

М-333

8

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10-3344-2



Э.В. Матвеев, Ю.В. Сафрошкин

РЕЛЕЙНЫЙ И ТРАНЗИСТОРНЫЙ КОММУТАТОРЫ
НА ДЕСЯТЬ ВХОДОВ

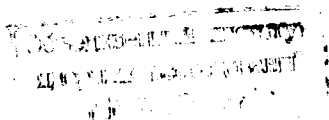
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1967.

10-3344-2

Э.В. Матвеев, Ю.В. Сафрошкин

РЕЛЕЙНЫЙ И ТРАНЗИСТОРНЫЙ КОММУТАТОРЫ
НА ДЕСЯТЬ ВХОДОВ



3121/2 КР

Разработанные в Лаборатории высоких энергий коммутаторы предназначены для сравнительного визуального исследования на экране осциллографа гистограммы напряжений от нескольких (до десяти) идентичных источников. Они могут использоваться , например , для измерения зарядов, накопленных на емкостных датчиках, при работе с импульсными пучками заряженных частиц (при этом облегчается измерение распределения частиц по сечению пучка, представляется возможность отделить во времени измерения от рабочего импульса и ослабить влияние помех). Входные цепи приведенных ниже схем рассчитаны именно на такое применение.

Оба коммутатора имеют по десять входов, соединенных с измерительными ёмкостями, и представляют собой сдвигающий регистр, который управляет группой ключей и работает в режиме однократного запуска (с малой частотой). Конструктивно коммутаторы выполнены на стандартных шасси блоков ШБ 120x80 производства ЦЭМ ОИЯИ. Коммутаторы имеют следующие характеристики:

	Релейный	Транзисторный
Максимальная частота запуска	10 гц	1 кгц с датчиками ЭДС 5 кгц с ёмкостными датчиками
Задержка включения первого канала относительно запуск. сигнала	10 мсек	500 мсек
Интервал включения каналов	3 мсек ⁺ 20%	22 мсек ⁺ 10%

	Релейный	Транзисторный
Измеряемые напряжения	минус 1-100в	минус 1-10в
Коэффициент передачи	1:1	1:1
Нагрузка выхода	входное сопрот. $r_{\text{у}}$ осциллографа	
Точность передачи постоянных напряжений	не хуже 2%	не хуже 5%
Входное сопротивление включённых каналов	$r_{\text{у}}$	не меньше 200 ком
Входное сопротивление выключенных каналов	не меньше 10 мом	5 мом

Краткие описания устройства и работы коммутаторов даются раздельно.

Релейный коммутатор

Принципиальная схема релейного коммутатора приведена на рис. 1.

Привлекательные качества релейных коммутаторов - идеальные ключевые свойства контактной пары и возможность коммутировать с хорошей точностью напряжение любой полярности в широком диапазоне амплитуд. Основная трудность - обеспечение быстродействия, необходимого в нашем случае для того, чтобы передача напряжения измерительных ёмкостей C_0 на выход не слишком сильно искажалась утечками по изоляции (существенна для последних каналов) и разрядом ёмкостей включённых каналов на входное сопротивление осциллографа $r_{\text{у}}$.

Для надежного отсчёта начальной амплитуды импульса данного канала, которая равна измеряемому напряжению на соответствующей ёмкости, следует стремиться к выполнению соотношения

$$\theta < C_0 r_{\text{у}} \quad \text{или} \quad \theta < 5 \text{ мсек при } C_0 = 10 \text{ тыс.пф.,} \quad (1)$$

$$r_{\text{у}} = 0,5 \text{ мом,}$$

где θ -длительность включения канала.

Малогобаритные реле типа РЭС-9, которыми мы располагали, имеют следующие паспортные характеристики: сопротивление обмотки 500 ом,

ток срабатывания $I_{\text{ср}} = 30$ ма, ток отпускания $I_{\text{отп}} = 5$ ма, время включения нормально открытого (далее н.о.) контакта при подаче на обмотку напряжения 23 в $\tau_{\text{ср}} \leq 10$ мсек, время выключения $\tau_{\text{отп}} = 4$ мсек, время переброса подвижного контакта $\tau_{\text{пер}} = 6$ мсек.

Соотношение $\tau_{\text{пер}} > \tau_{\text{отп}}$ не позволяет выполнить самоходный сдвигающий регистр, содержащий более двух реле, как это видно из диаграммы рис. 2а. Время отпускания реле можно искусственно увеличить (например, шунтируя обмотки сопротивлением) так, чтобы выполнить неравенство $\tau_{\text{отп}} > \tau_{\text{пер}}$ и обеспечить устойчивость работы цепочки реле при любом числе ступеней. Однако при этом увеличивает-ся интервал включения н.о. контакта и нарушается неравенство (1). Для сохранения малых интервалов включения каналов при искусственной задержке реле на отпускание в схеме рис. 1 предусмотрены:

- а) подключение измеряемых напряжений к выходной шине через последовательно включённые н.о. контакты соседних реле;
- б) "обрезание" импульсов напряжения на обмотках нормально замкнутыми (далее и.з.) контактами последующих реле.

Поскольку реле РЭС-9 имеют лишь две группы переключающих контактов, для выполнения пункта а) в чётных ступенях использованы по два реле параллельно, а шунтирующие сопротивления имеют меньшую величину.

Диаграмма работы первых ступеней идеализированного коммутатора (при отсутствии разброса паспортных параметров), запускаемого н.о. контактами пускового реле П или кнопки КП (см.рис.1), показана на рис.2б. Разброс параметров ступеней коммутатора в практической схеме вызывает разброс T и θ и делает возможным "наложение" в некоторые моменты времени соединения каналов, а именно:

ёмкости 1-го и 2-го каналов могут быть включены параллельно в моменты наложения через одновременно замкнутые н.о. контакты 2,1,3, 2а;

ёмкости 2-го и 3-го каналов - через контакты 2 а, 4 и т.д..
При ёмкостных датчиках наложение каналов совершенно недопустимо, так как оно приводит к уравниванию напряжений соседних ёмкостей.

Подбирая шунтирующие сопротивления при фиксированном напряжении питания, можно добиться близкой ширины θ всех каналов и пауз между ними. При этом, однако, схема весьма чувствительна к напряжению питания: при его понижении на 1в относительно исходного значения 24 в наблюдаются сбои в работе цепочки, при повышении же на 1в возможно наложение некоторых каналов.

В схеме рис. 1 для исключения взаимной перезарядки соседних ёмкостей при наложении каналов во времени использованы разделительные диоды D_1 типа Д220. Диоды несколько уменьшают точность передачи малых напряжений, исключают передачу разнополярных напряжений и отрицательных напряжений более 100 в, однако снижают критичность коммутатора к напряжению питания и повышают надежность измерений. В схеме предусмотрены дополнительные диоды D_2 в каждом канале, через которые с помощью н.э. контакта пускового реле осуществляется разряд ёмкостей C_0 перед очередным циклом измерений. При этом предполагается, что измеряемые заряды виосятся на ёмкости в промежуток времени от t_1 до t_2 (см. диаграмму работы контактов П на рис. 2 б).

Величина обратного сопротивления разрядных диодов при любом измеряемом напряжении должна удовлетворять приближенному неравенству

$$r_{\text{обр}} > \frac{N(N-1)T}{C_0 \delta}, \quad (2)$$

где N —число каналов, T — период коммутации (см. рис. 2 б), δ —относительная точность измерения напряжения в начальный момент включения последнего канала.

Точность измерения напряжения первых каналов при этом будет заведомо лучше. При $N=10$, $T=4$ мсек, $C_0=10$ тыс. пф., $\delta=0,02$ имеем из (2) $r_{\text{обр}} > 1800$ мом. Около 20% диодов типа Д220 удовлетворяет этому требованию.

Реле ОП, задержанное на срабатывание с помощью цепочки, введено в схему для исключения повторных запусков коммутатора в тех случаях, когда контакты П или КП остаются включёнными после момента T_3 .

Осциллограммы рис. 3а отражают работу коммутатора при номинальном напряжении питания 24в и при подаче на входы напряжений от омиче-

ских делителей. Как следует из осциллограмм, интервалы подключения к выходу отдельных каналов колеблются от 2,5 до 3,5 мсек, а паузы между каналами - от 0 до 1 мсек. Цикл обегания всех десяти каналов занимает около 36 мсек, т.е. в среднем 3,6 мсек на канал. Из этого можно сделать вывод, что временные характеристики реле из использованной партии примерно вдвое лучше гарантированных по паспорту. Масштаб времени на диаграмме рис. 26 соответствует осциллограммам.

Быстродействие коммутатора можно несколько повысить, увеличивая напряжение питания. Это приводит к уменьшению и полному исчезновению пауз (при напряжении 30в) и уменьшению T в соответствии с приближенным равенством

$$T_{\text{средн.}} \approx 3,6 \text{ мсек} - 0,05 \text{ мсек/в} \left(v - v_{\text{ном}} \right) \begin{cases} v_{\text{ном}} = 24\text{в} \\ v < 40\text{в} \end{cases}$$

Превышение напряжения над паспортным для реле безопасно ввиду кратковременного режима работы. При работе с гальваническими датчиками диоды D_1 и D_2 не нужны.

Транзисторный коммутатор

Если неравенства (1) и (2) нарушаются из-за малой величины C_0 или $r_{\text{у}}$ либо по какой другой причине, точность измерений с помощью релейного коммутатора снижается. В таких случаях можно применить более быстрый (но менее точный) транзисторный коммутатор, принципиальная схема которого показана на рис. 4.

Сдвигающий регистр представляет собой цепочку последовательно соединенных ждущих блокинг-генераторов (далее - б.г.). На рис. 4 изображены только 1-5 и 6-10-я идентичные ступени, причём номиналы указаны только для 1-й ступени. Запирающее напряжение около 0,2в подается на базы транзисторов б.г. с резистора $R_{\text{см}}$. Каждый последующий б.г. запускается дифференцированным задним фронтом импульса предыдущего б.г.. Этот импульс снимается со специальной обмотки связи, число витков которой выбрано с запасом относительно начального уровня запуска б.г. по базе.

Первый б.г. регистра запускается от одновибратора задержки, выполненный по типовой схеме. Одновибратор запускается от рабочего импульса, ограниченного по амплитуде с помощью стабилитрона Д811. Время выдержки одновибратора - около 500 мксек - достаточно для окончания процесса зарядки измерительных емкостей C_0 и исключения помех от рабочих импульсов в системе.

Ключи коммутатора выполнены на транзисторах МП106 по схеме с общей базой; базы подключены к источникам измеряемых отрицательных напряжений (не более 10в). При отсутствии запуска эмиттерные переходы ключей заперты напряжением $U_{эб} = U_0 - E_k < 0$. $0 < U_0 < 10$ в, а E_k изменяется от 11 до 13 вольт в зависимости от величины регулируемого порогового напряжения ключей $U_{пор}$. При срабатывании б.г. ключ соответствующего канала открывается до тока

$$I_{э} = \frac{U_0 + U_{пор} - U_{кэ1 \text{ насыщ}}}{R_{э}}$$

Транзисторы типа МП106 при токе 0,1 - 1 ма имеют $U_{эб} \approx 0,5 \div 0,8$ в. Наличие регулируемого $U_{пор}$ позволяет скомпенсировать эту величину, что необходимо при измерении малых напряжений. При измерении больших напряжений и $U_{пор} \approx 0$ наличие $U_{эб} \approx 0,5$ в позволяет ослабить влияние помех.

Объединение импульсов ключей с 1-го по 5-й и с 6-го по 10-й осуществляется на общих коллекторных сопротивлениях по 5,1 ком, а затем на транзисторах МП10 (с поворотом фазы и балансировкой амплитуды). Такой способ объединения преследует две цели:

- а) согласование полярности наблюдаемого на выходе сигнала и измеряемых напряжений;
- б) ослабление влияния емкостей коллекторных переходов ключей на фронты наблюдаемых импульсов.

На входах ключей включены ограничительные стабилитроны Д811 и сопротивления утечки $R_6 \approx 5,1$ мом.

Назначение последних - обеспечить полный разряд измерительных емкостей после очередного цикла измерений и предотвратить заряд емкостей обратными токами $I_{к0}$ и $I_{э0}$ запертых ключей. Номинал R_6

и максимальную частоту запуска регламентируют неравенства

$$\frac{0,7 \cdot 10^{-8} \text{ сек}}{C_0 \delta} < R_6 < \frac{\delta U_0 \text{ мин}}{I_{Э0} + I_{К0}}; \quad f_{\text{макс}} < \frac{0,434}{f_g \frac{1}{\delta} C_0 R_6}$$

Главная причина использования в коммутаторе описанной схемы ключа — необходимость полностью исключить перезарядку соседних измерительных емкостей (при использовании последовательных ключей с ОЭ такая перезарядка возможна в переходных процессах). Такие ключи позволяют также получить достаточно высокое входное сопротивление (порядка 200ком) и не слишком затянутые фронты при использовании низкочастотных транзисторов и достаточно коротких импульсах б.г.

Осциллограммы работы транзисторного коммутатора приведены на рис. 36. Без подбора сопротивлений обратной связи $R_{o.c.}$ в базовых цепях б.г. разброс интервалов включения отдельных каналов относительно среднего значения 22 мксек не превышает $\pm 10\%$. Подбор базовых сопротивлений позволяет уменьшить этот разброс, если необходимо. Длительность цикла коммутации линейно зависит от относительной величины порогового напряжения $U_{\text{пор.}} / E_k$. Для насыщенных б.г. такая зависимость является естественной.

Верхняя осциллограмма рис. 36 дает представление о разбросе нулевого уровня отдельных каналов при оптимальной компенсации напряжения $U_{\text{Э0}}$. Очевидно, измерять напряжения ниже 1в на данном коммутаторе можно лишь с низкой точностью. Последующие осциллограммы позволяют заключить, что погрешность передачи на выход напряжений от 1 до 10 вольт не превышает 5%.

Л и т е р а т у р а

1. З.С.Карамов, А.Ф.Фомин. Элементы аналоговых радиотелеметрических систем. "Энергия", 1966.

2. Е.М.Мартынов. Бесконтактные переключающие устройства. Госэнергоиздат, 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел

24 мая 1967 года.

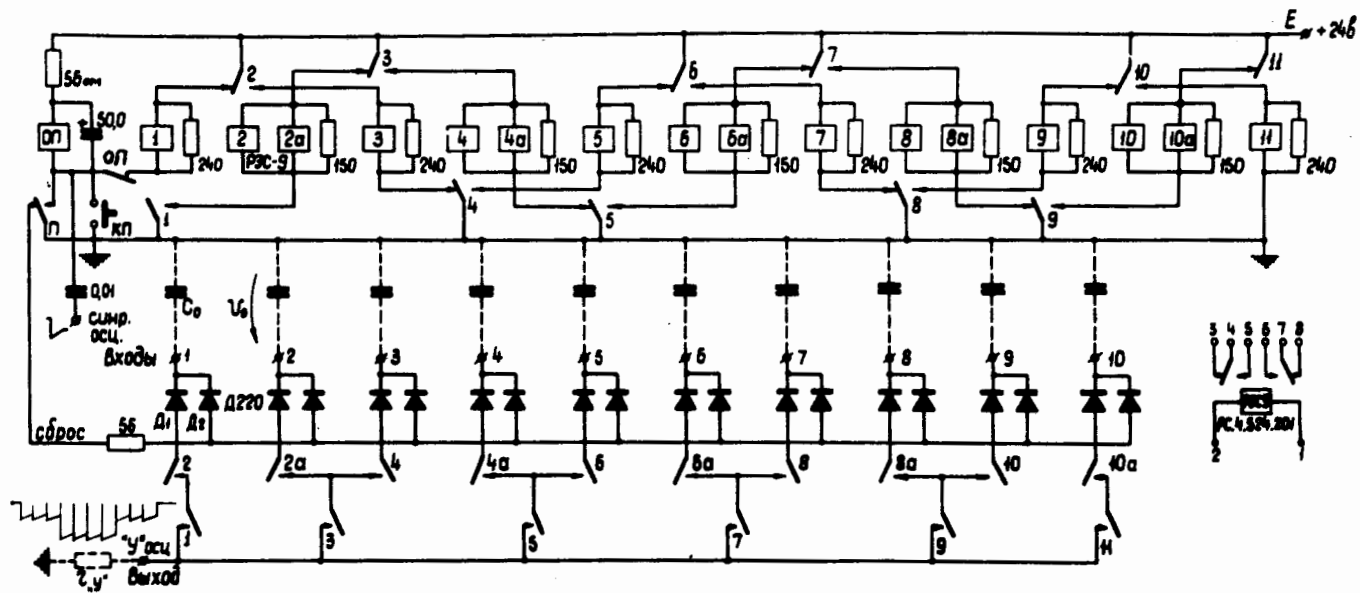
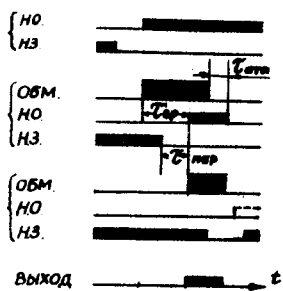


Рис. 1



a)

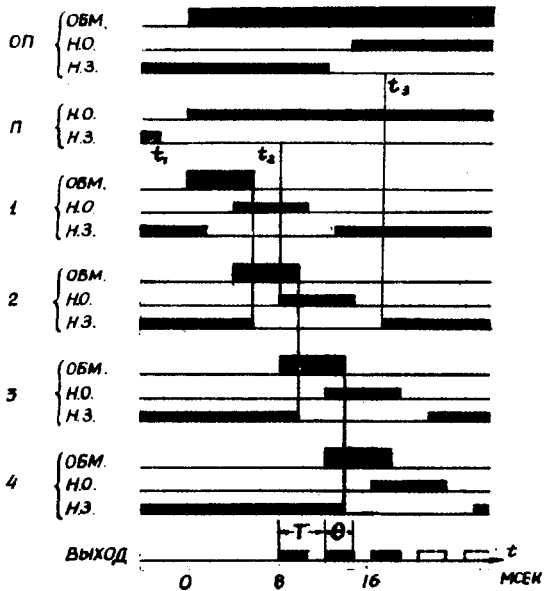


Рис. 2

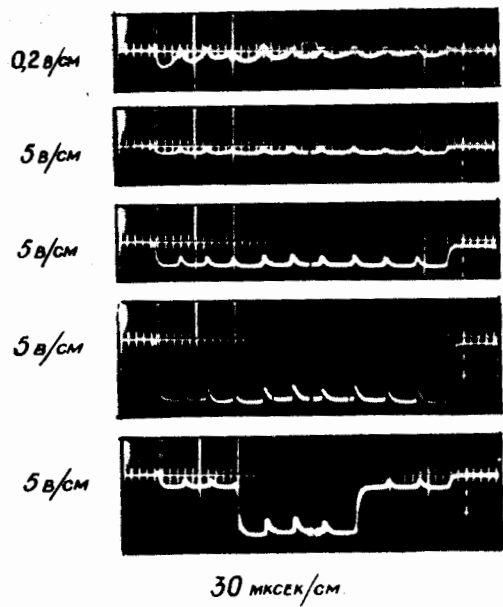
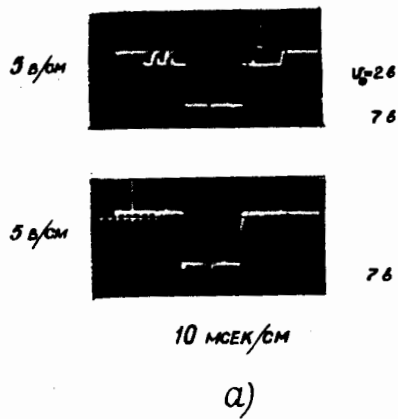


Рис. 3

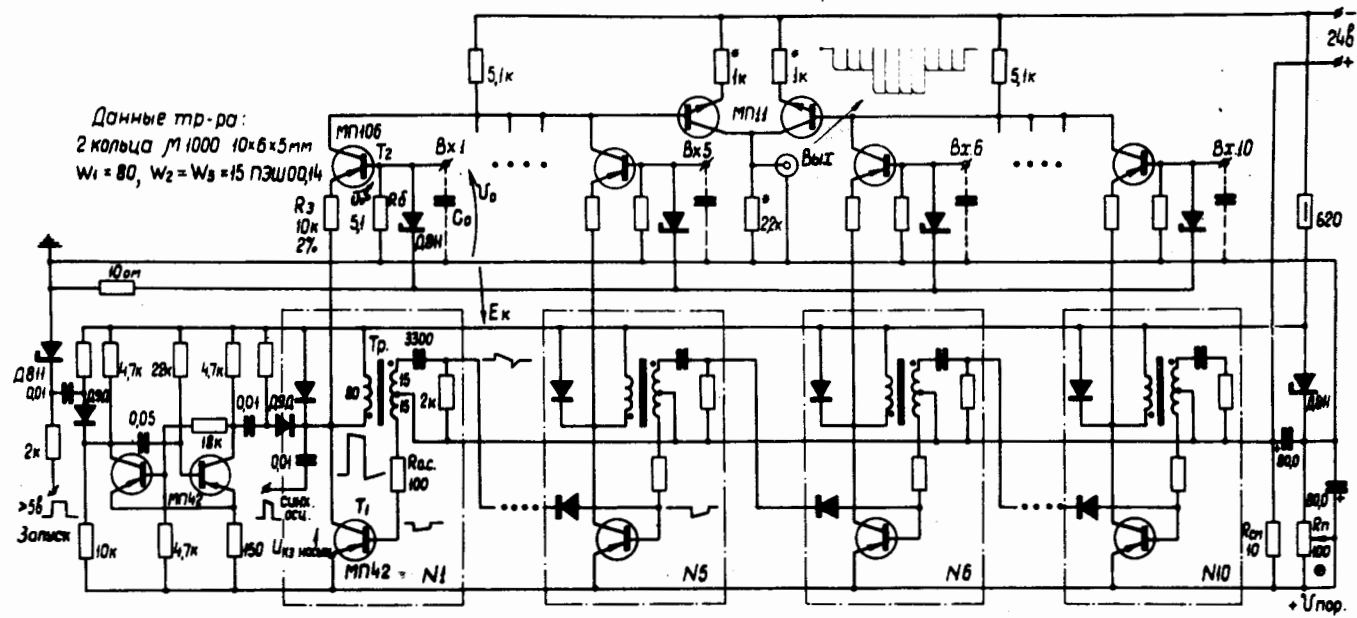


Рис. 4