

93-128



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-93-128

Ю.И.Романов

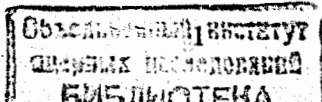
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
С ГАЛЬВАНИЧЕСКИ РАЗВЯЗАННЫМИ ЦЕПЯМИ
НА ОСНОВЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ОПТРОНОВ

1993

Оптоэлектронные преобразователи находят все большее применение в качестве линейных развязывающих устройств в системах управления и контроля высоковольтных электрофизических установок [1,2]. В отличие от трансформаторов оптоэлектронные устройства обеспечивают большее сопротивление развязки и лучшую передачу низкочастотных сигналов вплоть до постоянного тока. Широкое применение в таких устройствах получили диодные оптопары, имеющие хорошие частотные характеристики и низкий уровень собственных шумов. Однако промышленные дифференциальные диодные оптопары могут обеспечить эффективную развязку в сравнительно узком диапазоне рабочих напряжений (до 1000 В) [3]. Поэтому представляет интерес применение серийно выпускаемых высоковольтных ключевых оптоэлектронных приборов — оптотиристоров в линейных устройствах гальванической развязки. Еще одним, на наш взгляд, перспективным, направлением является использование в устройствах высоковольтной гальванической развязки оптопары с гибким волоконно-оптическим световодом ограниченной длины (так называемого «длинного» оптрона). Схемотехника «длинных» оптронов разрабатывается в основном по стандартным рекомендациям, с применением цифровых и аналоговых микросхем и элементарных диодных или транзисторных оптопар [4]. При этом существенное уменьшение погрешностей устройств развязки основано на использовании модуляционных методов и высокого быстродействия оптронов. Эти качества оптронов позволяют создавать относительно простые линейные развязывающие устройства с широтно- или кодо-импульсной модуляцией сигнала.

ИЗМЕРИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ
С ОПТИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКОЙ
НА ТИРИСТОРНОМ ОПТРОНЕ ТО132-25-12

Оптоэлектронные устройства, использующие широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), позволяют измерять как постоянные, так и медленно изменяющиеся напряжения. Измерители с использованием ШИМ отличаются простотой и сравнительно высокой точностью. Недостатки, свойственные таким устройствам, связаны с температурным дрейфом нуля при измерении слабых сигналов постоянного тока.



Эти трудности в описываемой схеме гальванической развязки преодолевались в основном рациональным выбором компонентов и схемотехники, а также некоторым ограничением рабочего диапазона.

Измеритель высокого напряжения с гальваническим разделением выполнен на тиристорном оптроне ТО132-25-12. Электрическая схема устройства приведена на рис.1. Она состоит из широтно-импульсного модулятора на микросхемах $M1...M3$, расположенных на стороне высокого напряжения. Светоизлучающий диод оптрона ОП1, фотоприемное устройство на фототиристоре, выход которого связан с амплитудным ограничителем на микросхеме $M4$ и фильтром нижних частот на $M5$, находятся на стороне «земли».

Устройство работает следующим образом (рис.2). Модулятор ШИМ обеспечивает преобразование непрерывного сигнала напряжения с резисторного датчика в импульсный с коэффициентом заполнения, изменяющимся пропорционально величине входного сигнала. Импульсный сигнал через тиристорный оптрон подается на вход фотоприемника, выход которого связан с амплитудным ограничителем. После ограничения импульсный сигнал сглаживается фильтром и преобразуется усилителем в выходной унифицированный сигнал напряжения.

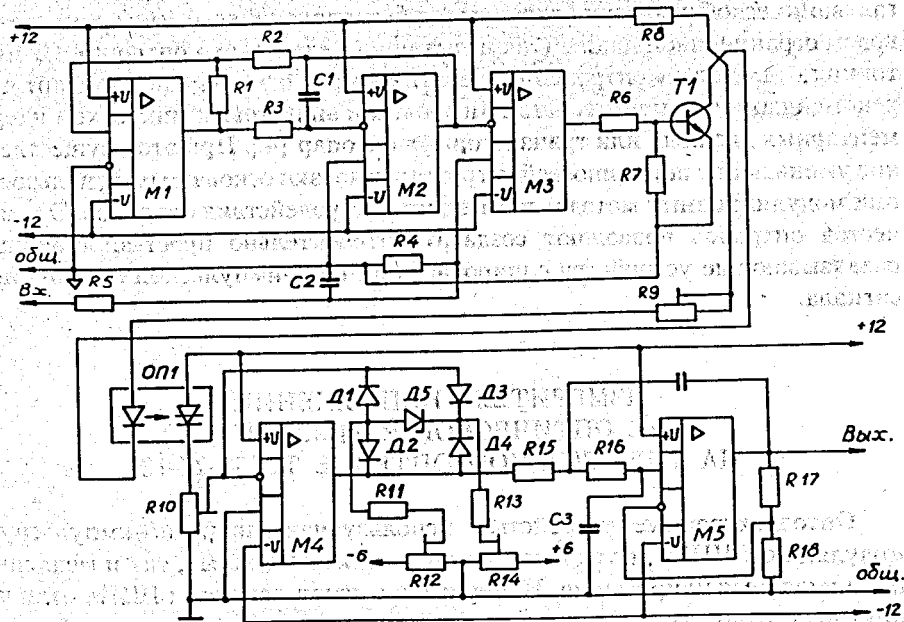
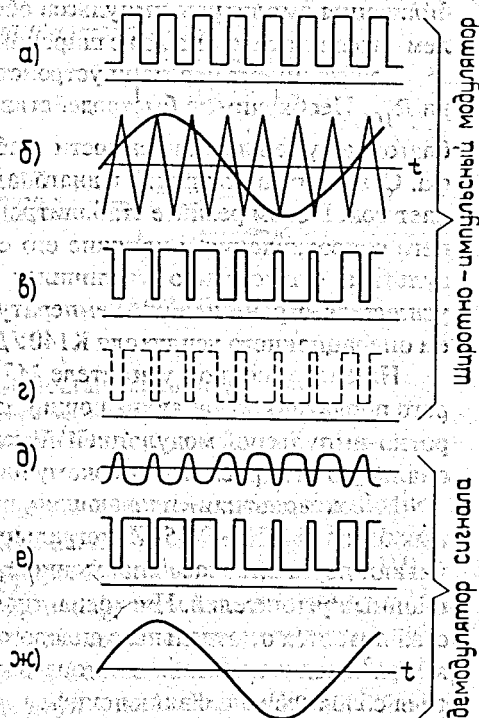


Рис.1. Электрическая схема измерителя напряжений с оптической развязкой на тиристорном оптроне (ОП1 ТО132-25-12, $M1 + M3$ К544УД2, $T1$ КТ315, $M4 + M5$ К140УД17)

Рис.2. Временные диаграммы работы устройства развязки: а) импульсы генератора; б) сигналы на входах компаратора ($M3$); в) импульсы на входе токового ключа ($T1$); г) информационные световые сигналы; д) информационные сигналы на резисторе R_{10} ; е) сигналы на выходе точного ограничителя амплитуды импульсов ($M4$); ж) сигнал на выходе ФНЧ ($M5$)



Измеряемое высокое напряжение подается на вход модулятора ШИМ через резистивный делитель R_5, R_4 с фильтром нижних частот $R_4 C_2$. ШИМ-модулятор состоит из генератора треугольных импульсов на микросхемах $M1, M2$ и компаратора на операционном усилителе $M3$. Частота колебаний генератора $M1, M2$ определяется выражением

$$f = R_1 / 4R_2 R_3 C_1,$$

а длительность импульсов на выходе $M3$ пропорциональна измеряемому напряжению $V_{ВХ}$ и определяется соотношением

$$t_{и} = \left(\frac{V_{ВХ}}{V_{нас}} + \frac{R_2}{R_1} \right) R_3 C_1,$$

где $V_{нас}$ — напряжение на выходе операционного усилителя $M1$ в режиме насыщения. Мощность, излучаемая в импульсе светодиодам $D1$, составляет ~ 5 мВт и, в основном, определяет ток, потребляемый схемой «плавающей части» измерительного устройства.

Фотоприемное устройство собрано на оптодиристоре ОП1, работающем на прямой ветви вольтамперной характеристики. Известно [5], что если ток тиристорного оптрона много меньше тока переключения, то выходной ток тиристора пропорционален входному току (току возбуждения) светодиода. Коэффициент усиления предусилителя на оптодиристоре равен двум, полоса частот $100 + 1000$ Гц. Обратное преобразование сигнала после гальванического разделения осуществляется путем стабилизации амплитуды импульсов и выделения среднего значения модулированного сигнала. Ста-

билизация амплитуды импульсов обеспечивается двухсторонним усилителем-ограничителем на М4 с широким частотным диапазоном.

Коэффициент передачи устройства регулируется изменением резистора R_{10} . Необходимые быстродействие и точность схемы удалось получить благодаря уменьшению емкости стабилитрона и его температурного дрейфа. Стабилитрон включен в диагональ диодного моста, и через него протекает ток. В этом режиме стабилитрон находится в области малого внутреннего сопротивления и влияние его емкости значительно ослаблено. В результате существенно увеличился частотный диапазон (до 300 кГц) усилителя-ограничителя. Температурный дрейф последнего с применением операционного усилителя К140УД17 составляет $\sim 1 \text{ мВ}/^\circ\text{С}$.

На операционном усилителе М5 выполнен фильтр нижних частот второго порядка, восстанавливающий из последовательности импульсов с широтно-импульсной модуляцией низкочастотную составляющую, пропорциональную измеряемому высокому напряжению.

Высоковольтная «плавающая» часть схемы питается от аккумуляторных батарей ЦНК-0,45. Интегральные стабилизаторы напряжения обеспечивают двухполярное напряжение $\pm 12 \text{ В}$, необходимое для питания операционных усилителей. Низковольтная часть схемы измерительного устройства питается от отдельного силового трансформатора с соответствующими выпрямителями и стабилизаторами питания. Включение питания измерителя заблокировано с включением высоковольтного выпрямителя. Устройство выполнено в виде отдельного модуля в экранированном корпусе и размещается в блоке высоковольтного выпрямителя. Подобный вариант исполнения хорошо себя зарекомендовал при работе на установках с высоким уровнем импульсных помех.

Технические характеристики

- | | |
|--|------------|
| 1. Входной и выходной сигналы, В | 1 + 10 |
| 2. Полоса частот, Гц | 100 + 1000 |
| 3. Погрешность измерения, % | 0,5 |
| 4. Допустимое напряжение развязки между входом и выходом, кВ | 2,5 |

«ДЛИННЫЙ» ОПТРОН ДЛЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Проблема гальванической развязки цепей возникает, в частности, при передаче аналоговой информации от входных преобразователей, расположенных на высоковольтном терминале ($\approx 250 \text{ кВ}$), к аппаратуре обработки

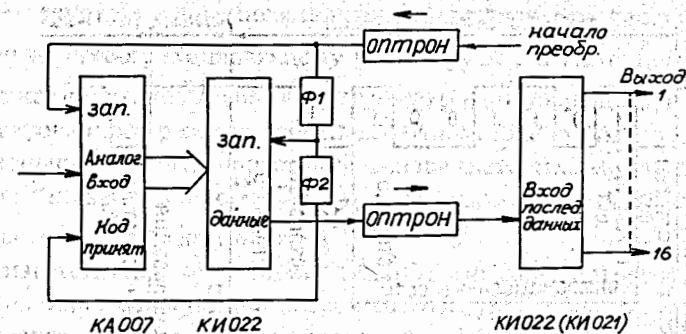


Рис.3. Структурная схема системы передачи аналоговой информации с использованием «длинных» оптронов (функции формирователей Ф1 и Ф2 выполняет двойной таймер 2Т315)

данных, находящейся на потенциале «земля». Сравнительно простой и недорогой способ основан на преобразовании аналоговых сигналов на высоковольтной стороне с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и на передаче данных на потенциал «земля» в цифровом виде при помощи оптронов. Использование преобразователя с последовательным выводом цифровой информации упрощает такой подход благодаря снижению необходимого числа высоковольтных оптронов до двух (рис.3). Вход «Начало преобразования» на системной стороне через высоковольтное устройство развязки «длинный» оптрон управляет 13-разрядным АЦП и преобразователем параллельного кода в последовательный. Вывод кода на системную сторону осуществляется вторым оптроном, где аналогичный преобразователь с помощью своих сдвиговых регистров преобразует битовый поток в 13-разрядный параллельный код. Для данного устройства характерно использование асинхронной передачи данных, при которой информация в канал связи передается по одному символу, содержащему стартовый бит, данные, контрольный разряд (четность) и стоповые биты (рис.4). При использовании этого способа передачи данных максимальная длина передаваемого слова составляет 19—20 бит. К достоинствам асинхронной передачи следует отнести отсутствие линии общей синхронизации между «плавающей» частью устройства и системной, что существенно уменьшает количество элементов оптической развязки. Передача символа в устройстве начинается сигналом «Старт» и заканчивается сигналом «Стоп».

В плане решения задачи по разработке системы передачи данных «высоковольтный терминал — ПЭВМ» использовалось стандартное электронное оборудование. Преобразователь амплитуда — код КА007 [6], блоки по-

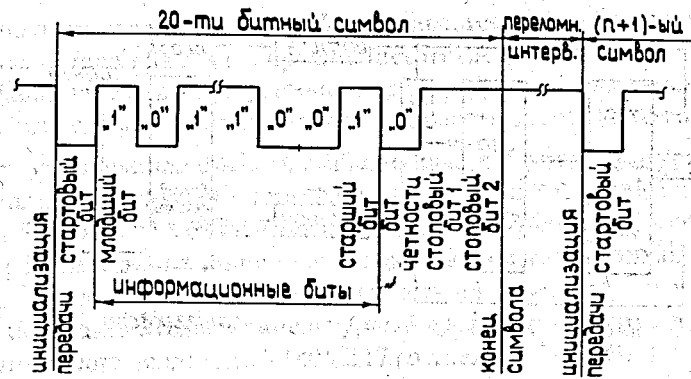


Рис. 4. Структура 20-разрядного слова

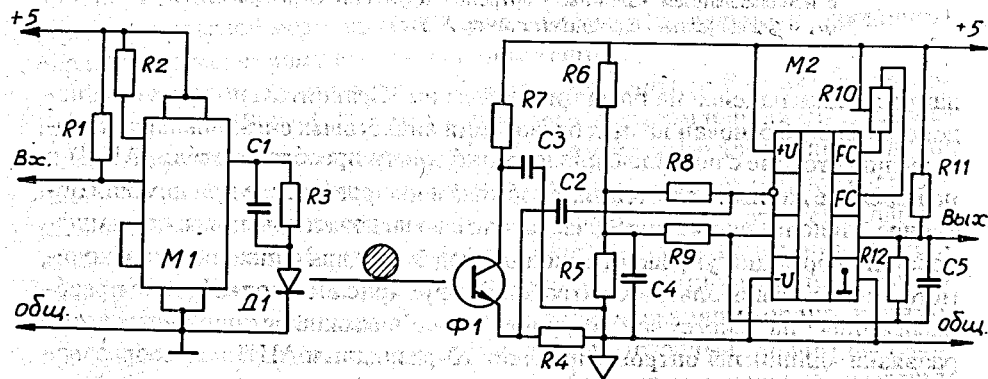


Рис. 5. Электрическая схема «длинного» оптрона

кой режим получен путем подключения «ускоряющего» конденсатора C_1 параллельно токоограничивающему резистору R_3 . В выходном ключе C_1 действует как шунт, повышая токи включения и выключения D_1 . Применение форсированного режима работы выходного ключа позволяет существенно уменьшить фронты нарастания и спада световых импульсов [8], при этом обеспечивается полное разрешение передаваемых импульсов данных при скорости передачи до $1 \text{ Мбит} \cdot \text{с}^{-1}$.

Для изготовления «фотонной» линии связи желательны высокоопертурные волокна с большим диаметром световедущей области. Использование последних необходимо для повышения эффективности ввода излучения от электролюминесцентного диода D_1 в оптическое волокно.

В данной конструкции «длинного» оптрона использовался волоконно-оптический жгут типа ГОЖВ-А. Жгут состоит из большого числа стеклянных волокон, помещенных в пластмассовую оболочку. Диаметр световодной области жгута $\sim 3 \text{ мм}$, длина 50 см .

В приемном модуле фототранзистор $\Phi 1$ типа ФТГ-5 преобразует модулированные световые сигналы в фототок. На эмиттерной нагрузке R_4 фототранзистора амплитуда сигнала составляет $\sim 150 \text{ мВ}$, что вполне достаточно для надежной работы компаратора (M_2). Выход микросхемы M_2 (K554CA3) представляет собой открытый коллектор выходного транзистора, что позволяет при соответствующем напряжении на нагрузке легко выполнить сопряжение с ТТЛ-логикой.

Монтаж электронного обрамления выполнен на круглых печатных платах, размещенных в нижнем и верхнем основаниях прибора. На рис. 6 пока-

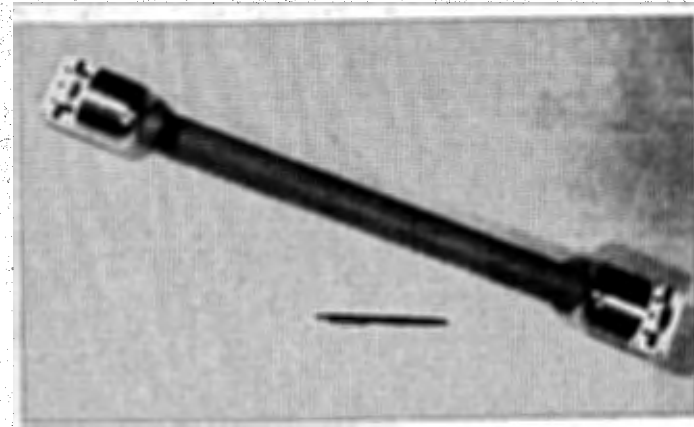


Рис. 6. Внешний вид закрытого оптического канала с использованием двух «длинных» оптронов

следовательной межкаркасной связи КИ022 [7] и КИ021 [7], таймер 2Т315 размещены в крейтах КАМАК.

На рис. 5 приведена электрическая схема «длинного» оптрона. Она состоит из модулятора тока накачки светодиода, световодной линии и фотоприемника.

Модулятор состоит из формирователя импульсов, выходного токового ключа и светодиода D_1 , смонтированного в простейший оптический соединитель. В качестве модулятора в оптическом передатчике использована микросхема K155ЛП7. Источником излучения служит специально подобранный светодиод инфракрасного диапазона типа АЛ107Б с остро направленной индикатрисой без существенного смещения направления максимального излучения относительно геометрической оси кристалла излучателя.

Для получения световых импульсов с необходимой длительностью фронта и спада в выходном ключе использован форсированный режим. Та-

зан внешний вид закрытого оптического канала связи с использованием двух «длинных» оптронов.

Технические характеристики

1. Уровни входных/выходных сигналов ТТЛ
2. Измеряемые аналоговые сигналы, В $0...+5(0...+10)$
3. Погрешность измерения, % 0,1
4. Допустимое напряжение развязки между входом и выходом, кВ ≈ 250

Автор выражает благодарность В.А.Белякову за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин В.С. и др. — ПТЭ, 1984, № 6, с.181.
2. Романов Ю.И. — ОИЯИ, Р13-93-105, Дубна, 1993.
3. Иванов В.И., Аксенов А.И., Юшин А.М. — Полупроводниковые оптоэлектронные приборы. М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. Носов Ю.Г., Сидоров А.С. — Оптроны и их применение. М.: Радио и связь, 1981.
5. Зи С.М. — Физика полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1973.
6. Журавлев Н.И. и др. — ОИЯИ, 10-80-650, Дубна, 1980.
7. Журавлев Н.И. и др. — ОИЯИ, 10-12912, Дубна, 1979.
8. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-827, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел

9 апреля 1993 года.