

ДАТЧИКИ ГАЗА ФИРМЫ FIGARO

Н.О.Игнатьева

тел. (095) 737-59-99, natign@platan.ru

Фирма Figaro Engineering Inc. (Япония) является одним из мировых лидеров по производству датчиков детектирования и определения концентрации газов и газовых примесей в составе воздуха. Весь производственный процесс, включающий разработку новых типов датчиков, их изготовление и тестирование, имеет международный сертификат качества ISO 9001, который гарантирует потребителям хорошие технические параметры датчиков, а также их надежность и стабильность в эксплуатации. Объем производимой продукции Figaro на сегодняшний день составляет 1 миллион датчиков в месяц. Среди потребителей датчиков Figaro – такие известные мировые компании как BMW, Mitsubishi Heavy Industries, General Motors, Daikin и др.

Первое место по потреблению датчиков Figaro среди сегментов мирового рынка (более 40% от объема продаж) занимают бытовые детекторы утечки природного газа в домах, оборудованных газовыми плитами или газовыми системами отопления. В Японии обязательное требование наличия подобных устройств закреплено законодательно в целях обеспечения безопасности населения. И хотя в России принятие таких законодательных актов даже не планируется, тем не менее вопрос обеспечения безопасности жилищ особенно актуален в нашей стране в связи с распространенностью газа в быту и участившимися в последние годы случаями утечки и взрывов газа в разных регионах России. Второе место по потреблению датчиков Figaro (ок. 20%) занимает производство воздухоочистителей, кондиционеров и систем вентиляции помещений. На третьем месте (15%) – приложения автомобильной электроники, такие как системы кондиционирования и климат-контроль салона, детекторы взрывоопасных газов для газовых двигателей и др. Это направление также представляется перспективным для российского рынка. Более подробно области применения датчиков Figaro приведены в таблице 1.

Таблица 1. Области применения датчиков Figaro.

Назначение	Модели	Товары массового потребления	Промышленные изделия
Детекторы взрыво-опасных газов - метан - пропан - водород - другие	TGS842, TGS2611 TGS813, TGS2610 TGS821, TGS2620 TGS813, TGS2610	Детекторы утечки газа в домах и гаражах	Детекторы утечки газа на предприятиях общепита Системы для выявления утечки газа в офисных помещениях, на промышленных предприятиях, береговых и надводных нефтяных платформах Портативные детекторы утечки газа
Детекторы токсичных газов - угарный газ (CO) - аммиак - сероводород	TGS203, TGS2442 TGS826 TGS825	Детекторы угарного газа в домах, гаражах, бытовых системах противопожарной безопасности	Системы обнаружения СО в местах парковки и гаражах Обнаружение утечки аммиака в холодильных установках Детекторы аммиака в сельском хозяйстве Системы анализа газов на промышленных предприятиях Портативные газоанализаторы

Назначение	Модели	Товары массового потребления	Промышленные изделия
Контроль вентиляции салона автомобиля - выхлопы бензина - выхлопы дизельного топлива	TGS2104, TGS2201 TGS2106, TGS2201		Системы контроля вентиляции салона автомобиля
Детекторы алкоголя	TGS822, TGS2620	Бытовые алкогольные детекторы	Промышленные и медицинские алкогольные детекторы
Анализ состава органических растворителей	TGS822, TGS2620		Анализаторы для химчисток и предприятий, производящих полупроводниковые компоненты и изделия органической химии
Детекторы утечки фреона	TGS830, TGS831, TGS832		Детекторы утечки фреона для холодильных установок, кондиционеров
Пищевые испарения - алкоголь - водяной пар	TGS880, TGS2181 TGS883T, TGS2180	Микроволновые печи	
Контроль состояния воздуха - углекислый газ (CO ₂) - загрязнители воздуха	TGS4160 TGS800, TGS2100, TGS2600, TGS2602	Воздухоочистители Кондиционеры Системы вентиляции	Системы вентиляции в жилых и офисных зданиях, системы кондиционирования в автомобилях
Определение концентрации кислорода в воздухе	KE-25, KE-50	Кислородные датчики	Кислородные детекторы

Принцип действия датчиков газа и их типы

1. Датчики на основе оксида олова.

Принцип действия датчика основан на изменении электропроводности полупроводниковой пленки вследствие адсорбции газа на ее поверхности. На трубчатую подложку из оксида алюминия (рис. 1) нанесен тонкий слой оксида олова (SnO₂), легированного элементами, обладающими каталитическими свойствами (Pt, Cu, Ni, Pd), чтобы обеспечить более высокую чувствительность полупроводника к конкретному типу газа примеси. При нагреве сенсора до рабочей температуры (ок. 400°С) при помощи нагревательного элемента, выполненного в конструктиве с датчиком, происходит адсорбция содержащегося в воздухе кислорода на поверхность сенсора, имеющую мелкозернистую структуру. Протекание адсорбции зависит от концентрации газа примеси. В результате поверхностных эффектов изменяется электрическая проводимость сенсора. Отклик датчика выражается через изменение его сопротивления в зависимости от концентрации газа, изменяющего адсорбцию кислорода на материале сенсора. Быстрота отклика зависит от модели датчика и конкретного газа примеси.

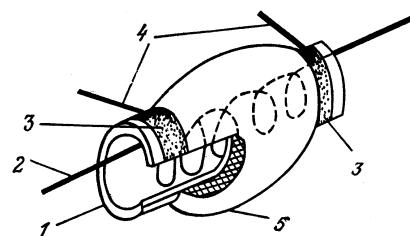


Рис. 1. Схема датчика на основе оксида олова.
1 – керамическая трубка держателя;
2 – резистивный нагреватель; 3 – электрод;
4 – зажимы; 5 – легированный оксид олова.

Соотношение между сопротивлением сенсора и концентрацией газа примеси задается выражением:

$$R = A [C]^{-\alpha},$$

где R – электрическое сопротивление сенсора, A , α – константы, $[C]$ – концентрация газа примеси. В соответствии с этой формулой зависимость сопротивления датчика от концентрации газа примеси линейна в логарифмическом масштабе для рабочего диапазона концентраций (от нескольких миллионных долей (ppm) до нескольких тысяч ppm). Датчик проявляет чувствительность к различным типам газов примеси одновременно, но оптимальная селективность к определенному типу обеспечивается, во-первых, путем ввода специальных легирующих добавок в оксид олова на этапе изготовления и, во-вторых, выбором рабочей температуры сенсора, что достигается подачей на нагревательный элемент определенного постоянного напряжения. На рис. 2 показаны примерные кривые чувствительности (в данном случае для TGS2611). По оси абсцисс представлена концентрация в логарифмическом масштабе, а по оси ординат – отношение сопротивления сенсора при соответствующей концентрации газа в окружающей среде (R_s) к его же сопротивлению, измеренному при концентрации метана 1000 ppm (R_o).

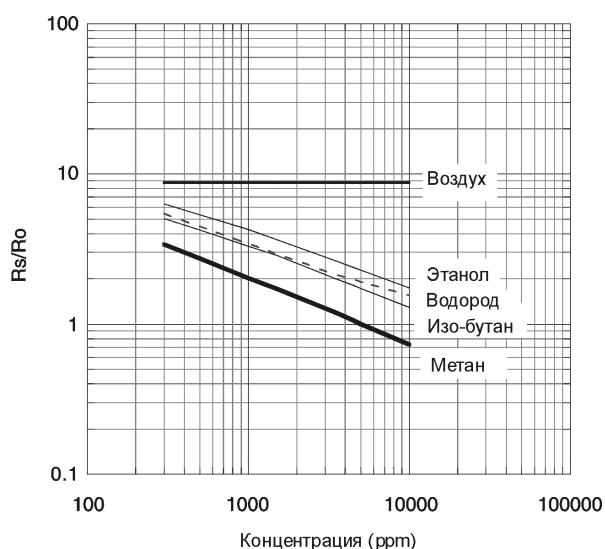


Рис. 2. Пример характеристик чувствительности датчика на основе оксида олова (TGS2611)

Схема подключения датчика достаточно проста (рис. 3). Выходной сигнал снимается с резистора R_L , с помощью которого можно также регулировать мощность потребления датчика в целях его защиты. Правильный выбор R_L способствует стабильности рабочих характеристик датчика. Поскольку принцип детектирования основан на химической адсорбции газов на поверхности, температура и влажность окружающей среды влияют на скорость протекания химической реакции и, как следствие, на чувствительность датчика. По этой причине на рис. 3 приведена схема температурной компенсации, включающая термистор и резисторы $R1$, $R2$ и $R3$.

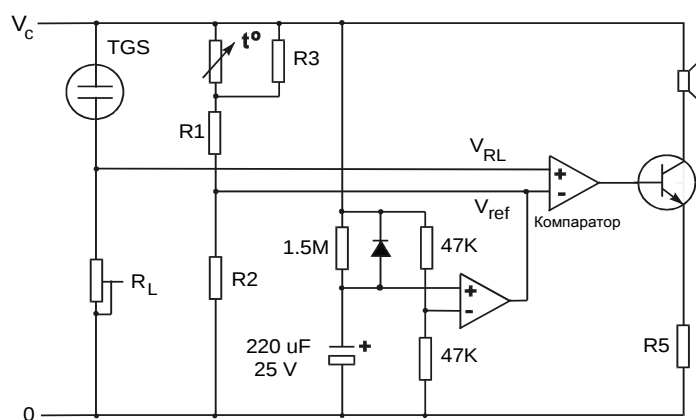


Рис. 3. Схема подключения датчика, изготовленного на основе оксида олова.

В настоящее время фирма Figaro выпускает два семейства датчиков на основе оксида металла – серия 8 и серия 2000, отличающаяся от предыдущей более современной технологией изготовления и конструкцией нагревательного элемента. Практически весь спектр выпускаемых датчиков, изготавливаемых на основе оксида металла, перечислен в таблице 2, а основные электрические параметры серий 8 и 2000 приведены в таблице 3.

Таблица 2. Датчики газа серий 8 и 2000.

Газ	Содержание газовой примеси в окружающей среде (ppm)	Модель (серия 8)	Модель (серия 2000)
<u>Взрывоопасные газы</u>			
Пропан	500 – 10 000 ppm	TGS813	TGS2610
Метан (природный газ)	500 – 10 000 ppm	TGS842	TGS2611
Водород	50 – 1 000 ppm	TGS821	TGS2620
<u>Токсичные газы</u>			
CO – угарный газ	50 – 1 000 ppm	TGS203	TGS2442
NH ₃ – аммиак	30 – 300 ppm	TGS826	
H ₂ S – сероводород	5 – 100 ppm	TGS825	
<u>Выхлопные газы</u>			
Выхлопы бензина	10 – 100 ppm		TGS2104, TGS2201
Выхлопы дизельного топлива	0.1 – 1 ppm		TGS2105, TGS2201
<u>Органические растворители</u>			
Пары алкоголя и др. летучие соединения	50 – 5 000 ppm	TGS822	TGS2620
<u>Фреоны</u>			
R-22, R-113	100 – 3 000 ppm	TGS830	
R-21-R-22	100 – 3 000 ppm	TGS831	
R-134a, R-22	100 – 3 000 ppm	TGS832	
<u>Загрязнители воздуха внутри помещений</u>	<10 ppm	TGS800	TGS2100 TGS2600, TGS2602
<u>Пищевые испарения</u>			
Алкоголь	10 – 1 000 ppm	TGS880	TGS2181
Водяной пар	1 – 150 г/м ³	TGS883T	TGS2180
Летучие пары			TGS2281

Таблица 3. Основные электрические параметры датчиков серий 8 и 2000.

Характеристика	Серия 8	Серия 2000
Напряжение, подаваемое на нагревательный элемент (НЭ) (V _Н)	5 В ± 0.2 В (AC/DC) Датчик TGS203 имеет существенные отличия: малое сопротивление НЭ (1.9 Ом) и два альтернативных режима работы: - с временем срабатывания 60с V _Н = 0.8 В ± 3% (AC/DC), - с временем срабатывания 90с V _Н = 0.25 В ± 3% (AC/DC)	5 В ± 0.2 В (AC/DC) TGS2442: V _Н = 5 В ± 0.2 В (DC, импульсный режим) TGS2104, TGS2105, TGS2201: V _Н = 7 В ± 0.35 В (DC)
Ток через нагревательный элемент	зависит от модели датчика (см. подробную тех. документацию)	
	диапазон значений: 132 мА – 200 мА	диапазон значений: 42 мА – 203 мА
Напряжение питания датчика (V _С)	≤ 24В (AC/DC) TGS203: ≤ 12В (AC/DC)	V _С = 5 В ± 0.2 В (DC) TGS2442: V _С = 5 В ± 0.2 В (DC, импульсный режим) TGS2104, TGS2105, TGS2201: V _С ≤ 15 В (DC)
Нагрузка	Подстроечный резистор	Подстроечный резистор
Потребляемая мощность датчика	≤ 15 мВт	≤ 15 мВт
Для корректной работы датчика необходимо согласовать измерительную схему с внутренним сопротивлением датчика, которое зависит от конкретной модели (см. подробную тех. документацию)		

2. Датчики на основе жидкого электролита для определения концентрации кислорода (KE-25, KE-50).

Чувствительным элементом кислородных датчиков является гальваническая ячейка с раствором электролита. Обычно в качестве электролита используется водный раствор щелочи калия (КОН), однако ему присущи ряд недостатков, среди которых малый срок годности и пониженная сопротивляемость к присутствию в газовой смеси углекислого газа. В датчиках Figaro применяется многокомпонентный электролитический раствор кислоты, созданный по оригинальной технологии, стойкий к воздействию газов (таких как CO_2), легко вступающих в реакцию окисления. Срок годности электролита кислотного типа десятикратно превышает срок годности щелочных электролитов.

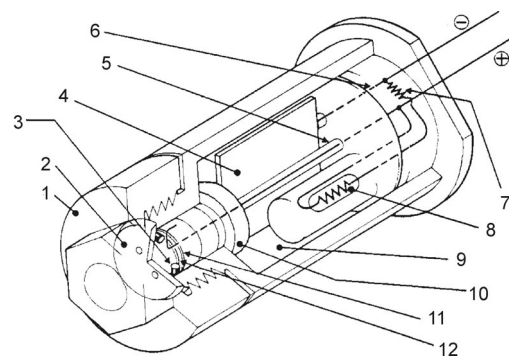


Рис. 4. Конструкция кислородного датчика. 1 – крышка (пластмасса), 2 – диск (пластмасса), 3 – кольцо, 4 – анод (свинец), 5 – контакт катода, 6 – контакт анода, 7 – резистор, 8 – термистор, 9 – электролит кислотного типа, 10 – диск из пористого материала, 11 – катод, 12 – мембрана (тефлон).

Конструкция кислородного сенсора включает в себя гальваническую батарею с анодом из свинца, кислородным катодом из золотой пленки и слабым раствором кислоты, служащим электролитом. На золотой электрод нанесена непористая тефлоновая мембрана. Молекулы кислорода проникают через мембрану и на поверхности катода вступают в электрохимическую реакцию с раствором электролита. Между катодом и анодом включены термистор, служащий для целей температурной компенсации, и резистор, с которого снимается напряжение, характеризующее ток, протекающий через электролит в результате электрохимической реакции. Величина тока линейно пропорциональна концентрации кислорода (строго говоря, его парциальному давлению) в измеряемой газовой смеси, контактирующей с мембраной, при этом снимаемое напряжение однозначно характеризует эту концентрацию и является выходным параметром датчика (рис. 5). На рис. 6 показана схема включения кислородного датчика с дополнительной схемой температурной компенсации (внешний термистор), при помощи которой может быть расширен рабочий температурный диапазон датчика.

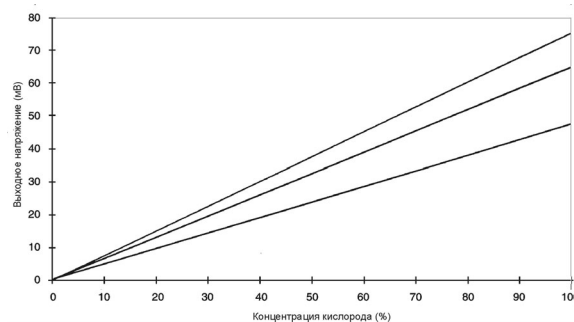


Рис. 5. Характеристика чувствительности датчика KE-25 (показан разброс значений вых. напряжения).

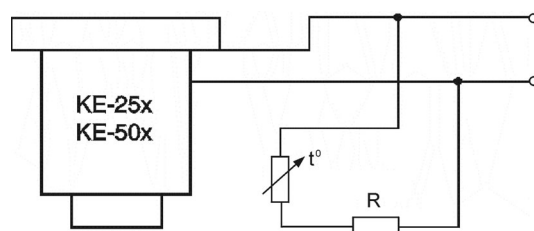
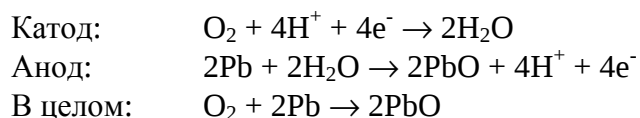


Рис. 6. Схема включения кислородного датчика с дополнительной схемой температурной компенсации.

На электродах сенсора с электролитом кислотного типа происходят следующие химические реакции:



В результате реакции на аноде образуется оксид свинца, который хорошо растворяется как в кислотной, так и в щелочной среде. Тем не менее способность электролита растворять оксид свинца ограничена, и если он не растворяется полностью, а остается на электроде, потенциал анода постепенно снижается, что приводит к ухудшению чувствительности датчика и выходу его из строя. Иными словами, срок службы датчика зависит от степени растворимости оксида свинца в электролите конкретного типа. Растворимость в кислотном электролите, созданном по оригинальной технологии, который применяется в датчиках Figaro, в 20 раз превышает растворимость оксида свинца в щелочном электролите.

Если в измеряемой газовой смеси присутствует углекислый газ, через мембрану проникает угольная кислота, которая, в случае щелочного электролита, вступает в реакцию с материалом анода с образованием нерастворимого карбоната свинца ($PbCO_3$), что постепенно приводит к выходу сенсора из строя. В кислотном электролите эта реакция не происходит, и присутствие углекислого газа в измеряемой смеси не влияет на характеристики датчика.

Технические характеристики кислородных датчиков представлены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики датчиков KE-25 и KE-50.

Параметры	KE-25	KE-50
Диапазон концентраций кислорода в воздухе	0 – 100 %	
Точность	1%	2%
Задержка отклика (90%)	12 с	60 с
Срок службы	5 лет	10 лет
Стандартный температурный диапазон	+5°C - +40°C	
Давление воздуха	0.5 – 1.5 атм	

3. Датчик на основе твердого электролита для определения концентрации углекислого газа (TGS4160).

Датчик на CO_2 представляет собой гибридную структуру из чувствительного элемента (рис. 7) и внутреннего термистора. Сенсор, чувствительный к углекислому газу, состоит из твердого электролита, заключенного между двумя электродами, носителями заряда в котором являются катионы натрия (Na^+), а также нагревательного элемента, выполненного в виде платиновой подложки. Катод (электрод сравнения) изготавливается из карбоната лития и золота, анод (измерительный электрод) — из золота. Внутренний термистор служит для компенсации температурной зависимости сенсора. При помещении в среду с углекислым

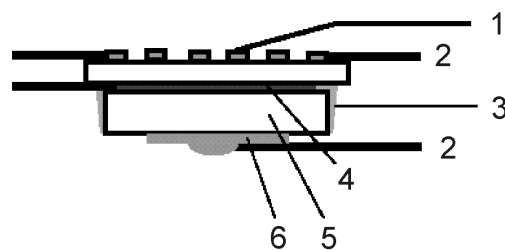
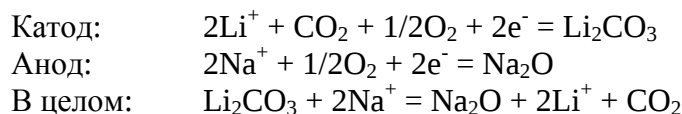


Рис. 7. Конструкция чувствительного элемента датчика на основе твердого электролита. 1 – нагревательный элемент (платина), 2 – контакты, 3 – герметизация (стекло), 4 – измерительный электрод (анод), 5 – твердый электролит, 6 – электрод сравнения (катод)

газом на электродах сенсора происходят следующие электрохимические реакции:



В результате электрохимической реакции элемент создает разность потенциалов (ЭДС), являющуюся откликом датчика и выражающуюся по закону Нернста следующим образом:

$$\text{ЭДС} = E_c - (RT/2F)\ln(P(\text{CO}_2))$$

где E_c – константа, R – универсальная газовая постоянная, F – постоянная Фарадея, T – абсолютная температура (K), $P(\text{CO}_2)$ – парциальное давление углекислого газа.

Измерительная схема (рис.8). Для того чтобы поддерживать оптимальную температуру сенсора, на нагревательный элемент подается напряжение. Выходной сигнал датчика (ЭДС) преобразуется с использованием операционного усилителя с высоким импедансом (более 100 ГОм) и малым током смещения (менее 1 пкА) (AD795). Поскольку датчик на твердом электролите представляет собой батарею, при использовании подобной схемы абсолютное значение ЭДС будет флуктуировать, но при этом изменение величины ЭДС происходит в соответствии с изменением концентрации углекислого газа в среде. Для того чтобы обеспечить максимальную точность измерений, фирма Figaro предлагает специально разработанный для этих целей измерительный модуль, содержащий микропроцессор для цифровой обработки сигнала. На рис. 9 показаны графики чувствительности датчика TGS4160 к различным газам. Регистрируемым параметром является разность между значением ЭДС при концентрации углекислого газа 350 ppm (ЭДС1) и значением ЭДС при текущем значении концентрации (ЭДС2):

$$\Delta \text{ЭДС} = \text{ЭДС1} - \text{ЭДС2}.$$

Как видно из рис. 8, датчик TGS4160 дает хорошую линейную зависимость между $\Delta \text{ЭДС}$ и концентрацией углекислого газа (в логарифмическом масштабе), тогда как для угарного газа (CO) и этанола ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) значение $\Delta \text{ЭДС}$ с ростом концентрации не изменяется.

Технические параметры датчика определения концентрации углекислого газа, изготавливаемого на основе твердого электролита, приведены в таблице 5.

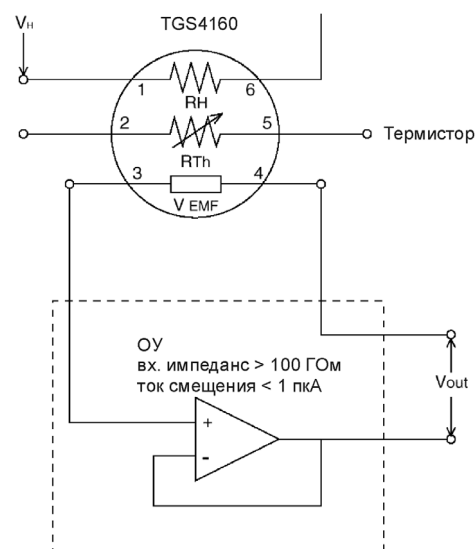


Рис. 8. Схема включения датчика TGS4160 для измерения концентрации углекислого газа.

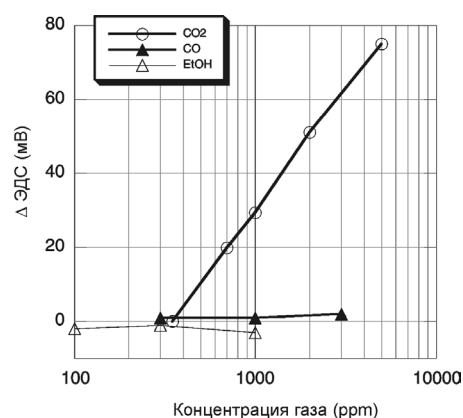


Рис. 9. Чувствительность датчика TGS4160 к различным газам.

Таблица 5. Характеристики датчика TGS4160.

Параметр	TGS4160
Диапазон концентраций	300 – 5 000 ppm
Напряжение, подаваемое на нагревательный элемент (V_H)	5.0 ± 0.2 В (DC)
Ток через нагревательный элемент	~ 250 мА
Сопротивление нагревательного элемента (комн. т-ра) (R_H)	11.5 ± 1.1 Ом
Потребляемая мощность нагревательного элемента	~ 1.25 Вт
Сопротивление встроенного термистора	100 кОм $\pm 5\%$
Константа В встроенного термистора	$3450 \pm 2\%$
Рабочие условия окружающей среды	$-10^\circ\text{C} - +50^\circ\text{C}$, отн. влажн. до 95%



осуществляет продажу со склада, поставку на заказ и техническое сопровождение всех датчиков и отладочных модулей Figaro. Наличие на складе и цены можно узнать на сайте www.platan.ru или у менеджера по продукции Figaro (e-mail: figaro@platan.ru).

Литература

1. Ж. Аш с соавторами. Датчики измерительных систем. // М. «Мир». 1992. Т.2. С. 380 – 395.
2. <http://www.figarosensor.com>

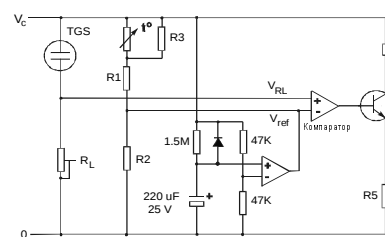
- датчики определения концентрации для широкого диапазона газов: метан, пропан, кислород, углекислый газ, пары бензина, алкоголя и др.
- устройства калибровки датчиков
- модули измерения концентрации газов с микропроцессором для обработки данных



ДАТЧИКИ ГАЗА

Газ, содержание газовой примеси в окружающей среде (ppm = 10 ⁻⁶)	Тип датчика	Калибровочные и измерительные модули	Применение
Взрывоопасные газы - метан (500-10 000 ppm) - пропан (500-10 000 ppm) - водород (50-1 000 ppm) - другие	TGS842, TGS2611 TGS813, TGS2610 TGS821, TGS2620 TGS813, TGS2610	NGM2611 (калибр.) LPM2610 (калибр.)	Детекторы утечки газа в домах, гаражах, офисных и промышленных помещениях. Портативные детекторы утечки газа
Токсичные газы - угарный газ (50-1 000 ppm) - аммиак (30-300 ppm) - сероводород (5-100 ppm)	TGS203, TGS2442 TGS826 TGS825	COM2442 (измер.)	Системы противопожарной безопасности. Детекторы утечки аммиака в холодильных установках. Портативные газоанализаторы.
Выхлопные газы - бензина (10-100 ppm) - дизельного топлива (0.1-1 ppm)	TGS2104, TGS2201 TGS2106, TGS2201		Системы контроля вентиляции салона автомобиля.
Алкоголь (50-5 000 ppm)	TGS822, TGS2620		Промышленные, бытовые и медицинские детекторы алкоголя.
Органические растворители (50-5 000 ppm)	TGS822, TGS2620		Анализаторы для химистов и предприятий, производящих и изделия органической химии.
Хладагенты - R-22 (100-3 000 ppm) - R-134a (100-3 000 ppm)	TGS830, TGS831 TGS832		Детекторы утечки хладагента в холодильных установках, кондиционерах.
Пищевые испарения - алкоголь (10-1 000 ppm) - водяной пар (1-150 г/м ³)	TGS880, TGS2181 TGS883T, TGS2180		Микроволновые печи.
Контроль состояния воздуха - углекислый газ (300-5 000 ppm) - загрязнители воздуха (<10 ppm)	TGS4160 TGS800, TGS2100, TGS2600 TGS2602	AM-4 (измер.) AMS800 (калибр.), AM-1-800 (измер.) AMS2100 (калибр.), AM-1-2100 (измер.) AMS2600 (калибр.), AM-1-2600 (измер.)	Воздухоочистители, кондиционеры, в т.ч. автомобильные, системы вентиляции.
Кислород (0-100%)	KE-25, KE-50		Кислородные детекторы.

ДИАПАЗОН ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК		
Параметры	Серия TGS8xx	Серия TGS2xxx
Напряжение, подаваемое на нагревательный элемент (НЭ)	5 В ± 0.2 В (AC/DC)	5 В ± 0.2 В (AC/DC)
Ток через НЭ	132 мА – 200 мА	42 мА – 203 мА
Напряжение питания	≤ 24В (AC/DC)	V _c = 5 В ± 0.2 В (DC)
Нагрузка	Подстроечный резистор	Подстроечный резистор
Потребляемая мощность	≤ 15 мВт	≤ 15 мВт



На рисунке показана типичная схема подключения датчика серий TGS8xx и TGS2xxx. В этой мостовой схеме при повышении концентрации газа сопротивление датчика уменьшается, а напряжение на резисторе R_L увеличивается. При определенном напряжении компаратор срабатывает, и включается сигнал оповещения. Благодаря включению термистора, работа датчика не зависит от температуры окружающей среды. Изменением сопротивления резистора R_L схему можно настроить на требуемую концентрацию газа.

ДАТЧИКИ НА КИСЛОРОД		
Параметры	KE-25	KE-50
Диапазон концентраций кислорода в воздухе	0 – 100 %	
Точность	1%	2%
Задержка отклика (90%)	12 с	60 с
Срок службы	5 лет	10 лет
Станд. темп. диапазон	+5°C - +40°C	
Давление воздуха	0.5 – 1.5 атм	

ДАТЧИК НА УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ	
Параметр	TGS4160
Диапазон концентраций	300 – 5 000 ppm
Напряжение НЭ	5.0 ± 0.2 В (DC)
Ток через НЭ	~ 250 мА
Сопротивление НЭ (комн. т-ра)	11.5 ± 1.1 Ом
Потребляемая мощность НЭ	~ 1.25 Вт
Рабочие условия окружающей среды	-10°C - +50°C, отн. влажн. до 95%