

Основные термины

- **Loop-powered** — с питанием от токовой петли.
- **2-wire transmitter** — двухпроводной преобразователь (датчик).
- **True Zero** — «истинный ноль» (сигнал, начинающийся непосредственно с 0 мА или 0 В).
- **4-20 mA** — 4–20 мА (стандартный аналоговый интерфейс).
- **Analog** — аналоговый.
- **Single-ended** — недифференциальный (однополярный) вход; вход с общим проводом.
- **Current loop** — токовая петля.
- **Loop power** — питание по петле.
- **Live Zero** — «живой ноль» (смещение начального уровня сигнала, например, 4 мА, для обнаружения обрыва линии).
- **Difference** — разность (различие).
- **Input** — вход.

- **KL3458, KL3454, KL3054** — артикулы модулей ввода-вывода (вероятно, системы Beckhoff).
 - **KL3458:** 8-канальный модуль аналогового ввода 0–20 мА.
 - **KL3454:** 4-канальный модуль аналогового ввода 4–20 мА.
 - **KL3054:** 4-канальный модуль аналогового ввода 4–20 мА (с другой точностью или защитой).

Передача аналоговых сигналов: Токовый интерфейс 4...20 мА

(Принцип «живого нуля» / Live Zero)

В данном примере рассматриваются аспекты регистрации аналоговых сигналов и общие способы их передачи. В частности, документ описывает процесс измерения значений с помощью модулей аналогового ввода **Beckhoff** серий **KL3054, KL3454** и **KL3458**. При использовании совместно с 2-х или 3-проводными датчиками эти терминалы позволяют на схемном уровне обнаруживать обрыв кабеля и неисправности датчиков, используя принцип **Live Zero**.

Регистрация аналоговых сигналов

Аналоговые измеряемые величины (давление, температура, расход, скорость и т. д.) преобразуются датчиками в аналоговые значения и, в зависимости от модели датчика, могут линеаризоваться непосредственно внутри него.

Обычно датчик состоит из двух функциональных элементов:

1. **Измерительный элемент (сенсор)** — реагирует на изменение физической величины.
2. **Измерительный преобразователь (трансдусер)** — преобразует реакцию сенсора в стандартизированный электрический сигнал.

Оцифрованный аналоговый сигнал, передаваемый на контроллер (ПЛК), обычно соответствует стандартному уровню и всегда характеризуется **типом** (напряжение, ток, сопротивление и т. д.) и **диапазоном значений** (0–10 В, ± 1 В, 0–20 мА, 500 мОм и т. д.).

Ключевые преимущества принципа Live Zero (4–20 мА)

Использование диапазона **4–20 мА** вместо **0–20 мА** (True Zero) дает критическое преимущество в промышленной автоматизации:

- **Контроль целостности линии:** Если измеренное значение составляет 0 мА, система управления мгновенно идентифицирует это как **обрыв провода** или критическую ошибку питания, так как минимальный рабочий сигнал исправного датчика не должен опускаться ниже 4 мА.
- **Питание датчика:** Ток смещения в 4 мА может использоваться для питания электроники самого датчика (двухпроводная схема), что упрощает монтаж.

Применяемое оборудование Beckhoff

- **KL3054 / KL3454:** Специализированные модули для сигналов **4–20 мА**. Они аппаратно поддерживают диагностику обрыва линии.
- **KL3458:** Универсальный 8-канальный модуль, который может быть настроен на различные диапазоны, включая 0–20 мА и 4–20 мА.

Измерение аналоговых сигналов

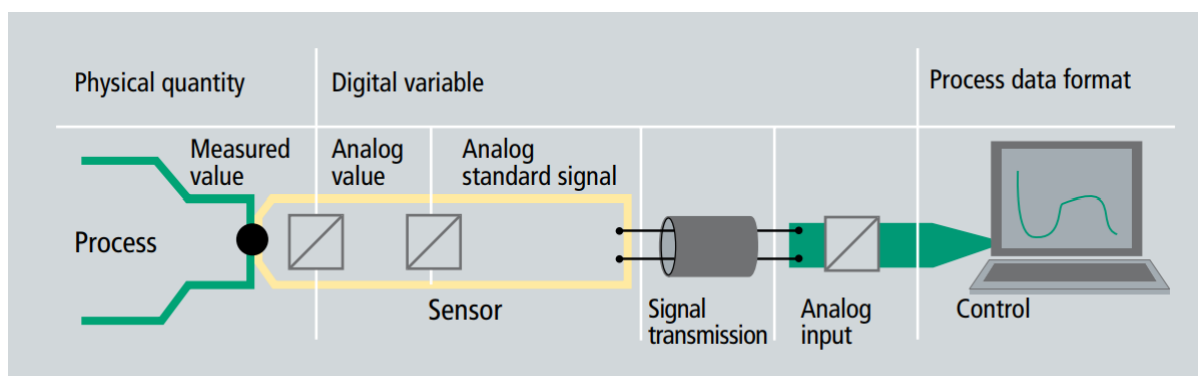


Рис. 1 Путь аналогового технологического значения: от объекта до контроллера

В технике управления датчик может также содержать дополнительные функциональные элементы (подключение к шине, встроенное масштабирование измеренного значения, распознавание образов и т. д.). В таком случае его обычно называют «интеллектуальным» (smart) датчиком.

Типы подключения аналоговых датчиков Датчики, которые подключаются напрямую к аналоговым входам контроллера («классические аналоговые датчики»), могут иметь 4-, 3- или 2-проводную конфигурацию, в зависимости от концепции электропитания и метода передачи сигнала.

4-проводные датчики передают сигнал и питание по двум отдельным парам проводов. Затраты на монтаж при таком типе подключения наиболее высоки.

3-проводные датчики используют два провода для питания, а сигнал выводят по отдельному третьему проводу. Опорным потенциалом является провод заземления (GND).

2-проводные датчики передают сигнал и питание по одному (общему) проводу питания. 2-проводная технология требует минимальных затрат на монтаж и является современным стандартом для измерительных преобразователей, устанавливаемых на объектах и в головках датчиков.

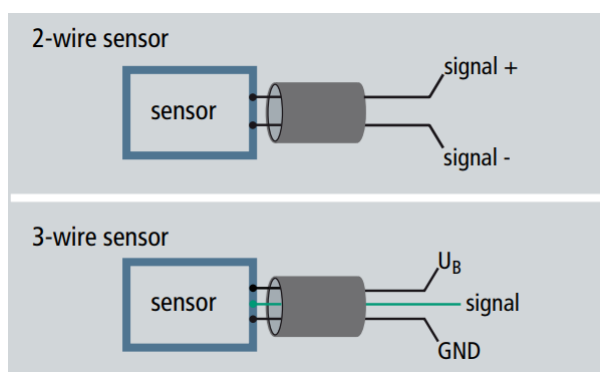


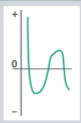
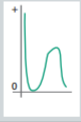
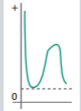
Рис. 2 2-проводной датчик с питанием и сигналом по одному проводу, 3-проводной датчик с отдельными проводами для питания и сигнала

Методы передачи аналоговых технологических величин В технике управления уровни сигналов для передачи данных от датчиков стандартизированы. Это сделано для обеспечения максимально широкой совместимости датчиков и устройств обработки данных, не ограничивая при этом свободу выбора разработки продукции.

В основном используются методы передачи на основе напряжения или тока (таблица 1). При передаче аналоговых технологических величин также необходимо учитывать, что оцифрованный сигнал имеет тенденцию к «дрожанию» (дизерингу) при увеличении разрешения (чем точнее он представляет значение процесса). Если требуется сигнал с высоким разрешением, передача должна быть свободна от наложенных помех.

Для таких задач особенно рекомендуется передача на основе тока через так называемые «токовые интерфейсы». По сравнению с сигналами напряжения они значительно менее чувствительны к электромагнитным помехам. В целом можно сделать вывод, что в случае с токовыми интерфейсами падения напряжения, связанные с мощностью (возникающие из-за внутреннего сопротивления линии питания), практически не влияют на качество передачи

сигнала: длина кабеля ограничена только максимально допустимым напряжением источника питания.

Types of analog signals	Voltage	Current
bipolar 	$\pm 2 \text{ V}, \pm 10 \text{ V}$	–
true zero 	$0 \dots 2 \text{ V}, 0 \dots 10 \text{ V}$	$0 \dots 20 \text{ mA}$
live zero 	$1 \dots 10 \text{ V}$	$4 \dots 20 \text{ mA}$

Таб. 1 Типы аналоговых сигналов

Биполярные сигналы Биполярные сигналы изменяются относительно уровня напряжения или тока, который обычно равен 0 («ноль»). В зависимости от применения и спецификации датчика к уровню может быть приложено смещение (offset). При использовании данного типа сигнала необходимо убедиться, что датчик и электроника обработки сигналов также подходят для работы с переменным напряжением. Токовая передача биполярных сигналов встречается довольно редко.

True Zero (0...2/10 В | 0...20 мА) Этот тип сигнала лишь условно пригоден для передачи по 2-проводным соединениям, так как сигналы с классификацией «True Zero» («истинный ноль») всегда требуют внешнего вспомогательного питания в начале диапазона измерения, чтобы датчик оставался «жизнеспособным». Кроме того, обрыв провода или выход датчика из строя могут быть надежно обнаружены только при наличии внешнего мониторинга.

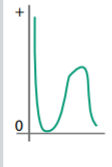
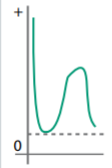
Адекватное обнаружение обрыва провода или дефекта датчика является проблематичным, поскольку значение «0» может интерпретироваться и как конечное значение диапазона измерения, и как ошибка. Поэтому на практике часто используется дополнительное внешнее устройство мониторинга датчиков.

Live Zero (1/2...10 В | 4...20 мА) Поскольку конечное значение (значение > 0) нижнего диапазона измерения (1/2 В, 4 мА) обеспечивает постоянную подачу питания на датчик или внутреннюю схему без внешнего источника, таким способом также можно реализовать внутренний мониторинг (дефект датчика/обрыв провода). Сигналы с классификацией «Live Zero» типичны для

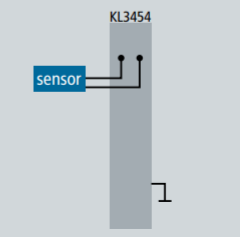
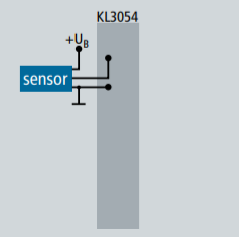
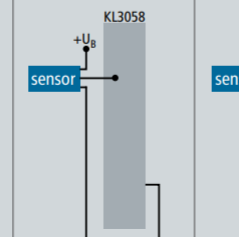
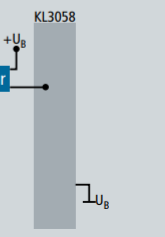
2-проводных датчиков с высокой степенью проверки готовности. Схема «Live Zero» также удобна для поиска неисправностей: кривую сигнала можно измерить мультиметром на всем протяжении линии передачи.

Примечание: Описанные ниже продукты Beckhoff не относятся к классификации HART. Они не являются «HART-совместимыми» и не подходят для использования в качестве искробезопасного оборудования во взрывоопасных зонах.

Аналоговые шинные терминалы Beckhoff | Устройства обработки аналоговых сигналов Для обработки аналоговых сигналов датчиков Beckhoff предлагает широкий ассортимент шинных терминалов серии KL3xxx, которые охватывают большой спектр задач в области обработки аналоговых сигналов. Входные каскады шинных терминалов различаются на однофазные (single-ended) и дифференциальные входы. Однофазный вход ожидает сигнал с фиксированной привязкой к заземлению.

Bus Terminals for the evaluation of current-based analog signals (KL3xxx KS3xxx)				
	1-channel	2-channel	4-channel	8-channel
True Zero 0 ... 20 mA 	KL3011 KS3011 Differential input, 12 bit KL3041 KS3041 loop-powered, 12 bit	KL3012 KS3012 Differential input, 12 bit KL3042 KS3042 loop-powered, 12 bit KL3112 KS3112 Differential input, 16 bit KL3142 KS3142 16 bit, 0,05%	KL3444 KS3444 4 x 2-wire- connection, 12 bit KL3044 KS3044 12 bit	KL3448 KS3448 8 x 1-wire- connection, 12 bit
Live Zero 4 ... 20 mA 	KL3021 KS3021 Differential input, 12 bit KL3051 KS3051 loop-powered, 12 bit	KL3022 KS3022 Differential input, 12 bit KL3052 KS3052 loop-powered, 12 bit KL3122 KS3122 Differential input, 16 bit	KL3454 KS3454 4 x 2-wire- connection, 12 bit KL3054 KS3054 12 bit	KL3458 KS3458 8 x 1-wire- connection, 12 bit

Таб. 2 Шинные терминалы для обработки токовых аналоговых сигналов

Bus Terminals for Live Zero signals 4...20 mA				
	KL3454	KL3054	KL3458	
Number of channels	4	4	8	
Resolution	12 bit	12 bit	12 bit	
Integrated voltage supply	yes/24 V DC	no	no	
Reference ground	0 V power contact	common reference ground of all 4 inputs	0 V power contact	
Sensor supply	loop-powered	external; terminal as galvanic island	8 x 24 V DC 8 x ground	8 x 24 V DC
Optional power feed terminal	—	—	KL9184	KL9186
Connection example	2-wire sensor 	2/3-wire sensor 	3-wire sensor 	2-wire sensor 

Таб. 3 Погрешность измерения всех шинных терминалов 4–20 мА составляет $< \pm 0,3\%$ (относительно значения полной шкалы).

KL3454 | 2-проводные датчики с питанием от петли («loop-powered», Live Zero) 4-канальный шинный терминал аналогового ввода KL3454

поддерживает прямое подключение 2-проводных датчиков без внешнего источника питания. Питание на датчики подается непосредственно через устройство обработки сигналов — они являются «питаемыми от петли» (loop-powered). Внешний источник напряжения не требуется, так как силовой контакт 24 В выведен на клеммные точки. KL3454 оцифровывает токовые сигналы в диапазоне от 4 до 20 мА с максимальным разрешением 12 бит. Внутренняя схема KL3454 обладает настолько низким импедансом, что даже при достижении датчиком полной шкалы (уровень сигнала 20 мА) низкое падение напряжения внутри терминала по-прежнему обеспечивает датчик достаточной мощностью. Сопротивление внутренней проводки (80 Ом) и зависящее от длины сопротивление проводов в сумме дают значение, которое значительно ниже привычных 500 Ом. Поэтому, как правило, нет необходимости устанавливать максимально допустимую длину кабеля.

4-канальный шинный терминал аналогового ввода KL3054 KL3054 также поддерживает подключение датчиков для сигналов 4–20 мА по 2-проводной схеме. К нему могут подключаться исключительно датчики с внешним питанием, то есть они должны быть запитаны от внешнего источника, так как шинный терминал функционирует как «гальванический остров». С помощью

KL3054 аналоговые значения могут определяться при различных напряжениях питания датчиков или между компонентами, не имеющими общего заземления. Как и KL3454, модуль KL3054 оцифровывает сигналы датчиков с разрешением 12 бит.

8-канальный шинный терминал аналогового ввода KL3458 KL3458 объединяет восемь входов в одном корпусе, предлагая возможность подключения многоканальных датчиков по однопроводной технологии при минимальных требованиях к пространству. KL3458 подходит для 2-х и 3-проводных датчиков с внешним питанием, однако в каждом случае необходимо обеспечить соединение между землей источника питания датчика и землей узла шинного терминала (силовой контакт 0 В).

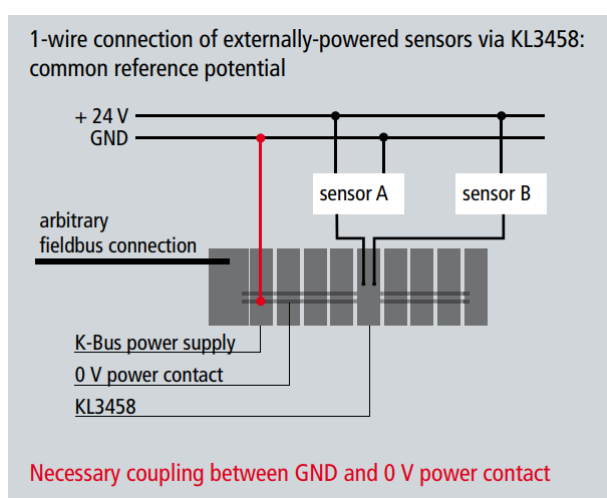


Рис. 4 Пример подключения KL3458: для однопроводного подключения датчиков с внешним питанием необходимо соединить заземление (GND источника питания датчика) с силовым контактом 0 В узла терминала.

Шинные терминалы для сигналов «Live Zero» — «дифференциальный вход» Несмотря на преимущества при передаче сигналов, подключение датчиков через токовую петлю имеет и свои недостатки: в отличие от сигналов по напряжению, потребители не могут быть подключены параллельно друг другу. Если измеренное значение должно обрабатываться в нескольких местах, необходимо последовательное соединение устройств обработки. В такой последовательной цепи может работать только одно устройство с привязкой к земле, всем остальным требуются дифференциальные входы, которые не предполагают общего соединения отдельных линий заземления.

Такое последовательное соединение создается, например, если измеренное значение должно не только передаваться на контроллер, но и

визуализироваться с помощью устройства индикации (цифрового амперметра, установленного в шкафу управления) без участия контроллера. В таких случаях следует использовать измерение через аналоговый дифференциальный вход, который не требует общего соединения отдельных линий заземления.

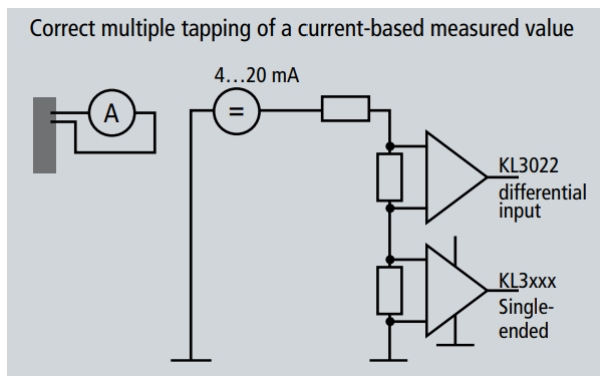


Рис. 5 Последовательное соединение дифференциальных и однофазных входов для многократного съема измеренного значения тока

Полезно знать

Протокол HART Связь HART (Highway Addressable Remote Transducer) также использует аналоговую технологию 4–20 мА в сочетании с 2-проводными датчиками. HART описывает дистанционно адресуемые преобразователи и представляет собой функционально-ориентированное расширение аналогового токового сигнала путем одновременного наложения цифровой информации. HART обычно используется в перерабатывающей промышленности, где он, помимо прочего, часто применяется во взрывоопасных зонах.

Систематическая погрешность измерения при пользовательском масштабировании Для питания датчика всегда требуется ток 4 мА, в результате чего диапазон в 16 мА (полезный ход) представляет информацию о технологических данных, которую должно обрабатывать устройство оценки. Типичные ошибки часто возникают из-за неправильно адаптированного пользовательского масштабирования, которое неверно отображает точку нуля.

Высокоэнергетическое перенапряжение Для областей применения, в которых ожидаются высокоэнергетические скачки напряжения в сети питания, аналоговые сигналы могут быть дополнительно защищены путем использования терминала фильтра перенапряжений **KL9540-0010** от Beckhoff.

