Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1983, т. 98

УДК 550.832.08

ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНЫЙ АМПЛИТУДНЫЙ СПЕКТРОМЕТР

А.Я.СИНИЦЫН, Р.М.ГАБИТОВ

Серийно выпускаемые радиометрические и ядерногеофизические спектрометры за редким исключением содержат один или два измерительных дифференциальных канала, что затрудняет исследования и не обеспечивает высокую производительность труда. Как показывает опыт геофизических работ, радиометрический спектрометр должен иметь минимум три независимых дифференциальных канала, ядерногеофизический – три-четыре, а иногда и больше каналов.

Разработанный и изготовленный нами универсальный спектрометр содержит четыре независимых дифференциальных канала и один интегральный. В зависимости от используемого детектора он обеспечивает спектрометрические измерения рентгеновского или гамма-излучения в лабораторных и полевых условиях, может использоваться при точечном каротаже. Прибор собран на основе блоков серийной аппаратуры, а также недефицитных интегральных микросхем и может быть воспроизведен в аппаратурных мастерских геологоразведочных организаций.

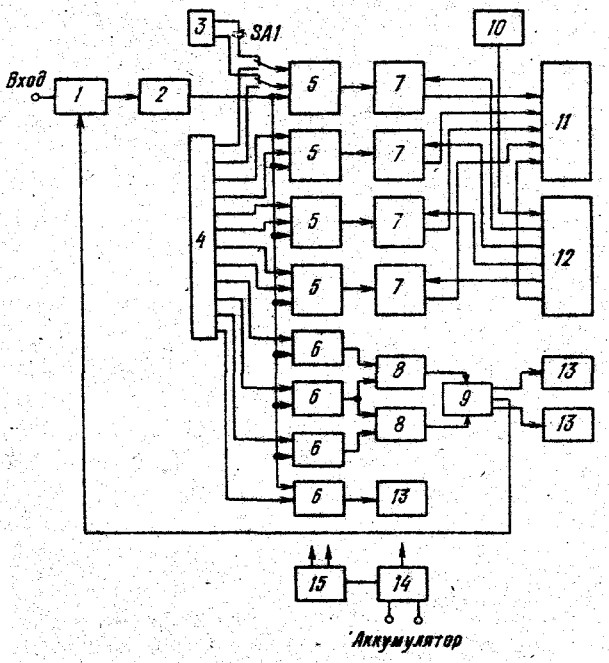

Рис.1. Функциональная схема спектрометра

Прибор выполняет амплитудный анализ электрических импульсов отрицательной полярности амплитудой до 5 В длительностью 1–5 мкс. Информация в дифференциальных каналах представляется в цифровой форме, в интегральном канале – в аналоговой. Питание осуществляется от аккумуляторов напряжением 7–14 В. Потребляемая мощность около 10 Вт.

В спектрометре (рис.I) усилительный тракт содержит управляемый аттенюатор I и линейный усилитель 2, собранные на транзисторах по схеме, использованной в распространенном двухканальном анализаторе рентгеновского излучения „Минерал-5" [4]. Единственное отличие, связанное с повышенной нагрузкой усилителя, состоит во введении дополнительного эмиттерного повторителя, построенного по каскодной схеме [3] на транзисторах ГТ321Д.

Аттенюатор обеспечивает четырехкратное изменение коэффициента передачи импульсов при работе в автоматическом режиме и двухкратное изменение при ручной регулировке. Усилитель имеет номинальный коэффициент усиления 60 с возможной регулировкой от I0 до I00, что позволяет согласовать вход спектрометра практически с любым блоком детектирования.

К выходу усилителя непосредственно подключены четыре идентичных дифференциальных дискриминатора 5 и четыре интегральных дискриминатора 6, три из которых относятся к системе автоматической регулировки усиления (АРУ), один (нижний на рис.I) - к интегральному каналу. Дифференциальные дискриминаторы по своей схеме аналогичны таким же узлам прибора „Минерал-5". Порог дискриминации и ширина окна устанавливаются в процессе настройки схемы с помощью многооборотных потенциометров, расположенных в блоке делителей напряжения 4. Потенциометры позволяют быстро настроить каждый из дискриминаторов на регистрацию излучения практически в любом энергетическом интервале в пределах регистрируемого диапазона, что обеспечивает универсальность прибора в целом. При необходимости полностью исследовать амплитудный спектр дифференциальный дискриминатор первого канала (верхний на рис.I) подключают тумблером SA1 к блоку ступенчатой регулировки порога 3. В этом случае порог можно ступенчато изменять двумя переключателями с шагом перемещения, равным I/50 от исследуемого амплитудного диапазона. Всего предусмотрено 50 значений фиксированных порогов, полностью перекрывающих амплитудный диапазон. Ширина канала автоматически устанавливается равной шагу перемещения порога.

На выходе каждого из измерительных дифференциальных дискриминаторов размещен индивидуальный счетчик импульсов 7 с кратностью пересчета I:I0000, управляемый схемой I2. В зависимости от требуемого режима работы схема управления I2 позволяет остановить счет вручную с помощью кнопки „Стоп" или автоматически сигналом от таймера I0, внешним сигналом или сигналом переполнения одного из счетчиков. В последнем случае прибор регистрирует отношение числа импульсов, зарегистрированных в неперепольненных счетных каналах, к числу импульсов в переполненном канале, равном I0000, а также интервал времени между моментами пуска счетчиков и переполнения одного из них.

Таймер построен на основе генератора импульсов с кварцевым резонатором и обеспечивает экспозицию I0 или I00 с. Индикацию экспозиции с точностью до 0,I с и числа (или отношения) сосчитанных импульсов осуществляет схема II, построенная на газоразрядных цифровых индикаторах типа ИН2.

Упрощенная принципиальная схема счетчиков импульсов приведена на рис.2. Она содержит четыре счетных канала, таймерный канал, а также уст-

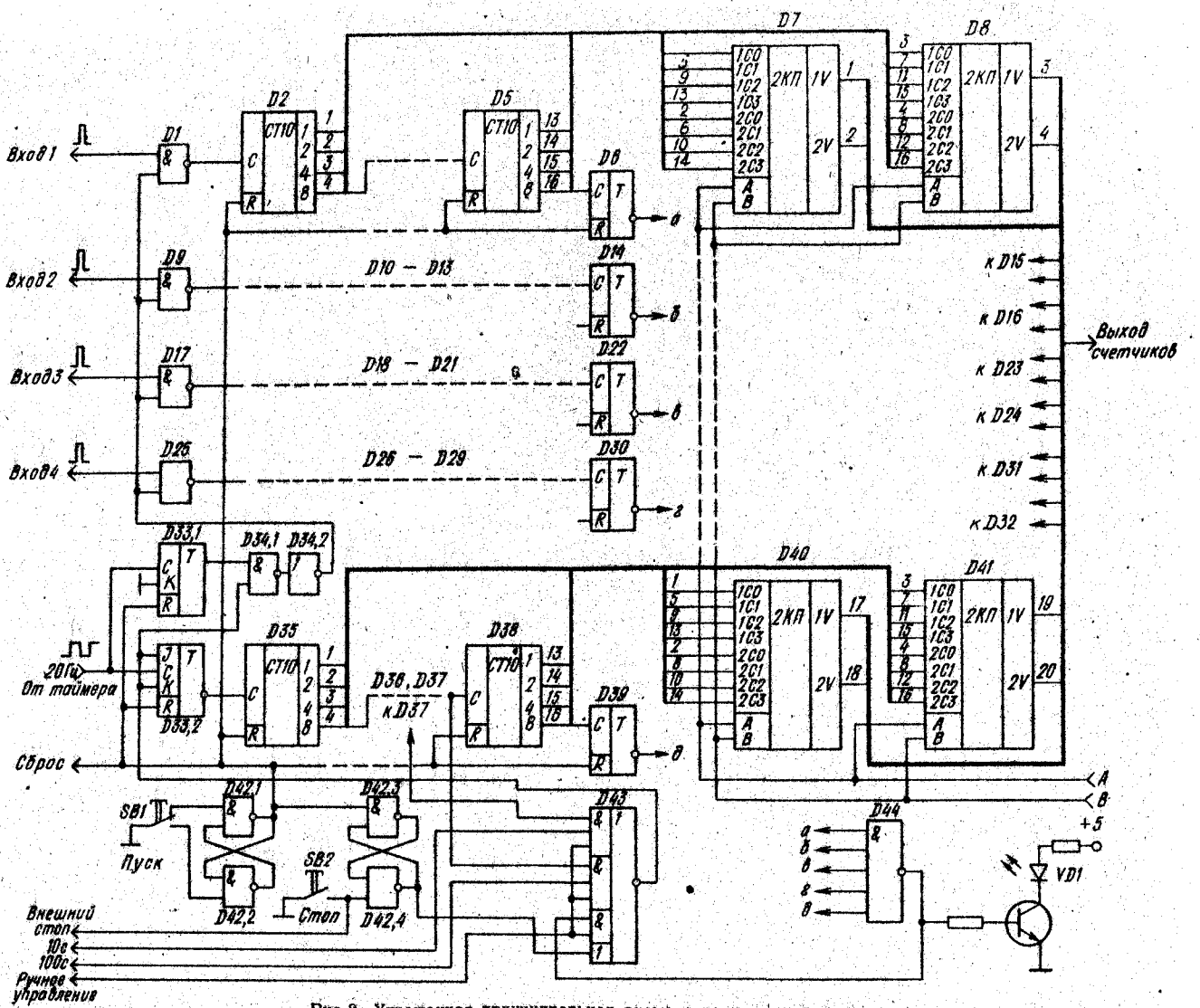

Рис.2. Упрощенная принципиальная схема счетчиков импульсов

ройства пуска и остановки счета. В состав первого счетного канала входит ключевой каскад $D1$, четыре декадных счетчика $D2$–$D5$ на JK-триггерах, работающих в коде 8-4-2-1, тригер переполнения $D6$ и коммутаторы $D7$, $D8$. Остальные счетные каналы аналогичны первому, поэтому на рис.2 показаны только их ключевые каскады $D9$, $D17$, $D25$ и триггеры переполнения $D14$, $D22$ и $D30$. В таймерном канале вместо ключевого каскада на входе установлен триггер $D33.2$. Остальная часть схемы не отличается от счетных каналов. Блок выполнен на экономичных микросхемах серии КП34.

При нажатии кнопки „Пуск" ($SB1$) низкий потенциал, возникающий на выходе элемента $D42.1$, устанавливает в нулевое состояние все триггеры и декады счетных каналов и таймера. Одновременно на выходе элемента $D43$ возникает высокий потенциал, снимающий блокировку с триггера $D33.2$. После отпускания кнопки „Пуск" первый же отрицательный перепад напряжения, поступающий от таймера, переводит триггер $D33.1$, а за ним и элемент $D34.2$ в состояние с высоким потенциалом на выходе, разрешая этим прохождение сигналов через ключи $D1$, $D9$, $D17$ и $D25$ на входы счетных декад. Одновременно в декадах $D35$–$D38$ начинается счет таймерных импульсов.

В автоматическом режиме работы счетчиков на вход „Ручное управление" элемента $D43$ подается высокий потенциал. Такой же потенциал в зависимости от требуемой экспозиции подводится к выходу „10 с" или „100 с". Остальные входы остаются под низким потенциалом, поэтому на выходе $D43$ потенциал оказывается высоким. По истечении заданного времени потенциал на выходе $D43$ резко снижается, что вызывает блокировку триггера $D33.2$ и ключей счетных каналов. До этого счет может быть остановлен сигналом переполнения одного из счетных каналов, поступающим с выхода элемента $D44$. Переполнение индицирует светодиод $VD1$.

В режиме ручного управления на соответствующий вход элемента $D43$ подается низкий потенциал. Счет останавливается при нажатии кнопки „Стоп" ($SB2$), при кратковременной подаче низкого потенциала на вывод „Внешний стоп" или при переполнении какого-либо счетчика или таймерного канала. В последнем случае экспозиция составляет 1000 с и используется при исследовании импульсов с низкой средней частотой.

Для сокращения числа элементов в приборе реализован способ динамической цифровой индикации [2] с последовательным опросом счетчиков и каждого из их разрядов (рис.3). Опрос разрядов производится с помощью вспомогательного генератора импульсов, выполненного на элементах $D51.1$–$D51.3$, резисторе $R1$ и конденсаторе $C1$, и счетчика на триггерах $D52$. В зависимости от состояния триггеров выходы коммутаторов $D7$, $D8$ и т.д. последовательно соединяются с выходами декад первого, второго, третьего и четвертого разрядов каждого из счетчиков. Одновременно дешифратор $D53$ через транзисторы $VT1$ – $VT4$ поочередно включает газоразрядные индикаторы $H1$–$H4$. Частота сигналов вспомогательного генератора составляет около 200 Гц, следовательно частота подключения каждого индикатора – около 50 Гц, что достаточно для восприятия непрерывного свечения лампы.

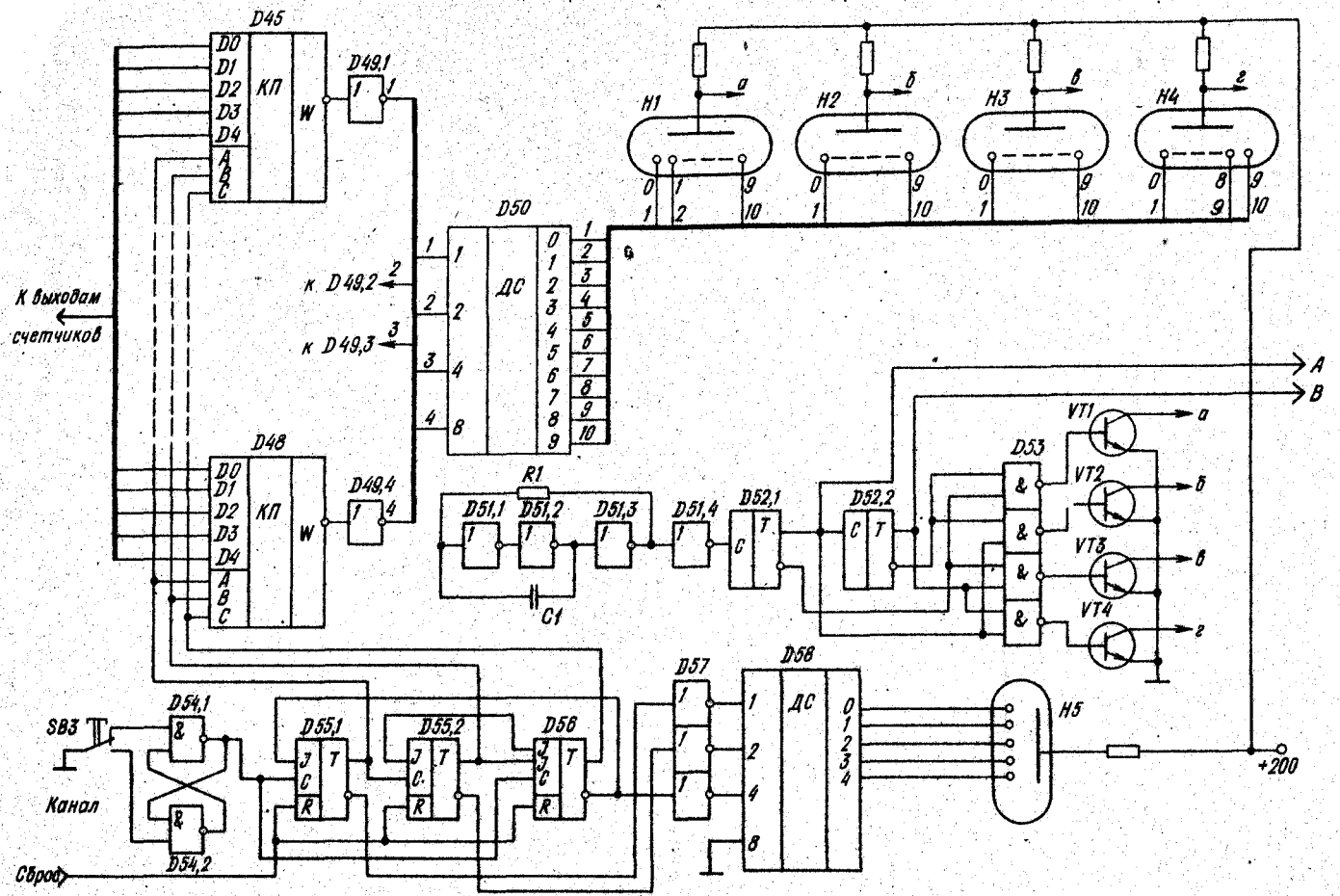

Рис.3. Схема управления и индикации числа импульсов

Для последовательного опроса каналов служат генератор одиночных импульсов $D54$ и счетчик по модулю 5 на триггерах $D55$, $D56$. Генерация осуществляется кратковременным нажатием кнопки „Канал" ($SB3$). В зависимости от состояния счетчика коммутаторы $D45-D48$ подключают к дешифратору $D50$ поочередно пары коммутаторов $D7$, $D8$ и т.д. Состояние триггеров, а следовательно и номера каналов от 0 до 4 индицирует лампа $H5$ после дешифрации элементом $D58$. Нулевой номер отвечает таймерному каналу.

Блок выполнен на микросхемах серии К134 за исключением элементов $D49$ $D57$ (серия К136) и дешифраторов $D50$, $D58$ (серия К155).

Система АРУ кроме трех интегральных дискриминаторов 6 (см. рис.I) включает две схемы антисовпадений 8 и схему сравнения 9. Роль исполнительного устройства играет регулируемый делитель напряжения в схеме аттенюатора I, в котором под действием сигнала от схемы сравнения изменяется сопротивление плеча, представленного лампочкой накаливания. Интегральные дискриминаторы совместно со схемами антисовпадений образуют два дифференциальных канала со смежными окнами, настроенными на левую и правую ветви реперного фотопика. Энергия излучения репера может иметь любое значение в пределах регистрируемого энергетического диапазона. Настройку осуществляют потенциометрами, расположенными в блоке 4.

Электронная схема интегральных дискриминаторов и схем антисовпадений аналогична используемой в измерительных дифференциальных дискриминаторах, что позволяет свести к минимуму влияние изменения окружающей температуры на стабильность работы прибора в целом.

Основу схемы сравнения (рис.4) составляют разностный измеритель средней частоты импульсов на транзисторах $VT1$ и $VT2$ и диодах $VD1-VD4$,

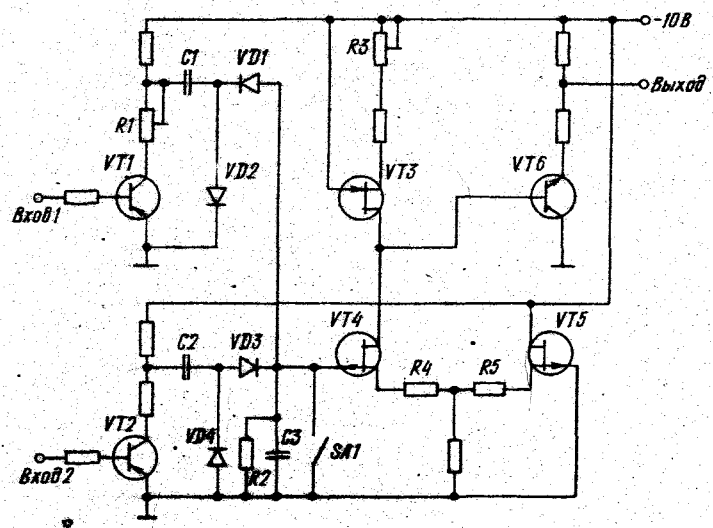

Рис.4. Основная часть схемы сравнения

а также усилитель постоянного тока на транзисторах $VT3-VT6$. Сигналы на вход измерителя подаются через типовые транзисторные триггеры (на рис.4 не показаны), подключенные к выходам схем антисовпадений.

Транзисторы $VT1$ и $VT2$ играют роль ключевых формирователей амплитуды импульсов. Нагрузка $VT1$ содержит переменный резистор $R1$, позволяющий в процессе настройки скомпенсировать неизбежное расхождение емкостей дозирующих конденсаторов $C1$ и $C2$.

Задача достижения необходимой постоянной времени τ в схеме сравнения успешно решена на основе использования полевых транзисторов в усилителе постоянного тока. Их большое входное сопротивление позволило включить в интегрирующий контур резистор $R2$ сопротивлением 15 МОм. При емкости накопительного конденсатора $C3$ 20 мкФ для отключенной обратной связи τ = 300 с, что вполне обеспечивает требуемую инерционность системы АРУ. В качестве $C3$ использован металлопленочный конденсатор, обладающий достаточно малым током утечки.

Полевые транзисторы $VT4$ и $VT5$ образуют дифференциальный усилитель, резисторы $R4$ и $R5$ – симметрирующие. Нагрузка $VT2$ представлена полевым транзистором $VT3$ с фиксированным током через промежуток сток-исток, регулируемым при настройке переменным резистором $R3$. Сигнал, передаваемый на исполнительное устройство, снимается через эмиттерный повторитель на транзисторе $VT6$.

При отключении системы АРУ тумблер $SA1$ закорачивает затвор транзистора $VT4$ на корпус прибора и напряжение на накопительном конденсаторе $C3$ устанавливается равным нулю. При включении АРУ для номинально настроенного прибора напряжение на $C3$ также равно нулю, что резко упрощает автоматический захват реперного фотопика. Самопроизвольное изменение настройки изменяет напряжение на $C3$ в пределах от -1 до +1 В, что обеспечивает автоматическое изменение коэффициента передачи управляемого аттенюатора в 4 раза.

Для контроля работы АРУ на выходе схемы сравнения установлены два измерителя средней частоты импульсов I3 в следящих каналах (см. рис.1). Каждый из них содержит ключевой формирователь, повторитель тока и интегрирующий контур. В режиме контроля АРУ выходы измерителей поочередно подключаются к стрелочному индикатору.

Интегральный канал включает два узла: типовой интегральный дискриминатор 6 и подключенный к нему измеритель средней частоты импульсов I3. Порог дискриминации плавно настраивается на требуемый уровень с помощью потенциометра, расположенного в блоке 4. Измеритель средней частоты подобен аналогичным узлам системы АРУ, однако выполнен в прецизионном варианте и имеет пять диапазонов измерения. Верхний предел измерений 25000 имп/с.

Схема питания представлена входным стабилизатором напряжения I4 и преобразователем I5. Входной стабилизатор (рис.5) работает в ключевом режиме [1] и обеспечивает на выходе постоянное напряжение 5 В при изменении напряжения аккумуляторов от I4 до 7 В. При этом потребляемая при-

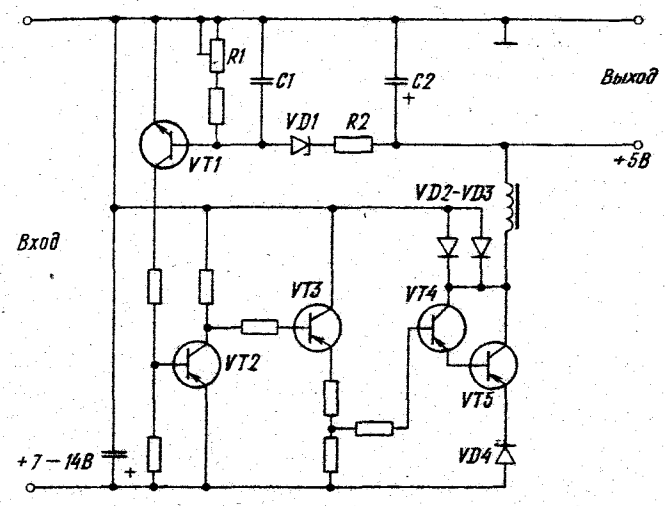

Рис.5. Принципиальная схема входного стабилизатора

бором мощность практически сохраняется. Ключ собран на мощном высокочастотном транзисторе $VT5$ типа ГТ905А. Управляет ключом усилитель на транзисторах $VT1$ - $VT4$. Когда выходное напряжение меньше 5 В, транзистор $VT1$ заперт и ключ открыт. Через переход эмиттер-коллектор транзистора $VT5$ заряжается конденсатор $C2$. Как только напряжение на $C2$ превысит 5 В, через стабилитрон $VD1$ начинает течь ток, достаточный для открывания транзистора $VT1$. В результате ключ закрывается и конденсатор $C2$ разряжается на нагрузку, подключенную к выходу схемы, до тех пор, пока напряжение на нем снова не окажется ниже 5 В.

Средняя частота переключения транзистора $VT5$ составляет около 2 кГц и регулируется при настройке подбором емкости конденсатора $C1$. Выходное напряжение можно регулировать ступенчато подбором резистора $R2$ и плавно - изменением сопротивления подстроечного резистора $R1$. Диоды $VD2$ и $VD3$ предохраняют транзистор $VT5$ от электрического пробоя. Диод $VD4$ обеспечивает высокую надежность работы схемы при повышении температуры окружающего воздуха.

Преобразователь напряжения содержит транзисторный двухтактный блокинг-генератор, мостовые выпрямители и обычные выходные стабилизаторы, выполненные по типовым схемам. Наличие входного стабилизатора позволило сократить до минимума падение напряжения на регулируемых транзисторах выходных стабилизаторов и за счет этого повысить коэффициент полезного действия всей системы питания.

Прибор собран в корпусе размерами 32 х 23 х 20 см. На лицевую панель выведены регулятор усиления, тумблеры включения питания, системы АРУ и выбора режима работы дифференциального дискриминатора первого канала, переключатели рода работы прибора, порогов дискриминации первого канала и экспозиции таймера, кнопки „Пуск", „Стоп" и „Канал", цифровые индикаторы и стрелочный микроамперметр. Остальные органы настройки, контроля и управления размещены в специальном отсеке корпуса, закрытом крышкой. Вся усилительно-регистрирующая схема смонтирована на двенадцати печатных платах размерами 80 х 140 мм, снабженных разъемами.

Спектрометр в комплекте с блоком детектирования на пропорциональном счетчике СИ-IIР-3 успешно прошел полевые испытания в течение 1981 г. при рентгенорадиометрическом каротаже на месторождении медно-цинковых руд. В диапазоне температур окружающего воздуха от 0 до 35 °С при относительной влажности до 98 % временная нестабильность масштаба энергетической шкалы не превышала 1 %. Отказы в работе схемы не наблюдались.

Как показал опыт полевых измерений, использование разработанного спектрометра вместо серийного двухканального прибора "Минерал-5" повысило производительность каротажа примерно в 3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобровников Л.З. Радиотехника и электроника. М., Недра, 1974.

2. Лернер М.И., Ржевский А.Г., Шляндин В.М. Цифровая индикация. М., Энергия, 1970.

3. Ложников А.П., Сонин Е.К. Каскадные схемы на транзисторах. М., Энергия, 1969.

4. Микельсон Э.Э. Новые разработки НПО "Геофизика". - В кн.: Геофизическая аппаратура. Л., Недра, 1977. Вып. 60.