

УДК: 621.382

Звягін О.С., Осадчук О.В. (Україна, Вінниця)

### МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ

Важливою різновидністю вимірювальних перетворювачів є сенсори вологості, оскільки багато процесів залежать від вологості. На даний час в Україні вимірювання вологості є одним із поширених напрямків вимірювань. Це обумовлено потужним промисловим та науково-технічним потенціалом країни з переважним розвитком таких галузей, як металургія, енергетика, машинобудування, авіаційна та космічна техніка, хімічна та нафтогазова промисловість, ефективність яких значною мірою залежить від точності вимірювань вологості, температури та інших характеристик.

Теоретичні дослідження показали, що використання транзисторних структур з від'ємним опором і реактивних властивостей напівпровідникових приладів, суттєво підвищує чутливість і точність виміру дослідженого сигналу, у нашому випадку вологості [1, 2]. З метою вивчення властивостей частотного перетворювача вологості для нафтопродуктів [3], вологочутливим елементом якого є циліндричний конденсатор описаний у роботі [4], було проведено теоретичні та експериментальні дослідження перетворювача.

#### Теоретичні дослідження

На рис. 1 зображено електричну схему перетворювача вологості, що складається з джерела постійної напруги  $U_1$ , транзисторів VT1 та VT2, вологочутливого конденсатора  $C_w$ , катушки індуктивності  $L_1$ , обмежувального конденсатора  $C_1$  та ділянки напруги, утвореної на резисторах  $R_1$  та  $R_2$ .

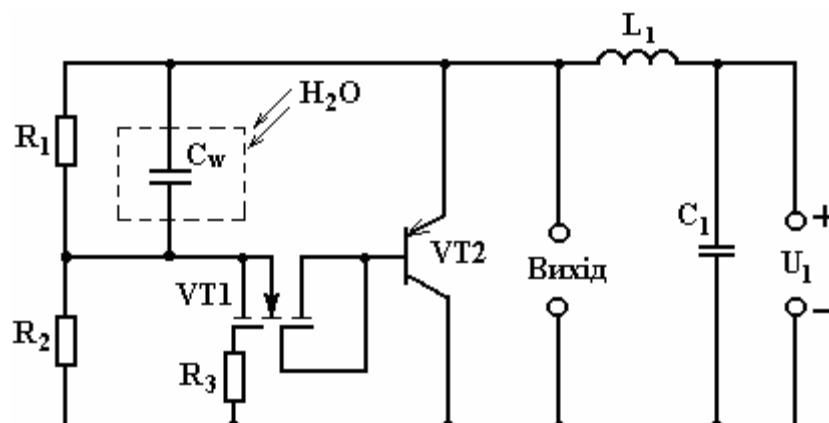


Рисунок 1 – Електрична схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості для нафтопродуктів

Пристрій для визначення вологості працює таким чином. В початковий момент часу волога не діє на вологочутливий конденсатор  $C_w$ . З підвищенням напруги джерела постійної напруги  $U_1$  до величини, коли на електродах емітер-затвор транзисторів VT1 та VT2 виникає від'ємний опір, який приводить до виникнення електричних коливань в контурі, який утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою на електродах емітер-затвор транзисторів VT1 та VT2 та індуктивності  $L_1$ . Через резистори  $R_1$  і  $R_2$  здійснюється електричне живлення транзисторів VT1 та VT2, а конденсатор  $C_1$  запобігає проходженню змінного струму через джерело постійної напруги  $U_1$ . При наступній дії вологи на вологочутливий конденсатор  $C_w$  змінюється ємнісна складова повного опору на електродах емітер-затвор транзисторів VT1 та VT2, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру.

Важливим питанням є дослідження параметрів генератора на основі транзисторної структури з від'ємним опором на якому побудований перетворювач вологості. За допомогою схемотехнічного моделювання в середовищі Orcad Family Release 9.2 було отримано вольт-амперну характеристику (ВАХ) для перетворювача вологості, яка наведена на рис. 2. З характеристики видно присутність

ділянки з від'ємним опором при напрузі живлення  $U_1$  від 2,1 В до 4,9 В. Також в середовищі Orcad Family Release 9.2 було досліджено зміни величини струму і напруги вихідного сигналу даного перетворювача вологості від часу, при напрузі живлення  $U_1=2,5$  В та нульовій вологості, що зображені на рис. 3 та рис. 4 відповідно.

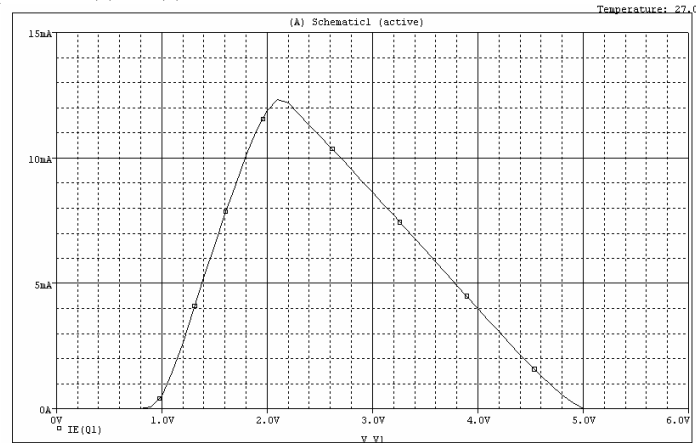


Рисунок 2 – ВАХ перетворювача вологості

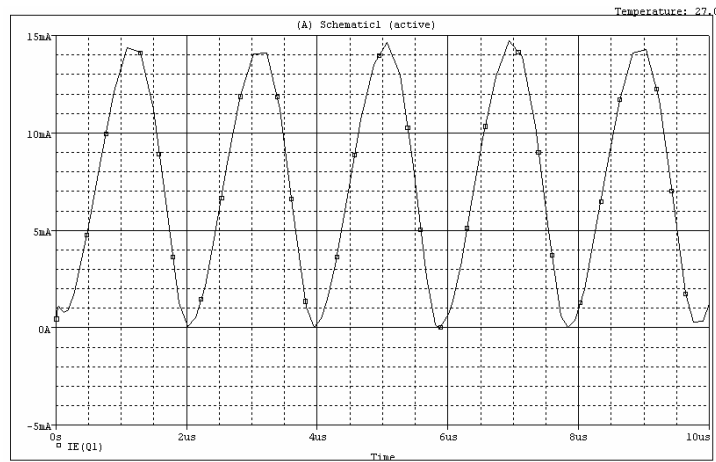


Рисунок 3 – Зміна величини струму вихідного сигналу від часу

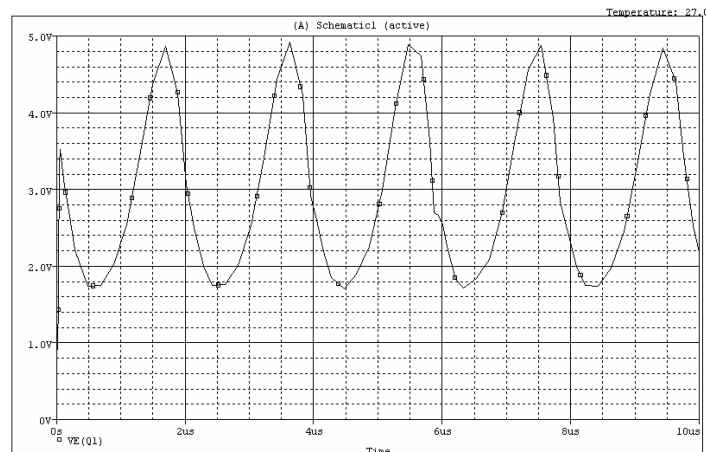


Рисунок 4 – Зміна величини напруги вихідного сигналу від часу

З рис. 3 та рис. 4 видно, що період коливання складає  $t = 2$  мкс, що відповідає частоті вихідного сигналу  $F = 500$  кГц.

Таким чином, моделювання мікроелектронного частотного перетворювача вологості (рис.1) в Orcad Family Release 9.2 довело можливість створення на практиці даного пристрою.

### Експериментальні дослідження

Для проведення експериментальних досліджень у схемі, що зображена на рис.1 було використано біполярний транзистор марки BC557 та польовий транзистор марки КП350, циліндричний вологочутливий конденсатор [4] був виготовлений з зовнішнім діаметром 50 мм, та довжиною 46 мм. Початкова ємність вологочутливого конденсатора у повітрі складала 71пФ.

На рис. 5 наведено блок-схему вимірювальної установки для зняття ВАХ, а на рис. 6 зображено експериментальну ВАХ досліджуваного перетворювача вологості. З характеристики видно присутність ділянки від'ємного опору при напрузі живлення  $U_1$  від 1,6 В до 4,0 В.



Рисунок 5 – Блок-схема вимірювальної установки для зняття ВАХ

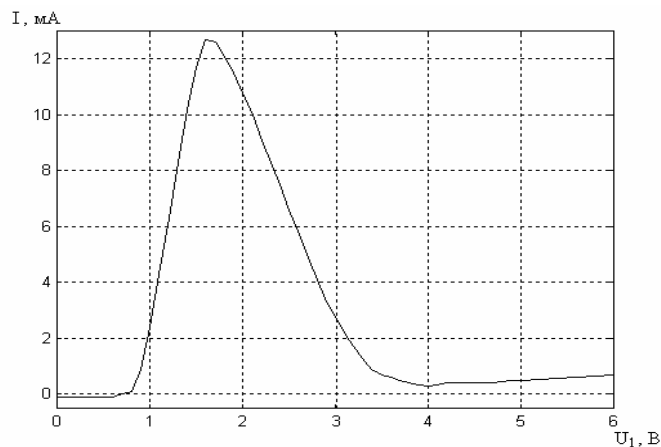


Рисунок 6 – Експериментальна ВАХ перетворювача вологості

Експериментальну залежність величини напруги вихідного сигналу перетворювача вологості від часу, при напрузі живлення  $U_1=2,5 \text{ В}$  та нульовій вологості зображено на рис. 7. З рис. 7 видно, що період коливання  $t = 2,03 \text{ мкс}$ , відповідає частоті  $F = 492,6 \text{ кГц}$ .

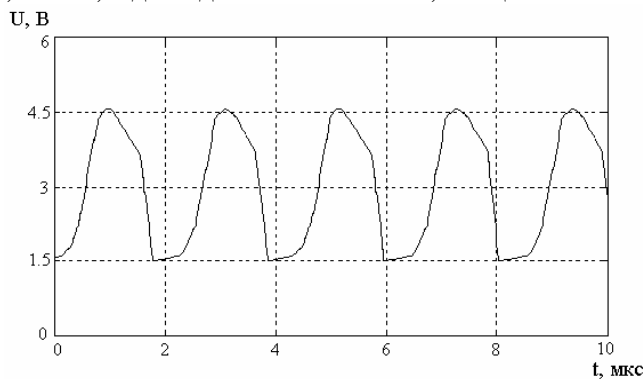


Рисунок 7 – Експериментальна залежність величини напруги вихідного сигналу перетворювача вологості від часу

Експериментальну залежність частоти генерації  $F$  від напруги живлення  $U_1$  наведено на рис. 8. З даного графіку видно, що при збільшенні напруги живлення  $U_1$  від 1,4 В до 5,0 В частота генерації зменшується від 689,7 кГц до 457,2 кГц.

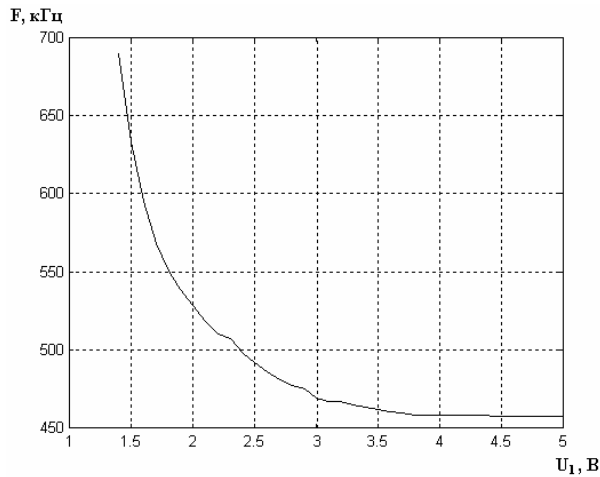


Рисунок 8 – Експериментальна залежність частоти генерації від напруги живлення

На рис. 9 подано блок-схему вимірювальної установки для дослідження залежності частоти генерації перетворювача від вологості нафтопродуктів. В даному випадку досліджувалась залежність частоти генерації від масової частки вологості мінерального масла «М8В». Експериментальну залежність частоти генерації  $F$  від вологості мінерального масла «М8В» наведено на рис. 10. З даного графіку видно, що при збільшенні вологості  $W$  від 0% до 20% частота генерації при напрузі живлення  $U_1=2,5$  В зменшується від 470,9 кГц до 452,8 кГц, а при напрузі живлення  $U_1=1,7$  В зменшується від 520,2 кГц до 490,1 кГц. Отже, діапазон зміни частоти генерації є більшим при напрузі живлення  $U_1=1,7$  В. Чутливість перетворювача вологості при  $U_1=1,7$  В складає  $\approx 1,5$  кГц/‰.

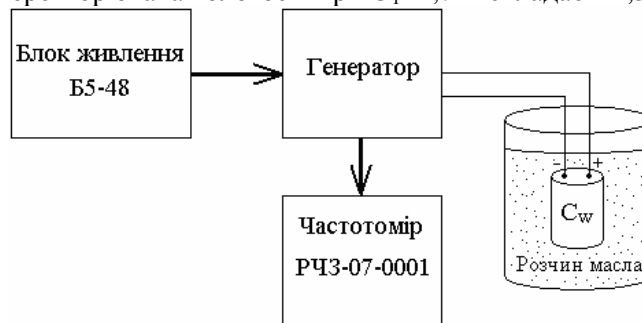


Рисунок 9 – Блок-схема вимірювальної установки для дослідження залежності частоти генерації перетворювача від масової частки вологості нафтопродуктів

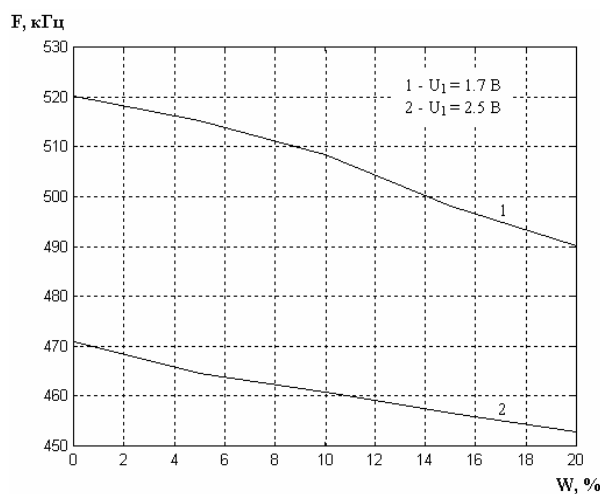


Рисунок 10 – Експериментальна залежність частоти генерації від вологості мінерального масла «М8В»

### Висновки

В даній роботі було запропоновано оригінальну електричну схему мікроелектронного частотного перетворювача для вимірювання вологості нафтопродуктів на основі циліндричного вологочутливого конденсатора та транзисторної структури з від'ємним опором. Було проведено схемотехнічне моделювання даної схеми в середовищі Orcad Family Release 9.2, а також експериментальні дослідження перетворювача вологості, завдяки чому отримано експериментальні ВАХ і залежності частоти генерації від напруги живлення та вологості. Оптимальний режим роботи перетворювача вологості забезпечується при нарузі живлення  $U_1=1,7$  В. Розбіжність теоретичних і експериментальних результатів складає 5%. Чутливість перетворювача вологості при  $U_1=1,7$  В складає  $\approx 1,5$  кГц/‰.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 303 с.
2. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 275 с.
3. Заявка на Пат. УКРАЇНИ, МКІ G 01 N 27/12. Пристрій для визначення вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Л.В. Крилик, О.С. Звягін, К.Ю. Іоніна (УКРАЇНА). - №u200902969; Заявл. 30.03.2009.
4. Пат. 39894 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний сенсор для вимірювання вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.С. Звягін (УКРАЇНА). - №u200814033; Заявл. 05.12.2008; Опубл. 10.03.2009; Бюл. № 5. - 2 с.