

Принципы электросовместимости приборов

Александр ГАРМАНОВ,
ведущий инженер ЗАО «Л-КАРД»

Редакция журнала «Автоматизация и Производство», учитывая пожелания своих многочисленных читателей, начинает публикацию материалов о проблемах электросовместимости при подключении измерительных приборов. Статья будет публиковаться в нескольких номерах с продолжением, а для того, чтобы вы имели возможность легко ориентироваться в печатном пространстве, мы приводим в начале её краткое содержание.

Часть 1. Типы источников сигналов

Общие сведения

Классификация типов источников сигналов:

- по характеру внутреннего сопротивления (источник напряжения, тока, заряда);
- по наличию заземления (заземлённый и изолированный источник);
- по числу фаз (дифференциальный источник, однофазный и дифференциальный с ложной второй фазой (ДЛВФ));
- по наличию экранирующей поверхности (экран и экранированный источник сигнала, неэкранированный источник);
- по полярности источника сигнала.

Часть 2. Типы входов устройств и их электросовместимость

Классификация типов входов устройств:

- по входному сопротивлению (вход напряжения, тока, заряда, а также нелинейные входы);
- по полярности входного сигнала;
- по количеству фаз и степени симметрии входа (дифференциальный вход, однофазный, дифференциальный с динамическим коммутатором каналов (ДКК), псевдодифференциальный с ДКК, однофазный гальваноразвязанный);
- по наличию и способу гальваноразвязки;
- примеры типов входов.

Электросовместимость входа с источником сигнала в зависимости от типа.

Электросовместимость входов-выходов по параметрам:

- вносимой погрешности в цепь измерения;
- принципу перегрузки входа и выхода;
- согласованности динамических диапазонов сигнала и входа.

Электросовместимость цифровых входов-выходов.

Часть 3. Способы повышения помехозащищённости

Гальваническая развязка

Согласование кабеля

Заземление

Экранирование

Уменьшение входного импеданса прибора

От однофазного к дифференциальному

Фильтрация

Часть 4. Примеры подключения

Устройства с аналоговыми и цифровыми землями

Подключение сигнальной цепи напряжения (для разных типов входов)

Подключение сигнальной цепи тока

Подключение сигнальной цепи заряда

Резервированное подключение устройств

Синфазные фильтры

Введение

Эта статья написана в помощь пользователю, имеющему нелёгкий опыт подключения измерительных приборов на основе АЦП, ЦАП и прочих устройств к источникам сигналов и нагрузкам. «Как подключать? Что и где заземлять? Как подключать экран? В случае возникновения помехи как её побороть?» – вот типичные вопросы, с которыми сталкивается системный интегратор, пытающийся электрически соединить «жеза с ужом», и при этом добиться, чтобы параметры получившейся измерительной системы соответствовали ожидаемым.

Согласно приведённому плану, в данной статье предлагается классификация типов источников сигнала и аналоговых входов, а затем рассматриваются различные аспекты их электросовместимости. Необходимо заметить, что любая классификация всегда огрубляет детали, которые существуют в реальности. Например, не всегда однозначно удаётся классифицировать вход реального прибора, если он имеет смешанные признаки типов, обозначенных в классификации.

Автор намеренно отступает от наукообразной формы изложения вопросов электросовместимости, акцентируя внимание читателей на вопросах, с которыми часто на практике сталкиваются системные интеграторы.

Часть 1. Типы источников сигналов

Общие сведения

Первоначально при выборе измерительных устройств системному интегратору требуется учитывать общие сведения о принципиальной совместимости стыкуемых устройств, т. е. перед тем, как соединить их между собой, необходимо ответить на вопрос: совместимы ли они в принципе? Для того, чтобы понимать друг друга, чётко определим основные термины, которыми будем в дальнейшем оперировать.

Источник сигнала – это часто употребляемое определение обозначает тот объект, от которого поступает сигнал на вход подключаемого прибора. Под источником сигнала будем понимать выход датчика или выход прибора вместе с соединительным кабелем, если такой используется.

Сигнальная цепь – это замкнутая электрическая цепь полезного, то есть информационного сигнала, между источником и приёмником, по которой протекает ток.

Общий провод – это провод условно нулевого опорного потенциала, соединяющий источник и приёмник сигнала. Общий провод позволяет выровнять потенциалы аналоговых земель выходных узлов источника с входными узлами приёмника сигнала. Термин условно нулевой потенциал употреблён в том смысле, что общий провод в ряде случаев может быть не заземлён и иметь потенциал относительно земли.

Заземление – это соединение соответствующих цепей (штатных клемм заземления) приборов с шиной заземления,

имеющей непосредственный контакт с землёй. Такое заземление иногда называют защитным. В больших системах, состоящих из разнородных приборов, существует проблема взаимодействия устройств по цепи заземления, приводящая к сбоям и помехам. Исходя из опыта борьбы с этим явлением, появился термин *сигнальное заземление*. В настоящей статье под *заземлением* всегда будет подразумеваться именно *сигнальное заземление*, обозначаемое символом, показанным на рис. 1. Попросту говоря, это «чистая» ветка основной цепи системы, по которой не текут токи *заземления* мощных устройств (силовое оборудование, станки, мощные импульсные устройства и т.п.), а протекают токи заземления относительно чувствительных сигнальных устройств. Сам термин *сигнальное заземление* возник потому, что в сложных системах соединение без разбора всех точек заземления разнородных приборов приводит к проблеме их совместимости, и возникает необходимость выделения отдельной «чистой

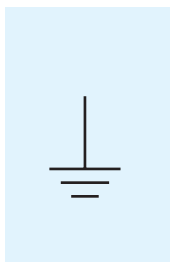


Рис. 1. Символ сигнального заземления

ветки» заземления. В особо сложных системах возможно выделение нескольких веток сигнального заземления с определённой иерархией. Этот вопрос будет подробно рассмотрен во второй части статьи.

Ток заземления (I_g) – это ток, текущий по цепи заземления прибора, иногда его называют уравнивающим током заземления, поскольку он выравнивает разность потенциалов заземляемых точек. Обычно ток I_g носит сложный переменный характер, обусловленный утечками тока от внутренних источников сигнала, поэтому направление тока заземления на рис. 2 показано условно. Как правило, внутренние утечки устройств носят активно-ёмкостной характер, а спектр *земельного тока* (I_g) широкополосный: энергия гармоник достаточно высока даже в мегагерцовой области частот. Это прежде всего относится к устройствам,

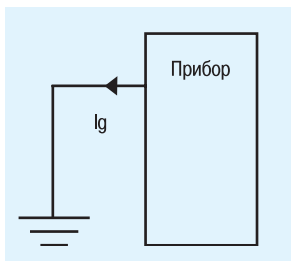


Рис. 2. Ток заземления

имеющим импульсный источник питания, и в меньшей степени к устройствам с линейным источником питания.

Местное заземление – такая цепь может являться цепью сигнального заземления для системы, имеющей значительную ёмкость относительно земли и окружающих цепей. Для обозначения *цифровой* и *аналоговой* земель на схемах или в таблицах обычно применяют следующие мнемонические сокращения:

- GND (DGND, GNDD) – цифровая земля;
- AGND (GNDA) – аналоговая земля.

Обозначения контактов разъёма GND (DGND, GNDD) и AGND (GNDA) (в скобках указаны альтернативные названия) говорят только о том, что провод цепи GND, соединённый с соответствующим контактом разъёма, исходит непосредственно из точки подключения внутреннего общего провода цифровых и импульсных узлов устройства, а провод цепи AGND исходит из общего провода аналоговых узлов.

Внимание! Сами по себе обозначения GND, AGND не определяют места их подключения. Для выяснения этого вопроса

необходимо знать тип входа устройства, к которому относится данная цепь GND или AGND, либо тип выхода. Типы входов и выходов будут описаны во второй части статьи.

На рис. 3 показаны типичные обозначения цепей *аналоговой* и *цифровой* земли. Большинство проблем помехозащищён-

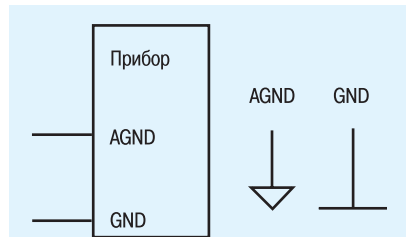


Рис. 3. Символы аналоговой и цифровой земель

ности возникает именно в аналоговых цепях. Цифровые интерфейсные сигналы (TTL и другой «стандартной логики») являются частным случаем аналоговых однофазных входов-выходов напряжения, поэтому в большинстве примеров в данной статье используется аналоговый интерфейс с аналоговой землёй (AGND). Те же самые принципы можно применять и для цифрового интерфейса. Например, цифровой интерфейс токовая петля соответствует типу соединения однофазных однополярных токовых входов/выходов. Любой цифровой интерфейс – это частный случай аналогового. Особый случай, когда на разъём прибора одновременно выведены цепи аналоговой и цифровой земель. Такое бывает, как правило, в многофункциональных приборах, имеющих цифровой интерфейс управления и аналоговый измерительный интерфейс. Подобный случай будет рассмотрен подробно в последней части статьи.

Классификация типов источников сигналов по характеру внутреннего сопротивления

По характеру внутреннего сопротивления источники сигналов условно можно разделить на следующие большие группы: источники *напряжения*, *тока* и *заряда*.

К *источникам напряжения* (рис. 4) относится любой выход прибора, имеющий относительно небольшое внутреннее сопротивление

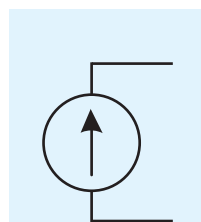


Рис. 4. Символ источника напряжения

вблизи в рабочей полосе частот, близкое к активному. Информационная составляющая источника напряжения передаётся в нагрузку при условии, что сопротивление нагрузки больше внутреннего сопротивления источника. Например, источником напряжения можно считать низкоомный (до сотен Ом) выход любого прибора, подключенного посредством короткого кабеля. Чем более реактивным становится эквивалентный выходной импеданс источника напряжения, тем большее

влияние на сигнальную цепь оказывают импульсные сквозные токи и ёмкостные наводки. Также к *источникам напряжения* относят согласованную длинную линию, например, радиочастотный кабель. Согласование производится низкоомными резисторами. Выход такого источника можно назвать качественным *источником напряжения*, поскольку для сигнальной цепи, благодаря согласованности длинной линии, соблюдается энергетическая оптимальность при передаче. ▶

Основными параметрами источника напряжения являются:

- диапазон выходных напряжений;
- внутреннее сопротивление;
- максимальный выходной ток;
- полярность;
- максимальная ёмкостная нагрузка.

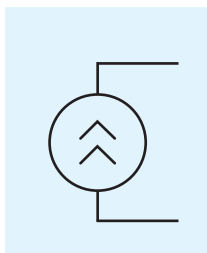


Рис. 5. Символ источника тока

Классическим *источником тока* (рис. 5) можно считать высокоомный генератор тока, внутреннее сопротивление которого больше сопротивления нагрузки в рабочей полосе частот сигнала. Основными параметрами источника тока являются:

- диапазон выходного тока;
- полярность;
- запас по напряжению (максимальное напряжение, которое может выдать источник при максимальном сопротивлении нагрузки);
- внутреннее сопротивление.

Типичным *источником заряда* (рис. 6) является пьезодатчик, имеющий ёмкостной характер внутреннего импеданса. В подавляющем большинстве приложений постоянная составляющая заряда не представляет интереса, поэтому будем рассматривать этот источник, как источник переменного заряда. Перечислим параметры электросовместимости источника заряда:

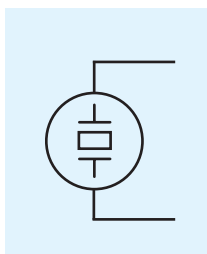


Рис. 6. Символ источника заряда

- диапазон выходного заряда;
- суммарная ёмкость источника заряда и ёмкости кабеля (у пьезодатчика от суммарной ёмкости заряд не зависит, тем не менее в параметрах усилителя заряда нередко оговаривается максимальная ёмкость источника заряда);
- рабочий диапазон частот;
- сопротивление изоляции кабеля и датчика;
- качество экранирования источника заряда – это прежде всего качество проводящей поверхности экрана (малейший просвет экранирующей поверхности – это паразитная ёмкость относительно внешней среды, через которую в сигнальную цепь инжектируется паразитный переменный заряд).

Источником с переменным во времени выходным сопротивлением – это источник сигнала, содержащий коммутатор (ключ), переключающий какие-либо цепи с током. Например, это могут быть различные схемы включения в токовую цепь датчиков на основе контактных пар, а также на основе релейных, опторелейных, транзисторно-ключевых элементов. Цифровые логические выходы с «третьим состоянием» также можно отнести к этому типу. Анализ характеристик электросовместимости таких источников сигналов следует производить для каждого состояния коммутации в отдельности. Причём в одном состоянии источник может иметь, к примеру, признаки источника напряжения, а в другом – источника тока.

Классификация источников по наличию заземления

Заземлённый источник – это источник, гальванически связанный с землёй. Если для однофазного источника (рис. 7)

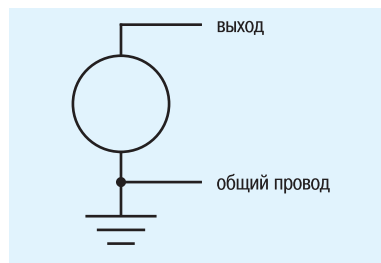


Рис. 7. Однофазный заземлённый источник сигнала

источник заряда; источники напряжения и тока бывают либо заземлёнными, либо изолированными.

Типичный случай *заземлённого источника* – выход массивного прибора, например, генератора, общий провод которого соединён с незаземлённым корпусом. Такой источник сигнала можно считать заземлённым (в смысле сигнального заземления, а не защитного).

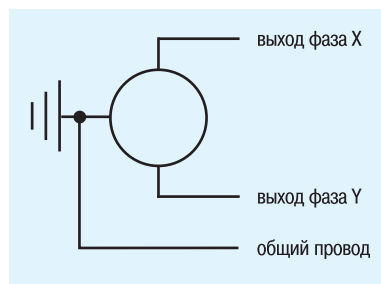


Рис. 8. Дифференциальный заземлённый источник сигнала

В отличие от заземлённого источника *изолированный (незаземлённый) источник* не связан с землёй. Примеры: термopара, изолированная обмотка трансформатора. Примечательно, что однофазный изолированный источник, например, термopара, не является *дифференциальным*, но при этом симметричен, поскольку обладает свойством симметрии выходов по отношению к внешней среде, например, к паразитной ёмкостной связи, относительно внешней гальваноразвязанной цепи, в частности, к земле.

Классификация источников по числу фаз

Дифференциальный (двухфазный) источник (рис. 9) всегда содержит в себе два противофазных источника сигнала. Всего у этого источника три выходных провода – две симметричных фазы и один общий. Дифференциальными могут быть не только выходы напряжения, но и выходы тока, а также выходы заряда. Информационная (дифференциальная, противофазная) составляющая дифференциального выхода всегда приложена между симметричными фазами, а помеховая (синфазная) составляющая оказывается одинаково (синфазно) приложена к обоим выходам фаз относительно общего провода. Перечислим параметры дифференциального выхода, важные с позиции электросовместимости с внешними устройствами:

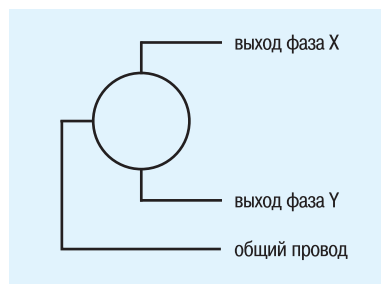


Рис. 9. Дифференциальный источник сигнала

- диапазон дифференциальных и синфазных выходных напряжений;
- дифференциальное и синфазное внутреннее сопротивление (в рабочей полосе частот и на высокой частоте).

Синфазная составляющая дифференциального выхода напряжения иногда содержит постоянное напряжение смещения, вызванное схемотехникой самого прибора, например, когда в нём используется внутренний однополярный источник питания. В случае дифференциального выхода тока часто (но не всегда) сами источники тока в каждой фазе тока являются однополярными и синфазная составляющая тока (сумма токов обеих фаз) является величиной достаточно постоянной и далеко не нулевой.

Пример дифференциального выхода заряда – это пьезодатчик, у которого пьезокристалл имеет два симметричных выхода фаз, а общим проводом является сплошной токопроводящий экран вокруг датчика и его кабеля. Экран симметрично образует ёмкость относительно проводов фаз и, таким образом, в образованной системе из трёх ёмкостей заряд пьезокристалла имеет дифференциальную природу по отношению к экрану.

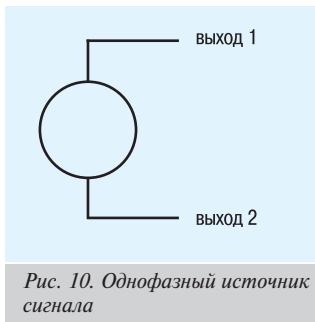


Рис. 10. Однофазный источник сигнала

К однофазным источникам сигнала (рис. 10) относятся большинство простых источников сигнала, имеющих два полюса, а попросту говоря, всего два выходных провода.

Дифференциальный с ложной второй фазой (ДЛВФ) источник напряжения (рис. 11) – это однофазный источник с внутренним сопротивлением R_{src} , который дополнен эквивалентом второй фазы с нулевым выходным напряжением. При этом выходное сопротивление ложной фазы $R_{src} + R_1$ обычно стремятся сделать равным выходному сопротивлению истинной фазы для того, чтобы достичь приблизительной симметрии выходного импеданса фаз по отношению к общей аддитивной (синфазной) помехе. Образование ложной второй фазы имеет смысл, когда требуется наилучшим образом соединить одно-

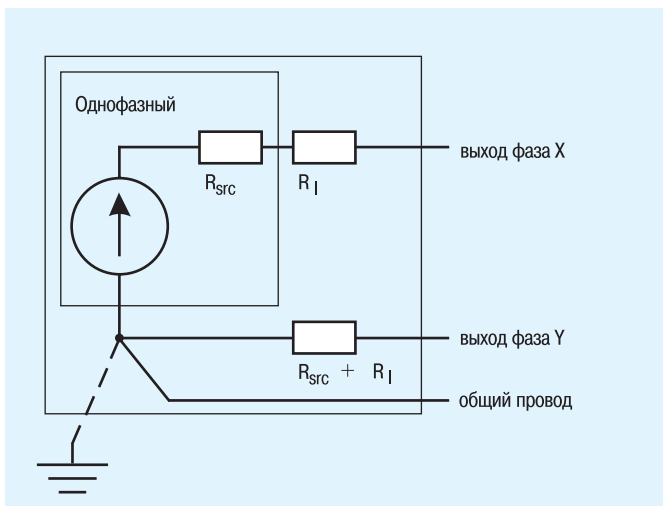


Рис. 11. ДЛВФ – источник напряжения

фазный источник напряжения с дифференциальным входом прибора, используя трёхпроводное подключение. Принципиально ДЛВФ источник напряжения может быть заземлённым, но только в точке, как показано на рис. 11.

По наличию экранирующей поверхности

Здесь подразумевается электростатический, а не электромагнитный экран.

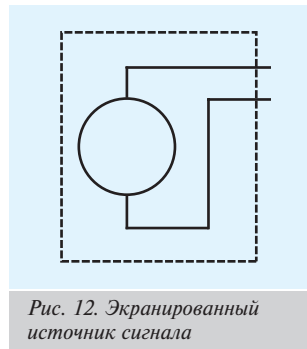


Рис. 12. Экранированный источник сигнала

Экран и экранированный источник сигнала (рис. 12) имеют сплошной внешний токопроводящий контур, который называется экранирующей цепью. Вообще, электростатический экран – это токопроводящая оболочка любой системы. Источники напряжения и тока встречаются как экранированные, так и неэкранированные, в то время как источник заряда всегда должен быть экранирован. Системный интегратор должен точно знать:

- корпус – это то же самое, что экран?
- общий провод – это то же самое, что экран?

Поясним, что само понятие *экран* возникло из-за того, что пользователю не хватило понятий «корпус» и «общий провод» для того, чтобы бороться с внешней помехой, наводившейся на высокочувствительные входы: нужно было изобрести некую поверхность, которая, с одной стороны, являлась бы продолжением корпуса, а с другой стороны, чтобы по ней не текли корпусные токи, которые и создавали помехи на высокочувствительные входы.

В то же время «общим проводом» эту поверхность тоже не назовёшь, поскольку входов может быть много и каждый вход для обеспечения взаимной независимости должен иметь индивидуальную подводку общего провода, а защитная поверхность требовалась одна. И было решено назвать эту поверхность *экраном*.

Итак, *экран* в изначальном понимании – это защитная токопроводящая оболочка системы, по которой не текут корпусные токи и токи общих проводов сигнальных цепей.

В реальных устройствах сплошь и рядом в той или иной степени, нарушаются эти принципы, выдавая за экран то, что получилось на практике. Например, в обычном одножильном коаксиальном кабеле оплётка выполняет роль экрана и нулевого провода, или корпуса разъёмов коаксиальных кабелей часто соединяются непосредственно с корпусом прибора и с оплёткой кабеля. Получается, что в этом размере корпус, экран и общий провод сигнальной цепи – это слаборазличимые понятия.

Автор ни в коем случае не утверждает, что так соединять коаксиальный кабель в приведённых примерах нельзя. Просто выбирая тот или иной способ подключения экрана, нужно всегда отдавать себе отчёт в том, какой ток течёт через экран и будет ли он вредить сигнальной цепи, потому что идеальный экран тот, по которому ток вообще не течёт! В этой статье, когда речь заходит об *экранированном источнике*, то подразумевается, что и сам источник, и кабель, идущий от него, физически экранированы. В реальной ▶

Таблица. Классификация источников сигналов

Источник сигнала	По характеру внутреннего сопротивления	По наличию заземления	По числу фаз	По наличию экранирующей поверхности	По полярности сигнала
2 провода от термопары	источник напряжения	изолированный	однофазный	неэкранированный	двухполярный (общий случай)
3 провода изолированной обмотки трансформатора со средней точки	источник напряжения	изолированный	дифференциальный	неэкранированный	двухполярный
Коаксиальный выход низкочастотного измерительного прибора	источник напряжения (в большинстве случаев)	заземлённый	однофазный	экранированный	одно- или двухполярный
Экранированная витая пара с заземленным экраном от удалённого выхода (общий случай)	определяется в зависимости от выходного сопротивления удалённого прибора	заземлённый	дифференциальный	экранированный	одно- или двухполярный
Экранированный провод от источника заряда	источник заряда	как правило заземлённый	однофазный	экранированный	двухполярный

жизни часто встречается ситуация, когда экранирован только кабель (например, в случае применения датчиков, которые принципиально не могут быть экранированы). Такой источник сигнала тоже можно отнести к экранированному типу.

Неэкранированным можно назвать источник сигнала, не имеющий окружающего токопроводящего контура. Если имеющийся токопроводящий контур не является экраном, то источник также не экранирован.

По полярности источника сигнала

Очевидно, что физическая величина (напряжение, ток, заряд) на выходе источника может принимать однополярное или двуполярное значение. В зависимости от этого источник называется однополярным или двуполярным. Большинство однофазных источников тока – однополярные.

Примеры применения предложенной классификации типов источников сигнала приведены в таблице. ■

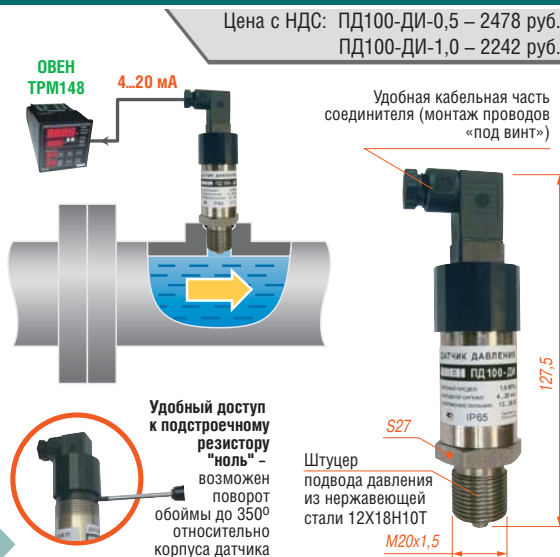


НОВИНКА!

www.owen.ru

Преобразователь избыточного давления ПД100-ДИ

Применяется в распределительных сетях ЖКХ (вода, тепло), на тепловых пунктах, компрессорных станциях, в пищевой промышленности и др.



- Измерение избыточного давления воздуха, пара или жидкости и преобразование его в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА
- Верхний предел измеряемого давления – 100 МПа
- Класс точности: ±0,5 % (ПД100-ДИ-0,5) или ±1,0 % (ПД100-ДИ-1,0)
- Диапазон рабочих температур –40...95 °С
- Возможность перегрузки по давлению в 2 раза
- Высокие показатели временной стабильности выходного сигнала
- Степень защиты корпуса – IP65

- Возможно изготовление датчика с трубной резьбой по спец. заказу