

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УДК 681.142.644.9

К. К. КАРИМОВ, Т. И. ПОЛЯНСКАЯ,  
А. В. ШАЛАГИНОВ, Е. А. ЧЕРНЯВСКИЙ  
(Ленинград)

### КОММУТАТОР АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ В ИНТЕГРАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Одним из основных узлов современных систем, использующих принцип временного разделения каналов связи, являются коммутирующие устройства (КУ), осуществляющие последовательное во времени подключение различных датчиков к общему для всех каналов устройству переработки информации.

В работе рассматривается КУ в интегральном исполнении для преобразователей напряжения в код (ПНК).

Ограниченные возможности современной технологии интегральных схем (малый диапазон номиналов резисторов и конденсаторов, малые рабочие напряжения, невозможность изготовления трансформаторов, значительная сложность совмещения в едином кристалле полупроводника различных активных элементов — биполярных транзисторов с проводимостями  $p-n-p$  и  $n-p-n$  типов, полевых транзисторов с каналами  $p$  и  $n$  типов и т. д.) в значительной степени затрудняют получение характеристик КУ, достижимых при выполнении его в дискретном варианте. Однако при построении ПНК в интегральном исполнении появляются дополнительные (по сравнению с дискретным вариантом) возможности применения различных структурных методов улучшения технических характеристик (автоматическая подстройка нуля и масштаба преобразования, компенсация нелинейности). В этом случае требования к КУ резко снижаются.

Для обеспечения высокой точности аналоговые ключи (АК) в схемах КУ должны строиться с гальванической развязкой управляющей и коммутируемой цепей. Поэтому АК выполняются либо с динамическим управлением [1], либо с «плавающим» триггером [2]. В обоих вариантах в состав АК входят трансформаторы, что затрудняет его интегральное исполнение.

Возможно также применение АК с «плавающим» конденсатором управления [3, 4]. Однако требуемые для нормальной работы АК значения емкости плавающего конденсатора в большинстве случаев находятся вне диапазона номиналов пленочных и диффузионных конденсаторов интегральных схем. Поэтому при реализации АК в интегральном исполнении в качестве плавающего конденсатора приходится применять навесной элемент.

Схема АК получается наиболее простой и легко выполнимой в

интегральном исполнении при построении его на полевых транзисторах. Кроме того, полевые транзисторы не имеют начального смещения нуля  $U_0$ , а их высокое входное сопротивление (более  $10^7 \text{ ом}$ ) позволяет обойти вопрос о гальванической развязке управляющей и коммутируемой цепи АК.

Разработано КУ на интегральных схемах (ИС) серии «К» (8ПМД4, 8ПМД6, 8ПМД16), выполненных на транзисторах со структурой металл — окисел — полупроводник (МОП-транзисторы). При этом аналоговые ключи КУ построены на ИС типа 8ПМД6, а устройство управления ими (счетчик с дешифратором) выполнено на ИС типа 8ПМД4 и 8ПМД16.

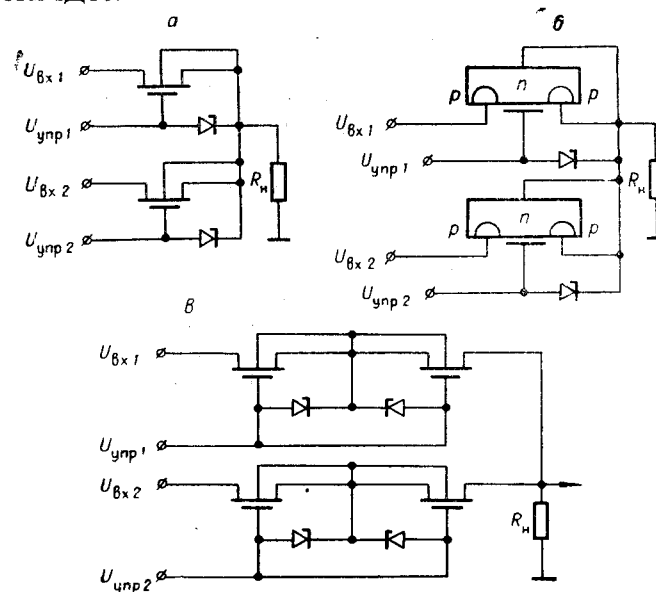


Рис. 1.

Простейшая структура КУ с применением в качестве АК одного МОП-транзистора представлена на рис. 1, а, а схематическое изображение поперечного сечения такого ключа показано на рис. 1, б. Как видно из рис. 1, б, при некоторых сочетаниях входных сигналов переход сток — подложка разомкнутого АК (одного или нескольких каналов) может оказаться смещенным в прямом направлении. АК, построенный на двух МОП-транзисторах по схеме рис. 1, в, не имеет рассмотренного выше недостатка и, кроме того, позволяет коммутировать двухполярные сигналы. ИС типа 8ПМД6 содержит восемь МОП-транзисторов, истоки которых соединены с подложкой и имеют общий вывод. Поэтому на одной ИС типа 8ПМД6 можно построить только один АК по схеме рис. 1, в. В практическом варианте АК вместо каждого из транзисторов схемы рис. 1, в применены четыре параллельно соединенных МОП-транзистора.

Ключевые характеристики АК, снятые при управлении им от потенциального триггера типа 8ПМД4, приведены на рис. 2, а, а вольт-амперная характеристика его дана на рис. 2, б. Из приведенных характеристик определены параметры АК:  $r_0 = 2 \cdot 10^3 \text{ ом}$ ;  $U_0 = 0$ ,  $I_0 \approx 0$ ;  $r_3 = 4 \cdot 10^8 \text{ ом}$ ; допустимый диапазон изменения входного напряжения —  $5 \text{ в} \leq U_{вх} \leq 3 \text{ в}$ . Экспериментально определенное значение эквивалентной емкости разомкнутого АК  $C_3 < 5 \text{ пф}$ .

Недостатком рассматриваемого АК является высокое прямое сопротивление замкнутого ключа, что требует достаточно высокоомной нагрузки на КУ. Последнее можно обеспечить благодаря применению согласующего усилителя ( $K_u \approx 1$ ), а при использовании КУ в структуре многоканального ПНК — за счет применения схемы уравнивания напряжений. В случае построения ПНК с автоподстройкой первый вариант оказывается предпочтительнее, так как к согласующему усилителю не предъявляются жестких требований, кроме линейности коэффициента передачи. Схема согласующего усилителя, построенного на элементах той же серии (8ПМД6), представлена на рис. 3, а, а граф этой схемы показан на рис. 3, б. Коэффициент передачи схемы определяется выражением

$$K = \frac{S_1 S_2 S_3 R_c R_n}{(S_3 R_n + 1)(S_1 + S_2) + S_1 S_2 S_3 R_c R_n}$$

При значениях параметров, указанных на рис. 3, а, технические характеристики согласующего усилителя следующие:  $K_u > 0,98$ ;  $R_{вх} > 10^7 \text{ ом}$ ;  $-3 \text{ в} \leq U_{вх} \leq 3 \text{ в}$ ; скорость отслеживания порядка  $5 \text{ в/мксек}$ ; нелинейность коэффициента передачи не более  $3 \text{ мв}$ , что составляет  $0,1\%$ . Достоинством схемы является отсутствие постоянного сдвига (относительно нулевого уровня) выходного напряжения. Относительно невысокий коэффициент передачи не является недостатком схемы, если в ПНК предусмотрена автоматическая подстройка масштаба; в других случаях коэффициент передачи согласующего усилителя можно увеличить за счет добавления промежуточных каскадов.

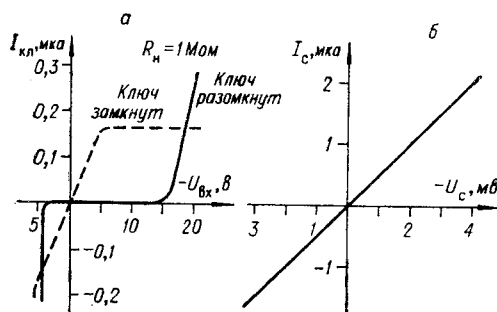


Рис. 2.

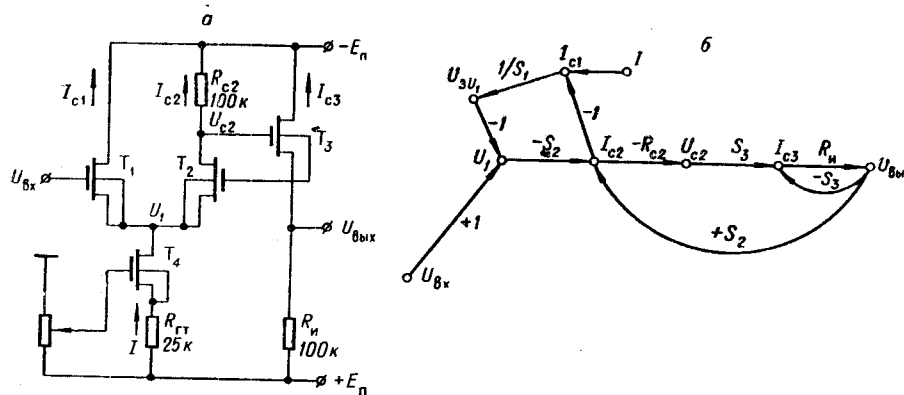


Рис. 3.

Из функционального назначения коммутатора аналоговых сигналов следует, что основной характеристикой его работы является точность, которую удобно оценивать погрешностью передачи коммутируемого уровня напряжения в установившемся режиме. Погрешность коммутатора целесообразно характеризовать двумя составляющими: а) ошибкой

Составляющие погрешности, %	Число каналов													
	n = 8				n = 16				n = 32					
	Частота коммутируемого напряжения, гц			1000			0			1000			1000	
	Тип ключевого элемента													
	„К“	П106	„К“	П106	„К“	П106	„К“	П106	„К“	П106	„К“	П106		
$\delta K$	0,0022	0,019	0,028	0,052	0,0047	0,047	0,062	0,11	0,0097	0,080	0,13	0,23		
$\delta U'$	0	0,002	0	0,002	0	0,002	0	0,002	0	0,052	0	0,002		
$\delta U''$	0,0044	0,038	0,058	0,1	0,0094	0,082	0,125	0,22	0,0194	0,170	0,25	0,46		
$\delta U'''$	0	0,0038	0	0,0038	0	0,0083	0	0,0083	0	0,017	0	0,0170		
Полная погрешность	0,0066	0,0628	0,086	0,1578	0,0141	0,1398	0,187	0,3403	0,0291	0,269	0,38	0,709		

передаточной функции  $\Delta K_B$  коммутатора по выбранному каналу; б) напряжением помехи  $\Delta U_n$  на выходе коммутатора, измеряемым при нулевом значении коммутируемого сигнала.

В свою очередь, составляющая погрешности  $\Delta K_B$  определяется структурой коммутирующего устройства, параметрами датчиков и АК, а напряжение помехи  $\Delta U_n$  — тремя составляющими: погрешностью  $\Delta U'$  за счет остаточных напряжений  $U_0$  замкнутых АК; погрешностью  $\Delta U''$  за счет напряжений  $U_{от}$  невыбранных датчиков и составляющей  $\Delta U'''$ , характеризующей остаточными токами  $I_0$  разомкнутых АК.

Итак, погрешность коммутатора  $\delta$  определяется выражением

$$\delta = \frac{U_B}{U_M} \Delta K_B + \frac{\Delta U'}{U_M} + \frac{\Delta U''}{U_M} + \frac{\Delta U'''}{U_M},$$

где  $U_B$  — напряжение выбранного датчика;  $U_M$  — максимальное значение коммутируемого напряжения.

Для определения конкретного вида выражения для погрешности аналоговый ключ представляется в виде линейного двухполюсника с параметрами:  $r_0, r_3, U_0, I_0$  [5]. При коммутации напряжений переменного тока необходимо учитывать дополнительно среднее значение эквивалентной емкости  $C_3$ , шунтирующей разомкнутый АК. В этом случае закрытое состояние АК целесообразно характеризовать комплексным сопротивлением  $Z_3$ .

Точность работы  $n$ -канального  $M$ -ступенчатого КУ с отключением неопрашиваемых каналов ( $n=1, 2, \dots, N$ , где  $N=\log_2 n$ ) может быть описана выражением [2]

$$\delta = \frac{U_B}{U_M} \sum_{v=1}^M \frac{(n^v - 1)(r_0 + Z)}{Z_3} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{U_0}{U_m} \left[ M - \sum_{\nu=1}^M \nu \frac{(n^\nu - 1)(\nu r_0 + Z)}{Z_3} \right] + \\
& + \frac{U_{от}}{U_n} \sum_{\nu=1}^M (n^\nu - 1) \frac{\nu r_0 + Z}{Z_3} + \frac{I_0}{U_m} \sum_{\nu=1}^M (n^\nu - 1)(\nu r_0 + Z),
\end{aligned}$$

где  $Z$  — выходное сопротивление коммутируемого датчика;  $n$  — число каналов в одной группе  $\nu$ -й ступени.

Значения отдельных составляющих погрешности и полной погрешности разработанного одноступенчатого КУ для случая коммутации напряжений постоянного тока ( $-3 \text{ в} \leq U_{\text{вх}} \leq 3 \text{ в}$ ) и переменного тока ( $U_m = 3 \text{ в}$ ;  $f = 1000 \text{ гц}$ ) от потенциометрических датчиков с выходным сопротивлением  $R \leq 500 \text{ ом}$  при  $R_n \rightarrow \infty$  сведены в таблицу. Там же для сравнения указаны соответствующие значения погрешностей для случая исполнения коммутатора на биполярных транзисторах типа П106 ( $r_0 = 50 \text{ ом}$ ;  $r_3 = 10^7 \text{ ом}$ ;  $I_0 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ а}$ ;  $U_0 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ в}$ ;  $C_3 = 40 \text{ пф}$ ). Из таблицы видно, что при реализации КУ на МОП-структурах серии «К» обеспечивается более высокая статическая точность.

### Выводы

Использование ИС серии «К» для построения КУ упрощает схему АК, повышает статическую точность КУ и дает возможность реализовать схему КУ в едином кристалле полупроводника.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжения. Под ред. В. Б. Смолова и Н. А. Смирнова. Л., «Энергия», 1967.
2. Универсальный многоканальный полупроводниковый кодирующий преобразователь для специализированных вычислителей подвижных объектов. Л., ЛЭТИ, 1967 (раздел 1); 1968 (раздел 2).
3. Ключевая схема, управляемая конденсатором. Патент США, кл. 307. 88.5, № 3292010.
4. А. А. Петухов, Э. К. Туглин, В. Ф. Фролов. Микроэлектронный коммутатор высокой точности. — Всесоюзная конференция по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Тезисы докладов и сообщений. Новосибирск, 1968.
5. В. И. Анисимов, А. П. Голубев. Транзисторные модуляторы. М.—Л., «Энергия», 1964.

Поступила в редакцию  
2 сентября 1969 г.,  
окончательный вариант —  
26 декабря 1969 г.