
СЕНЗОРНИ СХЕМИ И УСТРОЙСТВА

ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ

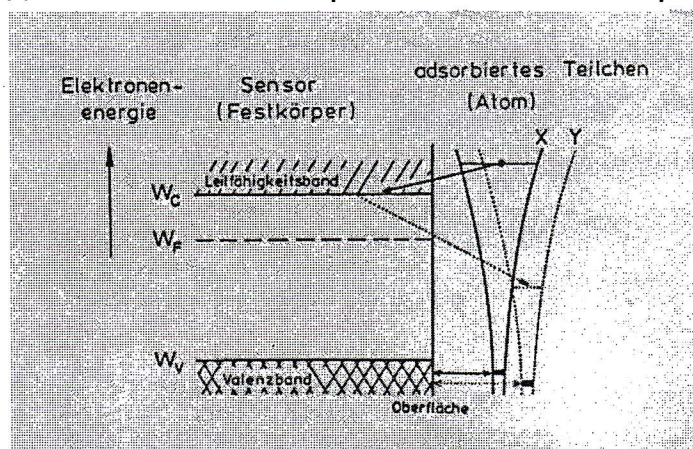
3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ГАЗОВИ СЕНЗОРИ

3. Газови сензори

3.1. Полупроводникови газови сензори

3.1.1. Сензорен ефект

Теоретичните постановки свързани с полупроводниците базират на разглеждания на енергийни нива. Нивото на Ферми W_F , регулира възможностите за преход на електрони от валентното ниво (W_V) към нивото на проводимост W_C . При наличие на адсорбция на атоми (молекули) на повърхността на полупроводника, в зависимост от състоянието на външната електронна обвивка може да се стигне до обмен на електрони със слоя на проводимост.



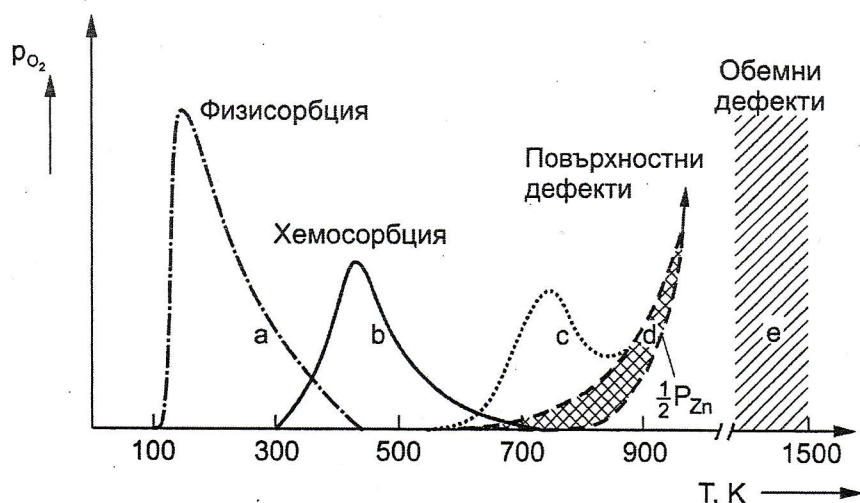
Фиг. 3.1. Схематично представяне на обмена на електроните между адсорбираните атоми и повърхността на полупроводник, използван като газов сензор. С X са означени донори на електрони (предизвикващи повишаване на проводимостта), с Y – акцептори на електрони (предизвикващи понижаване на проводимостта)

сензорния елемент, което налага и отделното разглеждане на тези две групи сензори.

Донорите на електрони (напр. редуциращи газове) водят до повишаване, а акцепторите на електрони (напр. окисляващи газове) – съответно до понижаване на повърхностната проводимост на полупроводника.

Този механизъм е онагледен на фиг. 3.1 и се използва и при газовите полупроводникови сензори.

Подобни механизми на проводимост могат да се осъществяват и във вътрешността на



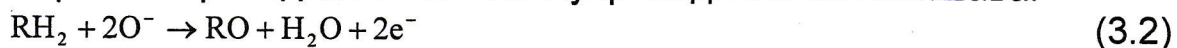
Фиг. 3.2. Взаимодействие на кислорода с кристал ZnO . Температурната зависимост на парциалното налягане p_{O_2} се дължи на различни десорбционни механизми.

Пример:

Първата стъпка при сензорната реакция е адсорбирането на кислорода:



На повърхността на полупроводника е налице обедняване на електрони, което води до намалена проводимост. При взаимодействие с редуциращ газ RH_2 се получава обогатяване с електрони и проводимостта на полупроводника се повишава:

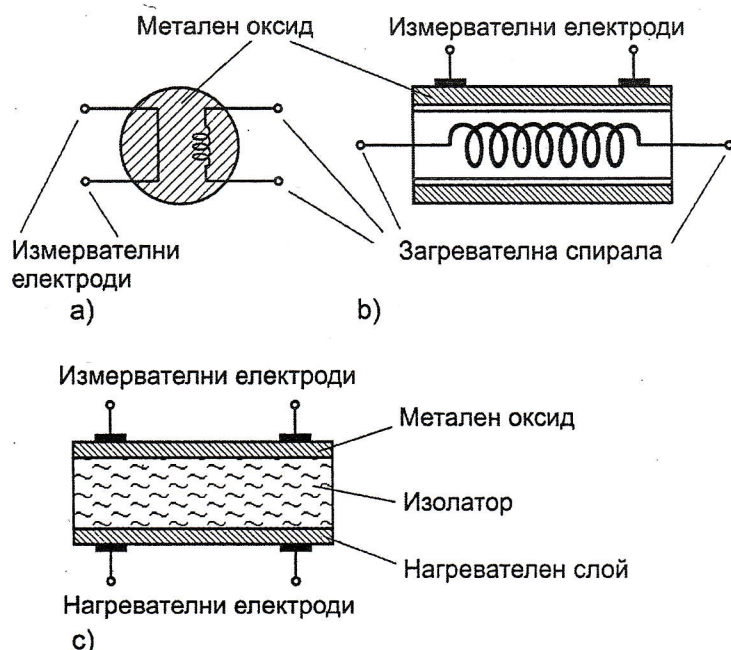


Друго важно обстоятелство е, че чрез дотиране на полупроводникови оксиди може да се отмести нивото на Ферми, което силно може да повлияе на взаимодействието между полупроводникови материали и газове, а оттук и да се създават сензорни материали, чувствителни към различни газове.

Наред с разглежданите дотук неорганични полупроводници, също и органични играят важна роля при създаването на материали за производство на газови сензори. Това се отнася особено за метални комплекси на Phtalosyanins, използвани основно за измерване концентрации на газове, действащи като акцептори на електрони (оксидиращи газове като NO_2 , Cl_2 и O_3).

Взаимодействията между анализирувания газ и повърхността на сензора могат да са много разнообразни. На фиг. 3.2 са показани различни механизми на взаимодействие между полупроводников кристал ZnO с кислород.

3.1.2. Сензори с повърхностна проводимост



Фиг. 3.3. Форми на реализация на полупроводникови метал-оксидни газови сензори: а) с форма на перла; б) с цилиндрична форма и с) тънкослойни

При тази група ще бъдат разгледани първо т.нар. Tagushi-или Figaro-сензори. Те са използвани първоначално за предпазване от аварии във взривоопасна среда (особено строги предписания, съществували в Япония). За това приложение се изисква висока чувствителност и слабата повторемост на характеристиките на сензорите не е от особено значение.

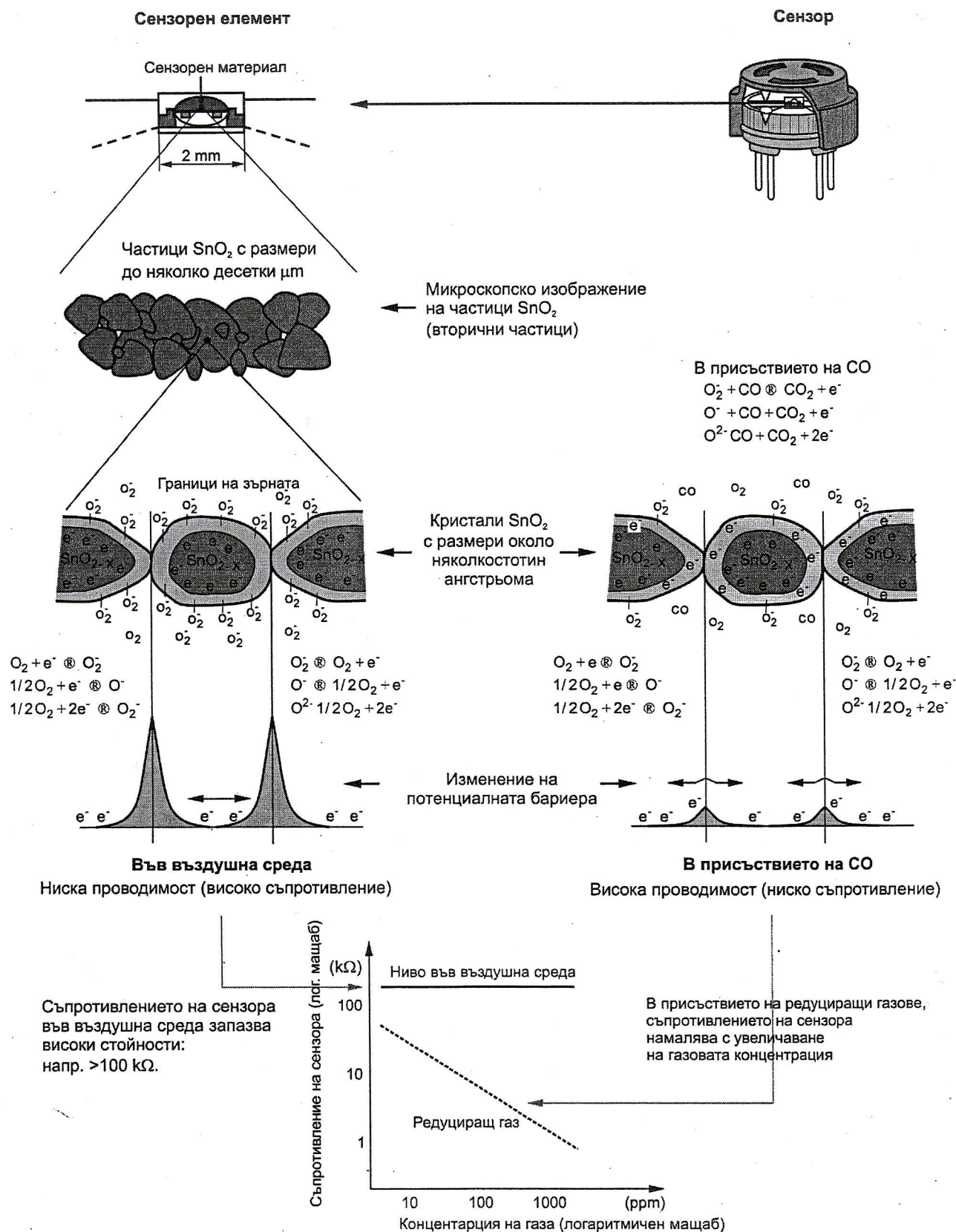
Редица разработки понастоящем са насочени към подобряване основните характеристики на сензорите и разширяване областите на приложение. За подобряване на характеристиките се използва методи като принудително стареене и модулиране/изменение/... на работната температура.

За сензора TGS 812 са изведени уравнения за изменението на проводимостта в зависимост от парциалните налягания на изследвани газове. За работни температури 400 °C се получават следните зависимости:

Метан:	$\frac{G}{G_A} = 13 \cdot \left(\frac{p_{CH_4}}{p_{CH_4,0}} \right)^{0,35}$	(3.3)
--------	--	-------

Въглероден диоксид:	$\frac{G}{G_A} = 12 \cdot \left(\frac{p_{CO}}{p_{CO,0}} \right)^{0,38}$	(3.4)
---------------------	--	-------

Водород:	$\frac{G}{G_A} = 157 \cdot \left(\frac{p_{H_2}}{p_{H_2,0}} \right)^{0,49}$	(3.5)
----------	---	-------



Фиг. 3.4. Схематично представяне на обмена на електроните между адсорбираните атоми и повърхността на полупроводник, използван като газов сензор.

Като обобщение може да се каже, че за тези сензори липсват достатъчно задълбочени изследвания по отношение на грешки при измерванията и дрейф на параметри, но могат да се направят следните обобщаващи заключения:

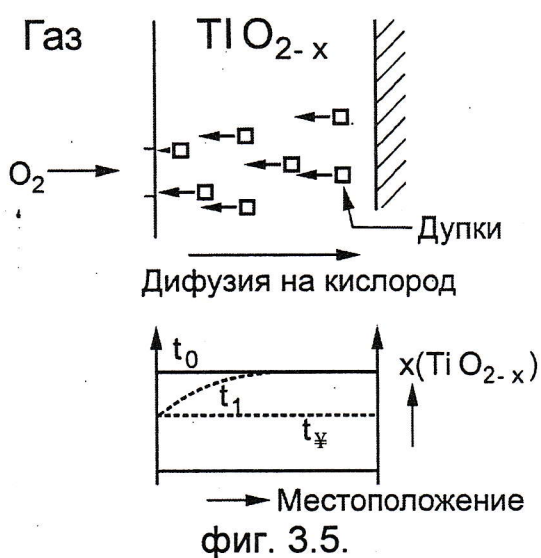
- Чувствителността им се счита за (много) добра,
- Към селективността им могат да се повдигнат множество изисквания. Във тази връзка се дискутира и включването на филтри. Напр. използването на активен въглен редуцира смущаващото въздействие на NO_x при измерване концентрация на CO .
- Стабилността при продължителна работа е незадоволителна. Поради високата температура в нормален режим на работа се стига до разделяне на компонентите и нарастване на нехомогенността, която е значителна и в начално състояние.
- Времената на нарастване при въздействие на газ са относително добри – от порядъка на 30 – 90 s. Но времената на спадане при възстановяване на сензора са значително по дълги. Наблюдава се ясно изразен хистерезис.
- Начина на свързване и използваните методи за измерване могат значително да повлияят резултатите. Според редица изследвания измерването на проводимостта с променливо напрежение дава по-добри резултати, отколкото с постоянно.
- За реализирането на мултисензорни системи е необходимо понижаване на значителния дрейф на сензорните характеристики.

3.1.3. Сензори с обемна проводимост

При тази група сензори при генерирането на полезния сигнал взема участие не само повърхността, но и целия обем на сензора.

За сензорни материали се използват някои оксиди като TiO_2 или оксидни съединения като MgCoO_4 или титанати MeTiO_3 ($\text{Me} = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}$). При такива материали при високи температури в зависимост от парциалното налягане на кислорода в газовата смес, в която е поставен сензора се променя стехиометричният състав и броя на дупките в кристалната решетка. Въз основа на това се изменя и проводимостта в рамките на сензорната реакция.

Така например TiO_2 при 900°C и парциално налягане на кислорода 1 bar има определен стехиометричен състав. При много ниски парциални налягания (от порядъка на 10^{-10} bar) в оксида се получава дефицит на кислород x , означен като TiO_{2-x} . Дефицитът на кислородни йони се дава/означава като съответен брой незаети места кислород (дупки) или с Ti^{3+} йони в кристалната решетка. Под въздействието на електрическо поле се поличава, обусловено от съответните транспортни механизми, уравновесяване на товарите (фиг. 3.5). На това се основава сензорната реакция, при която се изменя проводимостта.



Забележително е, че изменението на кристалната решетка може да доведе до принципно различно поведение на сензора. Така например, титанатите имат р-проводимост при високо кислородно парциално налягане, обусловена от концентрацията на дупки. Тази проводимост намалява с намаляване на парциалното налягане на кислорода. Но при ниско парциално налягане на кислорода концентрацията на

електроните надхвърля тази на дупки и сензорният материал е п-проводящ. Тогава проводимостта нараства с намаляване на парциалното налягане на кислорода. Така се стига до температурно зависим минимум на проводимостта във функция от парциалното налягане на кислорода.

Подобно поведение имат и други оксиди с р-проводимост като Cu_{2-x}O , Ni_{1-x}O , Co_{1-x}O . За повишаване на бързодействието е необходимо сензорните слоеве да са порьозни и тънки от порядъка на няколко μm .

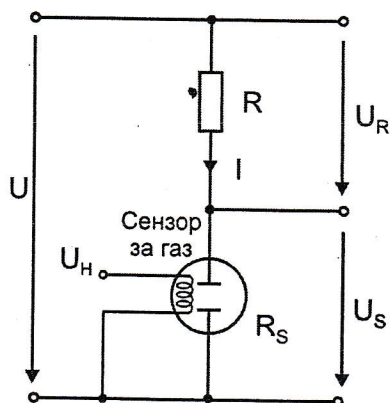
Типичните характеристики на газовите обемно проводящи сензори са обобщени от Schönauer [Oe:227]:

- Проводимостта им се променя експоненциално с изменението на парциалното налягане на кислорода.
- Измерените стойности се установяват бързо и обратимо без да се наблюдава хистерезис.

- Изследвани са сензорни материали, които позволяват измерване на изменения на парциалното налягане на кислорода в обхват над 30 декади.
- За разлика от измерването на кислород с йонопроводящи сензори не е необходимо да се използват газови проби за сравнение.
- Почти отсъства смуцаващо влияние от други газови компоненти.
- Измерването е възможно до температури от порядъка на 1200 С.
- Налице е силна температурна зависимост от проводимостта, която трябва да се компенсира с подходящи електронни средства.

Налице са много работи, които се занимават с регулирането на сместа гориво-въздух в двигатели с вътрешно горене.

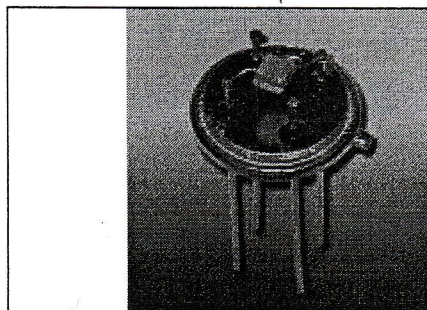
3.1.4. Сензори, измервателни схеми и приложение



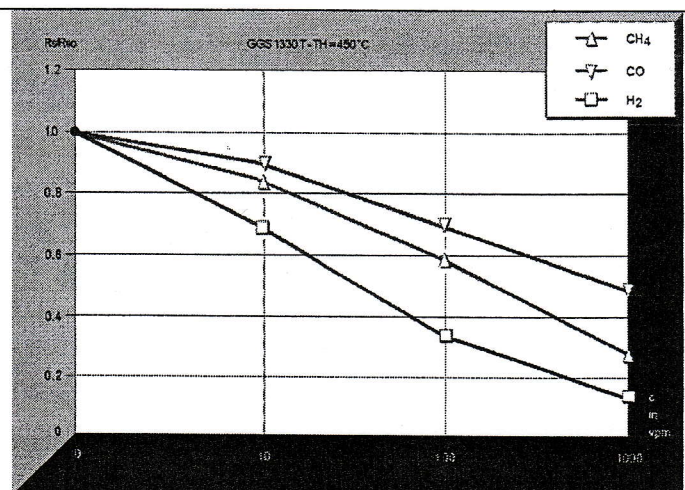
Фиг. 3.6. Принципна схема за включване на SnO_2 сензори

3.2. Сензор за качеството на въздуха GGS1000T

Явяв

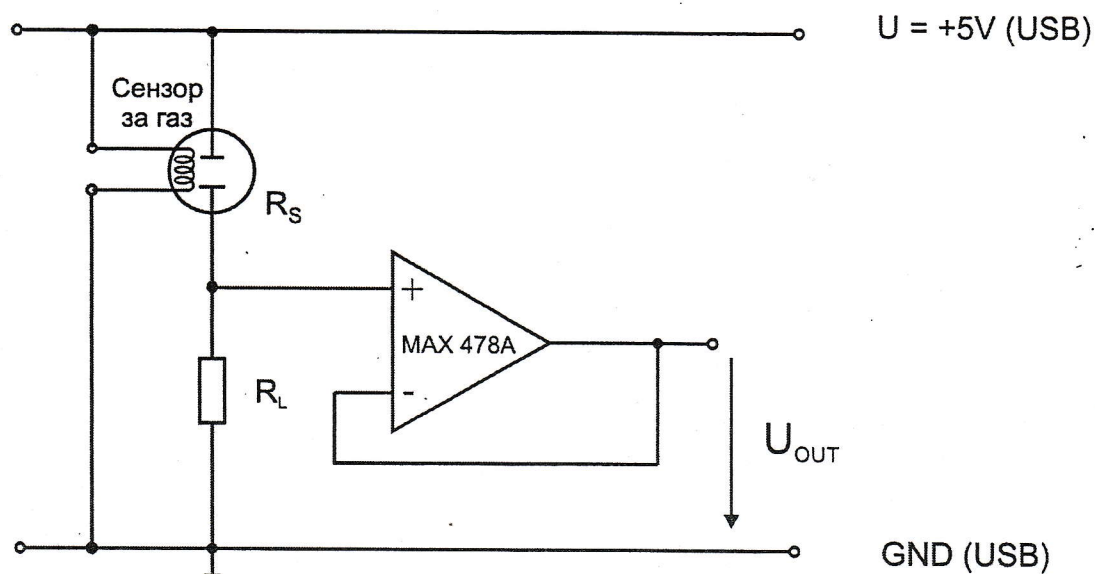


Фиг. 3.7. Сензор от фамилията GGS1000T



Фиг. 3.8. Характеристика на сензор GGS1330T

3.2.1. Свързване на сензора в измервателна схема



Фиг. 3.9. Измервателната схема със сензор GGS 10 000T

3.2.2. Количествена оценка за качеството на въздуха

$$\frac{R_L}{R_S + R_L} = \frac{U_{OUT}}{U}$$

$$UR_L = U_{OUT}R_S + U_{OUT}R_L$$

$$R_S = \frac{(U - U_{OUT})R_L}{U_{OUT}}$$

$$\frac{R_S}{R_{S0}} = \frac{(U - U_{OUT})R_L}{U_{OUT}R_{S0}}$$

Отношението $\frac{R_S}{R_{S0}}$ дава количествена оценка за качеството на въздуха. В чиста въздушна среда стойността на R_S е близка до стойността на R_{S0} и отношението $\frac{R_S}{R_{S0}}$ клони към 1. В замърсена въздушна среда стойността на R_S пада. По-ниски стойности за $\frac{R_S}{R_{S0}}$ показват по-високи нива на замърсяване на въздуха.

3.3. Реализиране на сензорна система за следене на качеството на въздуха в средата на LabVIEW

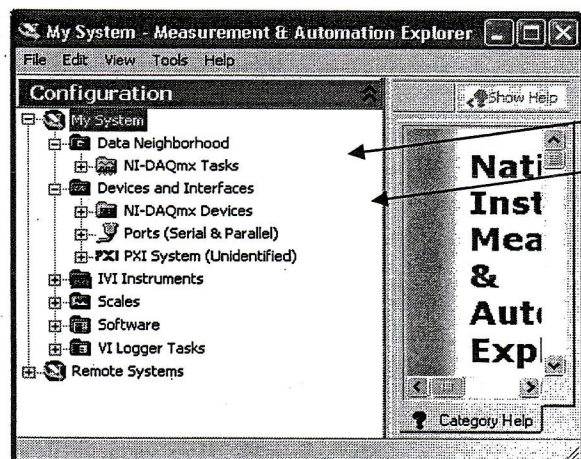
Задачи за изпълнение

3.3.1. Реализиране на измервателната схема

Реализирайте измервателната схема от фиг. 3.9.

3.3.2. Конфигуриране на хардуер с Measurement & Automation Explorer за измерване на напрежението U_{OUT}

В приложението Measurement & Automation Explorer се създава задача за измерване на напрежение.



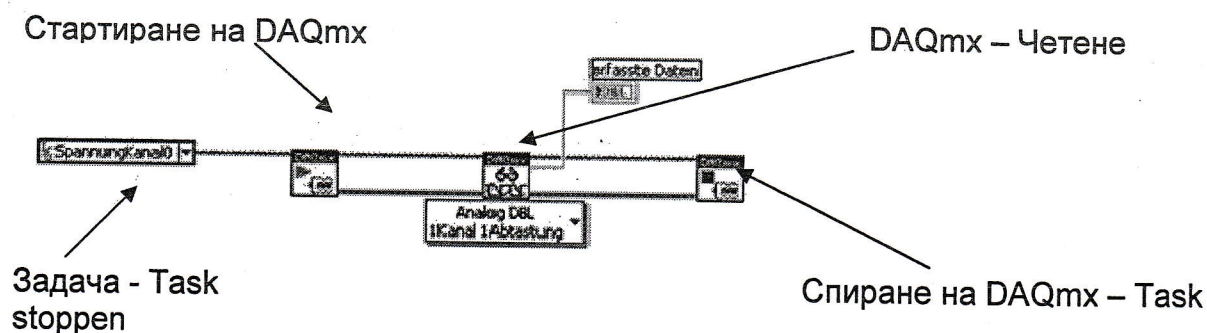
Задачи - Tasks

Хардуер

Фиг. 3.8. Measurement & Automation Explorer

3.3.3. Четене на данни в средата на LabVIEW и извеждане на стойността на V_0

Интегрирането на задачата в LabVIEW става чрез маркиране в Measurement & Automation Explorer (MAX) и изтегляне в прозореца с функционалната (блоковата) диаграма. Създава се програмна структура за четене на данни. Необходимите три функции се намират под: **Functions > AllFunctions - NI-Measurements > DAQmx-Data Acquisition.**



Фиг. 3.9. Четене на данни

3.4. Изчисляване на коефициента за определяне на качеството на въздуха.

Изчислете отношението $\frac{R_s}{R_{s0}}$ като използвате разглежданията в т. 3.2.2.

3.5. Определяне на времеконстантата на сензора

Изчислете времеконстантите при нарастващи и спадащи концентрации на различни замърсители.