/5/}. Максимальная величина сопротивления открытого канала для полевых транзисторов лежит в диапазоне 20-2000 Ом^{/2/}.

3.2.1. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом

Ключи на транзисторах с управляющим р-п переходом обладают наивысшей скоростью переключения (100 нс^{/5/}) и имеют наименьшее сопротивление открытого канала^{/2/}. Однако его величина сильно изменяется с температурой (0,6-0,8)%/°С и временем, что ведет к возникновению погрешности^{/1/}. Трудно также обеспечить идентичность сопротивлений двух ключей в разных проводах дифференциального канала, что приводит к синфазному разбалансу^{/1/}. Полевой транзистор с р-п переходом труднее управляется по сравнению с МОП-транзистором^{/8/}. Кроме того, он относится к нормально открытым приборам. Обесточивание системы приводит к замыканию всех ключей, что не всегда допустимо^{/1/}. При одинаковой стоимости п-канальные транзисторы предпочтительнее р-канальных. Вследствие большей подвижности электронов по сравнению с дырками (~ в 3 раза) сопротивление транзистора с заданной геометрией в открытом состоянии будет меньше при п-канальной структуре. При заданном сопротивлении п-канальные транзисторы имеют меньшие размеры и лучшие характеристики, чем р-канальные^{/2,7/}.

3.2.2. МОП-транзисторы с изолированным затвором

В коммутаторах применяются в основном МОП-транзисторы с индуцированным каналом, работающие только в режиме обогащения, т.к. при отсутствии управляющего напряжения и при правильном проектировании цепи управления^{/2/} они разомкнуты. Кроме

того, они проще в изготовлении^{/7/}. МОП-транзисторы со встроенным каналом, работающие как в режиме обогащения, так и обеднения, не нашли здесь широкого применения^{/1/}, т.к. они проводят при отсутствии напряжения питания^{/7/}. Схема коммутатора на МОП-транзисторах со встроенным п-каналом, работающим в режиме обеднения, приводится в работе^{/9/}. Сопротивление ключа на МОП-транзисторе в замкнутом состоянии сильно изменяется (~ в 3 раза) при изменении аналоговых коммутируемых напряжений от -10 до +10 В^{/8/} в зависимости от уровня входного сигнала^{/1,2,7/}. Как правило, характеристики МОП-транзисторов по токам утечки сток-исток лучше, чем у полевых транзисторов с р-п переходом.

Канал МОП-транзистора начинает проводить при пороговом напряжении 0,5 ÷ 4 В - типовом, и 8 В - максимальном^{/10/}. При дальнейшем увеличении $U_{зи}$ проводящий канал расширяется, и сопротивление исток-сток падает. Поэтому $|U_{зи}|$ доводят до -10 В^{/8/}. Вследствие этого транзисторы с р-каналом могут коммутировать сигналы между $+U_{пит.}$ и напряжением, немного превышающим $-(U_{пит.} - U_{зи пор.})$, а п-канальные - между $-U_{пит.}$ и немного меньшим $+(U_{пит.} - U_{зи пор.})$. Поэтому отдельные МОП-транзисторы лучше всего работают как аналоговые ключи для сигналов одной полярности: р-канальные - для положительных и п-канальные - для отрицательных сигналов, с тем чтобы $|U_{зи}|$ всегда превышал пороговое напряжение^{/7/}.

3.2.3. КМОП-транзисторы

КМОП-транзистор представляет фактически параллельное соединение п- и р-канальных МОП-транзисторов и является наиболее современной разработкой^{/2/}. Такие ключи позволяют коммутировать сигналы с диапазоном изменения $\pm U_{пит.}$ при незначительном ($\pm 10\%$) изменении сопротивления в замкнутом состоянии^{/2,8/}. Недостатком ключей КМОП-типа, так же, как и МОП, является возможность самоблокировки ("залипания") и даже выхода из строя. Такие случаи могут иметь место при подаче коммутируемого сигнала раньше напряжения питания^{/11/}, а также, если входное напряжение превысит любое из напряжений питания, т.к. в этих случаях открывается соответствующий изолирующий диод исток-подложка^{/2,7/}. Для устранения этого эффекта разработан ряд методов^{/12/}. Часто для защиты входа от чрезмерных токов при больших перенапряжениях включают последовательно в канал сопротивление от 200 до 1000 Ом^{/7/}.

3.2.4. Погрешности коммутаторов с полевыми транзисторами

У ключей с полевыми транзисторами практически полностью отсутствует напряжение смещения в замкнутом состоянии^{/1/}, т.к. здесь нет р-п переходов, включенных последовательно с каналом. В замкнутом состоянии формируется проводящий (резистивный) канал, который можно рассматривать как идеальный ключ, соединенный последовательно с чисто активным сопротивлением $R_{ис}$ ^{/1/}. Это позволяет использовать ключи с полевыми транзисторами для переключения сигналов низкого уровня^{/8/}. Сопротивление замкнутого КМОП-ключа $\sim 1,5$ кОм^{/5/}. При коммутации большого числа каналов с сигналами низкого уровня простое параллельное соединение ключей не применяется, т.к. это привело бы к значительному сдвигу уровня выходного напряжения за счет суммирования токов утечки ключевых транзисторов^{/6,7/}. Полупроводниковые коммутаторы вносят как статические, так и динамические погрешности в передаваемый сигнал. Постоянная времени RC-цепи, образованной паразитной емкостью закрытых каналов и сопротивлением открытого канала, ограничивает снизу время установления напряжения входного сигнала^{/5,7/}. В аналоговых схемах необходимо, чтобы напряжение на выходе ключа после его замыкания и завершения переходного процесса не отличалось от коммутируемого сигнала на 0,01-1%^{/13/}. Для того, чтобы погрешность не превышала обычно половины младшего разряда используемого АЦП, время установления при максимальном изменении входного сигнала может быть равным 7-10 постоянным времени RC^{/5,7/}. Причиной динамических погрешностей может быть также проникновение сигналов от выключенных каналов на выход коммутатора - перекрестные помехи - вследствие емкостных связей. В КМОП-транзисторах это - емкости исток-подложка и подложка-сток и кроме того - паразитные емкости между соединительными проводниками^{/7,9/}. Перекрестные помехи прямо пропорциональны частоте и амплитуде сигналов, подаваемых на входы выключенных каналов, а также внутреннему сопротивлению источника сигнала во включенном канале^{/9/}. Характеристикой сквозного прохождения сигналов через разомкнутый ключ на выход является изоляция в разомкнутом состоянии^{/7/} или коэффициент подавления перекрестной помехи^{/6/}. Эти величины задаются на определенной частоте и выражаются в децибелах: значение изоляции - со знаком "+", коэффициент подавления - со знаком "-". Абсолютные значения этих характеристик лежат в диапазоне от 80 до 60 дБ для частот от 100 до 500 кГц^{/2,7/}. Приводится также значение перекрестной помехи на выходе в % от максимальной амплитуды входного напряжения^{/14/}.

3.2.5. Особенности разработки и применения полупроводниковых коммутаторов

При разработке полупроводниковых аналоговых коммутаторов на полевых транзисторах большую трудность представляет создание схем управления ключами^{/6,8/}. Преимуществом здесь является высокое входное сопротивление между затвором и истоком. У полевых транзисторов с р-п-переходом оно имеет порядок 10^9 Ом, а его типичное значение для МОП-транзисторов - $10^{12} - 10^{14}$ Ом. Это дает возможность подсоединить управляющий ключом на этих транзисторах источник непосредственно, гальванически^{/1/}. С появлением ключей, объединенных в одном корпусе со схемами управления, необходимость в их индивидуальной разработке отпала. Внутри микросхемы находится дешифратор и все необходимое для работы коммутатора. Управляющие сигналы имеют уровни ТТЛ. Большой набор КМОП-ключей, переключателей и коммутаторов, выполненных в виде интегральных микросхем, содержит серия К590^{/11/}. КМОП-коммутаторы на 4, 8 и 16 каналов, а также устройства выборки-хранения в виде микросхем выпускает фирма Харрис (США)^{/2/}.

Для полупроводниковых коммутаторов эффективность передачи с входа на выход в большей степени зависит как от их собственных характеристик, так и от включения в конкретную измерительную систему. При высоком сопротивлении источника сигнала токи утечки могут вызвать заметную ошибку. Обычно коммутаторы работают на буферный усилитель или АЦП с высоким входным сопротивлением ($10^7 - 10^9$ Ом), поэтому погрешность, связанная с падением напряжения на замкнутом ключе, невелика. При работе на низкоомную нагрузку эта погрешность может быть значительной.

Таким образом, аналоговые коммутаторы в виде монолитных микросхем имеют по сравнению с электромеханическими большее быстродействие, меньшие габариты, высокую надежность и большой срок службы. Они просты в обращении, имеют более низкую стоимость на коммутируемую цепь и могут быть использованы там, где применение реле невозможно^{/8/}.

3.2.6. Дифференциальный коммутатор с запоминающим ("плавающим") конденсатором

Одним из распространенных в промышленных процессах методов коммутирования сигналов низкого уровня является использо-

вание схемы коммутатора с запоминающим конденсатором. По существу он представляет собой устройство выборки-хранения /УВХ/ с дифференциальным входом ^{1,2,5/}. Коммутатор содержит в каждом канале 2-полюсный ключ на полевых транзисторах на два направления и конденсатор, включенный между полюсами двух секций ключа. В нормальном положении конденсатор подключен к входному источнику и заряжается до напряжения сигнала. Затем ключ переводится в другое положение, подсоединяя конденсатор для считывания ко входу усилителя. Это изолирует измерительную систему от источников продольных помех и обеспечивает высокую степень гальванической развязки по входу ^{1/}. Основным недостатком таких систем является большая емкость конденсатора (от микрофард до сотен микрофард), что ограничивает полосу пропускания системы ^{1/}. В качестве запоминающих конденсаторов малой емкости применяются слюдяные, а при большой емкости - фторопластовые, тефлоновые или полиэтиленовые конденсаторы. У таких конденсаторов должна быть малая утечка заряда, а также должен отсутствовать эффект диэлектрической поляризации, ведущий к спаду напряжения в процессе хранения ^{2,7/}.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ КОММУТАТОРОВ

Число каналов отдельного коммутатора обычно не превышает 16. В то же время технологические ^{1/} и бортовые телеметрические системы ^{7/} могут иметь сотни таких каналов.

4.1. Непосредственное объединение

Как уже отмечалось, непосредственное параллельное объединение (см.рис.2а) большого числа каналов приводит к суммированию токов утечки ключевых транзисторов и значительному сдвигу уровня выходного напряжения; к суммированию выходных емкостей и увеличению времени установления выходного напряжения; к уменьшению общего выходного сопротивления такой системы ^{1,7/}. Чтобы избежать увеличения погрешностей измерения, ухудшения параметров переключения и изоляции ^{7/}, применяют групповой или пирамидальный (ступенчатый) способы объединения нескольких плат или модулей коммутаторов.

4.2. Групповое объединение

Здесь выходы каждой группы ключей коммутаторов подсоединяются к выходной шине через дополнительный, последовательно под-

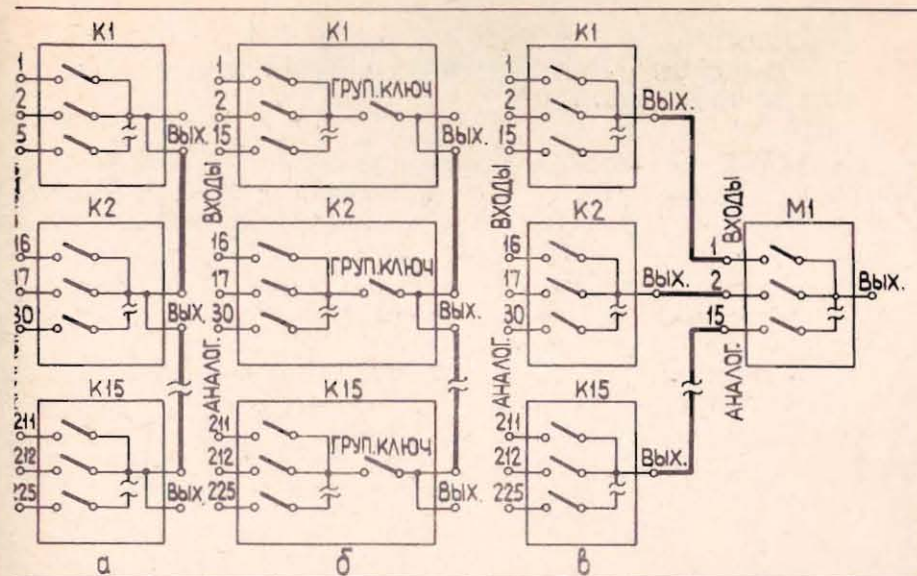


Рис. 2. Способы объединения выходов коммутаторов: а) непосредственный; б) с групповыми ключами; в) пирамидальное или ступенчатое объединение.

соединенный ключ (см.рис.2б). Действие группового ключа состоит в добавлении в путь прохождения токов утечки последовательного сопротивления ^{1/}. При адресации и выборке ключа в какой-либо группе включается и групповой ключ этой группы, а групповой и каналный ключи ранее выбранного коммутатора должны отключаться. Такое взаимодействие осуществляется по внешним магистральным шинам.

4.3. Пирамидальное (многоступенчатое, многоуровневое) объединение

Выходы группы ключей коммутаторов первой ступени подсоединяются ко входам коммутатора второй ступени и т.д. ^{5,9/} /см. рис.2в/. Эти коммутаторы мало чем отличаются друг от друга. При адресации указывается номер коммутатора и номер ключа в нем. В этом случае для объединения необходим дополнительный коммутатор. Как видно из рис.2, основное отличие рассматриваемых способов состоит в том, размещаются ли дополнительные ключи в каждом коммутаторе или для этой цели используется дополнительный коммутатор. Сложность таких систем оправдывается, когда требуется повышенная точность и быстроедействие.

5. ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ КАНАЛА, МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ КОММУТАЦИИ И ЧИСЛО КАНАЛОВ

Согласно теореме о дискретном представлении, частота опроса должна по крайней мере в 2 раза превышать наибольшую значащую частоту сигнала $f_{1,15}$. При этом он может быть впоследствии восстановлен по этим дискретным отсчетам. Таким образом, на максимальное число каналов в коммутаторе накладывается ограничение, т.к. скорость коммутации каналов ограничена по верхнему, а необходимое число выборок - по нижнему пределу f_0 .

Число аналоговых каналов M , максимальная скорость коммутации F и полоса частот сигнала f_N , согласно теореме о дискретизации, связаны между собой соотношением

$$2 \sum_{N=1}^M f_N \leq F, \quad \text{где } N - \text{номер канала.}$$

Для каждого канала число опросов в секунду выбирается в соответствии с максимальной частотой сигнала в этом канале. При одинаковой полосе пропускания каналов максимальная частота сигнала в канале $f_{\text{макс}} = F/2N$. Она будет представлять среднюю полосу пропускания канала для системы, в которой обеспечивается средняя скорость опроса каналов $f_0 = 2f_{\text{макс}} = F/N$.

Для уменьшения погрешности при восстановлении частота опроса берется значительно выше требуемой по теореме. Так, для воспроизведения синусоиды частотой 1 кГц с высокой верностью (искажения менее 1%) требуется по меньшей мере 5 выборок из каждого периода сигнала f_0 . Частота опроса канала практически выбирается в $5 \div 10$ и даже 40 раз больше полосы частот или наивысшей частотной составляющей сигнала $f_{1,17,18}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами. (Под ред. Т.Харрисона). "Мир", М., 1975, т.1.
2. Гнатек Ю.Р. Справочник по цифроаналоговым и аналогоцифровым преобразователям. "Радио и связь", М., 1982.
3. Харазов К.И. Реле с магнитоуправляемыми контактами. "Энергия", М., 1971.
4. Справочник по средствам автоматизации. (Под ред. В.Э.Низе, И.В.Антика). Энергоатомиздат, М., 1983.
5. Гарет П. Аналоговые устройства для микропроцессоров и мини-ЭВМ. "Мир", М., 1981.
6. Кобболд Р. Теория и применение полевых транзисторов. "Энергия", Л., 1975.
7. Аналоговые интегральные схемы. (Под ред. Дж.Коннели). "Мир", М., 1977.

8. Современные линейные интегральные микросхемы и их применение. (Пер. с англ. под ред. М.В.Гальперина). "Энергия", М., 1980.
9. Проектирование и применение операционных усилителей. (Под ред. Дж.Грэма и др.). "Мир", М., 1974.
10. Handbook for Transistors. Lenk J.D. Prentice Hall, Inc., USA, 1979.
11. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. "Энергия", Л., 1980.
12. Мейзда Ф. Интегральные схемы. Технология и применение. "Мир", М., 1981.
13. Алексеенко А.Г. Микроэлектроника и полупроводниковые приборы, 1983, вып.7, с.3-16.
14. Зангер Г. Электронные системы. "Мир", М., 1980.
15. Сентурия С., Уэлдок Б. Электронные схемы и их применение. "Мир", М., 1977.
16. Аналоговые и цифровые интегральные схемы. (Под ред. С.В.Якубовского). "Советское радио", М., 1979.
17. Маркюс Ж. Дискретизация и квантование. "Энергия", М., 1969.
18. Управление и измерение на расстоянии. Материалы национальной конференции по телеизмерению. Чикаго, 1954. Сб.статей. ИЛ, М., 1957, т.1.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 декабря 1984 года.

СООБЩЕНИЯ, КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ, ПРЕПРИНТЫ И СБОРНИКИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ, ИЗДАВАЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЯВЛЯЮТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ.

Ссылки на СООБЩЕНИЯ и ПРЕПРИНТЫ ОИЯИ должны содержать следующие элементы:

- фамилии и инициалы авторов,
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс публикации
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы /при необходимости/.

Пример:

1. *Первушин В.Н. и др. ОИЯИ, Р2-84-649, Дубна, 1984.*

Ссылки на конкретную СТАТЬЮ, помещенную в сборнике, должны содержать:

- фамилии и инициалы авторов,
- заглавие сборника, перед которым приводятся сокращенные слова: "В кн."
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс издания,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы.

Пример:

Колпаков И.Ф. В кн. XI Международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, Д13-84-53, Дубна, 1984, с.26.

Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", № 2-84, Дубна, 1984, с.3.

Крячко А.П.

13-84-846

Особенности применения электромеханических и полупроводниковых ключей в аналоговых коммутаторах

Кратко рассмотрены назначение и классификация аналоговых коммутаторов, диапазоны измеряемых сигналов. Приводятся наиболее важные характеристики электромеханических и полупроводниковых ключей, указываются области их применения. Рассмотрены способы объединения коммутаторов. Показана связь между полосой пропускания канала, максимальной скоростью коммутации и числом объединяемых каналов. При работе с сигналами низкого уровня <50 мВ рекомендуется использовать релейные, а в остальных случаях - интегральные КМОП-коммутаторы.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Kryachko A.P.

13-84-846

Peculiarities of Applications of Electromechanical and Semiconductor Switches in Analog Multiplexers

Applications and definitions of analog multiplexers, ranges of measuring signals are considered briefly. The most important characteristics of electromechanical and semiconductor switches and fields of their use are given. Methods of interconnection of multiplexers are discussed. Relationships of channel bandwidth, maximum switching rate and a number of connected channels are considered. Relay multiplexers for low-level signals <50 mV and solid-state CMOS multiplexers in another cases are recommended to use.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984