

# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ПОЧЕМУ ТОК, А НЕ НАПРЯЖЕНИЕ

АНАЛОГОВАЯ ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

ЦИФРОВАЯ ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ

ТОПОЛОГИЯ СЕТИ

ПИТАНИЕ УДАЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

3-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

4-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

ПРИМЕР КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ВВОДА/ВЫВОДА

# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ВВЕДЕНИЕ

**Токовая петля (Current loop)** — способ передачи информации с помощью задаваемого и измеряемого значения силы электрического тока.

Токовая петля физически представляет собой **замкнутый контур** с элементами:

- передатчик (генератор сигнала, один)
- приемник (обработчик сигнала, один или несколько)
- источник питания (для питания токовой петли)
- линии связи

Основное преимущество токовой петли — это устойчивость к помехам (например, электромагнитным) и устойчивость к изменению сопротивления кабельных линий для передачи информации (например, в зависимости от температуры окружающей среды).

Первые токовые петли стали использоваться в телетайпах еще в 1960-х годах со стандартным током 0-60 мА. Телетайп - электромеханическая печатная машинка для передачи текстовых сообщений на большое расстояние. Позже, начиная с 1962 года, последовали модели телетайпов с током 0-20 мА. Стандарт с верхней границей тока в 20 мА быстро распространился. В 1980-х появившиеся цифровые интерфейсы стандарта RS (232, 422 и 485) начали активно вытеснять токовые петли из области передачи данных. Однако, токовая петля сохранилась и даже упрочнила свои позиции в измерительных системах и системах автоматизации.

Развитие и распространение цифровых интерфейсов передачи данных и, соответственно, цифровых методов управления процессами повлияло и на развитие токовых петель — на основе аналоговой токовой петли был разработан набор цифровых коммуникационных стандартов для промышленных сетей **HART** (Highway Addressable Remote Transducer).

По уровню сигнала:

- 0-20 мА
- 4-20 мА

По виду сигнала:

- аналоговая токовая петля (4-20 мА)
- цифровая токовая петля (0-20 мА)
- аналогово-цифровая токовая петля (4-20 мА +HART)

По способу подключения:

- 2-проводная
- 3-проводная
- 4-проводная

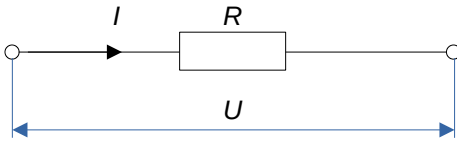
Сетевые характеристики:

- топология «точка-точка» или «шина» (4-20 мА +HART)
- полудуплексная последовательная передача данных (одна линия передачи данных)
- скорость передачи данных **до 19.2 кбит/сек**
- длина линии **до 1000 м**

# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ПОЧЕМУ ТОК, А НЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Как известно из курса физики, режим работы участка электрической цепи определяется двумя основными параметрами: напряжением ( $U$ ) и ток ( $I$ ).



Связь между током и напряжением может быть достаточно сложной, ведь она зависит от состава участка цепи: материала и сечения проводников, характеристик электронных компонентов (пассивных и активных - в том числе источников электрической энергии).

Однако, в простейшем случае, при учете только сопротивления нагрузки и сопротивления проводников ( $R$ ) связь между током и напряжением определяется законом Ома:

$$U = I \cdot R$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

Таким образом, при использовании на приемной стороне резистора в качестве датчика измерения входного сигнала (приемник), нет никакой разницы между способами передачи сигнала: с помощью напряжения или с помощью тока — ведь эти два параметра взаимосвязаны.

# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ПОЧЕМУ ТОК, А НЕ НАПРЯЖЕНИЕ

### Система связи на основе передачи напряжения

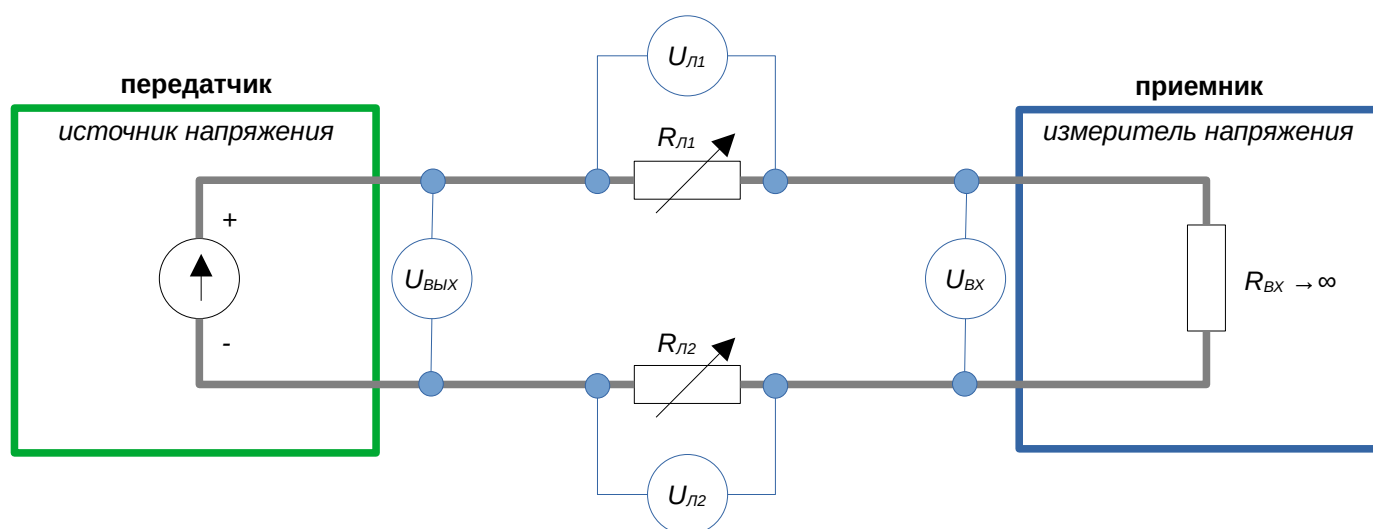
С технической точки зрения, передавать информацию с помощью напряжения проще, чем с помощью тока, так как большинство существующих источников электрической энергии является источниками напряжения, да и приборов, способных контролировать и регулировать напряжения, намного больше. Кроме того, система передачи информации с помощью напряжения при бесконечно большом сопротивлении приемника ( $R \rightarrow \infty$ ) практически не потребляет ток ( $I \rightarrow 0$ ). Это означает, что такая система может быть намного экономичнее, ведь в этом случае мощность сигнала ( $P$ ), а следовательно, и затраты энергии на его передачу могут быть сколько угодно малыми:

$$P = U \cdot I \Rightarrow 0 \text{ (кВт)}$$

В реальной системе передачи информации (системе связи) на величину напряжения сигнала на приемной стороне **влияют физические параметры линии**, в первую очередь — активное сопротивление проводников линии связи ( $R_L$ ).

Согласно второму закону Кирхгофа: сумма напряжений в замкнутом контуре должна быть равна. Поэтому, напряжение, генерируемое передатчиком ( $U_{ВЫХ}$ ) равно сумме падений напряжений на сопротивлениях проводников линии связи ( $U_{Л1}, U_{Л2}, \dots$ ) и на приемнике ( $U_{ВХ}$ ).

Учитывая, что активные сопротивления проводников линии связи ( $R_{Л1}, R_{Л2}, \dots$ ) зависят от многих факторов (в первую очередь от температуры окружающей среды, т. е. являются переменными величинами), то для передачи сигнала, особенно аналогового, с помощью напряжения **необходимо подстраиваться под конкретную линию связи** — регулярно выполнять температурную коррекцию (для чего необходимо дополнительно измерять еще и температуру).



$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} + U_{Л1} + U_{Л2}$$

$$U_{ВХ} = U_{ВЫХ} \cdot \frac{R_{ВХ}}{R_{ВХ} + R_{Л1} + R_{Л2}}$$

# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ПОЧЕМУ ТОК, А НЕ НАПРЯЖЕНИЕ

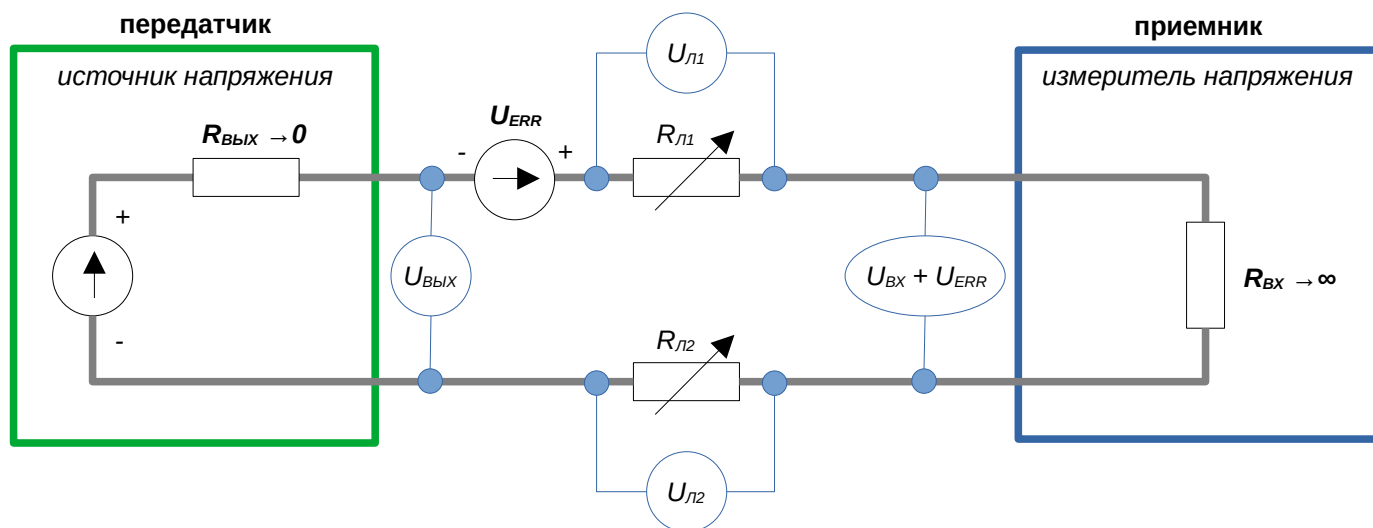
### Система связи на основе передачи напряжения (продолжение)

Влияние физических параметров линии связи в системе, передающей информацию с помощью напряжения, теоретически можно уменьшить, увеличив внутреннее сопротивление приемника (в идеале  $R \rightarrow \infty$ ). В этом случае произойдет уменьшение тока в линии, а следовательно, и уменьшится падение напряжения на сопротивлениях  $R_{Л1}$  и  $R_{Л2}$ . Однако, **при работе с длинными линиями** это так или иначе приведет к ухудшению качества связи, т. к. кроме сигнала в системе существуют еще и **помехи**. Помеха является неотъемлемой частью систем передачи данных.

В аналоговых системах наличие помех приводит к уменьшению соотношения «сигнал/шум», а в цифровых — к увеличению вероятности ошибки (например, несовпадение контрольной суммы, «битый пакет данных» и т.п.).

В системе на основе передачи напряжения, создаваемое помехой напряжение ( $U_{ERR}$ , **наведенное напряжение**) суммируется с напряжением передатчика ( $U_{ВЫХ}$ ). **Выделение значения наведенного напряжения из полученной суммы на стороне приемника является весьма затруднительным.**

Сопротивление передатчика ( $R_{ВЫХ}$ ) должно быть как можно меньше.  
Сопротивление приемника ( $R_{ВХ}$ ) должно быть наибольшим.



$$U_{ВХ} = (U_{ВЫХ} + U_{ERR}) \cdot \frac{R_{ВХ}}{R_{ВХ} + R_{Л1} + R_{Л2}} \quad R_{ВЫХ} < R_{ВХ}$$

Достоинства и недостатки:

- + проще и экономнее передавать информацию
- влияние физических параметров линий связи
- на длинных линиях связи наводятся помехи, которые сложно отфильтровать (исключить)

Итого:

- только короткие линии (несколько сантиметров)
- слабая электромагнитная обстановка

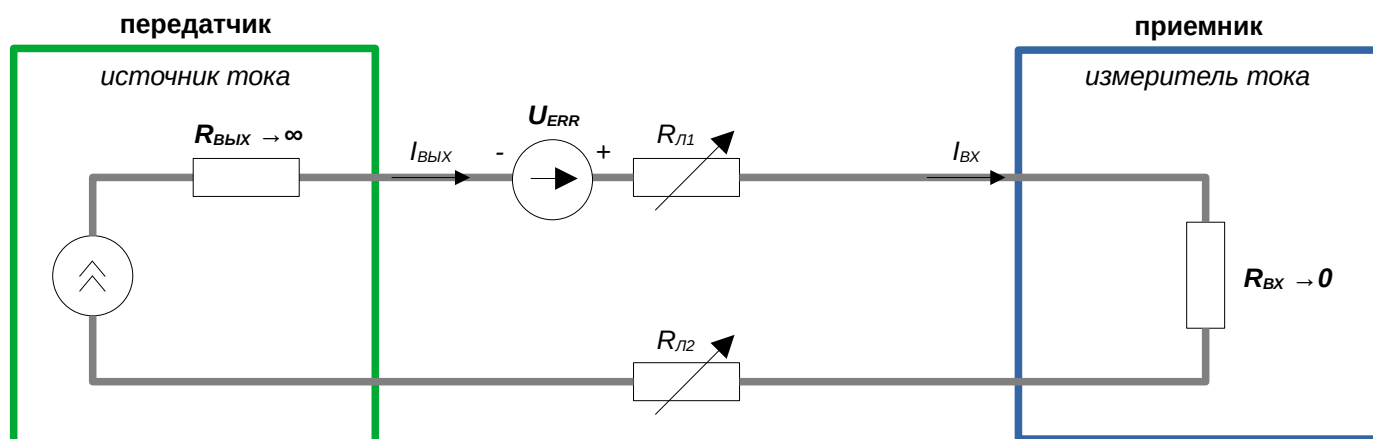
# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ПОЧЕМУ ТОК, А НЕ НАПРЯЖЕНИЕ

### Система связи на основе передачи тока

В отличие от напряжения, величина которого отличается для каждого участка, **ток во всех элементах неразветвленной электрической цепи одинаков**. Таким образом, система передачи данных на основе токовой петли не требует каких-либо дополнительных инструментов подстройки под конкретную линию связи — эту функцию автоматически выполняет передатчик — генератор тока (контролирует и поддерживает необходимую силу тока в цепи).

Любые отклонения выходного сигнала, в том числе и вызванные помехой, автоматически компенсируются на передающей стороне. Воздействие помехи в этом случае проявится в виде изменения напряжения на величину наведенного напряжения (от помехи), но **ток в линии связи остается неизменным**.



$$I_{ВХ} = I_{ВЫХ} \quad R_{ВЫХ} > R_{ВХ}$$

Достоинства и недостатки:

- + все физические параметры линий связи, а также наводимые помехи автоматически компенсируются на передающей стороне (на принимающей стороне может быть выполнена дополнительная фильтрация)
- + возможность передачи информации на длинные расстояния (тысячи метров)
- + возможность передачи информации в сложной электромагнитной обстановке

Итого:

- актуально для длинных линий (от десяти сантиметров)
- любая электромагнитная обстановка
- хорошая помехозащищенность
- **один из надежных и эффективных способов передачи информации**

# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## АНАЛОГОВАЯ

Аналоговая токовая петля используется для последовательной передачи аналогового сигнала по паре проводов в измерительном оборудовании и системах автоматического управления технологическими процессами.

Используемые уровни тока:

= **4-20 мА**

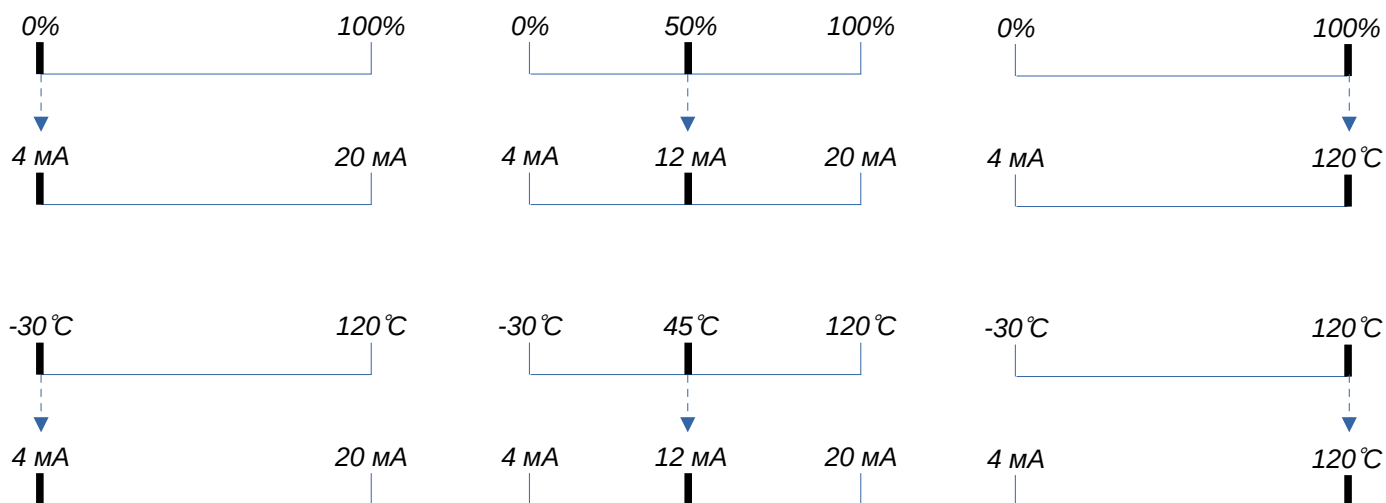
Ток в петле изменяется в диапазоне от 4 до 20 мА в зависимости от текущего значения физической величины. При этом, шкала физической величины приведена к шкале 4-20 мА путем масштабирования. Весь диапазон допустимых значений физической величины занимает (20-4) 16 мА.

Аналоговый сигнал 4-20 мА считается унифицированным (стандартным):

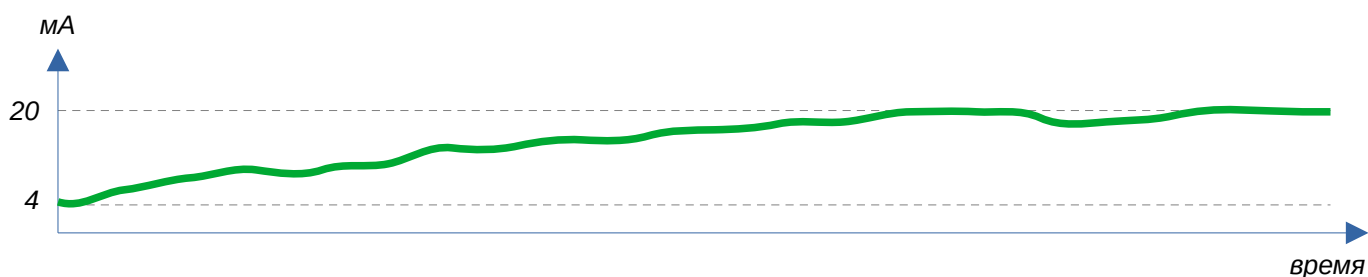
- ГОСТ 26.011-80 «Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения»
- IEC 62056-21 / DIN 66258 «Direct local data exchange»

Поверх аналоговой токовой петли можно передавать цифровую информацию. Такой способ передачи данных описан в спецификации последовательного протокола HART. Конкурирующими протоколами, способными в будущем вытеснить HART, являются различные цифровые полевые шины: Foundation FieldBus, PROFIBUS.

### Пример масштабирования шкал



### Пример изменения сигнала в контуре аналоговой токовой петли



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ЦИФРОВАЯ

Цифровая токовая петля используется для последовательной передачи цифрового сигнала по паре проводов в телекоммуникационном оборудовании и компьютерах.

Используемые уровни тока:

= **0-20 мА**

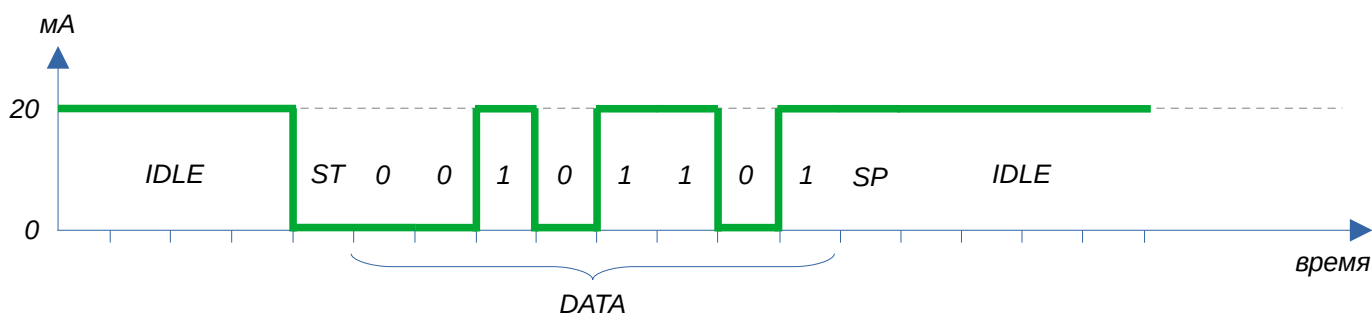
Текущее значение физической величины раскладывается на биты (набор логических нулей и единиц, т. е. двоичное представление числа) и передается цифровым методом, где: логический ноль — 0 мА, логическая единица — 20 мА. Формат пакета данных совпадает с RS-232 (метод «старт-стоп»), например, 8-N-1: 8 бит данных, без бита четности, 1 стоп-бит. Отличие только в том, что в RS-232 логические уровни задаются соответствующими уровнями напряжения, а в цифровой токовой петле — уровнями тока.

### Пример пакета данных

Текущее значение физической величины: 45°C

Разложение на биты: 0010 1101 (8 бит, читать справа налево)

Формат передачи: 8-N-1, число передается старшим битом вперед.



IDLE — ожидание (от 3-4 временных такта, логическая единица)

ST — стартовый бит (начало пакета, логический ноль)

DATA — данные (8 бит)

SP — стоповый бит (конец пакета, логическая единица)



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ

- Передатчик (генератор сигнала)
- Приемник (обработчик сигнала)
- Источник питания (для питания токовой петли)
- Линии связи (провода питания и передачи сигнала)

Передатчик формирует (генерирует) сигнал: поддерживает необходимый уровень тока в контуре петли (**источник тока в токовой петле**). Пример передатчика: вторичный преобразователь измерительного датчика (давление, температура, расход, вес, ...), канал модуля аналогового вывода (АО), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Устройство с источником тока в токовой петле — **активный регулятор тока**.

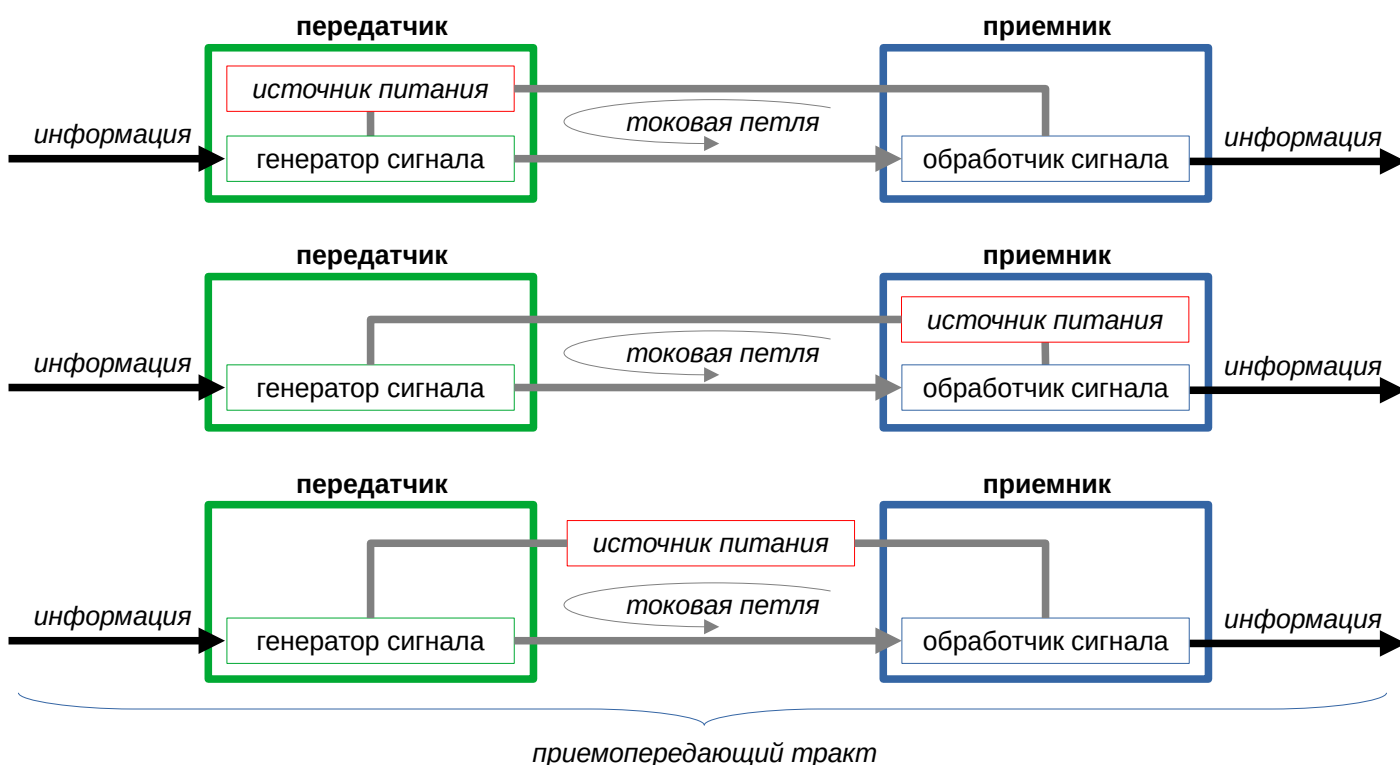
Приемник считывает и обрабатывает сигнал: измеряет уровень тока в контуре петли, выполняет оцифровку, фильтрацию и масштабирование (например, преобразует мА в °С). Пример приемника: канал модуля аналогового ввода (АИ), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП).

Токовая петля для своей работы требует источника питания (напряжения).

Источник питания может находиться в любой части системы:

- на стороне передатчика (как внешнее или встроенное устройство)
- на стороне приемника (как внешнее или встроенное устройство)
- промежуточное положение, подключается в разрыв линии связи

Приемник и передатчик находятся на расстоянии друг относительно друга и соединены линиями связи (для питания активных элементов и передачи контрольно-измерительного сигнала) и в общем образуют **приемопередающий тракт**.



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ

Обычно, оборудование (передатчик и приемник) в токовой петле питаются от отдельного источника, а сама токовая петля — от отдельного. Под источниками питания здесь подразумеваются внешние блоки стабилизированного питания (12...36 В DC). Отдельный блок питания для токовой петли будет обеспечивать ее максимальную нагрузочную способность (**источник напряжения в токовой петле**). В этом случае приемопередающий тракт будет состоять из трех или четырех проводов, например: два — питание оборудования (передатчика или приемника), два — сама токовая петля.

Однако, если оборудование (передатчик или приемник) в токовой петле является маломощным, то возможно его питание непосредственно от токовой петли — так называемое, **фантомное питание**. При этом, одно из устройств в токовой петле, помимо своих основных функций, будет выполнять функцию источника питания для обеспечения работы петли и других маломощных устройств, подключенных к ней (см. раздел «Питание удаленного оборудования»). Приемопередающий тракт, в этом случае, состоит из двух проводов — только токовая петля.

Напряжение питания токовой петли зависит от падения напряжения в проводах. Чем длиннее линия связи и тоньше провод, тем выше должно быть напряжение питания токовой петли. Для объектов, расположенных на значительном удалении друг от друга, напряжение питания может достигать 120 В и более. В целом напряжение источника питания токовой петли должно быть приблизительно на 10% больше общего падения напряжения на всех элементах приемопередающего тракта при максимальном токе (20 мА). Если напряжение питания будет ниже, то, из-за высокого сопротивления линии связи, генератор сигнала (источник тока) просто не сможет обеспечить необходимый уровень тока во всем контуре токовой петли. Если же напряжение питания будет чрезмерно высоким, то, в худшем случае, например, обрыв кабеля линии связи может привести к аварийной ситуации: повреждение приемопередающего или расположенного поблизости оборудования.

***Длина кабеля токовой петли может до 1000 метров и более.***

Из-за неидеальности генератора сигнала (источника тока) передатчика, максимально допустимая длина линии зависит от ее сопротивления, а также от напряжения, которым питается. Например, при питании 12 В DC сопротивление линии не должно превышать 600 Ом. При передаче сигналов на большие расстояния важно проверять значение падения напряжения в линии, добавляя при необходимости активные повторители (усилители) для обеспечения нужной амплитуды сигнала токовой петли, а также необходимо защищать каналы ввода/вывода с помощью схем гальванической развязки (как на стороне отправителя, так и на стороне приемника).

# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ТОПОЛОГИЯ СЕТИ

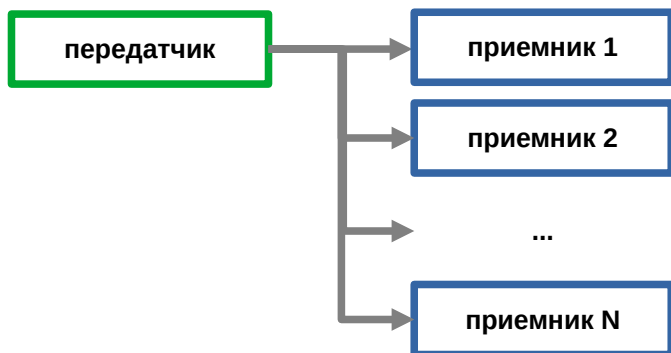
### «Точка-точка»

- один передатчик (мастер, master, main, primary)
- один приемник (подчиненный, slave, secondary)



### «Шина»

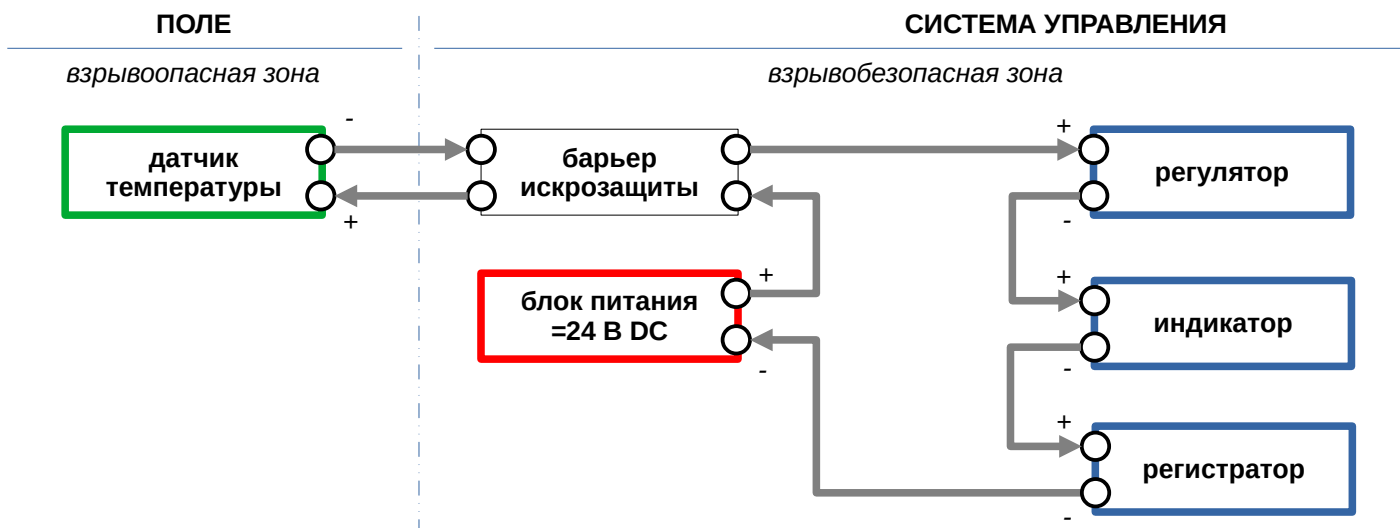
- один передатчик (мастер, master, main, primary)
- несколько приемников (подчиненные, slave, secondary)



Благодаря активному регулированию тока передатчиком, возможно последовательное подключение нескольких приемников к одной токовой петле. Передатчик (активный регулятор, источник тока) будет автоматически увеличивать ток в петле для компенсации всех потребителей (приемников).

Количество потребителей (приемников), подключаемых к токовой петле, ограничено мощностью передатчика.

### Пример



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ПИТАНИЕ УДАЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Возможно ли, помимо передачи сигнала, питать от токовой петли маломощное удаленное оборудование?

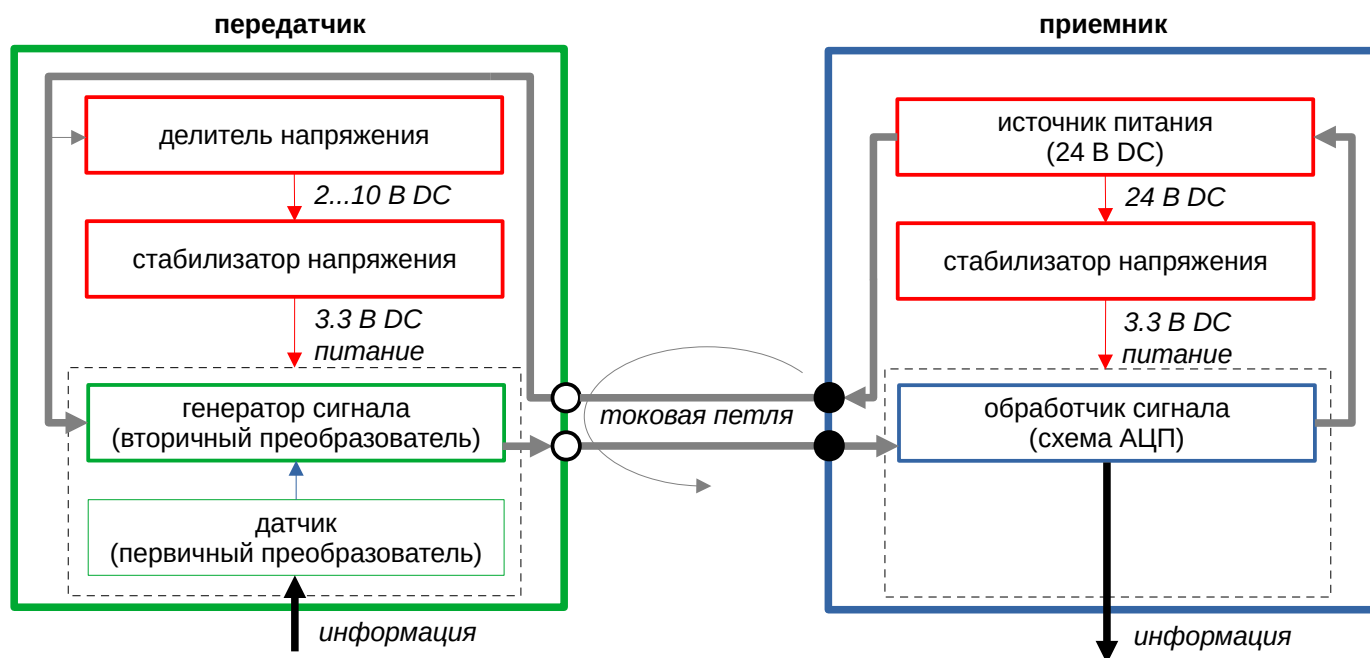
Рассмотрим вариант, когда источник питания расположен на стороне приемника. Передатчик - датчик давления со встроенным вторичным преобразователем (например, преобразователь сигнала с чувствительного элемента датчика в унифицированный сигнал 4-20 мА — он же и есть генератор сигнала). Вторичный преобразователь при этом является активным элементом, требующим питания.

Если на стороне датчика в линию связи добавить стабилизатор напряжения, включающий в себя сопротивление порядка 500 Ом на входе, то при протекании тока на нем будет формироваться падение напряжения от 2 В (при токе 4 мА) до 10 В (при токе 20 мА) — этого вполне достаточно для питания маломощных устройств (при токе 4 мА мощность будет порядка 8 мВт). При введении дополнительного падения, напряжение в линии связи должно быть скомпенсировано путем увеличения напряжения источника питания.

В большинстве случаев, мощности сигнала, снимаемого с токовой петли 4-20 мА, достаточно для питания большинства маломощных устройств, например, датчиков: температуры, давления, влажности, положения ротора электродвигателя и т. д.

Так как, передатчик (генератор сигнала) изменяет ток в цепи в диапазоне от 4 до 20 мА, то за основу гарантированного удаленного питания следует брать нижнюю границу 4 мА. Соответственно, в данном случае невозможно питать удаленное оборудование от токовой петли 0-20 мА (при 0 мА тока не будет — удаленное устройство работать не будет).

Для питания более мощного оборудования необходимо использовать иные варианты — например, отдельный источник питания.

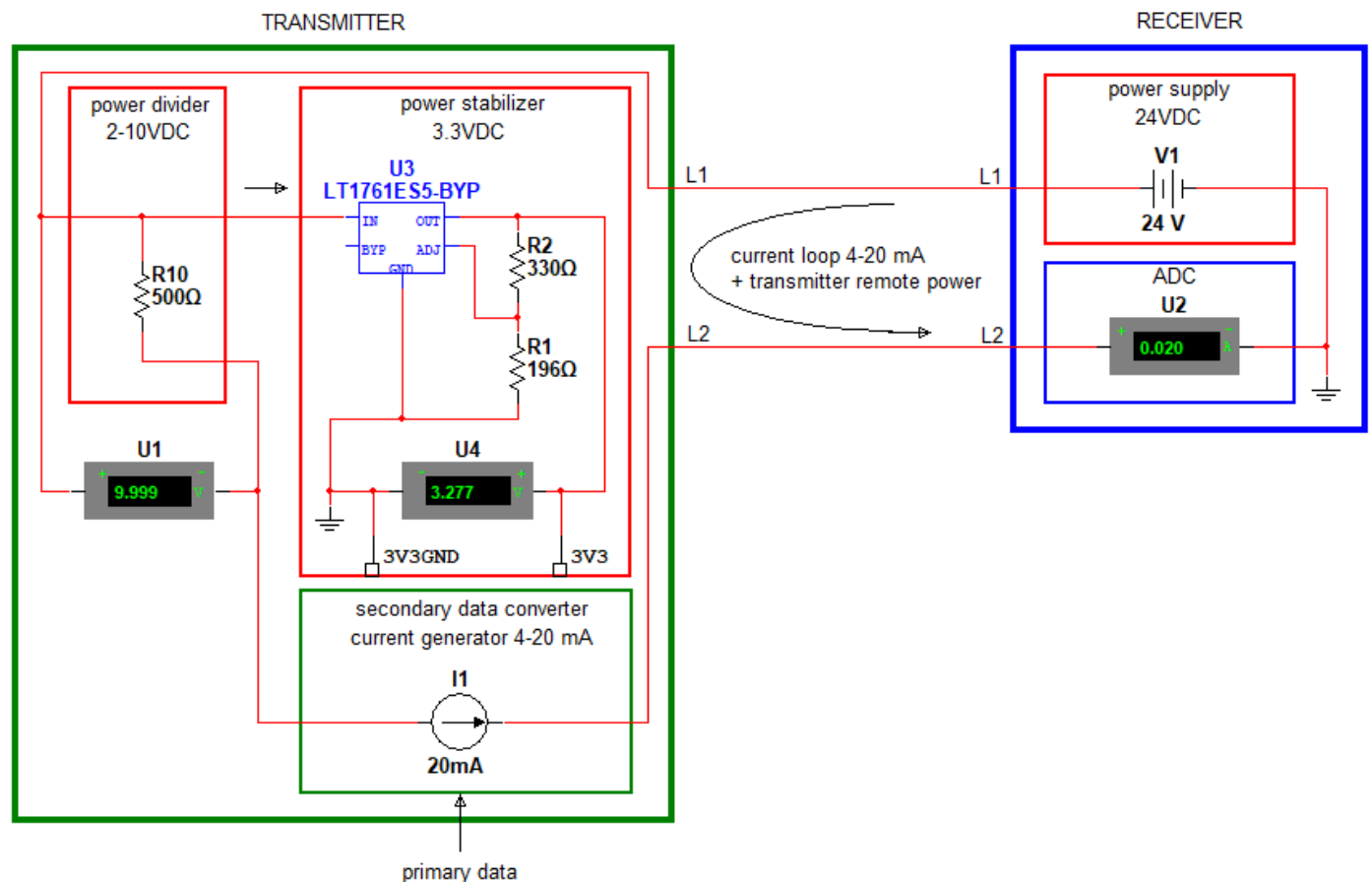
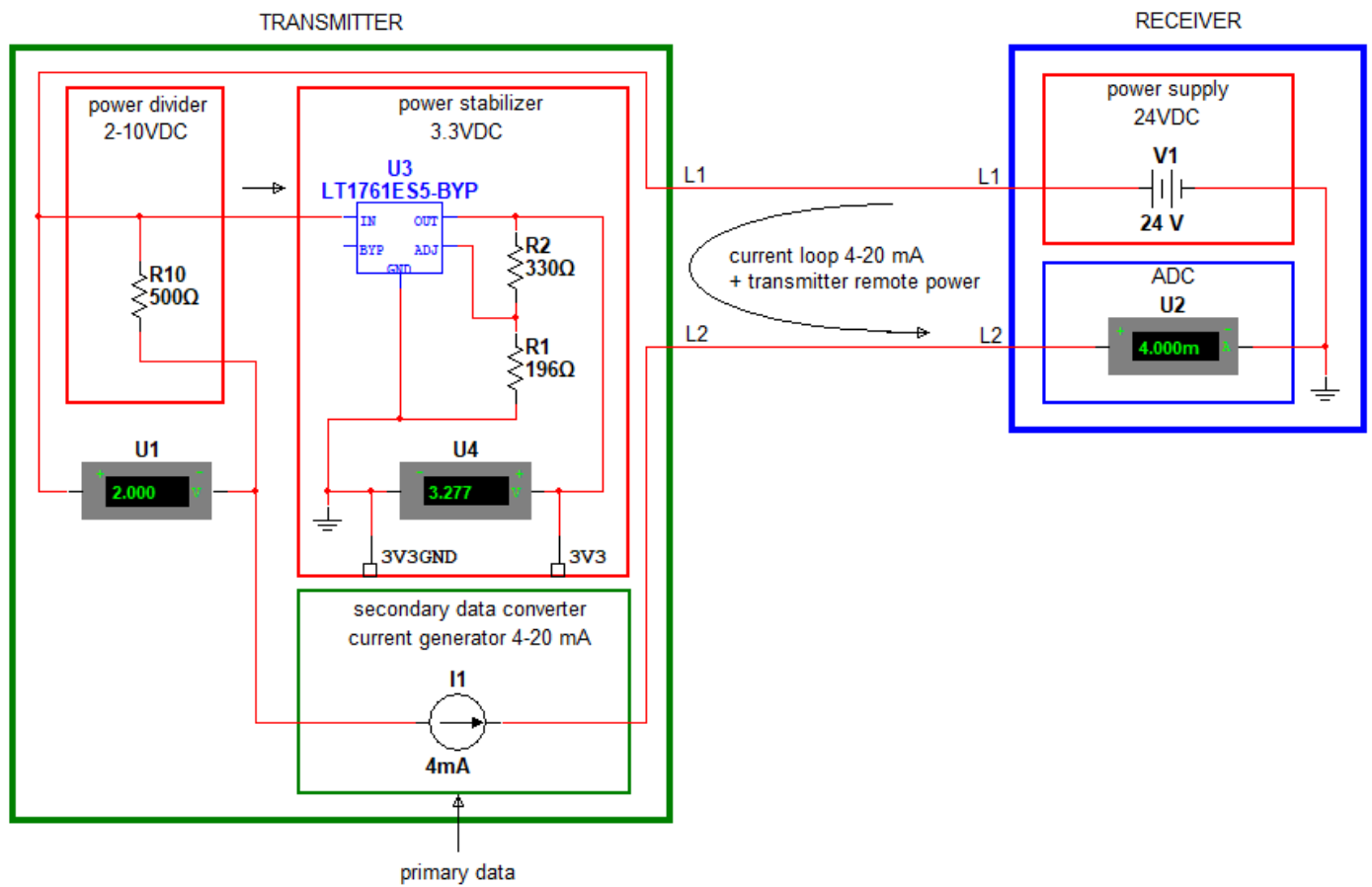


# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ПИТАНИЕ УДАЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Пример

симуляция схемы в Multisim



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 2-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «А»

Контур питания передатчика и контур токовой петли — объединены.

Передатчик:

- все элементы питаются от токовой петли через собственный делитель и стабилизатор
- преобразует исходную информацию в электрический ток (**источник тока** 4-20 мА)
- передает сформированный уровень тока в линию (токовую петлю)

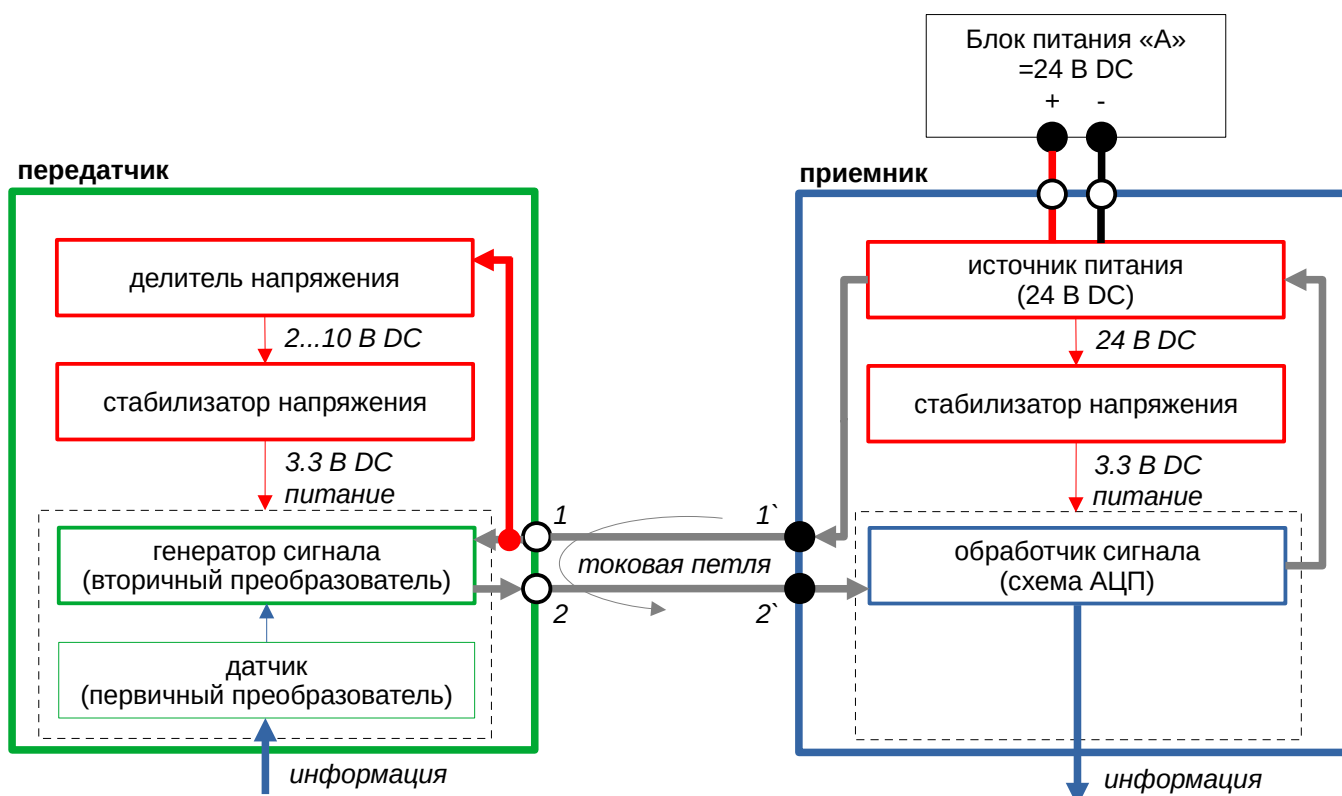
Приемник:

- все элементы питаются от блока питания «А»
- питает токовую петлю от собственного источника (**источник напряжения**)
- считывает уровень электрического тока с линии (токовой петли)
- обрабатывает полученное значение тока (оцифровка и масштабирование)
- выдает информацию в человеко-понятном виде

Достоинства и недостатки:

- + простая схема подключения (всего 2 провода)
- + на весь приемопередающий тракт требуется один блок питания
- + не требуется гальваническая развязка контура токовой петли (приемник и передатчик питаются от одного источника)
- сложная схема передатчика
- блок питания «А» должен иметь достаточную мощность
- мощность передатчика ограничена (от 4-20 мА можно получить 2-10 В питания)

1'-1 > 2-2' - контур токовой петли + контур питания



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 2-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «Б»

Контур питания передатчика и контур токовой петли — объединены.

Передатчик:

- все элементы питаются от токовой петли через собственный делитель и стабилизатор
- преобразует исходную информацию в электрический ток (**источник тока** 4-20 мА)
- передает сформированный уровень тока в линию (токовую петлю)

Приемник:

- все элементы питаются от блока питания «А»
- считывает уровень электрического тока с линии (токовой петли)
- обрабатывает полученное значение тока (оцифровка и масштабирование)
- выдает информацию в человеко-понятном виде

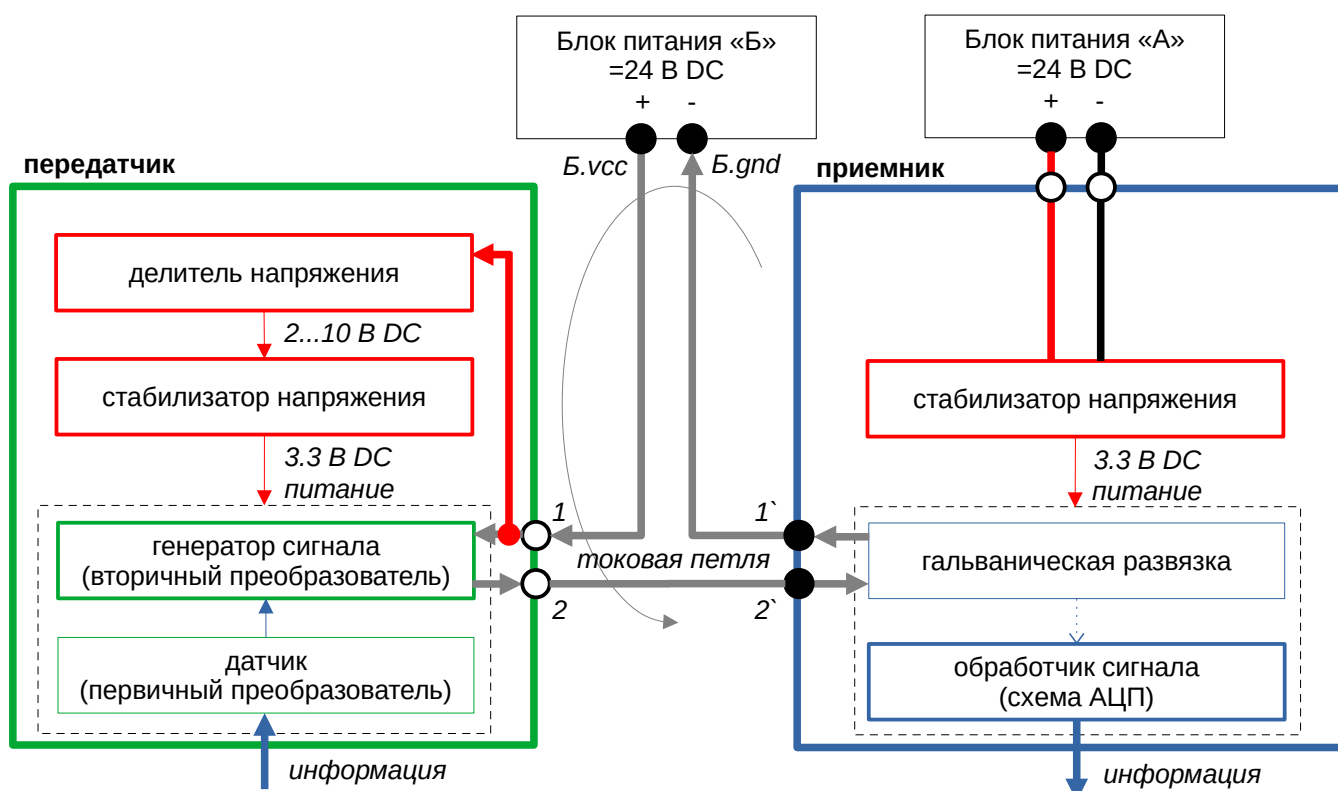
Токовая петля:

- питается от блока питания «Б» (**источник напряжения**)

Достоинства и недостатки:

- + простая схема подключения (всего 2 провода)
- требуется гальваническая развязка (изоляция) контура токовой петли от внутренних цепей приемника (приемник и передатчик питаются от разных источников)
- сложная схема передатчика и приемника
- нужны два блока питания
- мощность передатчика ограничена (от 4-20 мА можно получить 2-10 В питания)

$B.vcc-1 > 2-2' > 1'-B.gnd$  - контур токовой петли + контур питания



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 3-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «А»

Контур питания передатчика и контур токовой петли — разделены, но связаны общим проводом «-».

Передатчик:

- все элементы питаются от блока питания «А»
- преобразует исходную информацию в электрический ток (**источник тока** 4-20 мА)
- передает сформированный уровень тока в линию (токовую петлю)
- питает токовую петлю (**источник напряжения**)

Приемник:

- все элементы питаются от блока питания «А»
- считывает уровень электрического тока с линии (токовой петли)
- обрабатывает полученное значение тока (оцифровка и масштабирование)
- выдает информацию в человеко-понятном виде

Токовая петля:

- питается от передатчика (от его стабилизатора напряжения)

Блок питания «А»:

- высокая сторона («+»):
  - непосредственно не связана с контуром токовой петли
  - связана с высокой стороной («+») контура питания передатчика
- низкая сторона («-»):
  - связана с контуром токовой петли через общее «заземление»
  - связана с низкой стороной («-») контура питания передатчика

Достоинства и недостатки:

- + мощность передатчика неограничена (зависит от блока питания)
- + на весь приемопередающий тракт требуется один блок питания
- + не требуется гальваническая развязка контура токовой петли (приемник и передатчик питаются от одного источника)
  - сложная схема передатчика
  - блок питания «А» должен иметь достаточную мощность
  - необходимо продумывать общую точку («заземление»)



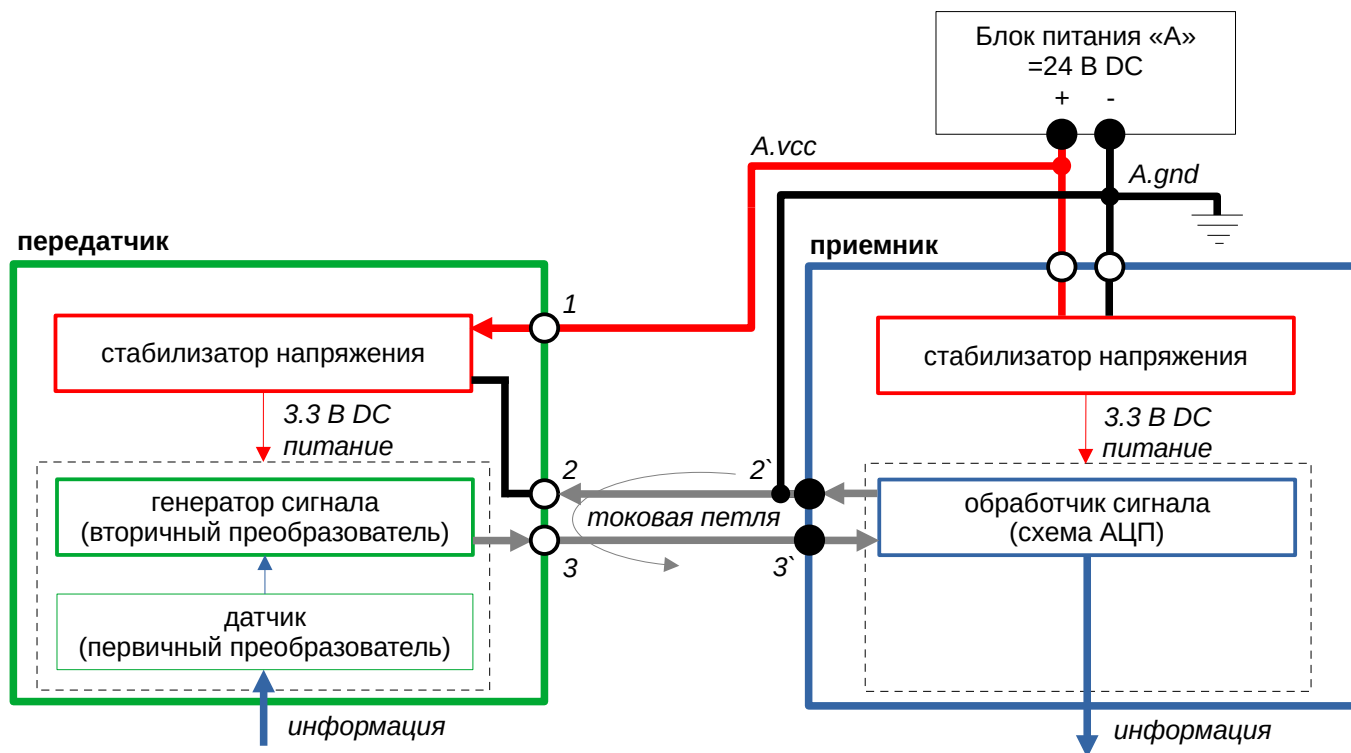
# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 3-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «А» (продолжение)

$A.vcc-1 > 2-2' > 2'-A.gnd$  — контур питания передатчика

$2'-2 > 3-3'$  — контур токовой петли



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 3-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «Б»

Контур питания передатчика и контур токовой петли — разделены, но связаны общим проводом «-».

Передатчик:

- все элементы питаются от блока питания «Б»
- преобразует исходную информацию в электрический ток (**источник тока** 4-20 мА)
- передает сформированный уровень тока в линию (токовую петлю)
- питает токовую петлю (**источник напряжения**)

Приемник:

- все элементы питаются от блока питания «А»
- считывает уровень электрического тока с линии (токовой петли)
- обрабатывает полученное значение тока (оцифровка и масштабирование)
- выдает информацию в человеко-понятном виде

Токовая петля:

- питается от передатчика (от его стабилизатора напряжения)

Блок питания «А»:

- не связан с контурами питания передатчика и токовой петли

Блок питания «Б»:

- высокая сторона («+»):
  - непосредственно не связана с контуром токовой петли
  - связана с высокой стороной («+») контура питания передатчика
- низкая сторона («-»):
  - связана с контуром токовой петли через общее «заземление»
  - связана с низкой стороной («-») контура питания передатчика

Достоинства и недостатки:

- + мощность передатчика неограничена (зависит от блока питания)
- + у каждого устройства свой источник питания
  - требуется гальваническая развязка (изоляция) контура токовой петли от внутренних цепей приемника (приемник и передатчик питаются от разных источников)
  - сложная схема передатчика и приемника
  - нужны два блока питания
  - необходимо продумывать общую точку («заземление»)

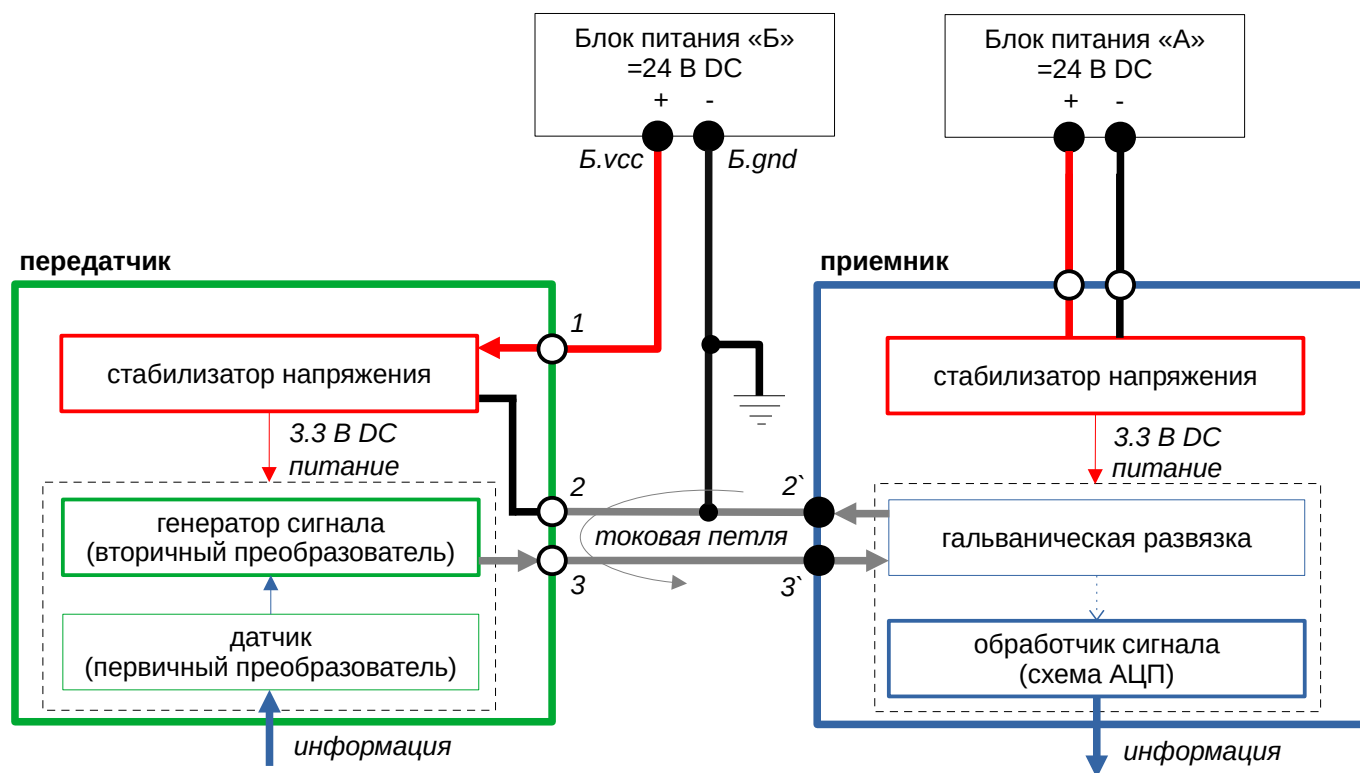
# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 3-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «Б» (продолжение)

Б.vcc-1 > 2-Б.gnd — контур питания передатчика

2'-2 > 3-3' — контур токовой петли



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 4-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «А»

Контур питания передатчика и контур токовой петли — полностью разделены.

Передатчик:

- все элементы питаются от блока питания «А»
- преобразует исходную информацию в электрический ток (**источник тока** 4-20 мА)
- передает сформированный уровень тока в линию (токовую петлю)

Приемник:

- все элементы питаются от блока питания «А»
- считывает уровень электрического тока с линии (токовой петли)
- обрабатывает полученное значение тока (оцифровка и масштабирование)
- выдает информацию в человеко-понятном виде

Токовая петля:

- питается от блока питания «Б»

Блок питания «А»:

- связан с контуром питания передатчика и приемника
- не связан с контуром токовой петли

Блок питания «Б»:

- не связан с контуром питания передатчика и приемника
- связан с контуром токовой петли

Достоинства и недостатки:

- + контуры питания и токовой петли полностью разделены
- + гальваническая развязка контура токовой петли (со стороны передатчика и приемника)
- + наивысший уровень помехозащищенности тракта передачи информации
- + мощность передатчика неограничена (зависит от блока питания)
- требуется гальваническая развязка (изоляция) контура токовой петли от внутренних цепей приемника и передатчика (приемник и передатчик питаются от одного источника, а токовая петля от другого)
- сложная схема передатчика и приемника
- нужны два блока питания
- блок питания «А» должен иметь достаточную мощность

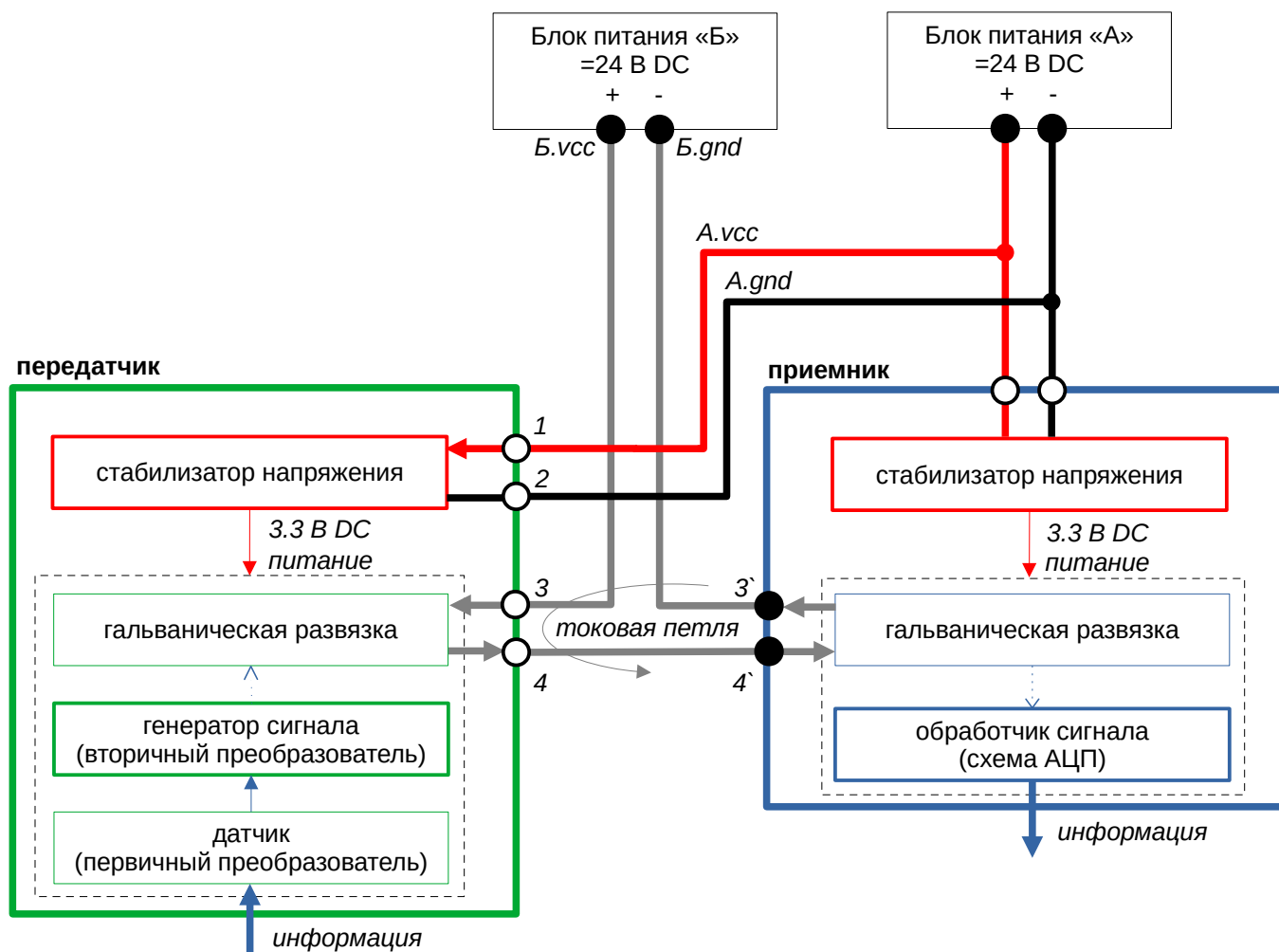
# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 4-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «А» (продолжение)

$A.vcc - 1 > 2 - A.gnd$  — контур питания передатчика

$B.vcc - 3 > 4 - 4' > 3' - B.gnd$  — контур токовой петли



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 4-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «Б»

Контур питания передатчика и контур токовой петли — полностью разделены.

Передатчик:

- все элементы питаются от блока питания «В»
- преобразует исходную информацию в электрический ток (**источник тока** 4-20 мА)
- передает сформированный уровень тока в линию (токовую петлю)

Приемник:

- все элементы питаются от блока питания «А»
- считывает уровень электрического тока с линии (токовой петли)
- обрабатывает полученное значение тока (оцифровка и масштабирование)
- выдает информацию в человеко-понятном виде

Токовая петля:

- питается от передатчика от блока питания «Б»

Блок питания «А»:

- связан с контуром питания приемника
- не связан с контуром питания передатчика
- не связан с контуром токовой петли

Блок питания «Б»:

- не связан с контуром питания передатчика и приемника
- связан с контуром токовой петли

Блок питания «В»:

- связан с контуром питания передатчика
- не связан с контуром питания приемника
- не связан с контуром токовой петли

Достоинства и недостатки:

- + контуры питания и токовой петли полностью разделены
- + гальваническая развязка контура токовой петли (со стороны передатчика и приемника)
- + наивысший уровень помехозащищенности тракта передачи информации
- + мощность передатчика неограничена (зависит от блока питания)
- требуется гальваническая развязка (изоляция) контура токовой петли от внутренних цепей приемника и передатчика (приемник и передатчик питаются от одного источника, а токовая петля от другого)
- сложная схема передатчика и приемника
- нужны три блока питания

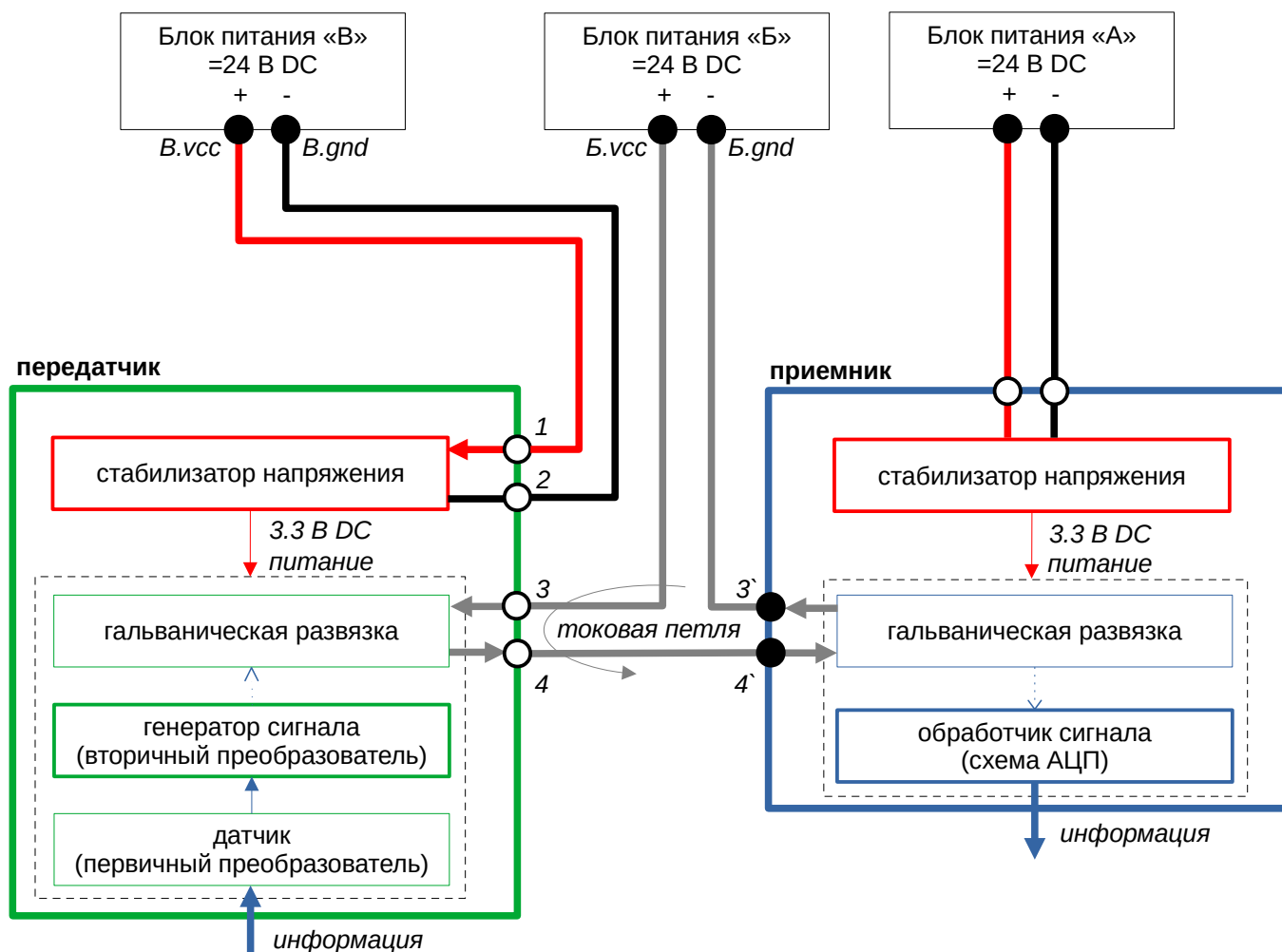
# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## 4-ПРОВОДНАЯ СХЕМА

### Вариант «Б» (продолжение)

$B.vcc-1 > 2-B.gnd$  — контур питания передатчика

$B.vcc-3 > 4-4' > 3'-B.gnd$  — контур токовой петли



# ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ

## ПРИМЕР КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ВВОДА/ВЫВОДА

Комплексная система управления с обратной связью.

