

«РАДІОІНФОРМАЦІЙНИЙ СЕНСОР
ГАЗУ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ НА
ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНОЇ СТРУКТУРИ
З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ»

- **Метою роботи** є покращення метрологічних та економічних показників радіовимірювальних сенсорів концентрації газу, технологічно сумісних з мікроелектронною елементною базою, принцип роботи яких базується на використанні функціональної залежності реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором від зміни концентрації газу, що надає можливість створення та виготовлення конкурентноспроможних зразків цієї продукції.
- **Об'єктом дослідження** є процес перетворення концентрації газу у частотний сигнал в чутливих транзисторних структурах.
- **Предметом дослідження** – статичні і динамічні характеристики радіовимірювальних сенсорів концентрації газів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором.

- **Актуальність теми.** Характеристики перетворювачів визначають точність і надійність систем управління і регулювання, приладів контролю технологічних процесів, характеристик навколишнього середовища, безпеку роботи промислових установок тощо. Тому до газових перетворювачів висуваються жорсткі вимоги. Вони повинні бути економічними, забезпечувати високу точність вимірювання, мати мінімальні габарити, вагу та енергоспоживання, бути сумісними з сучасними ЕОМ та мати можливість виготовлення за стандартною груповою інтегральною технологією. Перспективним науковим напрямком є розробка та створення первинних перетворювачів, які реалізують принцип перетворення “концентрація газу-частота”, на основі реактивних властивостей напівпровідникових структур з від’ємним опором. Використання таких приладів виключає з їх конструкцій аналого-цифрові перетворювачі, що дозволяє знизити собівартість систем контролю та управління, а також створити “інтелектуальні” вимірювальні перетворювачі в результаті поєднання на одному кристалі схем обробки інформації та первинного перетворювача.

- Тому, необхідність розробки теоретичних підходів до створення радіовимірювальних первинних перетворювачів концентрації газу з частотним виходом на основі реактивних властивостей напівпровідникових приладів з від’ємним опором, а також розробки схем, конструкцій, експериментального дослідження параметрів, оцінюванню їх метрологічних характеристик, розробки мікропроцесорної системи вимірювання концентрації газу в промисловості з використанням частотних перетворювачів концентрації газу та впровадження їх у виробництво є актуальним на даний час.

ПРОВЕДЕНО АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

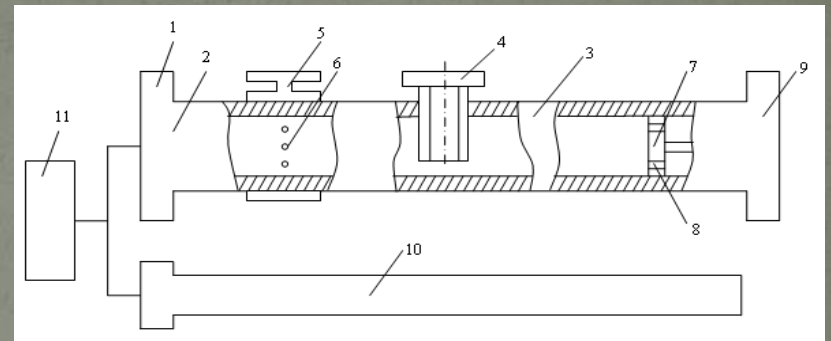
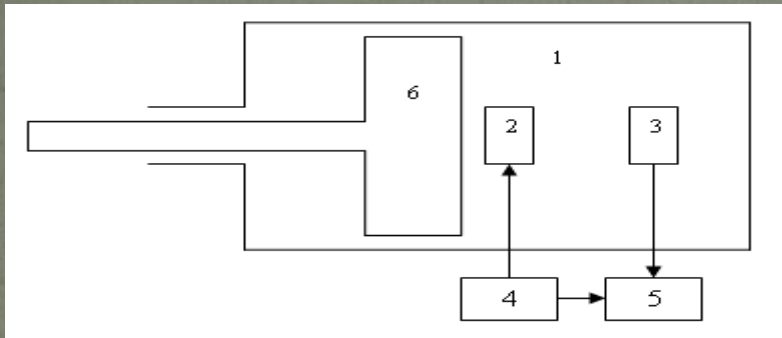


Рисунок 1.1 – Пристрій для визначення концентрації газу

Рисунок 1.2 – Пристрій для визначення концентрації газу

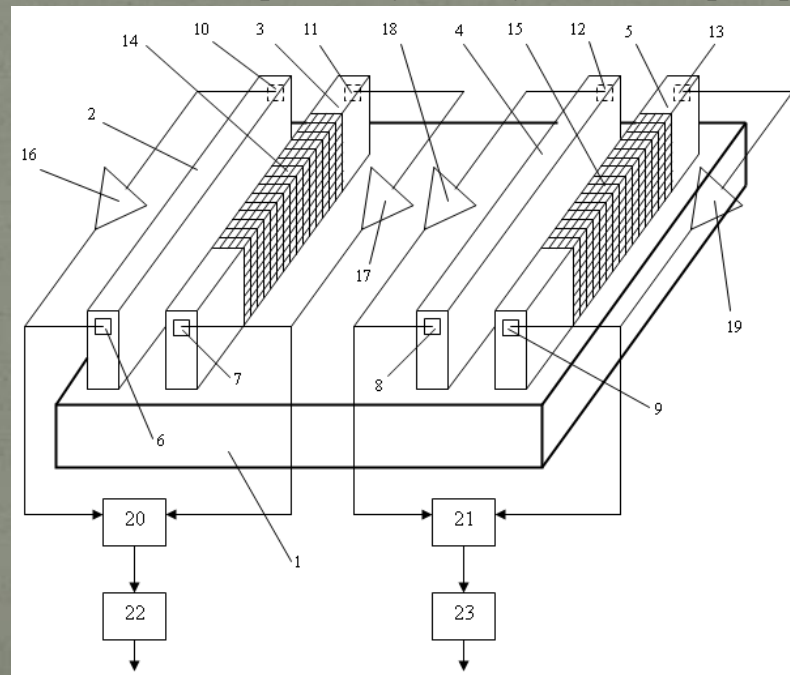


Рисунок 1.3 – Схема датчика вимірювання концентрацій газів

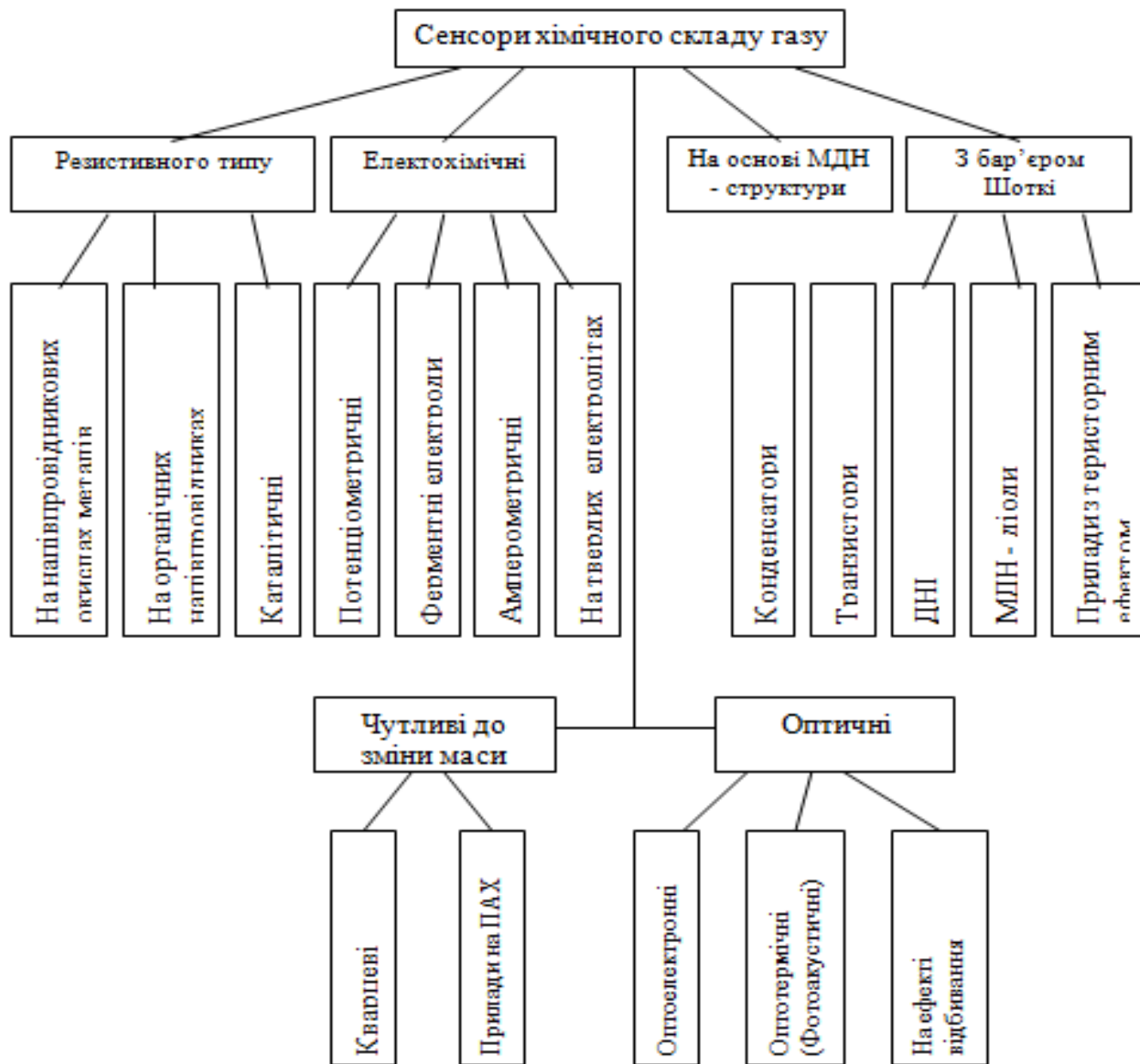


Рисунок 1.4– Класифікація мікроелектронних сенсорів хімічного складу газів

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СЕНСОРІВ ГАЗУ РЕЗИСТИВНОГО ТИПУ

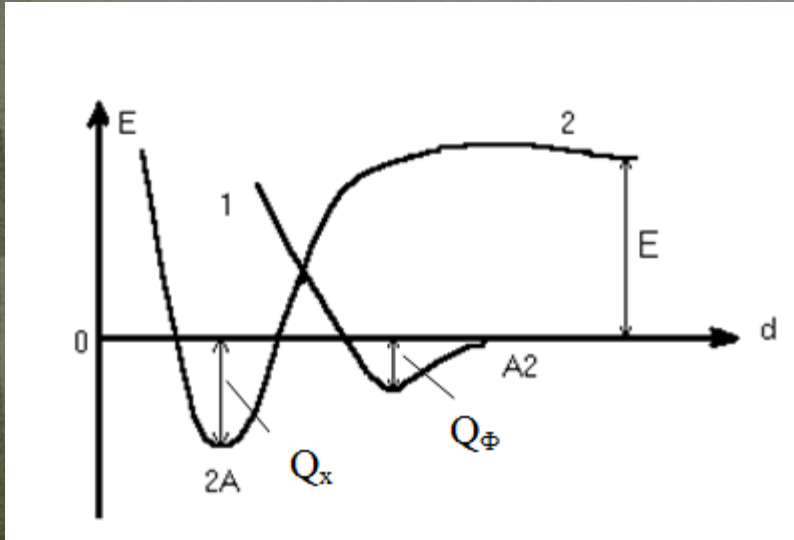


Рисунок 2.1 – Графік Леннарда-Джонса для фізичної адсорбції (1) і хемосорбції (2) частинки A_2 : - тепла хемосорбції і фізичної адсорбції; -енергія активації хемосорбції; -енергія дисоціації частинка A_2

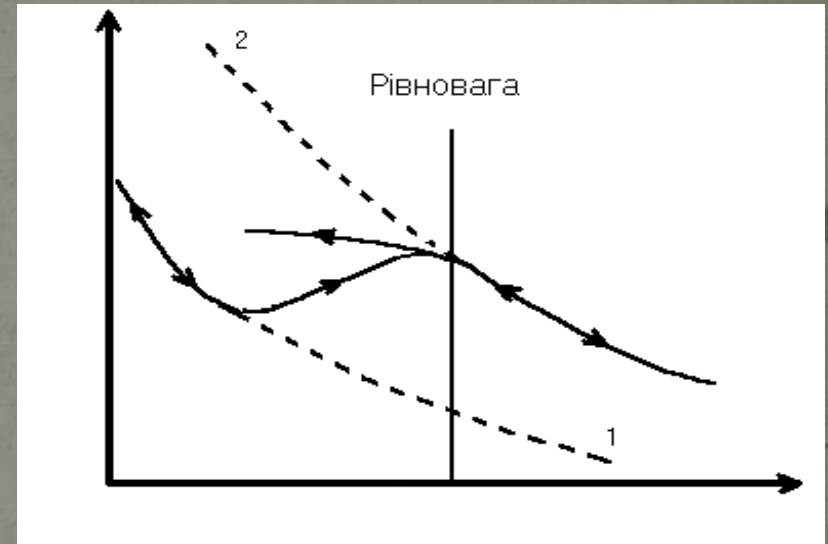


Рисунок 2.2 – Ізобара адсорбції:
1 - фізична адсорбція; 2 - хемосорбція

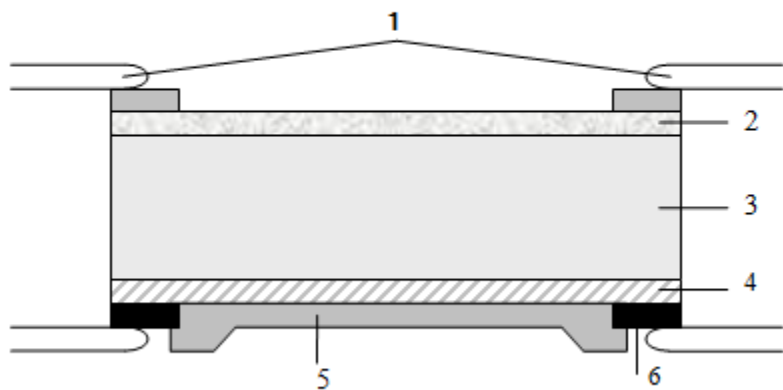


Рисунок 2.3– Приклад конструкції тонкоплівкового сенсора газу: 1 – золоті виводи; 2 – SnO_2 ; 3 – підкладка; 4 – нагрівач (RuO_2); 5 – ізоляційний шар; 6 – електрод нагрівача (Pd-Ad)

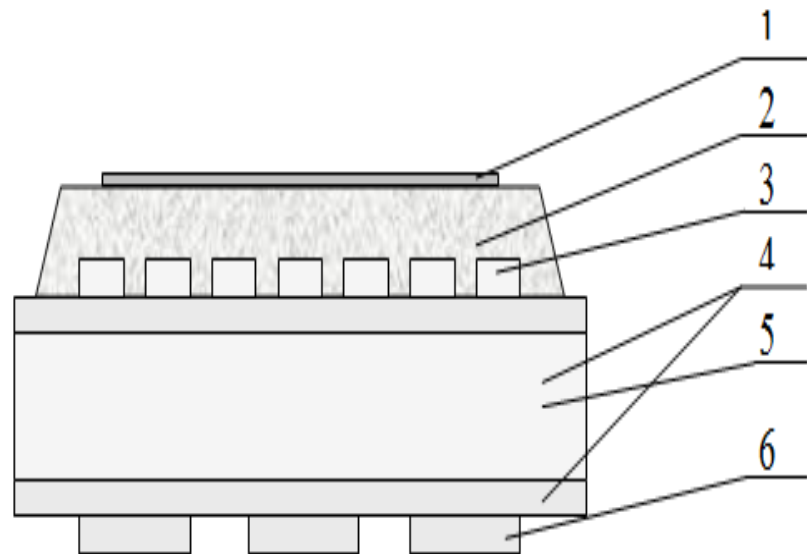


Рисунок 2.4– Конструкція тонкоплівкового сенсора газу на підкладці з кремнію: 1 – каталізатор; 2 – активний шар SnO_2 ; 5 – підкладка Si; 6 – платиновий нагрівач

ЧАСТОТНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

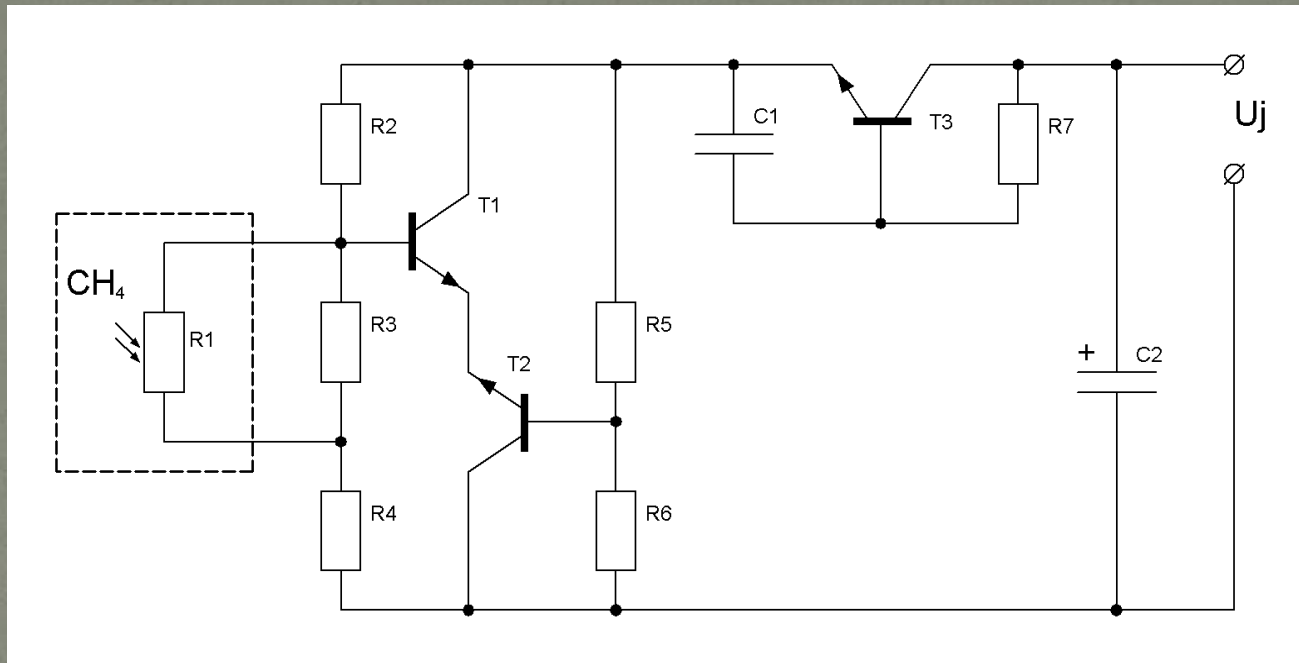


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова перетворювача концентрації газу

Розрахуємо вольт-амперну характеристику транзисторної структури:

$$I_{BE1} = IS \cdot \exp \left(\left(\frac{U_{жс} + (1 - \alpha_2) \cdot IS \cdot \left(\exp \frac{U_{BE2}}{0,026} - 1 \right) \cdot R_1 \right) R_2}{U_{к} - U_{BE2} - \frac{R_1 + R_2}{0,026}} - 1 \right)$$

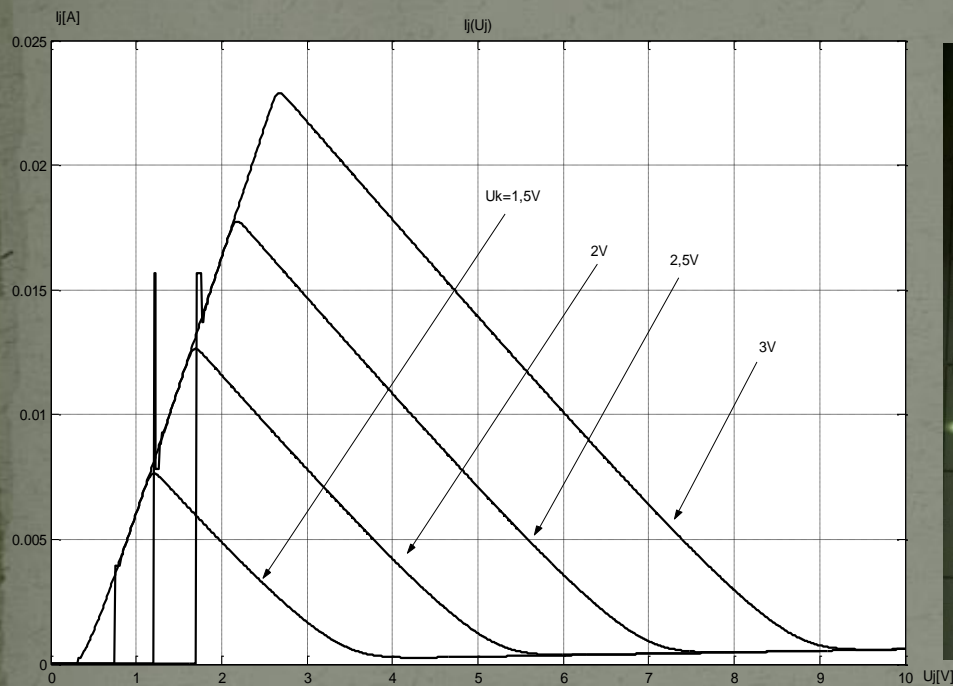


Рисунок 3.2– Теоретична вольт-амперна характеристика транзисторної структури з від'ємним опором

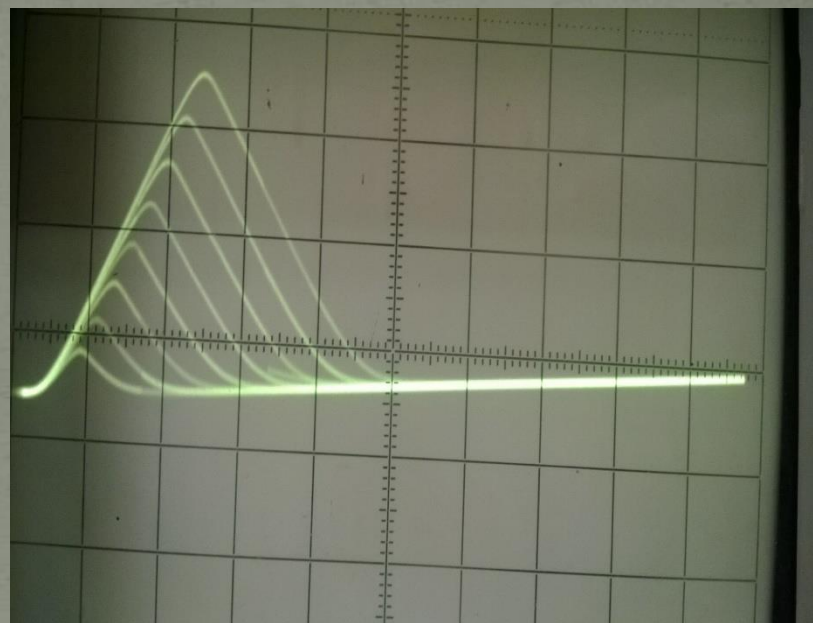
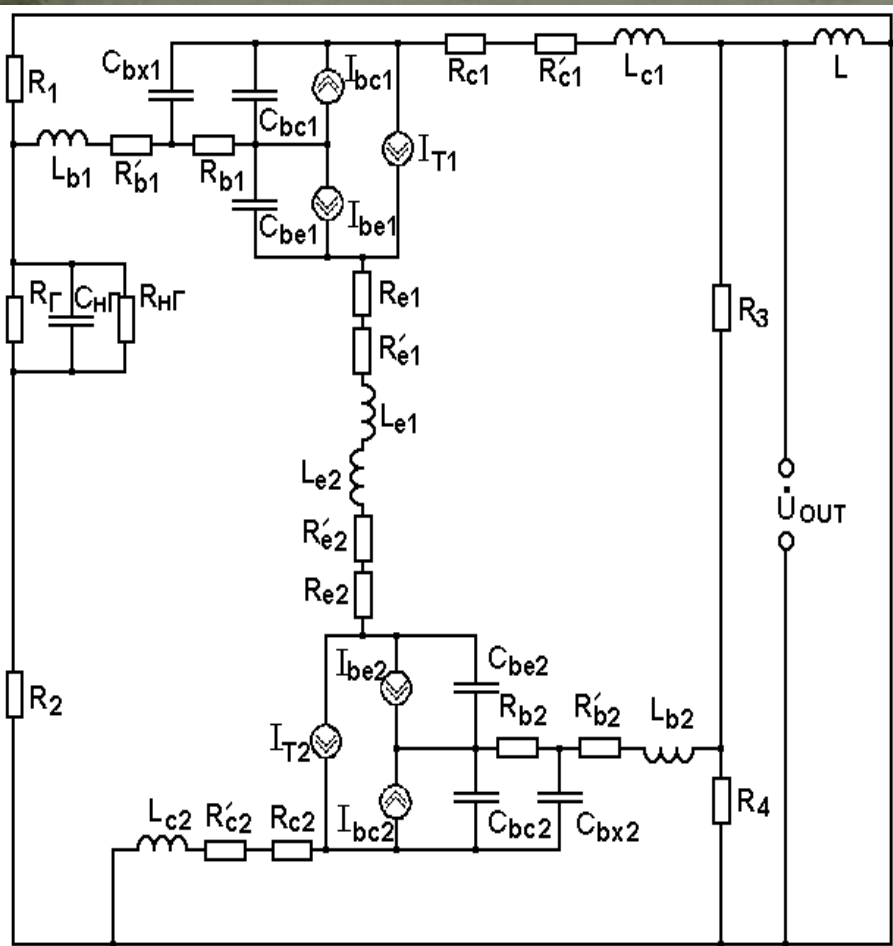


Рисунок 3.3 – Експериментальна вольт-амперна характеристика транзисторної структури з від'ємним опором



Система рівнянь Кірхгофа, згідно напрямкам контурних струмів, має вигляд:

$$\dot{U}_{out} = Z_{L1}i_1 + Z_{L5}i_5,$$

$$\dot{U}_{out} = (Z_{R3} + Z_{R4})i_2 + Z_{R3}i_3 + Z_{R4}i_4,$$

$$0 = (Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_{10} + Z_{12} + Z_{14} + Z_{R3})i_3 + Z_{R3}i_2 - Z_6i_5 + \\ + Z_4i_7 + Z_4I_1 - Z_4I_3 - (Z_5 + Z_7 + Z_8 + Z_{10})i_6 - Z_5I_2 - Z_5I_3 - \\ - Z_{10}I_5 - Z_{10}I_4 + Z_{12}i_8 - Z_{14}i_4,$$

$$0 = (Z_9 + Z_{13} + Z_{14} + Z_{R4})i_4 + Z_{R4}i_2 - Z_{14}i_3 + Z_{13}i_8 - Z_9i_6,$$

$$0 = (Z_{R1} + Z_1 + Z_2 + Z_6 + Z_L)i_5 + Z_Li_1 - Z_6i_3 + Z_2i_7 - Z_1i_6,$$

$$0 = (Z_1 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8 + Z_{10} + Z_{11} + Z_9 + Z_{R2} + Z_{RΓ})i_6 - Z_1i_5 + Z_3i_7 - \\ - (Z_5 + Z_7 + Z_8 + Z_{10})i_3 + Z_5I_2 + Z_5I_3 + Z_{10}I_5 + Z_{10}I_4 - Z_{11}I_6 + Z_{11}I_4 + Z_{11}i_8 - Z_9i_4,$$

$$0 = (Z_2 + Z_3 + Z_4)i_7 + Z_2i_5 + Z_4i_3 + Z_3i_6 + Z_4I_1 - Z_4I_3,$$

$$0 = (Z_{11} + Z_{12} + Z_{13})i_8 + Z_{11}i_6 + Z_{13}i_4 + Z_{12}i_3 - Z_{11}I_6 + Z_{11}I_4,$$

Рисунок 3.4 – Нелінійна еквівалентна схема частотного перетворювача на основі двох біполярних транзисторів

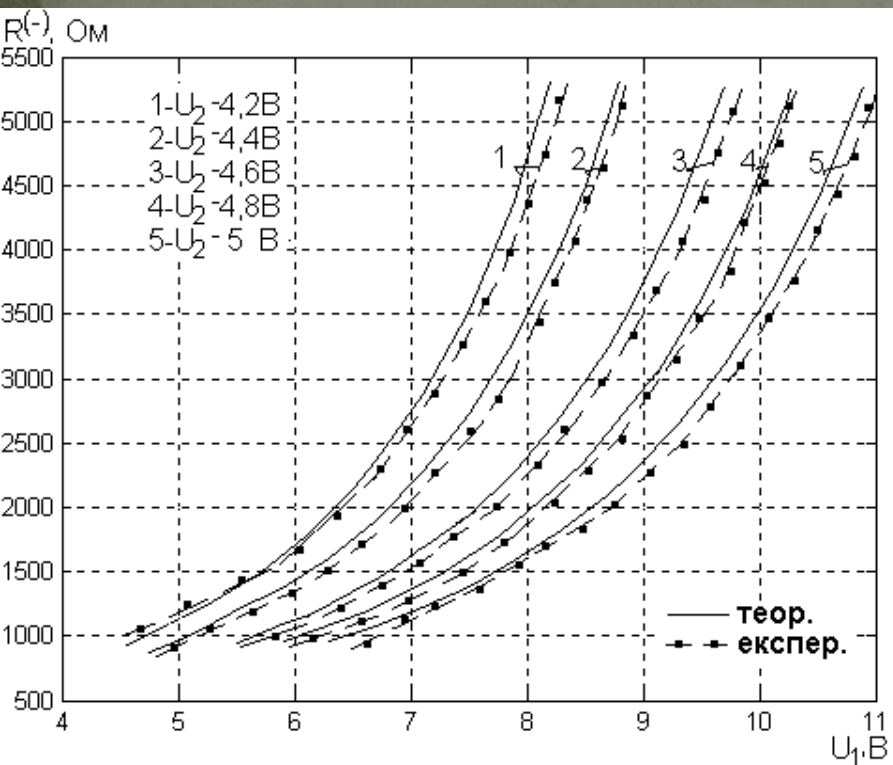
U_1 

Рисунок 3.5 – Теоретична та експериментальна залежність активної складової повного опору від напруги живлення U_1

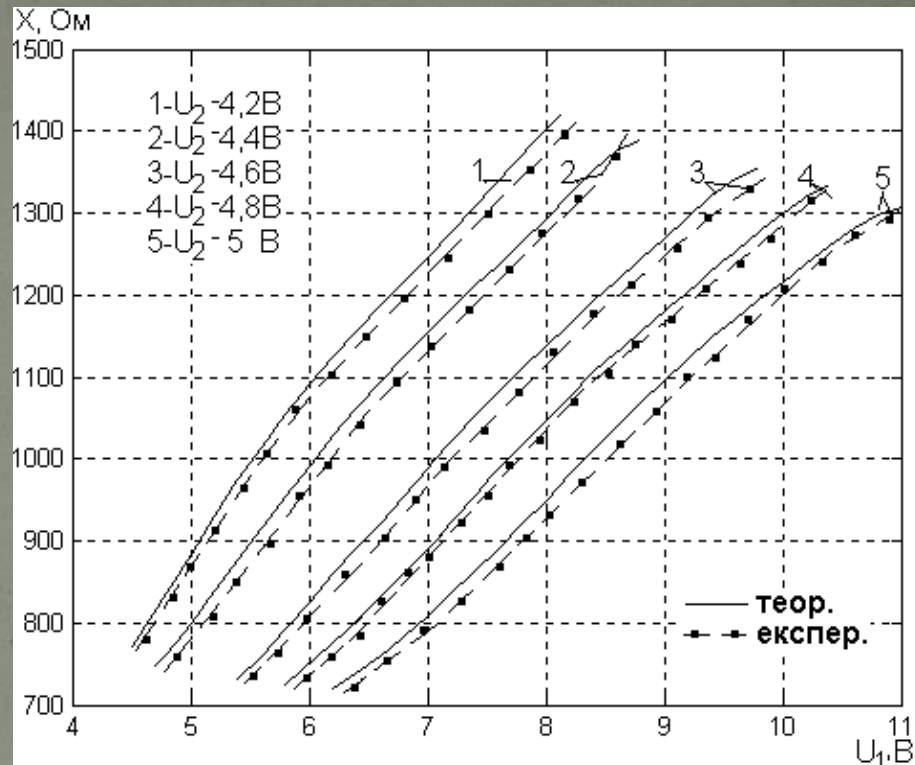


Рисунок 3.6 – Теоретична та експериментальна залежність реактивної складової від напруги живлення U_1

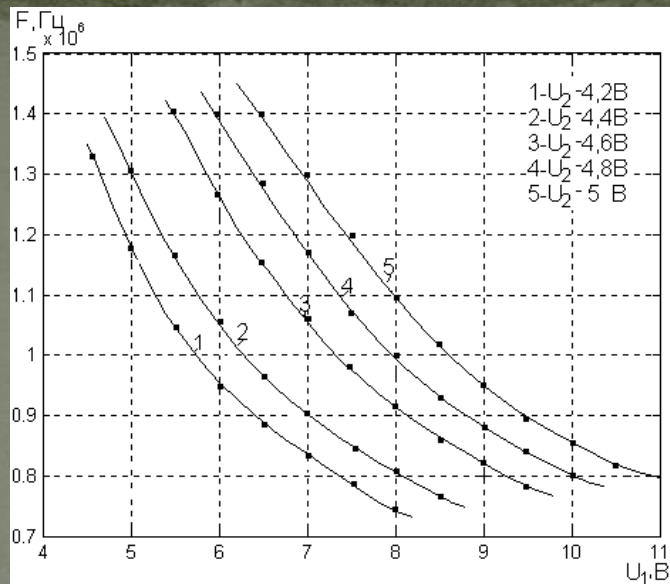
U_1 

Рисунок 3.7 – Експериментальна залежність частоти генерації від напруги живлення U_1

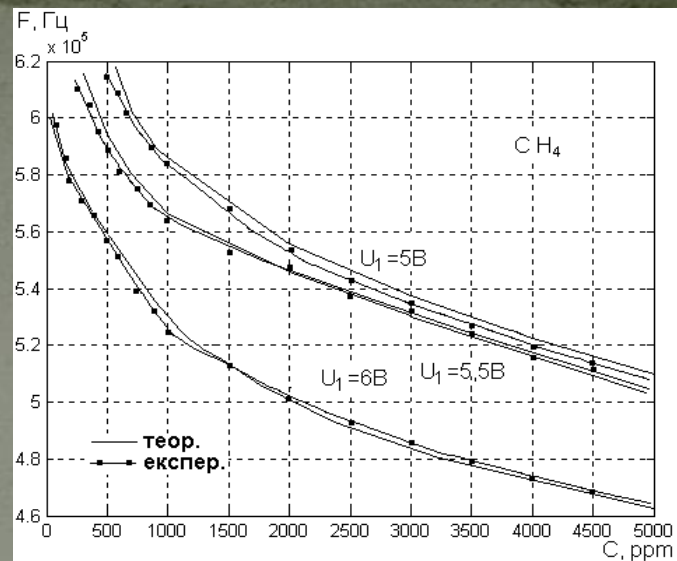


Рисунок 3.8 – Теоретична та експериментальна залежність частоти генерації від концентрацій метану (чутливий елемент фірми Figaro, Японія) при різних напругах живлення U_1

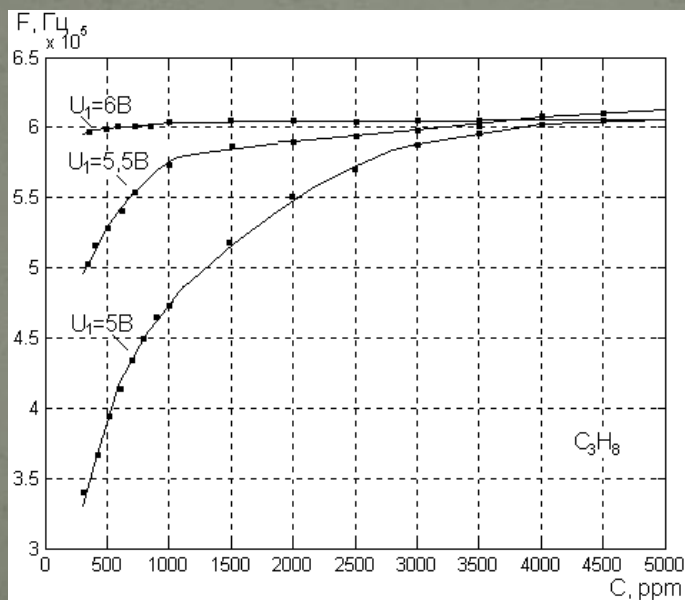


Рисунок 3.9 – Експериментальна залежність частоти генерацій від концентрацій пропану (чутливий елемент фірми АЧЕ, Україна) при різних напругах живлення U_1

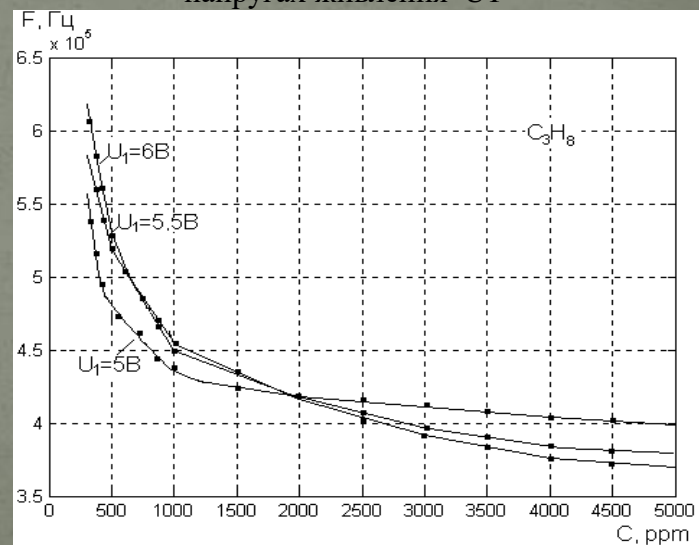


Рисунок 3.10 – Експериментальна залежність частоти генерацій від концентрацій пропану (чутливий елемент фірми Figaro, Японія) при різних напругах живлення U_1

По еквівалентній схемі (рис. 3.7) був вибраний контур зворотного струму, з якого визначена функцію перетворення. Вона представляє собою залежність частоти генерацій від концентрації газу та має вигляд

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A_1 + \sqrt{A_1^2 + 4LC_{bx1} (C_{H\Gamma} R_{\Gamma}(C))^2}}{2LC_{bx1} (C_{H\Gamma} R_{\Gamma}(C))^2}},$$

де $A_1 = (C_{H\Gamma} R_{\Gamma}(C))^2 + R_{\Gamma}^2(C) C_{H\Gamma} C_{bx1} - LC_{bx1}$

Графічна залежність функцій перетворення в порівнянні з експериментальним її визначенням представлені на рис. 3.12.

$$S = \frac{\sqrt{2}}{8} \left(\frac{2C_{i\tilde{A}}^2 R_{\tilde{A}}(\tilde{N}) \frac{\partial R_{\tilde{A}}(\tilde{N})}{\partial \tilde{N}} + 2B_3 \frac{\partial R_{\tilde{A}}(\tilde{N})}{\partial \tilde{N}} + \frac{1}{2} \frac{4B_1 C_{i\tilde{A}}^2 R_{\tilde{A}}(\tilde{N}) \frac{\partial R_{\tilde{A}}(\tilde{N})}{\partial \tilde{N}} + 2B_3 \frac{\partial R_{\tilde{A}}(\tilde{N})}{\partial \tilde{N}} + 8LB_3}{\sqrt{B_2}}}{LC_{bx1} R_{\tilde{A}}^2(\tilde{N}) C_{i\tilde{A}}^2} - \right. \\ \left. - 2 \frac{(B_1 + \sqrt{B_2}) \frac{\partial R_{\tilde{A}}(\tilde{N})}{\partial \tilde{N}}}{LC_{bx1} R_{\tilde{A}}^3(\tilde{N}) C_{i\tilde{A}}^3} \right) / \pi \sqrt{\frac{B_1 + \sqrt{B_2}}{LC_{bx1} R_{\tilde{A}}^2(\tilde{N}) C_{i\tilde{A}}^2}},$$

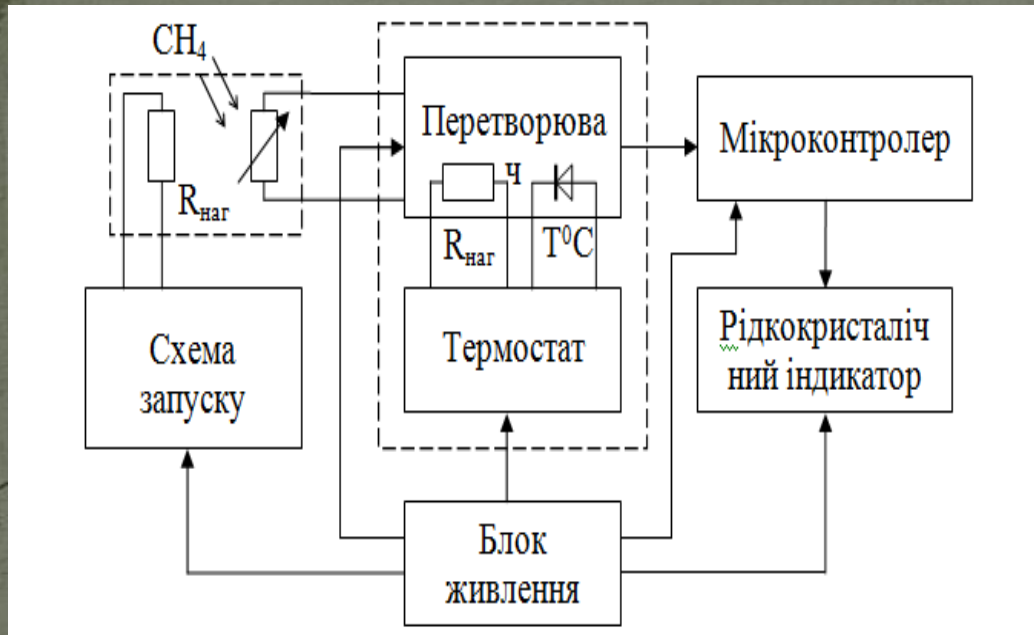


Рисунок 3.11 – Блок-схема перетворювача

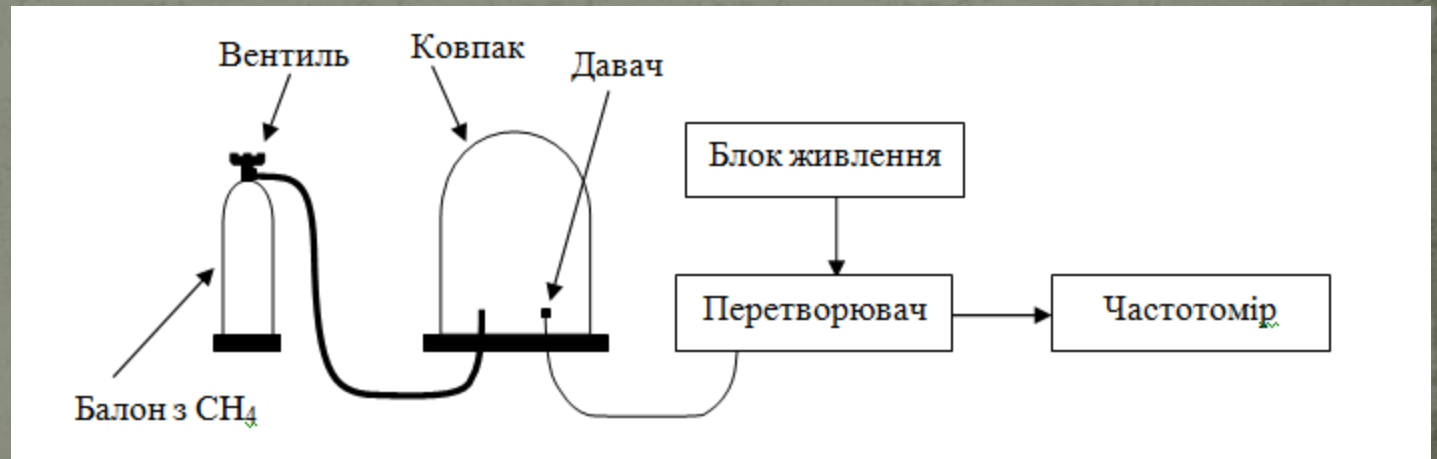


Рисунок 3.12 – Блок-схема експериментальної установки по визначенню залежності величин від концентрації газу

ВИКОРИСТАННЯ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИХ СЕНСОРІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЯХ

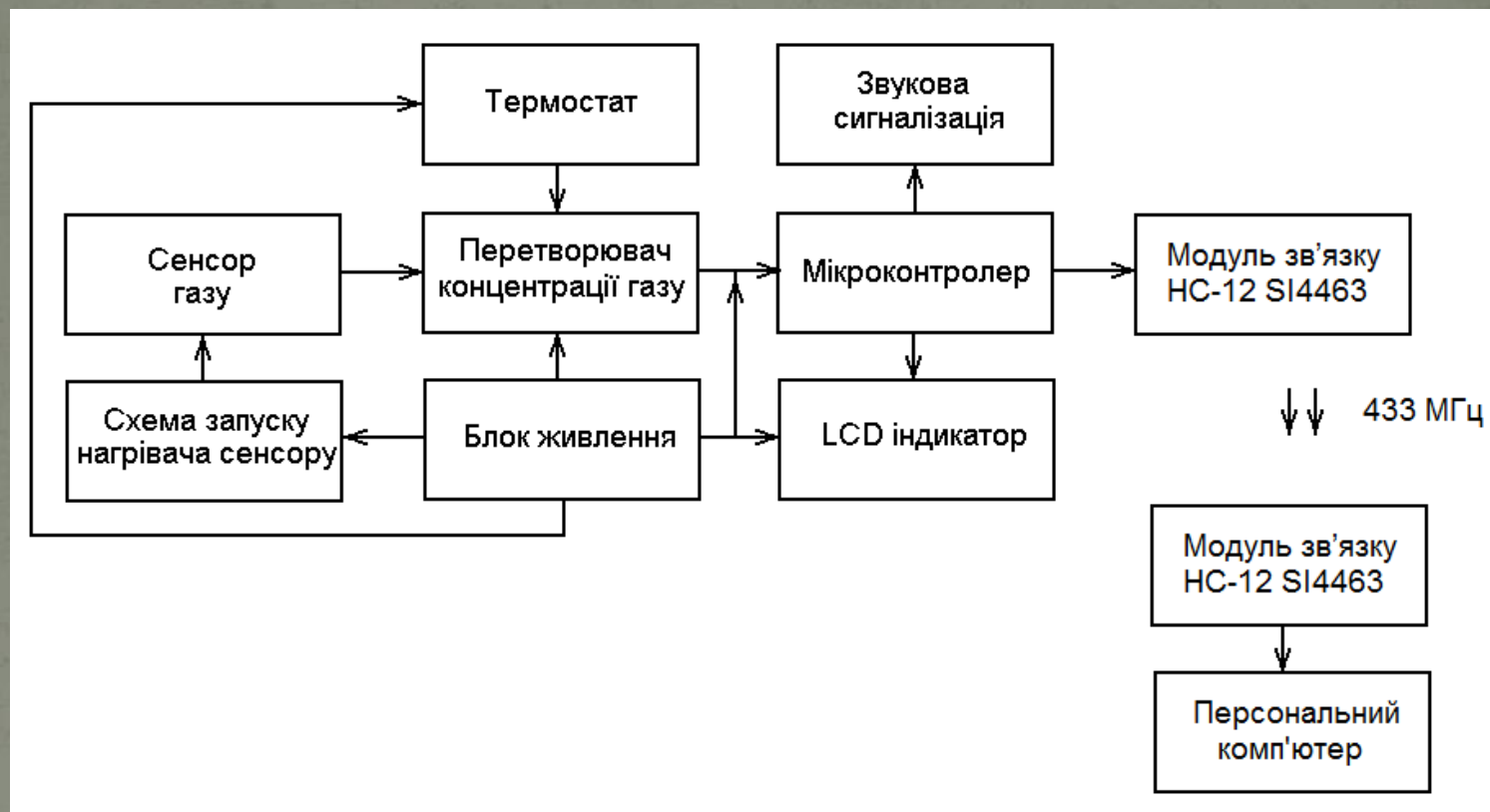


Рисунок 4.1 – Структурна схема вимірювального блоку концентрації метану та пропану

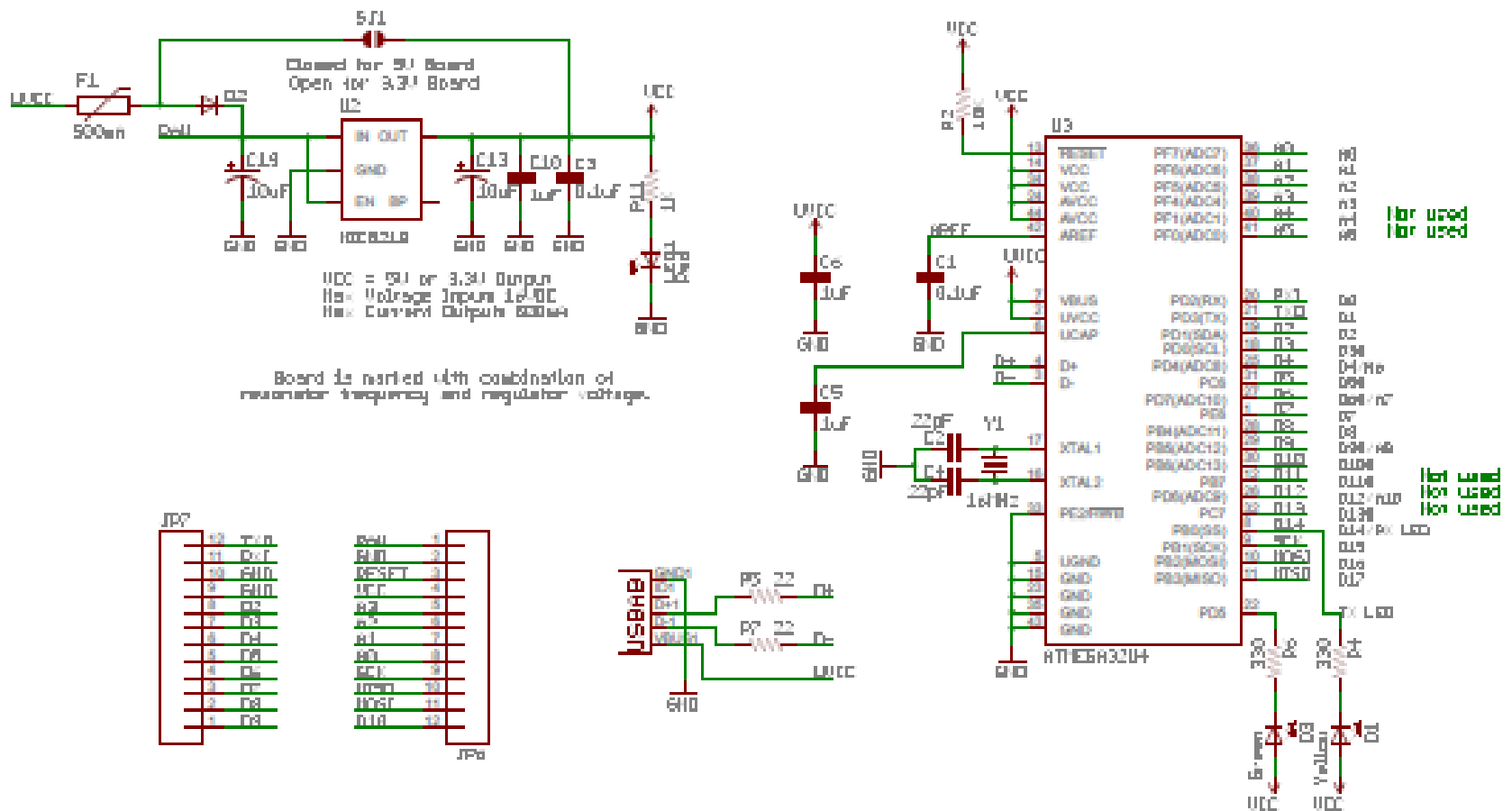


Рисунок 4.2 – Принципова схема Arduino Pro Micro на основі 8-розрядного мікроконтролера ATmega32U4

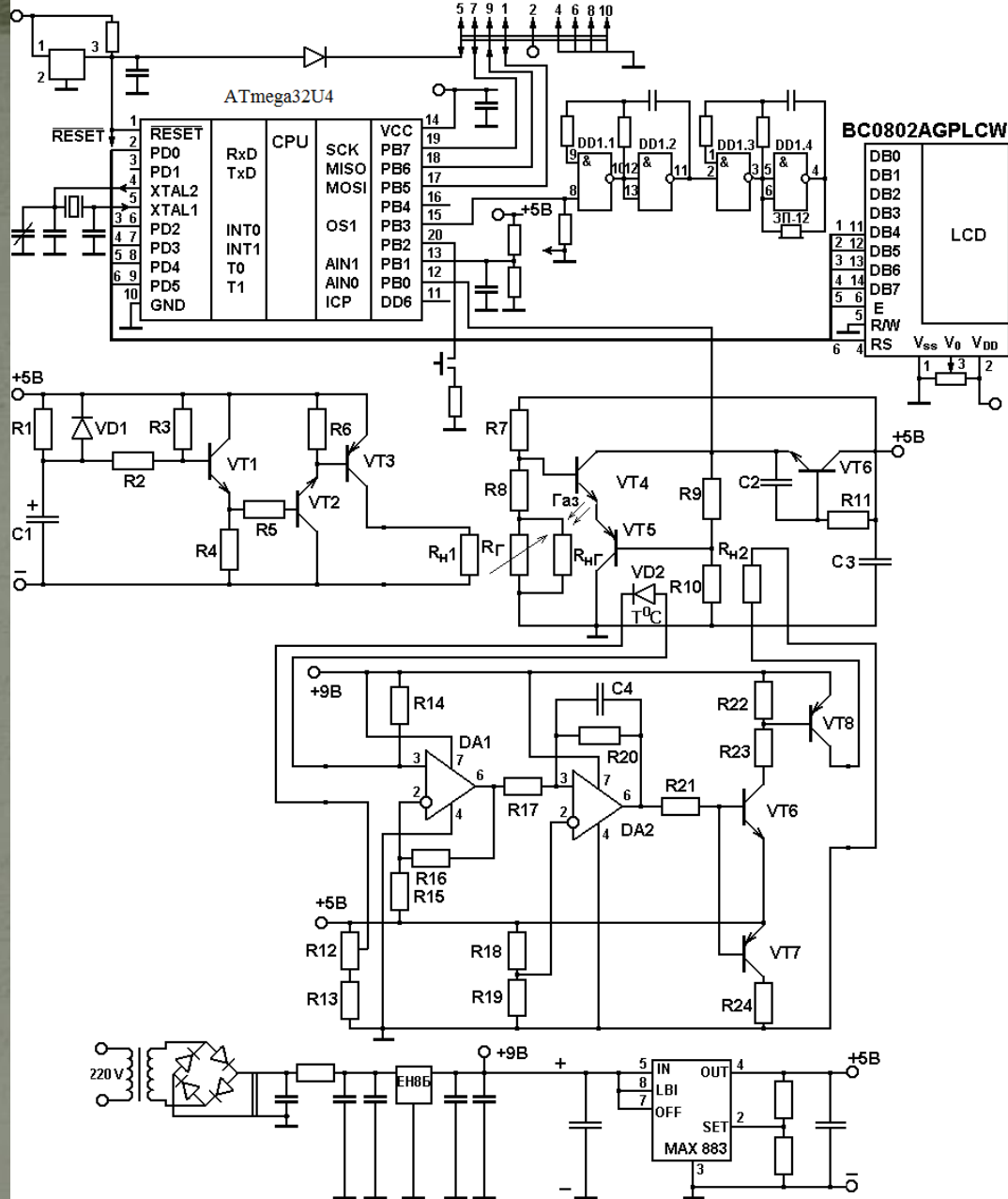


Рисунок 4.3 – Принципова схема вимірювального блоку концентрації метану та пропану

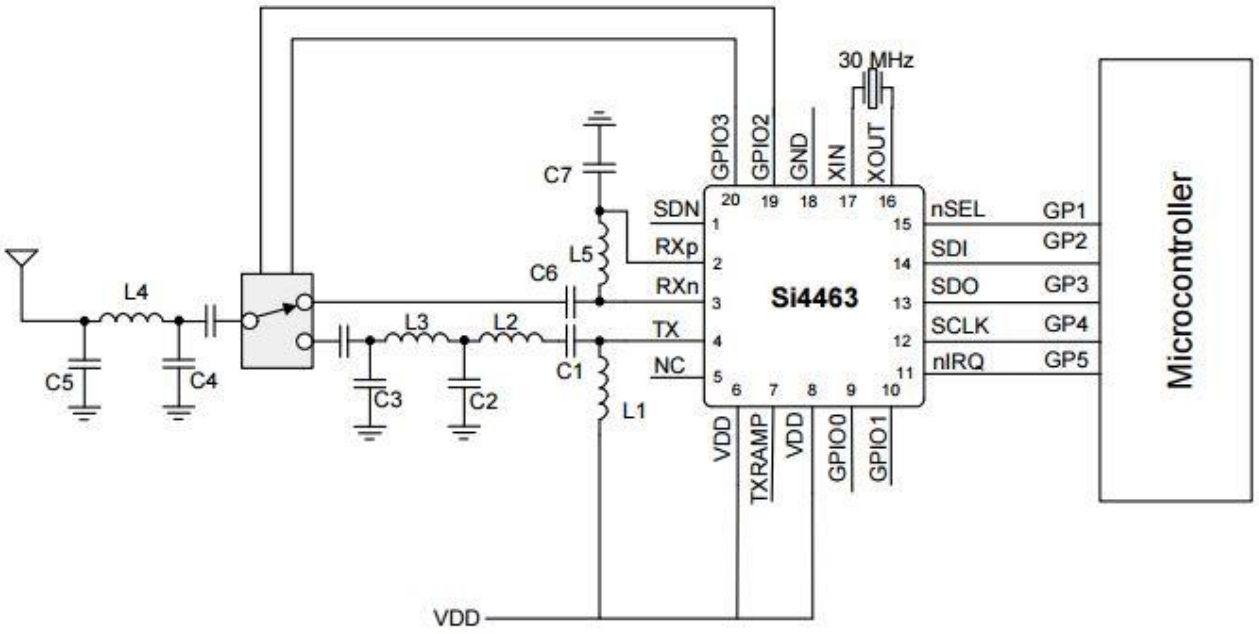
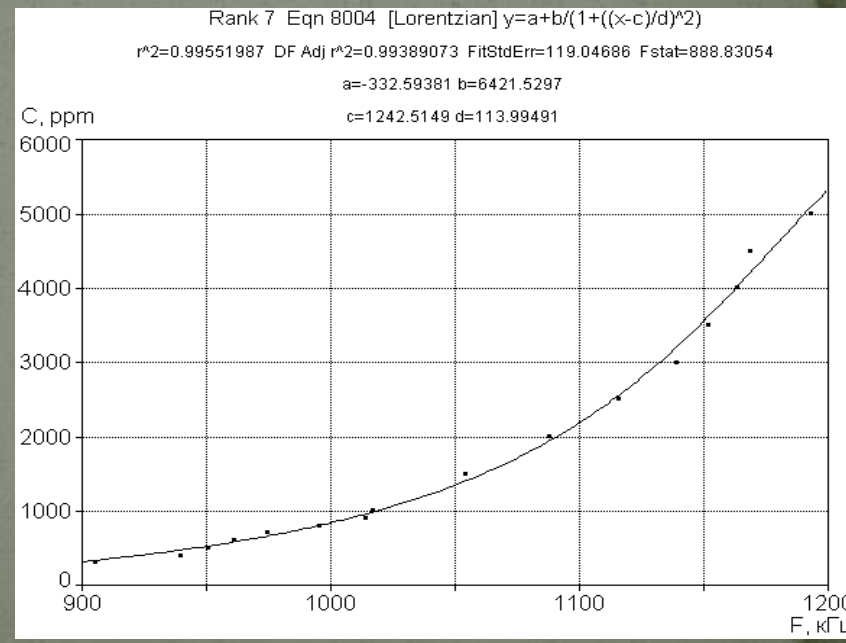


Рисунок 4.4 – Принципова схема НС-12 SI4463

Рисунок 4.5 – Апроксимована залежність функції перетворення частотного перетворювача концентрації газу



ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

- 1. Проведено огляд сучасного стану розвитку методів та засобів газового аналізу, розглянуто їх основні переваги та недоліки, а також розглянуто можливість їх застосування для вирішення поставленої задачі. Основним недоліком більшості проаналізованих методів є їх невисока селективність, тобто неможливість точно контролювати визначений газ, при наявності в суміші інших газів, що заважають. Проаналізувавши існуючі сенсори концентрації газу, можна зробити висновок, що створення частотних перетворювачів концентрації газу на основі транзисторних структур з від'ємним опором, які реалізують принцип перетворення "концентрація газу – частота" є перспективним напрямком досліджень
- 2. В ході виконання дипломної роботи було досліджено радіоінформаційний сенсор концентрації метану на основі транзисторної структури з від'ємним опором. Головною властивістю такої структури являється зміна реактивного та активного опорів в залежності від напруг керування та живлення і зміни концентрації газу. Завдяки цій властивості побудовано перетворювач, який являє собою генератор, частота якого змінює частоту концентрації газу. В даному випадку частота регулювалась напругою керування, яка утворювалась за допомогою подільника напруги. В подільник напруги входив первинний перетворювач концентрації метану або пропану, який змінював свою провідність в залежності від кількості адсорбованого газу.
- 3. У дипломній роботі в науковому плані розроблено математичні моделі частотного перетворювача концентрації газових сумішей на основі нелінійних еквівалентних схем, що дозволило отримати вольт-амперні характеристики, функції перетворення і рівняння чутливості розроблених пристроїв.
- 4. У результаті математичного моделювання отримано аналітичні вирази, які можуть бути використані для інженерного розрахунку рівняння чутливості і функції перетворення, вольт-амперних характеристик частотного перетворювача концентрації газу, що забезпечить вибір оптимального режиму їх живлення.
- 5. Розроблено радіовимірний частотний перетворювач концентрації метану на основі біполярної транзисторної структури з активним індуктивним елементом. Проведено експериментальні дослідження, які показали, що найбільша чутливість частотного перетворювача концентрації метану на основі двох біполярних транзисторів лежить в діапазоні від 100 до 500 ppm та складає в середньому 250 Гц/ppm, а в діапазоні від 500 до 5000 ppm змінюється від 40 Гц/ppm до 75,5 Гц/ppm.
- 6. Розроблено мікропроцесорну систему контролю концентрації газів на автомобільних газозаправних станціях на основі радіовимірних сенсорів з частотним виходом на основі транзисторної структури з від'ємним опором.
- 7. Розроблено пакет прикладних програм в обчислювальному середовищі «Matlab 7.1» для моделювання та розрахунків характеристик перетворювачів з врахуванням залежності параметрів елементів нелінійних еквівалентних схем пристроїв від впливу концентрації газу.