

Современные методы реализации гальванической развязки сигналов 4...20 мА – от линейных оптопар к изолирующим усилителям



В статье рассмотрена эволюция методов гальванической развязки сигналов 4...20 мА: от классических линейных оптопар до современных изолирующих усилителей. Проводится сравнительный анализ оптического, магнитного и емкостного принципов передачи сигнала через гальваническую изоляцию. Представлены решения «ЛенпромАвтоматика» для построения распределенных АСУ ТП: сверхкомпактные модули МГРТП и новый изолирующий усилитель ЛПА-800 с поддержкой HART.

ООО «ЛенПромАвтоматика», г. Санкт-Петербург

Токовая петля 4...20 мА де-факто остается основным промышленным стандартом передачи аналоговых сигналов благодаря таким преимуществам, как нечувствительность к сопротивлению и длине линии связи, высокая помехозащищенность, возможность электропитания датчиков, диагностика линии связи на обрыв и короткое замыкание, совместимость с цифровым протоколом HART.

Однако при построении распределенных систем обнаруживаются следующие проблемы: из-за разности потенциалов между заземленными точками системы возникают неконтролируемые паразитные токи, высокочастотные помехи от силового оборудования беспрепятственно проникают в измерительные каналы. В результате искажаются показания измерительных каналов и даже могут выходить из строя чувствительные входы оборудования. Гальваническая развязка эффективно решает эти проблемы: она создает независимые контуры тока сигнальной цепи, разрывая паразитные пути для синфазных помех и токов утечки за счет отсутствия прямого электрического контакта между цепями.

Обзор методов передачи сигнала через гальванический барьер

Физический принцип развязки определяет точность и стабильность преобразования. Рассмотрим четыре основных метода.

Оптическая развязка на основе линейных оптопар

В основе — линейная оптопара, содержащая излучатель LED и два фотодиода: PD1 и PD2 (рис. 1). Корпус оптрона сконструирован таким образом, что каждый фотодиод получает примерно одинаковое количество света от светодиода, то есть коэффициент передачи по току до каждого фотодиода строго детерминирован. Один из фотодиодов — PD1 — включен в цепь обратной связи и компенсирует нелинейность передаточной характеристики светодиода. Фотодиод PD2 преобразует линейное световое излучение светодиода в ток, который, в свою очередь, масштабируется в выходной ток 4...20 мА.

В данной схеме стабилитрон D1 обеспечивает падение напряжения, достаточное для функционирования входного операционного усилителя. Таким образом, схема питается от петли и не требует дополнительного источника напряжения.

Ограничением такой схемы является температурная зависимость коэффициента передачи по току. Если при нормальных условиях отношение

коэффициентов передачи до первого и второго светодиода равно единице, то с ростом температуры увеличивается разбаланс коэффициентов и накапливается ошибка преобразования полезного сигнала.

К преимуществам данного подхода можно отнести:

- ▶ высокую электрическую прочность изоляции;
- ▶ хорошую помехоустойчивость;
- ▶ относительную простоту реализации.

Этот метод нашел применение в линейке преобразователей МГРТП.

Трансформаторная развязка без обратной связи

Широко применяемый метод в современных устройствах ввиду дешевизны и простоты реализации. В основе работы модуля лежит принцип передачи энергии, пропорциональной входному току, через гальванически развязанный преобразователь. Входной ток 4...20 мА питает автогенератор на транзисторах. Этот каскад преобразует постоянный ток в переменный, который подается на первичную обмотку трансформатора. Через

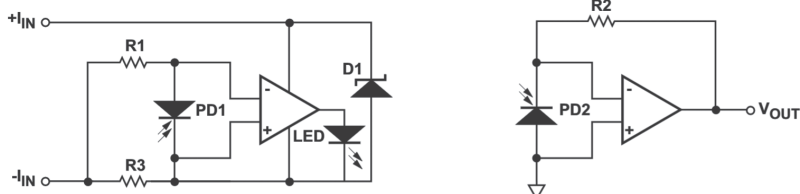


Рис. 1. Оптическая развязка на основе линейных оптопар

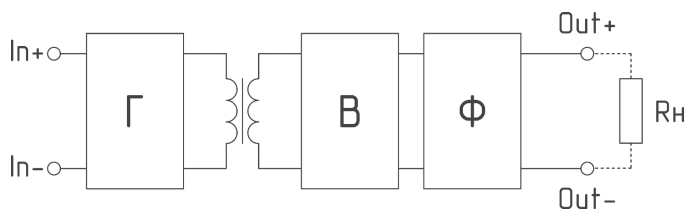


Рис. 2. Трансформаторная развязка без обратной связи

магнитную связь энергия передается на вторичную сторону, где генерируется переменный ток, который выпрямляется и фильтруется. Далее выходной каскад формирует ток в нагрузке, стремясь воспроизвести входной ток. Таким образом, сигнал передается не напрямую, а через поток энергии: чем больше входной ток, тем больше энергии за период передается через трансформатор и тем выше формируемый выходной ток (рис. 2).

Нагрузка на выходе влияет на передаваемую мощность, а значит, на эквивалентный импеданс, «видимый» источником тока, подключенным ко входу. При увеличении сопротивления нагрузки возрастает необходимое выходное напряжение и мощность, что требует от преобразователя передачи большей энергии за цикл. Это отражается на входе: генератор начинает потреблять больше энергии, изменяются режимы работы транзисторов и амплитуда колебаний. При приближении к пределам по напряжению и передаваемой мощности (ограничения по насыщению магнитопровода, амплитуде колебаний и эффективности выпрямления) система теряет линейность: энергия перестает расти пропорционально входному току, и выходной ток начинает «сжиматься» относительно входного.

Основные преимущества:

- высокая термостабильность;
- простая схемотехника, малое количество деталей;
- возможность питания приемного устройства через сигнальный трансформатор.

Ограничение — зависимость передаточной характеристики от сопротив-

ления нагрузки. При активной нагрузке на выходе свыше 200 Ом основная приведенная погрешность выходит за 0,1 %. В связи с этим, критическим на взгляд авторов, недостатком компания «Ленпромавтоматика» не применяет данный метод в модулях гальванического разделения собственной разработки.

Трансформаторная развязка с компенсацией магнитного потока (с обратной связью)

Существует еще один метод передачи полезного сигнала через магнитную связь — метод компенсации магнитного потока (рис. 3). Входной постоянный ток преобразуется в переменный генератором и протекает через первичную обмотку трансформатора, создавая магнитный поток в сердечнике. Усилитель ошибки с помощью дополнительной следящей обмотки непрерывно измеряет магнитный поток в сердечнике. Электронная схема формирует компенсирующий ток, который пропускается через компенсационную обмотку и создает встречный магнитный поток. Этот встречный поток взаимно вычитает поток от первичного сигнала, поддерживая результирующий поток в сердечнике равным нулю, а ток — одинаковым как в первичной, так и в компенсирующей обмотке трансформатора.

Ограничение такого метода — сложная схемотехника.

Преимущества:

- высокая точность и линейность;

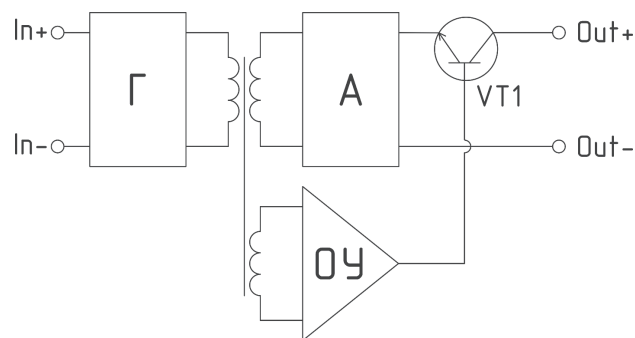


Рис. 3. Трансформаторная развязка с компенсацией магнитного потока (с обратной связью)

► измерение малых сигналов (сердечник работает в ненасыщенном режиме, что позволяет с высокой чувствительностью измерять очень малые токи);

► широкий диапазон измерений (метод эффективно работает при значительных вариациях входного тока — как очень малых, так и больших);

► исключительная термостабильность в широком диапазоне температур;

► устойчивость к помехам.

«Ленпромавтоматика» применяет данное решение в барьерах искробезопасности.

Емкостная развязка на основе изолирующего усилителя

В изолирующих усилителях с гальванической развязкой, реализованной по емкостной технологии (рис. 4), входной аналоговый сигнал сначала преобразуется (модулируется) в высокочастотную импульсную последовательность, которая затем проходит через изолирующий барьер, образованный диэлектриком между обкладками конденсаторной структуры в кристалле кремния. После этого сигнал демодулируется и восстанавливается на выходной стороне.

Ограничения:

- более сложная схемотехника;
- повышенные требования к проектированию.

Преимущества:

- высокая линейность;
- хорошая термостабильность;
- малые габариты;
- хорошая повторяемость параметров.

Данный метод был применен при разработке нового изолирующего усилителя ЛПА-800.

В табл. 1 представлено сравнение методов передачи полезного сигнала

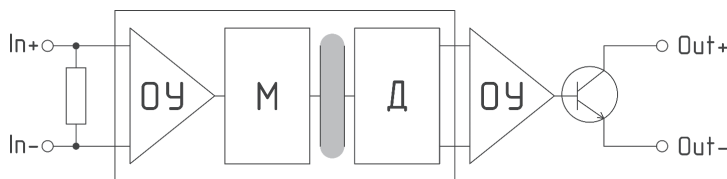


Рис. 4. Емкостная развязка на основе изолирующего усилителя

Таблица 1. Сравнение методов передачи полезного сигнала через гальванический барьер

Метод передачи сигнала	Точность	Термостабильность	Простота реализации	Помехоустойчивость	Передача энергии через изоляцию
Оптическая развязка на основе линейных оптопар	+	+	++	++	–
Трансформаторная развязка без обратной связи	+	++	+++	+	+
Трансформаторная развязка с компенсацией магнитного потока (с обратной связью)	+++	+++	+	++	–
Емкостная развязка на основе изолирующего усилителя	++	++	++	++	–

через гальванический барьер. Все методы имеют свои достоинства и недостатки. При выборе гальванической развязки из всего многообразия предложений с одинаковыми на бумаге характеристиками нелишним будет задаться вопросом: с помощью какого метода она реализована? От этого будет зависеть ее поведение в различных условиях эксплуатации.

Модули гальванической развязки ООО «Ленпромавтоматика»

Компания «Ленпромавтоматика» разработала целую линейку модулей гальванического разделения — от сверхкомпактных одноканальных устройств (6,2 мм) до двух- и трехканальных (табл. 2). Рассмотрим МГРТП — преобразователи, выполненные на оптической гальванической развязке, и ЛПА-800 — новейшую разработку, выполненную на изолирующем усилителе.

Модули МГРТП-001 (рис. 5) — базовое решение серии МГРТП, построенное на основе линейных оптопар. Модули осуществляют прием входного сигнала 4...20 мА и его воспроизведение на выходе, обеспечивая при этом гальваническое разделение входных и выходных цепей.

Назовем ключевые особенности решения. Модуль МГРТП-001 не

требует отдельного источника питания: для своего функционирования он потребляет ток, не превышающий 1,5 мА из каждой подключенной линии 4...20 мА. Толщина модуля гальваноразвязки составляет всего 6,2 мм, что позволяет разместить на одном метре DIN-рейки до 160 таких модулей. Дополнительная погрешность от температуры — не более 0,1 % на каждые 10 °С; дополнительная погрешность от сопротивления нагрузки отсутствует.

Модуль ЛПА-800 (рис. 6) предназначен для приема и воспроизведения сигнала 0/4...20 мА с полным гальваническим разделением. Гальваническая изоляция ЛПА-800 реализована на базе изолирующего усилителя.

Ключевые особенности решения:

- ▶ активные и пассивные датчики — встроенный источник питания 24 В (25 мА) позволяет работать с двух- и трехпроводными датчиками без внешнего источника питания;
- ▶ активная и пассивная нагрузка — выход можно сконфигурировать микропереключателем.
- ▶ полная двунаправленная поддержка HART;
- ▶ два независимых канала в корпусе 12,8 мм;
- ▶ питание через клеммную колодку или по шине T-BUS;

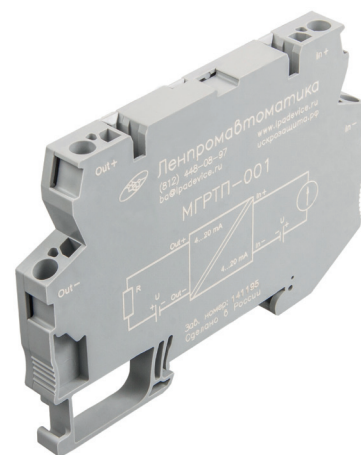


Рис. 5. Модуль гальванического разделения МГРТП-001: внешний вид

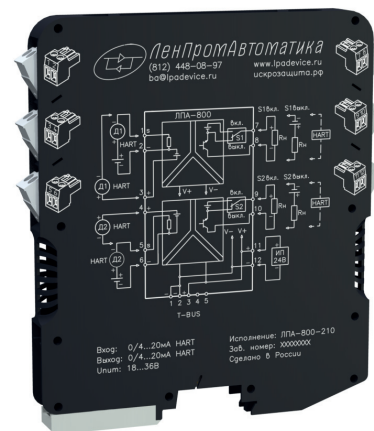


Рис. 6. Модуль гальванического разделения ЛПА-800: внешний вид

Таблица 2. Линейка модулей гальванического разделения
АО «Ленпромавтоматика»

Название	Количество каналов	Питание	Температурный диапазон, °С	Толщина корпуса, мм
МГРТП-001	1	От петли	–40...+70	6,2
МГРТП-011	1	От петли	–40...+70 (без конденсации влаги)	6
МГРТП-002	2	От петли	–40...+70 (без конденсации влаги)	12,6
МГРТП-003	3	От петли	–40...+70 (без конденсации влаги)	12,6
ЛПА-800	2	От шины T-BUS	–40...+70 (без конденсации влаги)	12,6

▶ дополнительная погрешность от температуры — не более 0,04 % на каждые 10 °С;

▶ дополнительная погрешность от сопротивления нагрузки отсутствует;

▶ сегодня проходит сертификацию для включения в реестр СИ.

Востребованность разветвления сигнала 4...20 мА

Разветвление сигнала 4...20 мА («1 в N») — часто встречающаяся задача при модернизации АСУ ТП. При-

ведем пример: показания одного датчика давления нужно одновременно передавать в локальную панель оператора и в центральную систему телемеханики. Прямое соединение входов недопустимо, так как оно нарушает гальваническую изоляцию и создает контуры заземления. Решение — разветвление сигнала с помощью изолирующего усилителя.

Все преобразователи «Ленпромавтоматика» с гальваническим разделением сигнала поддерживают работу в режиме разветвителя.

МГРТП-001 позволяет реализовать разветвление сигнала на два и больше приемных устройств (рис. 7). Фактически число приемных устройств ограничено только напряжением источника питания во входной и выходной токовой петле.

ЛПА-800 позволяет разветвить сигнал от одного датчика на два приемных устройства. При этом сохраняется возможность подключения активных или пассивных датчиков, а также активных или пассивных приемных устройств в любых комбинациях. Важной особенностью ЛПА-800 в режиме разветвителя является поддержка протокола HART по любому выходу (рис. 8).

Инженерные компетенции и производственная база

Модуль гальванического разделения ЛПА-800 появился как результат прямого запроса: давний партнер компании «Ленпромавтоматика», круп-

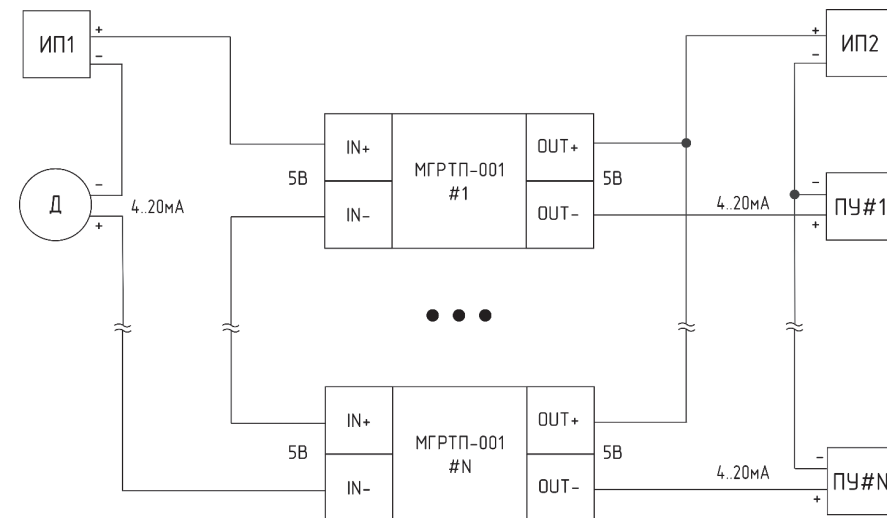


Рис. 7. Модуль гальванического разделения МГРТП: схема разветвления сигнала

ный системный интегратор, сформулировал техническое задание на модуль с поддержкой HART, низким температурным дрейфом и независимостью от сопротивления нагрузки. Проект был реализован «под ключ».

«Ленпромавтоматика» готова реализовать идею от технических требований до серийного выпуска. В компании освоили собственное производство корпусов (модули МГРТП-001 и ЛПА-800 выполнены в корпусах собственной разработки), открыли цех по намотке тороидальных трансформаторов на станках с ЧПУ (эти трансформаторы применяются в изделиях компании), запустили автоматическую линию SMT-монтажа с контролем IPC-A-610, открыли аккредитованный отдел метрологии, где

средства измерения проверяются, после чего вносятся во ФГИС «АРШИН». Сочетание современных технологий проектирования и собственной производственной базы позволяет предприятию выпускать целую линейку модулей гальванической развязки — от сверхкомпактных МГРТП-001 до флагманского ЛПА-800.

А. В. Куваев, ведущий инженер-разработчик РЭА, ООО «ЛенПромАвтоматика», г. Санкт-Петербург, тел.: +7 (812) 448-0897, +7 (495) 215-0947, эл. почта: ba@lpadevice.ru, сайт: lpadevice.ru

Иллюстрации предоставлены ООО «ЛенПромАвтоматика»

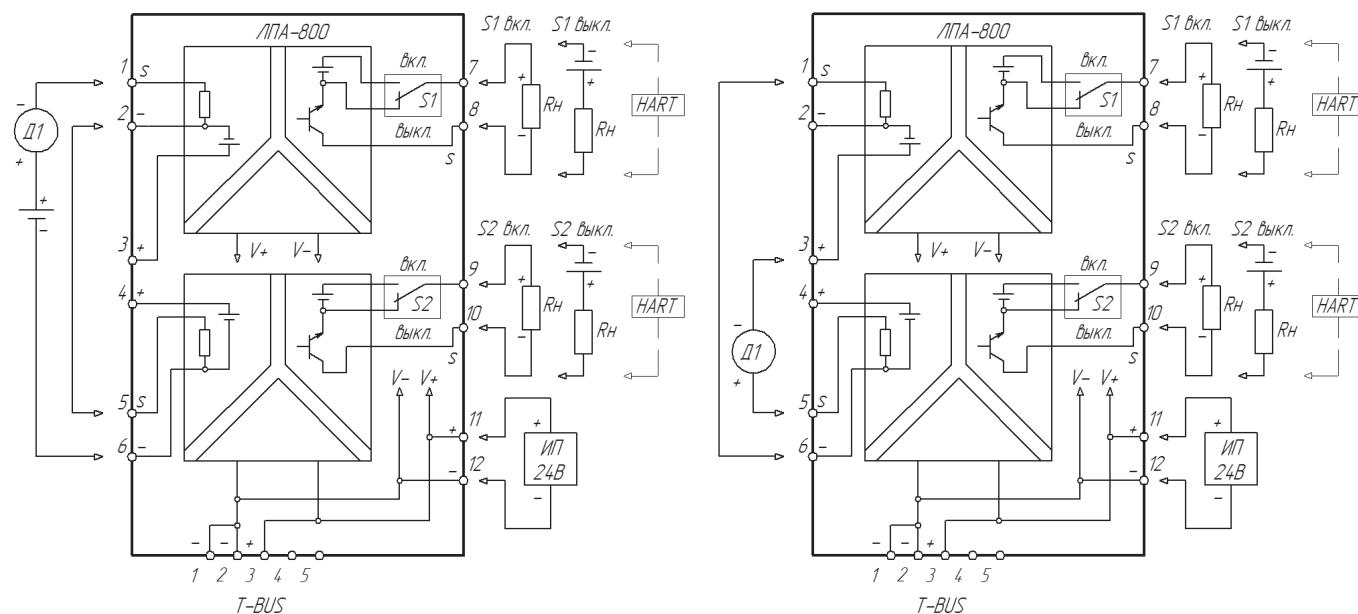


Рис. 8. Модуль гальванического разделения ЛПА-800: схемы разветвления сигнала