

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.142.621

В. Р. РОМАНОВСКИЙ
(Ленинград)

**ЦИФРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР
НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ**

Цифровые вольтметры (ЦВ) поразрядного уравнивания за относительно короткий срок своего существования прошли уже два этапа развития. Первым этапом явилось создание ЦВ электромеханического типа. В этих приборах переключения в измерительной цепи, а в ряде случаев и в логической части схемы осуществлялись с помощью реле, шаговых искателей и других электромеханических переключателей. Такие приборы, несмотря на их относительно простоту и достаточно высокую точность, имели ряд существенных недостатков, главными из которых являлись: низкое быстродействие, малая надежность и значительные габариты и вес. Поэтому вторым этапом, логически вытекающим из общего развития электроники и особенно полупроводниковой техники, явилось создание полностью электронных ЦВ, в которых как логические, так и измерительные цепи выполнены на электронных, чаще транзисторных элементах. Интенсивные работы, проводившиеся в этой области, привели к появлению на мировом рынке транзисторных ЦВ с погрешностью 0,002—0,003% (прибор LM1867 фирмы «Solartron», прибор HP3462B фирмы «Hewlett — Packard» и др.).

Эти два этапа развития цифрового приборостроения характерны и для отечественного приборостроения. Если еще 2—3 года назад в Союзе выпускались только высокоточные ЦВ электромеханического типа (Щ1411М, Щ1511, P332 и др.), то сейчас им на смену пришли электронные приборы типа Щ1412 (0,05%), Щ1512 и Щ1513 (0,01%) и др.

Этот переход на качественно новый для цифрового приборостроения уровень полупроводниковой техники позволил успешно решить ряд проблем. Существенно возросло быстродействие ЦВ, в несколько раз повысилась надежность, уменьшились габариты и вес приборов. Однако и этот новый, более высокий уровень надежности не удовлетворяет уже возросшим требованиям науки и промышленности. Действительно, современный ЦВ содержит несколько сотен активных и пассивных элементов, более тысячи паек (например, в приборе типа Щ1513 370 диодов и триодов, 800 пассивных элементов и около 3500 паек), что затрудняет получение среднего времени безотказной работы свыше 600 часов.

Переход на полупроводниковую технику не решил полностью и проблему уменьшения габаритов и веса цифровых измерительных устройств, так как их снижение шло не столько за счет уменьшения числа элементов (их в ряде случаев стало даже больше), сколько за счет некоторого уменьшения габаритов самих элементов и, главное, более рациональной компоновки их.

Кардинальным решением всех этих, подчас достаточно противоречивых задач является перевод ЦВ на интегральные схемы, причем очевидно, что с повышением степени интеграции выигрыш от их применения становится все более ощутимым [1]. Не случайно, что основные ведущие фирмы мира ведут активные работы по созданию ЦВ на интегральных схемах и выпустили на рынок ряд весьма интересных моделей, вступив тем самым в третий этап развития цифровой измерительной техники.

Основываясь на опыте разработки и выпуска транзисторных ЦВ поразрядного уравнивания, на заводе «Вибратор» начата работа по созданию серии цифровых вольтметров с широким использованием интегральных микросхем. Первым прибором этой серии является ЦВ типа Щ1312, при разработке которого ставилась задача выявления основных особенностей построения серийноспособного ЦВ на интегральных схемах отечественного производства. При этом особое внимание уделялось возможности

дальнейшего повышения точности и чувствительности разработанной модели без существенной переработки принципиальной схемы и конструкции прибора.

Известно, что погрешность ЦВ поразрядного уравнивания в целом в значительной степени определяется погрешностью, вносимой остаточными параметрами измерительных ключей. Тщательные исследования, проведенные над различными типами микротранзисторов и микросхем, показали, что хотя для обеспечения выбранной для прибора типа Ш1312 погрешности ($0,1\% U_x + 1$ знак) могут быть использованы транзисторы различных типов, с учетом дальнейшего повышения точности до 0,05 и 0,01% можно рекомендовать только микротранзисторы типов ГТ108Г, МЗД и М5 [2], основные характеристики которых в инверсном режиме приведены в таблице. Здесь через m_e и m_r обозначены математические ожидания остаточного напряжения и остаточного сопротивления соответственно. Из таблицы видно, что применение указанных

Тип транзистора	Тип проводимости	Рабочий ток базы, ма	m_e при рабочем токе базы, мкв	m_r при рабочем токе базы, ом	Усредненный ТКН, мкв/°С	Усредненный ТКС, ом/°С	Крутизна изменения m_e , мкв/ма	Крутизна изменения m_r , ом/ма
ГТ108Г	p-n-p	1,5—2,5	350—450	3,5—2,5	-2	0,1	100	1,0
МЗД	n-p-n	1,75—2,5	450—575	2,1—1,7	±1	0,1	170	0,5
М5Г	p-n-p	1,75—2,5	550—650	3,5—2,5	-4	0,1	135	1,0

микротранзисторов в сочетании с рядом мер, обычно используемых для создания ЦВ высоких классов точности (питание дискретного делителя повышенным напряжением от источника опорного напряжения с последующим делением выходного напряжения, применение однотипных транзисторов в ключах, обеспечивающее частичную компенсацию остаточных параметров и др.), позволит создавать приборы с погрешностью до 0,01%. Отметим, что известные ключевые микросхемы типа ИП-1 обеспечивают в серийных образцах на порядок худшие результаты, почему они для точных ЦВ не могут быть рекомендованы.

С целью упрощения логической части схемы в приборе Ш1312 выбрана однополярная схема управления ключами, в связи с чем в качестве ключей использованы микротранзисторы типов ГТ108Г и МЗД с различной проводимостью (p-n-p и n-p-n соответственно). В качестве прецизионных резисторов, образующих дискретный делитель, выполненный по схеме суммирования токов, применяются микропроводные схемные элементы сопротивления (микро-СЭС), разрабатываемые специально для этого прибора. В первой декаде дискретного делителя используется код 8-4-2-1, остальные декады выполняются по коду 2-4-2-1.

Изменение полярности в приборе осуществляется за счет введения дополнительного опорного источника. Такое решение существенно облегчает режим работы источника опорного напряжения и упрощает схему управления измерительными ключами, хотя и приводит к некоторому усложнению дешифратора (при одной из полярностей информация снимается в обратном коде), что, однако, при условии выполнения логической части на интегральных схемах не приводит к сколь угодно значительному усложнению прибора.

Схема управления, развернутая блок-схема одной из декад которой приведена на рис. 1, выполнена на твердо-

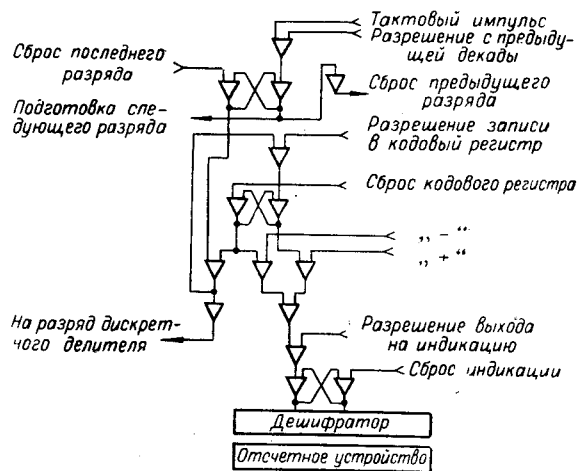


Рис. 1.

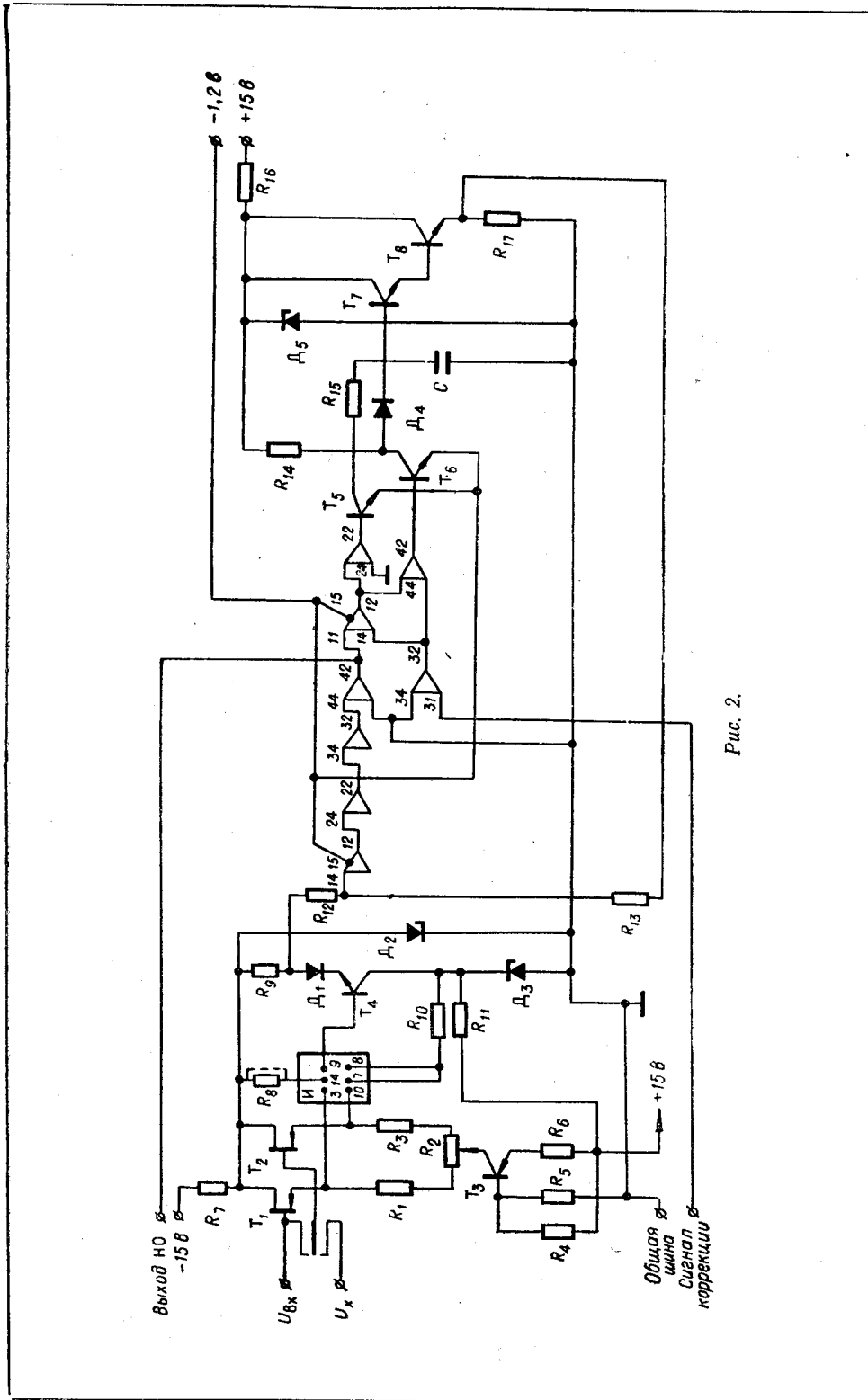


Рис. 2.

тельных интегральных германиевых микросхемах. Выбор данного типа микросхемы обусловлен ее относительно низкой стоимостью и возможностью получения в достаточных для серийного производства ЦВ количествах. Декада ЦВ включает в себя сдвигающий регистр, кодовый регистр и дешифратор обратного кода, схему памяти и дешифратор. Высоковольтные ключи поджига индикаторных цифровых ламп выполнены на высоковольтных микротранзисторах. Выход на цифрорегистрацию осуществляется в двоично-десятичном коде. Применение специальных инверторов позволяет получать выходные сигналы как в положительной, так и в отрицательной полярности.

Наибольшие трудности при разработке ЦВ на полупроводниковых элементах встречаются при создании высокочувствительной схемы сравнения. Объясняется это тем, что к нуль-органу (НО) ЦВ предъявляются весьма жесткие требования: высокое входное сопротивление, малый уровень шумов, достаточно большой коэффициент передачи, малый временной и температурный дрейф нуля и др. Существующие в настоящее время в Союзе интегральные усилители не обеспечивают получения требуемого комплекса характеристик, причем главным образом по входному сопротивлению и дрейфу нуля.

Широко известные интегральные балансные каскады типа П2222, обладая достаточно малым дрейфом нуля, обеспечивают входное сопротивление каскада порядка 10^6 — 10^7 ом, что явно недостаточно для высокоточных многопредельных ЦВ. Действительно, погрешность, вносимая шунтирующим действием входного каскада в коэффициент деления входного делителя напряжения, определяется выражением

$$\gamma\% = \frac{R_2}{R_2 + R_{вх}} \cdot 100,$$

где R_2 — сопротивление нижнего плеча делителя; $R_{вх}$ — входное сопротивление НО. Отсюда

$$R_{вх} \approx \frac{100R_2}{\gamma\%}.$$

Если задаться погрешностью, вносимой за счет шунтирования нижнего плеча делителя, $\gamma < 0,02\%$ (для прибора кл. 0,1) и сопротивлением $R_2 = 10^6$ ом (что обеспечивает входное сопротивление прибора 10 Мом), то $R_{вх} > 5 \cdot 10^9$ ом.

Очевидно, что для прибора более высокого класса входное сопротивление должно быть на порядок выше. Подобное входное сопротивление при использовании полупроводниковой техники может быть получено за счет применения полевых транзисторов с последующим усилением разностного сигнала с помощью интегральной схемы типа П2222.

Разработанный для прибора Ш1312 нуль-орган построен по схеме с периодической коррекцией дрейфа нуля и имеет чувствительность порядка 100 мкв. Быстродействие его при изменении сигнала от -300 мкв до $+1$ в не превышает 100 мксек. Входной ток не превышает 10^{-9} — 10^{-10} а. Нуль-орган содержит входной усилительный каскад, выполненный на полевых транзисторах и интегральной схеме типа П2222. Благодаря тому, что сравнение U_x и U_k осуществляется в условной нулевой точке, к этому каскаду не предъявляются высокие требования по линейности усиления и стабильности нуля. Сигнал с входного усилителя усиливается с помощью релейного усилителя на твердых схемах типа «Квант». Для устранения временного и температурного дрейфа служит запоминающее устройство (интегратор). Схема нуль-органа изображена на рис. 2. Нуль-орган выполнен в виде самостоятельного функционального блока и заключен в корпус-экран с габаритами $93 \times 67 \times 15$ мм. Конструктивно прибор выполнен в бескорпусном варианте. Все элементы схемы размещены на 7 печатных платах. Все переключения и включения прибора в сеть осуществляются с помощью кнопочных микропереключателей. Габарит прибора не превышает $200 \times 120 \times 235$ мм. Вес не более 5 кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Гореликов. Микроэлектронный цифровой милливольтметр поразрядного уравнивания. — Автометрия, 1969, № 2.
2. В. Р. Романовский, В. Д. Шаповалов. Использование малогабаритных транзисторов в качестве прецизионных переключателей дискретных делителей цифровых вольтметров высокой точности. — В сб. «Контрольно-измерительная техника», № 9. Львов, 1969.

Поступило в редакцию
4 ноября 1969 г.