

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри
к.ф.-м.н., І.І. Чичура

«__» _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

на тему:

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИЛАД АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Виконав:

Савла Анатолій Віталійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник:

к.ф.-м.н., Овчаренко В.В., доц.

(вчене звання, ПІБ, посада)

_____ (підпис)

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування
Освітньо-кваліфікаційний рівень «БАКАЛАВР»
Напрямок підготовки Автоматизація

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
доц. Чичура І.І.


"20" червня 2023р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ
студенту Савла Анатолію Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема КБР «Автоматизований прилад аналізу електролітів»
керівник роботи доц. Овчаренко В.В.

(вчене звання, ПБ, науковий ступінь)

затверджені Розпорядженням по ІТФ від "12" травня 2023 року № 16 .

2. Строк подання студентом роботи "12" червня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи: Розробити автоматизований прилад визначення K^+ та Na^+ в рідинах. Метод вимірювання – потенціометричний. Давач – іоноселективний скляний електрод. Діапазон вимірювання: K^+ – $1 \div 10$ ммоль/дм³, Na^+ – $10 \div 200$ ммоль/дм³. Основна допустима похибка вимірювання : K^+ – $\pm 0,2$ ммоль/дм³, Na^+ – ± 2 ммоль/дм³. Температура оточуючого середовища від 10 до 35°C. Об'єм проби – не більше 300 мкл. Інтервал часу 1-точкового калібрування 1 година. Інтервал часу 2-точкового калібрування – 24 години. Тиск $86,6 \div 106,7$ кПа. Вологість при +25°C до 80%. Живлення від мережі 220 В, 50 ± 1 Гц. Споживана потужність не більше 30 ВА. Час встановлення показів не більше 1 хв. Основний керуючий пристрій – мікроконтролер.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ. Технічні вимоги. Огляд та аналіз аналогів. Принципи роботи іоноселективних електродів. Потенціометричний метод вимірювання концентрації іонів в розчинах. Передавальна характеристика. Методика калібрування. Блок керування та обробки інформації. Розрахунок блоку живлення. Опис роботи приладу. Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

- Схема електрична структурна приладу (А3)
- Схема комбінована функціональна (А2).
- Схема електрична принципова блоку живлення (А3).
- Схема електрична принципова блоку керування та обробки інформації (А2)

7. Дата видачі завдання: 24 березня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання КБР	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Опрацювання літератури та пошук аналогів	24.03.-01.04.23	
2	Розрахунок передавальних характеристик датчиків	01.04 - 15.04.23	
3	Проектування блоку керування та обробки інформації	15.04 – 22.04.23	
4	Проектування блоку живлення	22.04 – 08.05.23	
5	Розробка графічної документації	08.05 – 20.05.23	
6	Написання та оформлення пояснювальної записки	20.05 – 31.05.23	
7	Представлення	12.06.23	

Студент ОМ / Савва А.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник КБР З / Обзаренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи: 74 с., 3 табл., 18 рис., 12 джерел.

ПОТЕНЦІОНОМЕТРІЯ, ЕЛЕКТРОЛІТИ, АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗАТОР ЕЛЕКТРОЛІТІВ.

Об'єкт дослідження — автоматизований прилад визначення K^+ та Na^+ в рідинах.

Мета роботи — розробка автоматизованого приладу аналізу електролітів. Проект включає розгляд аналогів, розробка блоку живлення та розрахунок вихідних характеристик; вибір та обґрунтування структурної та принципової схем

Методи дослідження — аналіз принципів побудови іоно-селективних датчик та підходів до автоматизації процесу вимірювання, синтез структури та електричних схем автоматизованого приладу.

У результаті виконання роботи було розглянуто методи калібрування електродів, розроблена схема електрична принципова блоку обробки та блоку живлення, розглянуто автоматизацію процесу вимірювання та калібрування.

Кінцевий результат проекту може бути використаний в навчальних цілях та для розробки більш функціональних та складних проектів.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualifying bachelor thesis: 74 pp., 3 tables, 18 figures, 12 sources.

POTENTIOMETRY, ELECTROLYTES, AUTOMATED ELECTROLYTE ANALYZER.

The object of research is an automated device for determining K^+ and Na^+ in liquids.

The purpose of the work is to develop an automated electrolyte analysis device. The project includes consideration of analogues, development of a power supply unit and calculation of initial characteristics; selection and justification of structural and principle schemes

Research methods — analysis of the principles of construction of ion-selective sensors and approaches to automation of the measurement process, synthesis of the structure and electrical circuits of the automated device.

As a result of the work, the electrode calibration methods were considered, the electrical schematic diagram of the processing unit and the power supply unit was developed, and the automation of the measurement and calibration process was considered.

The final result of the project can be used for educational purposes and for the development of more functional and complex projects.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ.....	9
2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ.....	10
3 ПРИНЦИПИ РОБОТИ ІОНОСЕЛЕКТИВНИХ ЕЛЕКТРОДІВ.....	17
4 ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ В РОЗЧИНАХ.....	22
4.1 Принцип роботи потенціометричних давачів.....	22
4.2 Стандартні буферні розчини.....	27
5 ПЕРЕДАВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА.....	29
6 МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ.....	32
6.1 Опис техніки калібрування електрода та визначення точності вимірювань.....	32
6.2 Калібрування приладу за двома точками.....	34
6.3 Калібрування приладу за однією точкою.....	37
7 БЛОК КЕРУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ.....	38
7.1 Вибір мікроконтролера.....	38
7.2 Розробка програмного забезпечення.....	40
8 БЛОК ЖИВЛЕННЯ.....	44
7.1 Принцип побудови імпульсного блоку живлення.....	44
7.2 Розрахунок трансформатора.....	45
7.3 Вибір мікросхеми.....	55

					КБР.АКІТ.19050032. 01.000 ПЗ		
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Автоматизований прилад аналізу електролітів		
Розробив		Савла А. В.	<i>Савла</i>	19.06			
Перевірив		Овчаренко В. В.	<i>Овчаренко</i>	19.06			
Н. Контр.		Тютюнников С.В.	<i>Тютюнников</i>	19.06			
Затв.		Чичура І.І.	<i>Чичура</i>	19.06			
					Літера	Аркуш	Аркушівв
					у	6	74
					УжНУ, ІТФ 4 курс гр. АКІТ		

9. ОПИС РОБОТИ ПРИЛАДУ.....58
ВИСНОВКИ.....60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....61
ДОДАТКИ.....

АКТ
АКТ
АКТ
АКТ

ВСТУП

Автоматичні прилади аналізу електролітів є важливими інструментами в багатьох наукових і промислових галузях, таких як медицина, хімія, біологія та електроніка. Електроліти грають критичну роль у забезпеченні різноманітних фізіологічних та хімічних процесів у живих організмах, а також у виробництві батарей, електролітичних клітин, електролітичних компонентів та інших електрохімічних систем. Отже, точний та надійний аналіз електролітів є важливим завданням для дослідників і промислових виробників.

У минулому аналіз електролітів виконувався в основному вручну, що було пов'язано з великою кількістю робочих годин, помилками та обмеженими можливостями обробки даних. Однак з розвитком сучасної технології автоматизовані прилади аналізу електролітів набули широкого застосування, забезпечуючи швидкий, точний та ефективний спосіб визначення концентрації електролітів у зразках.

Мета цієї бакалаврської роботи полягає у дослідженні та розробці автоматичного приладу аналізу електролітів, який буде здатний швидко та точно визначати концентрацію електролітів у різних типах зразків.

					КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		8

2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ

У сучасному світі, автоматичні прилади аналізу електролітів відіграють важливу роль в багатьох наукових, медичних та промислових додатках. Вони дозволяють швидко, точно та ефективно вимірювати концентрацію електролітів у різних зразках, що має велике значення для контролю якості продукції, діагностики захворювань, досліджень та багатьох інших областей. В даному розділі ми розглянемо опис існуючих автоматичних приладів аналізаторів на ринку, їхні особливості, технічні характеристики та можливості застосування, що допоможе зробити обґрунтований висновок про сучасний стан цього ринку.

1. *Аналізатор електролітів крові HTI E-Lyte Plus* - аналізатор електродного типу для вимірювання електролітів в сироватці, цільної крові і сечі. Прилад автоматично відбирає кров, аналізує її, роздруковує результат, проводить очистку і контроль якості завдяки вбудованому мікропроцесору. (рис. 2.1)

					<i>КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ</i>	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		10



Рисунок 2.1 – Аналізатор електролітів HTI E-Lyte Plus [5]

З переваг можна відмітити наступне:

- Простий в управлінні, надійний і легкий в обслуговуванні.
- Високоточні і стабільні вимірювальні електроди.
- Зручне інтерактивне меню, великий сенсорний екран.
- Автоматична детекція бульбашок.
- "Сплячий" режим аналізатора електролітів забезпечує постійну готовність до роботи, виключає відмови приладу в результаті довготривалого простою.
- Моніторинг залишкового обсягу реагентів: використання змінних паків, що містять робочі розчини і ємність для відходів . [5]

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

11

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики НТІ E-Lyte Plus [5]

Принцип вимірювання	Пряма потенціометрія
Вимірювальні параметри	Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , iCa, pH
Розрахункові параметри	nCa, tCa
Тип зразка	Плазма, сироватка, цільна кров, спинномозкова рідина, розведена сеча
Об'єм зразка	Плазма, сироватка, цільна кров, спинномозкова рідина: 60 мкл; розведена сеча: 300 мкл
Час аналізу	40 сек на аналіз
Аспірація зразка	Автоматична
Калібрування	Автоматична або ручна; 2-точкова;
Друк	Вбудований термопринтер
Інтерфейс	RS-232, інтерфейс для підключення зчитувача штрих коду
Пам'ять	00 результатів

1. Аналізатор електролітів GEM PREMIER 3500 - простий і надійний прилад, який ідеально відповідає потребам ургентних відділень. (рис. 2.2)

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Простий – змінні, що не вимагають обслуговування багаторазові картриджі і інтуїтивно-зрозумілий сенсорний екран забезпечують зручність і легкість експлуатації.

Гнучкий – різноманітність конфігурацій картриджів та широкий перелік тестів дозволяють знайти економічне рішення для будь-якого лікарняного відділення з будь-яким робочим навантаженням.



Рисунок 2.2 – Аналізатор електролітів GEM PREMIER 3500 [6]

Аналізатор електролітів GEM PREMIER 3500 зазвичай має наступні функціональні можливості:

1. Метод вимірювання: Потенціометричний метод, кондуктометрія, амперометрія.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

13

2. Повна комунікабельність – програма GEMweb Plus дозволяє здійснювати контроль роботи та забезпечує доступ до інформації приладу по всій лікарні у реальному режимі часу.
3. Об'єм зразка – 135-150 мкл.
4. Швидкість виконання аналізу – 85 сек.[6]

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

14

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики GEM PREMIER 3500 [6]

Тип аналізатора	Картриджний аналізатор газів крові, електролітів, метаболітів і гематокриту
Принцип виміру	Потенціометрія, кондуктометрія, амперометрія
Об'єм зразка	Менше 150 мкл
Проба	Цілісна гепаринізована кров, сироватка, діалізат,
Основні розрахункові параметри	Ca ²⁺ (pH=7,4), TCO ₂ , BE _{ecf} , BE(B), tHb(c), HCO ₃ ⁻ -std, HCO ₃ ⁻ (c),
Вимірювані параметри	Гази крові (рН, рCO ₂ , рO ₂), електроліти (K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺), метаболіти (глюкоза, лактат), гематокрит
Час отримання результату	Менше 90 сек
Інтерфейс	Чотири USB порти, , здатність відкривати DVD/CD-диски та проводити запис інформації з аналізатора на DVD/CD

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

15

Зробивши аналіз розглянутих вище аналізаторів електролітів можна прийти до наступного висновку:

HTI E-Lyte Plus:

- **Вигода:** Має широкий діапазон вимірювання параметрів електролітів та рН. Забезпечує швидкий час аналізу і автоматичне калібрування.
- **Обмеження:** Обмежений вимірюванням лише деяких параметрів, і має обмежену пам'ять для зберігання результатів.

GEM PREMIER 3500:

- **Вигода:** Має широкий спектр вимірюваних параметрів, включаючи гази крові, електроліти, метаболіти та гематокрит. Забезпечує швидкий час отримання результатів та має багатофункціональний інтерфейс.
- **Обмеження:** Можливість вимірювання інших параметрів, окрім електролітів, може зробити його складним у використанні для деяких дослідницьких потреб.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

16

3 ПРИНЦИП РОБОТИ ІОНОСЕЛЕКТИВНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Іоноселективні електроди - це датчики, які вимірюють концентрацію певного іону у розчині шляхом зарядження електроду з одного боку, а потім вимірюють електричний потенціал, що виникає на іншому електроді. (рис.1.3)[8]

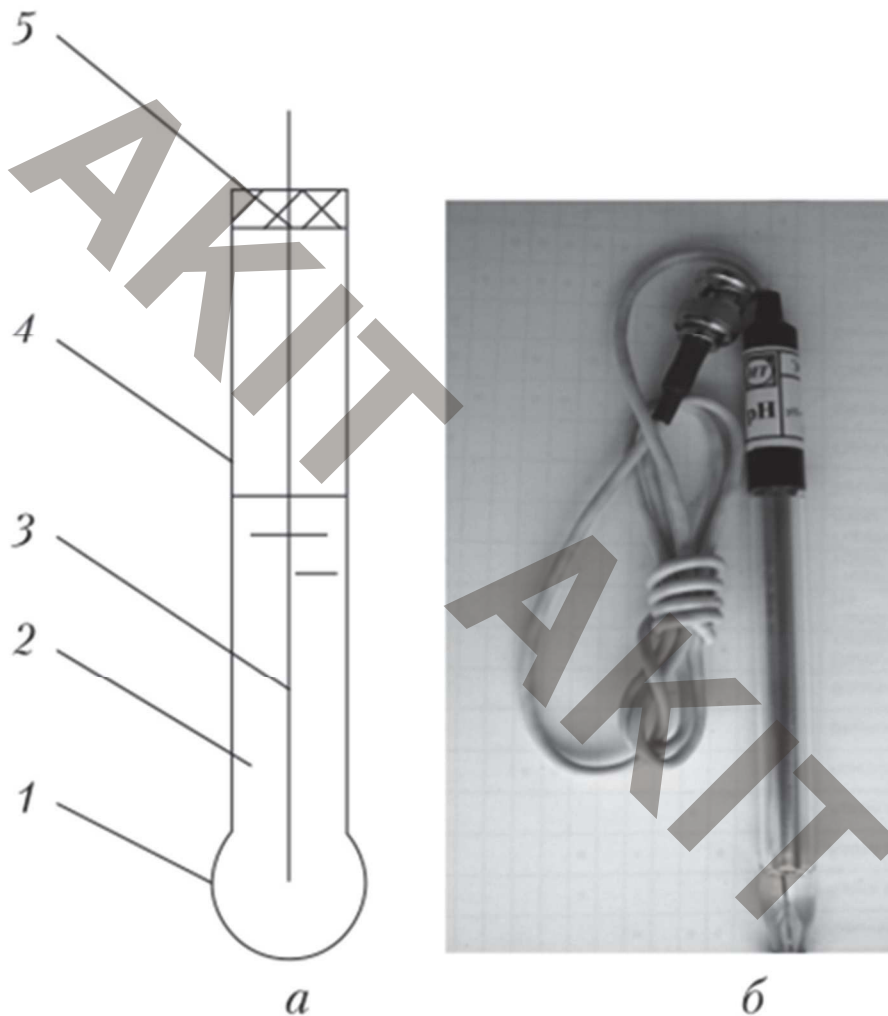


Рисунок 3.1 – Іоноселективний скляний електрод: *а* - схема; *б* - зовнішній вигляд; 1 - скляна рН-чутлива мембрана; 2 - 0,1 М розчин HCl, насичений AgCl; 3 - срібна дріт; 4 - скляна трубка; 5 – ізоляція. [3]

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

17

Принцип роботи полягає в тому, що електрод взаємодіє з розчином, в якому міститься певний іон, і створюється різниця потенціалів між електродами, яка залежить від концентрації іону. Ця різниця потенціалів може бути виміряна та використана для обчислення концентрації іону.

Іоноселективні електроди складаються з мембрани, яка містить іонфорний електрод, що відповідає за взаємодію з певним іоном, та референсний електрод, який забезпечує стандартний електричний потенціал. Іонфорний електрод має внутрішню структуру, яка поглинає певний тип іону, наприклад, натрію, калію або кальцію, залежно від того, який іон потрібно виміряти.[8]

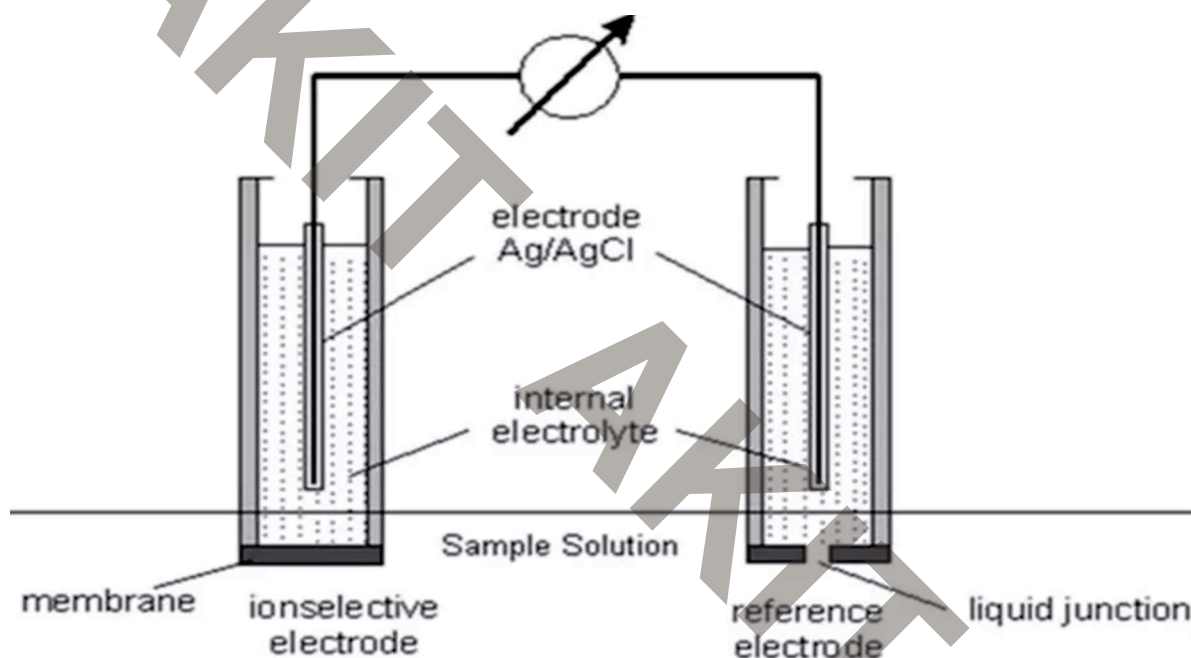


Рисунок 3.2 – Принцип роботи іоно-селективного електроду [4]

При контакті мембрани із розчином, який містить певний іон, іонфорний електрод поглинає цей іон, що створює внутрішню різницю потенціалів. Референсний електрод має стабільний потенціал, який використовується для калібрування мембрани та визначення точки нульового заряду.

Іоноселективні електроди базуються на принципі специфічної взаємодії між

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

іонами у зразку та мембраною, що містить реагент, спрямованого на певний тип іонів. Такі мембрани можуть бути зроблені з різних матеріалів, таких як пластик, скло або кераміка, і містять спеціальний іонний реагент, який взаємодіє зі специфічними іонами у розчині. [9]

Коли іони взаємодіють з мембраною, виникає різниця потенціалів між мембраною та розчином. Цей потенціал може бути виміряний за допомогою електроду, що знаходиться в розчині поруч з мембраною. Потенціал електроду залежить від концентрації іонів у розчині, які взаємодіють з мембраною.

Іоноселективні електроди (мембранні електроди) — електрохімічні напівелементи електрохімічного ланцюга, потенціали яких залежать від активності у розчині іона, до якого селективний цей електрод. Потенціал ідеального І.е. описується рівнянням Нернста:

$$E = E^0 + \frac{2,3R \cdot T}{n \cdot F} * \lg a_i \quad (3.1)$$

де E^0 — стандартний електродний потенціал електрода; R — газова постійна; T — температура розчину, К; n — заряд іона з відповідним знаком; a_i — активність іона, до якого селективний електрод.

Величина $\frac{2,3R \cdot T}{n \cdot F} = S$ називається Нернстівським кутовим коефіцієнтом: при 25 °С для одозарядного іона $S=59,16$ мВ; для двозарядного — $S=29,58$ мВ. На потенціал реальних І.е. чинять деякий вплив також інші іони розчину, а не тільки ті, до яких електрод селективний. Цей вплив враховується рівнянням Нікольського:

$$E = E^0 + \frac{2,3R \cdot T}{n \cdot F} * \lg(a_A \sum_{j=1}^y K_{A/B}^{n_A} * a_{B_j}^{n_B}) \quad (3.2)$$

де A — іон, до якого електрод селективний; B — іон, до якого електрод неселективний; y — кількість іонів у розчині, до яких електрод неселективний; n_A , n_B — заряд іонів A і B відповідно з відповідним знаком; $K_{A/B}$ — потенціометричний коефіцієнт селективності електрода до іона B .

Чим менше значення $K_{A/B}$, тим менший вплив іона B на потенціал І.е.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Наведені рівняння покладені в основу потенціометричного визначення іонів. I.e. — електрохімічна система, основним елементом якої є мембрана, проникна лише для іона, який аналізують. Мембрана розділяє два розчини електроліту: розчин, що аналізують (зовнішній розчин), та стандартний розчин (внутрішній). Внутрішній розчин має точно відому концентрацію іона, що аналізують. Між розчинами виникає різниця потенціалів, яка дорівнює сумі міжфазних потенціалів та внутрішнього дифузійного потенціалу. Для вимірювання цієї різниці потенціалів у зовнішній та внутрішній розчині вміщують два ідентичних електроди порівняння і приєднують їх до електровимірювального приладу, напр. до високоомного мілівольметра. Вимірювана величина і є потенціалом I.e.[1]

Хімічна природа іонселективних електродів заснована на іонофорі (рис. 3.3), який є молекулою, яка вибірково зв'язується з певним іоном.

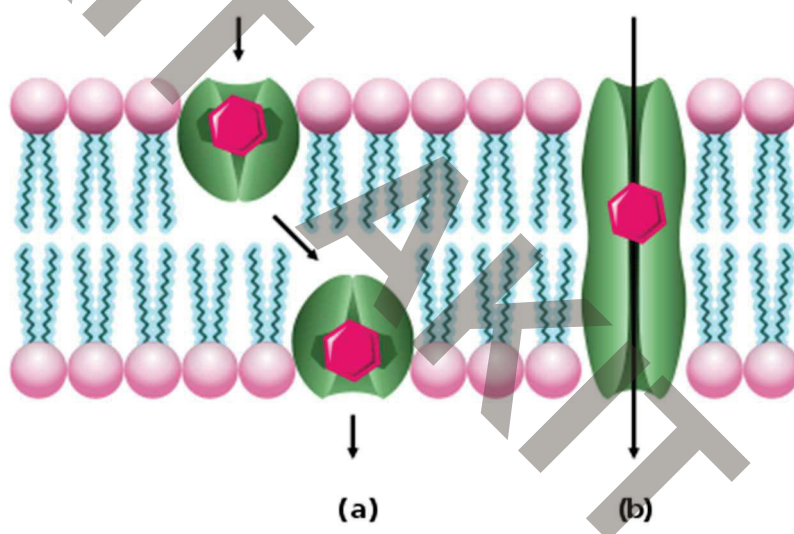


Рисунок 3.3 – Іонофор: а - Іонофори-носії оборотно зв'язують іони та переносять їх через клітинні мембрани; б - Канальні іонофори створюють канали в клітинних мембранах для полегшення транспортування іонів.[2]

Цей іонофор наноситься на поверхню електрода, що дозволяє йому вибірково зв'язуватися з цікавим іоном. Іонофор є критично важливим компонентом іонселективного електрода, оскільки його селективність щодо певного іона визначає чутливість, точність і специфічність електрода.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Окрім іонофора, іоноселективні електроди також містять електрод порівняння та чутливий електрод. Електрод порівняння використовується для вимірювання різниці потенціалів між чутливим електродом і вимірюваним розчином. (рис. 3.4).

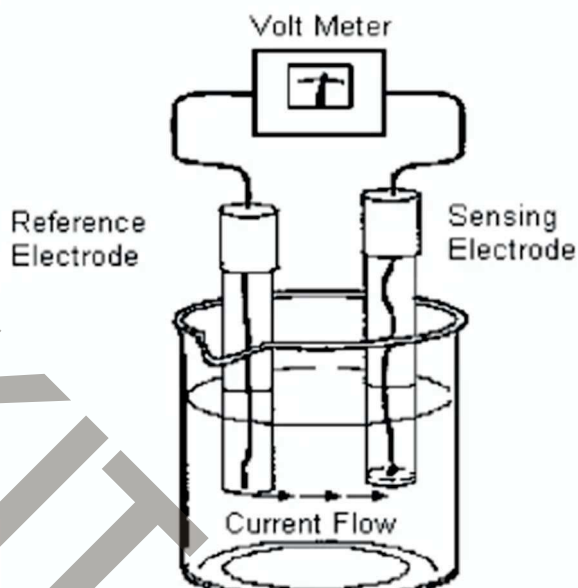


Рисунок 3.4 – Принцип роботи електродів [4]

Чутливий електрод покритий іонофором і відповідає за виявлення та вимірювання концентрації цікавого іона.

Чутливий електрод і електрод порівняння працюють разом, створюючи різницю потенціалів, пропорційну концентрації цікавого іона. Різниця потенціалів вимірюється та використовується для розрахунку концентрації іонів у зразку.

Сьогодні на ринку доступні різні типи іонселективних електродів, кожен з яких призначений для вибіркового зв'язування з певним типом іонів. Деякі приклади іонселективних електродів включають електроди рН, фторидні електроди та калійселективні електроди.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

4 ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ В РОЗЧИНАХ

4.1 Принцип роботи потенціометричних давачів

Потенціометрія - електрохімічний метод аналізу, заснований на визначенні концентрації електролітів шляхом вимірювання потенціалу електрода, зануреного в досліджуваний розчин. Вона є селективним кількісним методом аналізу.

Метод потенціометричного вимірювання концентрації іонів в розчині заснований на вимірюванні різниці електричних потенціалів двох спеціальних електродів, поміщених в випробовуваний розчин, причому один електрод - допоміжний - в процесі вимірювання має постійний потенціал.

В даній бакалаврській роботі ми будемо використовувати іоно-селективний скляний електрод ЕСК-10603



Рисунок 4.1 – Іоноселективний скляний електрод ЕСК-10603 [12]

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

22

Розрізняють пряму і непрямую потенціометрію, або потенціометричні титрування.

Одне з головних переваг цього методу - можливість роздільного визначення ряду близьких за властивостями компонентів одного і того ж розчину. Перевагами потенціометричного методу вимірювань є також його висока точність і чутливість.

Потенціал E окремого електрода визначають за рівнянням Нернста (W. Nernst - німецький фізико-хімік, 1869-1941) через його стандартний (нормальний) потенціал E_0 і активність іонів a , які беруть участь в електродному процесі.

Потенціометричний метод найбільш широко використовують для визначення активності іонів водню, що характеризує кислотні або лужні властивості розчину.

Поява водневих іонів в розчині викликано дисоціацією частини молекул води, що розпадаються на іони водню і гідроксилу:



Концентрація недиссоційованих молекул у воді настільки велика (55,5 М), що її можна вважати сталою, тому рівняння (4.1) спрощують: $K_{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-14}$ - константа, яка називається іонним добутком води, при температурі 22 °С.

При дисоціації молекул води іони водню і гідроксилу утворюються в рівних кількостях, отже, їх концентрації однакові (нейтральний розчин). Виходячи з рівності концентрацій і відомої величини іонного добутку води маємо:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{H}_2\text{O}}} = \sqrt{1 \cdot 10^{-14}} = 1 \cdot 10^{-7} \quad (4.2)$$

Для більш зручного вираження концентрації іонів водню хімік Зеренсен (P. Sørensen - данський фізико-хімік і біохімік, 1868-1939) ввів поняття рН (р - початкова буква датського слова *Potenz* - ступінь, Н - хімічний символ водню).

Водневий показник рН - величина, що характеризує концентрацію (активність) іонів водню в розчинах. Він чисельно дорівнює десятковому логарифму концентрації іонів водню $[\text{H}^+]$, взятому з протилежним знаком, тобто

					КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		23

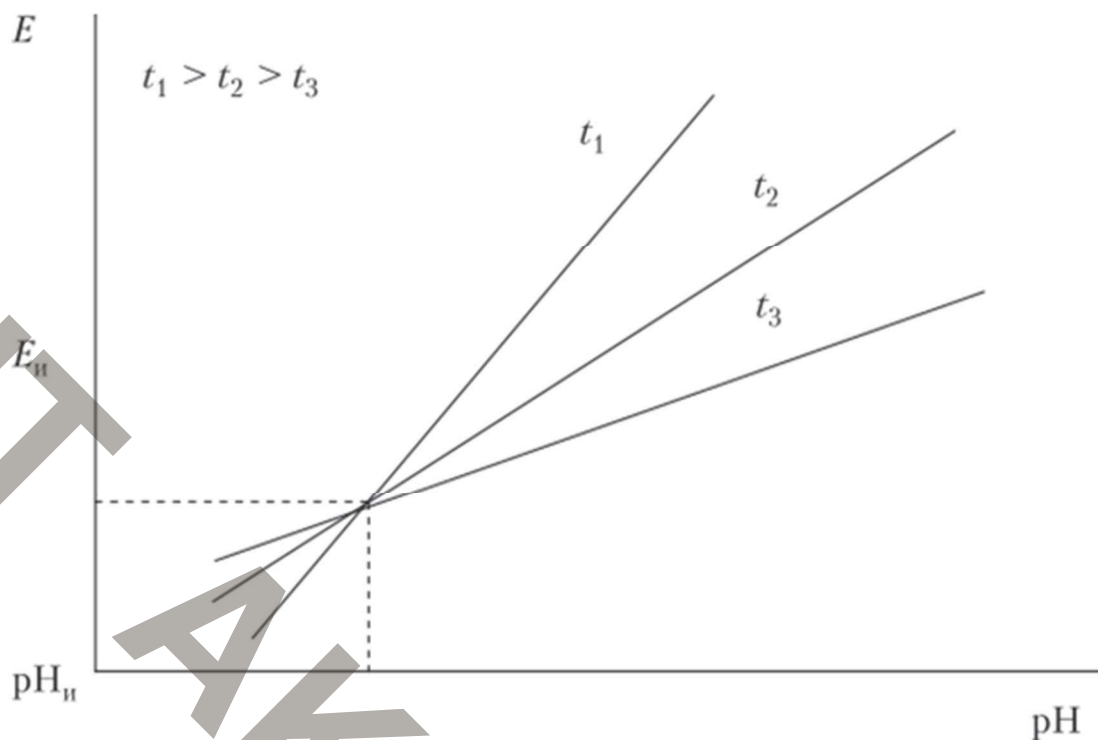


Рисунок 4.2 - Залежність $E = f(pH)$ розчину від його температури t [3]

Координати ізопотенціальної точки (E_n і pH_n) є найважливішими характеристиками електродної системи. З урахуванням температури статична характеристика набуде вигляду [3]

$$E = E_N - (S_0 + at)(pH - pH_N) \quad (4.4)$$

Потенціометричні аналізатори можуть бути виготовлені з вбудованими регуляторами для сигналізації режимів граничних значень pX (pH) або для управління режимом технологічних процесів.

Залежно від конструктивного виконання чутливі елементи аналізаторів поділяють на такі види:

- заглибні для монтажу в резервуарах або каналах;
- проточні для монтажу в ланцюгах трубопроводів;
- магістральні;
- поплавкові.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

4.2 Стандартні буферні розчини

Стандартні буферні розчини є набором розчинів з відомими і точно вимірними значеннями рН, які використовуються у лабораторній практиці для калібрування та налаштування рН-метрів, аналізу кислотності та лужності розчинів, а також для створення стійких умов експерименту.

Найпоширенішими прикладами стандартних буферних розчинів є:

1. Розчин рН 4.00: Це кислий буферний розчин з рН 4.00 при 25 °С. Використовується для калібрування та перевірки рН-метрів у кислому діапазоні.
2. Розчин рН 7.00: Це нейтральний буферний розчин з рН 7.00 при 25 °С. Використовується для калібрування та перевірки рН-метрів у нейтральному діапазоні.
3. Розчин рН 10.00: Це лужний буферний розчин з рН 10.00 при 25 °С. Використовується для калібрування та перевірки рН-метрів у лужному діапазоні.

Ці стандартні розчини можуть бути доступні у вигляді концентрованих розчинів або готових до використання розчинів, залежно від потреби. При підготовці та використанні буферних розчинів важливо дотримуватись інструкцій та стандартних процедур, щоб забезпечити точність та надійність вимірювань рН.[7]

В рамках даної бакалаврської роботи ми будемо використовувати наступні буферні розчини:

1. Буферний розчин для вимірювання концентрації іонів K^+ :

Буферний розчин Кларка (Clark's buffer), який містить розчини Кларка з різними концентраціями KCl та $NaCl$. Наприклад, розчини з концентраціями 1, 5 та 10 ммоль/дм³ можуть бути використані для калібрування та перевірки точності вимірювань.

										Арк
										27
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата						

2. Буферний розчин для вимірювання концентрації іонів Na^+ :

Для вимірювання концентрації іонів Na^+ можна використовувати буферний розчин фізіологічного розчину (PBS), який містить розчини NaCl , KCl , Na_2HPO_4 та KH_2PO_4 . Зазвичай, використовуються розчини з концентраціями 10, 100 та 200 ммоль/дм³ для калібрування та перевірки точності вимірювань.

					<i>КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

5 ПЕРЕДАВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Як відомо із попереднього розділу, між двома електродами, що поміщені у електроліт, виникає різниця потенціалів, тобто електролітична комірка є джерелом гальванічної ЕРС (електро-рушійна сила). Виникнення ЕРС між металом електроду та розчином при малій концентрації пояснюється тим що метал частково розчинюється, тобто у розчин переходять додатньо заряджені іони металу, і розчин заряджується додатньо, а на електроді залишаються надлишкові електрони і іон заряджується від'ємно відносно розчину. Залежність між електродним потенціалом у вольтах та концентрацією розчину визначається рівнянням Нернста:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln fc, \quad (5.1)$$

де $R=8.317$ Дж/К – універсальна газова стала; T – абсолютна температура, К; n – валентність іонів; $F=96552$ Кл/г-екв – постійна Фарадея; c – концентрація іонів, г-екв/л; f – коефіцієнт активності розчину. Якщо перейти до десяткових логарифмів, враховуючи рівняння Нікольського, отримаємо:

$$E = E_0 + \frac{2.303RT}{ZF} \lg C, \quad (5.2)$$

де E_0 – стандартне значення різниці потенціалу електродів, яке залежить лише від природи електродів та температури; R – універсальна газова стала; T – температура; Z – валентність іонів; F – постійна Фарадея; C – концентрація іонів.

У загальному випадку електролітична комірка може бути складена із різних електродів, що розташовані у різних розчинах. Кожна частина такого гальванічного елемента називається напівелементом. ЕРС між двома напівелементами, що містять розчини різних еквівалентних концентрацій, дорівнює:

$$E_2 - E_1 = E_0 + \frac{2.303RT}{ZF} \lg C_2 - E_0 - \frac{2.303RT}{ZF} \lg C_1 = \frac{2.303RT}{ZF} (\lg C_2 - \lg C_1) \quad (5.3)$$

Отже, як видно із (5.3), якщо електроди, що використовуються, однакові та розташовані у розчинах одних і тих же іонів, які відрізняються лише концентрацією, тоді концентраційна ЕРС такої ланки буде

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{2.303RT}{ZF} \lg \frac{C_2}{C_1} \quad (5.4)$$

Якщо позначити, що $k = \frac{2.303RT}{ZF}$, тоді можна записати

$$E_2 - E_1 = k \lg \frac{C_2}{C_1} \quad (5.5)$$

Визначаємо коефіцієнт k :

$$k = \frac{E_2 - E_1}{\lg \frac{C_2}{C_1}} \quad (5.6)$$

Знаючи коефіцієнт k , можна визначити концентрацію калію (або натрію) досліджуваного розчину C_x , який знаходиться в інтервалі концентрацій $C_1 - C_2$ за формулою:

$$C_x = \frac{C_2}{10^{\frac{E_2 - E_1}{k}}} \quad (5.7)$$

Із формули (5.6) та (5.7) випливає:

$$C_x = \frac{C_2}{10^{\frac{E_2 - E_1}{k} \lg \left(\frac{C_2}{C_1} \right)}} \quad (5.8)$$

Оскільки концентрація C_x може знаходитись лише у діапазоні концентрацій $C_1 - C_2$, що відповідає значенням концентрацій першого та другого стандартів для кожного із досліджуваних іонів, що вимірюються, формулу (5.8) можна записати наступним чином:

а) для іона Na^+ :

$$C_x = \frac{149}{10^{0.56 \frac{E_2 - E_1}{E_2 - E_1}}} \quad (5.9)$$

Вище наведена формула визначає передавальну характеристику Na-го каналу, яка наведена на рис.5.1.

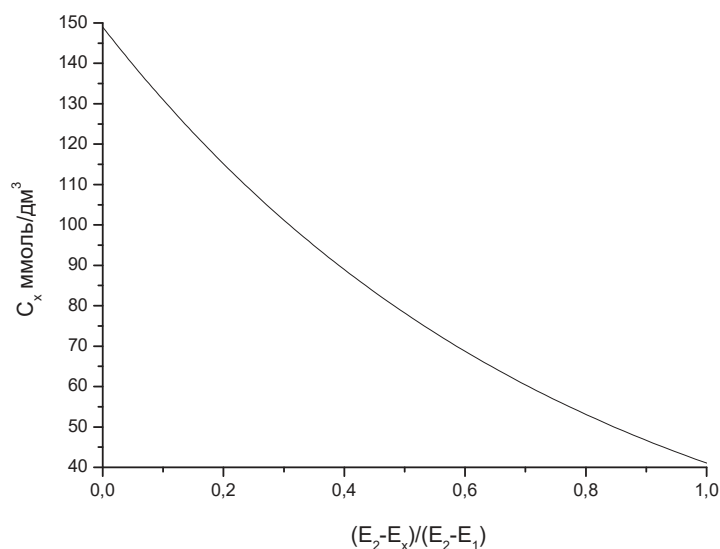


Рисунок 5.1 - Передавальна характеристика Na-го каналу.

б) для іона K^+ :

$$C_x = \frac{5}{10^{0.582 \frac{E_2 - E_1}{E_2 - E_x}}} \quad (5.10)$$

Вище наведена формула визначає передавальну характеристику Na-го каналу, яка наведена на рис.5.2.

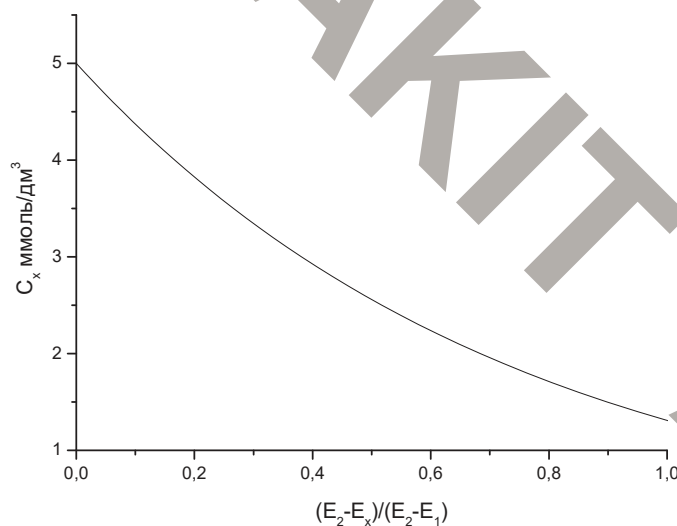


Рисунок 5.2 - Передавальна характеристика K-го каналу.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

6.2 Калібрування приладу за двома точками

Подати на вхід первинного вимірювального перетворювача перший стандартний калібровочний розчин (стандарт1). Провести вимірювання першої різниці потенціалів E_1 для натрієвого та калієвого каналів.

Промити робочий канал.

Подати на вхід первинного вимірювального перетворювача другий стандартний калібровочний розчин (стандарт2). Провести вимірювання другої різниці потенціалів E_2 для кожного каналу.

Визначити коефіцієнт k для кожного із каналів згідно рівняння (5.6).

Визначимо передавальні характеристики (проведемо калібрування) для певного типу іонноселективних електродів. Із електричних характеристик мембранних електродів типу, різниця потенціалів між електродом порівняння і вимірювальним електродом для першого стандарту складає $E_1 = -142\text{ мВ}$, а для другого стандарту $E_2 = -120\text{ мВ}$ (для обох каналів).

Тоді підставляючи ці дані у формули (5.9) та (5.10) отримаємо :

а) для іона Na^+ :

$$C_x = \frac{149}{10^{0.56 \frac{-120 - E_x}{22}}} \quad (6.1)$$

б) для іона K^+ :

$$C_x = \frac{5}{10^{0.582 \frac{-120 - E_x}{22}}} \quad (6.2)$$

Побудуємо передавальні характеристики ПВП для кожного із каналів, враховуючи що концентрації, які відповідають стандартам 1-н та 2-а – є крайніми точками вимірювання концентрації електролітів в крові, сироватці або плазмі. Результати розрахунків приведені в Табл.6.1 і наведені на Рис.6.1 та Рис.6.2.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Таблиця 6.1 - Розрахунок передавальних характеристик

№	E, мВ	Концентрація іона калія, ммоль\дм ³	Концентрація іона натрія, ммоль\дм ³
1	-120	5,0	149,0
2	-121	4,7	140,5
3	-122	4,4	132,5
4	-123	4,2	125,0
5	-124	3,9	117,9
6	-125	3,7	111,2
7	-126	3,5	104,8
8	-127	3,3	98,9
9	-128	3,1	93,2
10	-129	2,9	87,9
11	-130	2,7	82,9
12	-131	2,6	78,2
13	-132	2,4	73,7
14	-133	2,3	69,5
15	-134	2,1	65,6
16	-135	2,0	61,9
17	-136	1,9	58,3
18	-137	1,8	55,0
19	-138	1,7	51,9
20	-139	1,6	48,9

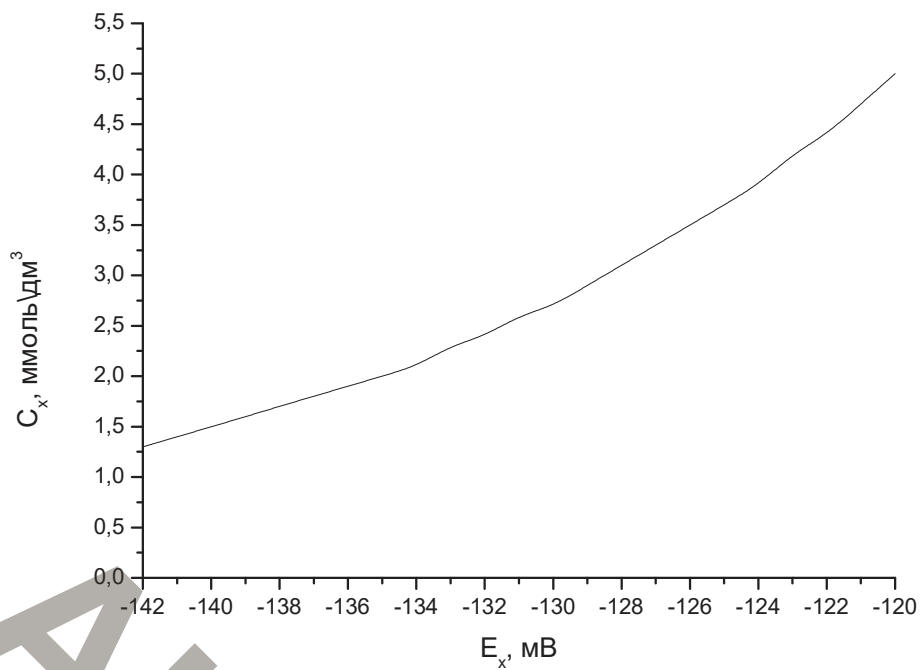


Рисунок 6.1 - Передавальна характеристика калієвого каналу

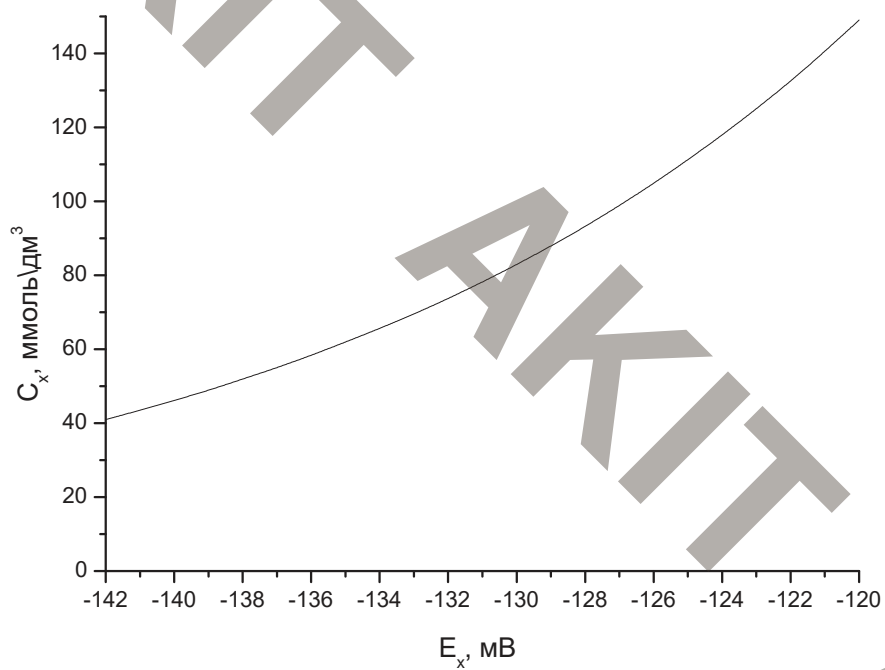


Рисунок 6.2 - Передавальна характеристика натрієвого каналу

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

36

7 БЛОК КЕРУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

7.1 Вибір мікроконтролера

Вибір мікроконтролера є важливим етапом розробки приладу для вимірювання концентрації іонів K^+ та Na^+ в рідинах. Одним зі значущих аспектів при виборі мікроконтролера є його функціональні можливості, які повинні задовольняти потреби розробленого приладу.

У даній дипломній роботі для реалізації приладу був вибраний мікроконтролер ATmega640. (рис. 7.1) Основними чинниками, що сприяли вибору даного мікроконтролера, були його функціональні можливості та технічні характеристики.

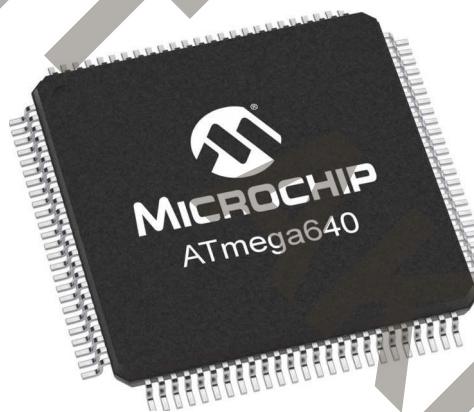


Рисунок 7.1 – Зовнішній вигляд мікроконтролеру ATmega640 [10]

Основні характеристики ATmega640 включають наступне:

Ядро та архітектура:

- 8-бітне RISC-ядро AVR.
- Внутрішня архітектура з 131 реєстром.

Швидкість та частота:

- Максимальна частота роботи: 16 МГц або 20 МГц при використанні внутрішнього генератора.
- Один тактовий цикл виконується за один машинний цикл ($1/16 \text{ МГц} = 62.5 \text{ нс}$ або $1/20 \text{ МГц} = 50 \text{ нс}$).

Пам'ять:

- Внутрішня флеш-пам'ять: 64 Кбайт (з програмованою флеш-пам'яттю від 0 до 64 Кбайт).
- Внутрішня SRAM: 4 Кбайт.
- Внутрішня EEPROM: 2 Кбайт.
- Введено-вивідні піни:

Кількість введено-вивідних виходів: 64.

- 8 введено-вивідних виходів можуть бути налаштовані як 10-бітний аналого-цифровий перетворювач (ADC).
- 4 введено-вивідних вихода підтримують швидкий режим (High-Speed Mode) для високошвидкісних комунікаційних протоколів.

Мікроконтролер ATmega640 відмінно підходить для даної розробки, оскільки він має достатню потужність та ресурси для виконання необхідних обчислень та обробки даних. Зокрема, мікроконтролер має достатню кількість входів/виходів (I/O) для підключення необхідних сенсорів та електродів, а також можливість зв'язку з периферійними пристроями.

7.2 Розробка програмного забезпечення

У рамках розробки блоку обробки інформації, було розроблено наступні функції і алгоритми:

Зчитування даних з іоноселективного скляного електрода. Реалізовано код для зчитування потенціалу, виміряного іоноселективним скляним електродом, за допомогою аналогового вхідного піна мікроконтролера.

Забезпечено перетворення аналогового сигналу в цифровий формат з використанням внутрішнього АЦП мікроконтролера.

Обробка даних. Розроблено алгоритми для обробки отриманих даних з іоноселективного скляного електрода.

Реалізовано функції для обробки даних, включаючи перетворення аналогових значень у концентрацію та відображення результатів на дисплеї

На рис. 7.2 зображено блок схему алгоритму нашої програми.

					КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		40



Рисунок 7.2 – Блок схема алгоритму

Для вимірювання концентрації іонів K^+ і Na^+ за допомогою мікроконтролера ATmega640 ми будемо використовувати іоноселективні електроди, зчитувати їхні сигнали, обробляти дані відповідно до концентрації цих іонів і виводити їх на екран. Користуючись розробленою блок схемою отримуємо наступну програму:

```

// Підключення необхідних бібліотек
#include <LiquidCrystal.h>

// Ініціалізація LCD екрану
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
  
```

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

```

// Виходи для зчитування сигналів з іоноселективних електродів

const int kIonSensorPin = A0;

const int naIonSensorPin = A1;

void setup() {
    // Ініціалізація LCD екрану
    lcd.begin(16, 2);
    // Налаштування аналогових входів для зчитування сигналів
    pinMode(kIonSensorPin, INPUT);
    pinMode(naIonSensorPin, INPUT);
}

void loop() {
    // Зчитування значень з іоноселективних електродів
    int kSensorValue = analogRead(kIonSensorPin);
    int naSensorValue = analogRead(naIonSensorPin);
    // Конвертування значень в концентрацію іонів
    float kConcentration = map(kSensorValue, 0, 1023, 1, 10);
    float naConcentration = map(naSensorValue, 0, 1023, 10, 200);
    // Виведення результатів на LCD екран
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("K+:");
    lcd.print(kConcentration);
    lcd.print(" mmol/dm3");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Na+:");

```

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

мостом і залежної ємнісним фільтром, на первинну обмотку подається напруга, яка визначається за формулою (8.1)

$$U_1 = U_{\text{вх}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} - U_D \quad (8.1)$$

де $U_{\text{вх}}$ – напруга мережі, U_D – спад напруги на двох прямозміщених діодах, тоді:

$$U_1 = 220 \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} - 3 = 195 \text{ В}$$

Напруги на другій і третій обмотках вказані з врахуванням падіння напруги на діодах вихідних випрямлячів: $U_2 = 5 \text{ В}$; $U_3 = 12 \text{ В}$.

Струми другої і третьої обмоток: $I_2 = 10 \text{ А}$; $I_3 = 2 \text{ А}$.

Вихідна потужність трансформатора:

$$P_2 = U_2 I_2 + U_3 I_3 \text{ Вт.} \quad (8.2)$$

$$P_2 = 5 \cdot 10 + 12 \cdot 2 = 74 \text{ Вт.}$$

Вхідний струм трансформатора:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} \text{ А.} \quad (8.3)$$

$$I_1 = \frac{74}{195} = 0.38 \text{ А.}$$

Завкруглимо значення вхідного струму: $I_1 = 0,4 \text{ А}$.

Для наступних розрахунків необхідно задатися періодом T та часом відкритого положення $t_{\text{и}}$ силового транзистора одноктного зворотньоходового перетворювача (ОЗХП).

Нехай $T=20\text{мкс}$, $t_{\text{и}}=10\text{мкс}$. Робоча частота трансформатора при цьому буде рівною $f = 1/T = 50 \text{ кГц}$

Виберемо осердя трансформатора, в якості матеріалу якого буде використовуватись аморфний магнітний сплав ГМ54ДС-500, У якого наступні параметри:

									Арк
									46
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата					

ефективна магнітна проникність $\mu_{\text{еф}}=500$, в діапазоні

від 0 до 800 А/м;

індукція насичення $B_s=0,8$ Тл.

Задамо параметрами петлі гістерезису, по якій має проходити перемагнічення осердя: $B_0=0,15$ Тл, $\Delta B=0,1$ Тл. Тоді знайдемо

$$v_c = \frac{\mu_0 \mu_{\text{вф}} P T}{\Delta B B_0} \text{ м}^3 \quad (8.4)$$

$$v_c = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500}{0,1 \cdot 0,15} \cdot 74 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 1,39 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Знайденому значенню наближено відповідає ш-подібне осердя Ш7*7*15, у якого $V_c = 1,40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, $S=58$ мм, $L=7$ мм, $m=11$ г.

Знайдемо число витків w_1 первинної обмотки з рівності енергетичного балансу:

$$w_1 = \frac{l}{\mu_0 \mu_{\text{вф}}} \cdot \frac{t_u}{t} \cdot \frac{U_{\text{ж}} B_0}{P} \text{ ВИТ} \quad (8.5)$$

$$w_1 = \frac{7 \cdot 10^3}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 500} \cdot \frac{20}{10} \cdot \frac{200 \cdot 0,15}{74} = 249 \text{ ВИТ}$$

Округлимо одержане значення числа витків до $w_1=250$ вит та уточнимо параметри петлі гістерезису:

$$B_0 = \frac{\mu_0 \mu_{\text{вф}} w_1}{L} \cdot \frac{T}{t_u} \cdot \frac{P}{U_{\text{ж}}} \text{ ТЛ} \quad (8.6)$$

$$B_0 = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot 250}{7 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{20}{10} \cdot \frac{74}{220} = 0,15 \text{ ТЛ}$$

$$\Delta B = \frac{U_{\text{ж}} \cdot t_u}{w_1} \text{ ТЛ} \quad (8.7)$$

$$\Delta B = \frac{220 \cdot 10}{250 \cdot 58} = 0,141 \text{ ТЛ}$$

Амплітуда змінної, складова індукції рівна:

$$B_d = \frac{\Delta B}{2} \text{ ТЛ} \quad (8.8)$$

$$B_d = \frac{0,141}{2} = 0,071 \text{ Тл}$$

Знайдемо середнє значення H_0 і розмах ΔH напруженості магнітного поля

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0 \mu_{\text{вф}}} \text{ А/м} \quad (8.9)$$

$$\Delta H = \frac{\Delta B}{\mu_0 \mu_{\text{вф}}} \text{ А/м} \quad (8.10)$$

$$H_0 = 238 \text{ А/м}$$

$$\Delta H = 224 \text{ А/м}$$

Наближений вигляд петлі гістерезису, по якій має проходити перемагнічування осердя, показано на рис. 8.2

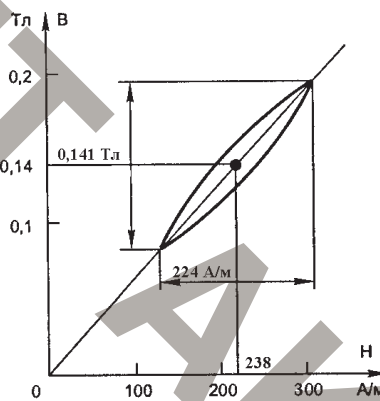


Рисунок 8.2 – Петля гістерезису [11]

Знайдемо мінімальне $i_{1\min}$ та максимальне $i_{1\max}$ значення струму первинної обмотки:

$$i_{1\min} = \frac{H_0 - \frac{\Delta H}{2}}{w_1} \quad (8.11)$$

$$i_{1\max} = \frac{H_0 + \frac{\Delta H}{2}}{w_1} \cdot L \quad (8.12)$$

$$i_{1\min} = \frac{238 - \frac{224}{2}}{250} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 35,3 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$i_{1max} = \frac{238 - \frac{224}{2}}{250} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 90,8 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Знайдемо дійсне значення струму i_1 , за наступною формулою:

$$I_1 = \sqrt{\frac{t_u}{3T} (i_{1min}^2 + i_{1min} i_{1max} + i_{1max}^2)} \text{ МА} \quad (8.13)$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{10}{3 \cdot 20} (35,3^2 + 35,3 \cdot 90,8 + 90,8^2)} = 45,9 \text{ МА}$$

Прийнявши щільність струму в обмотках $j \approx 3 \text{ А/мм}^2$, знайдемо площу перерізу дроту первинної обмотки:

$$S_{пр1} = \frac{I_1}{j} \text{ мм}^2 \quad (8.14)$$

$$S_{пр1} = \frac{45,9 \cdot 10^{-3}}{3} = 0,0153 \text{ мм}^2$$

Визначимо діаметр дроту первинної обмотки:

$$d_{пр1} = \sqrt{\frac{4S_{пр1}}{\pi}} \text{ мм} \quad (8.15)$$

$$d_{пр1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15,3 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,139 \text{ мм}$$

В якості дроту первинної обмотки будемо використовувати дріт ПЭТВ-2 діаметром міді $d_{пр1} = 0,150 \text{ мм}$ (діаметр ізоляції $d_{пр1из} = 0,175 \text{ мм}$).

Визначимо число витків вторинних обмоток трансформатора. Обчислимо число витків першої вторинної обмотки, враховуючи, що вихідна напруга в даній обмотці складає $U_{н2} = 12 \text{ В}$.

$$w_2 = w_1 \frac{U_{н2}}{U_{ж}} \left(\frac{T}{t_u} - 1 \right) \text{ ВИТ.} \quad (8.16)$$

$$w_2 = 200 \frac{12}{220} \left(\frac{20}{10} - 1 \right) = 27,3 \text{ ВИТ.}$$

Завкруглимо отримане значення витків до $w_2 = 30 \text{ ВИТ.}$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Аналогічно знайдемо число витків w_3 , другої вторинної обмотки, враховуючи, що її вихідна напруга складає $U_{H3} = 5 \text{ В}$:

$$w_2 = w_1 \frac{U_{H3}}{U_{ж}} \left(\frac{T}{t_u} - 1 \right) \text{ ВИТ} \quad (8.17)$$

$$w_2 = 200 \frac{5}{220} \left(\frac{20}{10} - 1 \right) = 6,8 \text{ ВИТ}$$

Завкруглимо отримане значення витків до $w_2=10$ вит.

На основі рівності $HL = w_{екв} i_2$ ми можемо зробити висновок, що струм i_2 є лінійно спадаючою функцією часу на проміжку закритого положення транзистора. Графік струму i_2 зображений на рис. 8.3

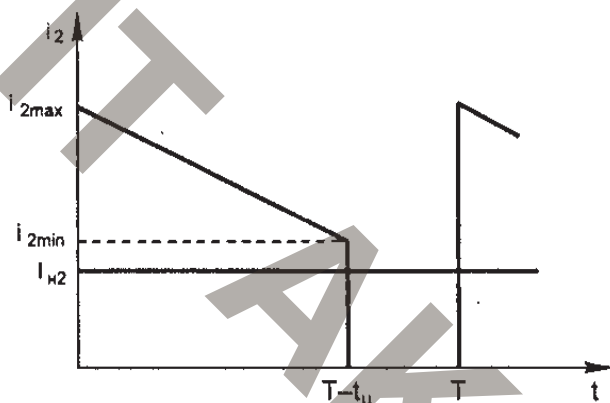


Рисунок 8.3 - Графік струму i_2 [11]

Для знаходження i_{2min} та максимального i_{2max} значення струму i_2 , необхідно спочатку визначити коефіцієнти a_2, a_3 . Знайдемо потрібні нам коефіцієнти:

$$a_2, a_3 = \frac{I_{H3}}{H2} \quad (8.18)$$

$$a_2, a_3 = \frac{0,015}{0,1} = 0,15$$

За наступною формулою знайдемо величину $w_{екв}$, яке можна назвати, як еквівалентне число витків вторинної обмотки, яке заміняє дві вторинні обмотки реального трансформатора без порушення руху процесів намагнічування в осерді.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

$$w_{\text{ex6}} = w_2 + W_2 a_2 + w_3 a_3 \quad (8.19)$$

$$w_{\text{ex6}} = 30 + 30 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,15 = 36$$

Тепер можна знайти значення $i_{2\text{min}}$ та максимального $i_{2\text{max}}$:

$$i_{2\text{min}} = \frac{H_0 - \frac{\Delta H}{2}}{w_{\text{BXB}}} \cdot L \quad (8.20)$$

$$i_{2\text{max}} = \frac{H_0 + \frac{\Delta H}{2}}{w_{\text{BXB}}} \cdot L \quad (8.21)$$

$$i_{2\text{min}} = \frac{238 - \frac{224}{2}}{36} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 24,5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$i_{2\text{max}} = \frac{238 + \frac{224}{2}}{36} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 68,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Визначимо дійсне значення струму I_2 , за наступною формулою:

$$I_2 = \sqrt{\frac{T - t_u}{3T} (i_{2\text{min}}^2 + i_{2\text{min}} i_{2\text{max}} + i_{2\text{max}}^2)} \text{ mA} \quad (8.22)$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{20 - 3}{3 \cdot 20} (24,5^2 + 24,5 \cdot 68,1 + 68,1^2)} = 33,9 \text{ mA}$$

За наступною рівністю ми можемо знайти струм в третій обмотці:

$$I_3 = a_3 I_2 \text{ mA} \quad (8.23)$$

$$I_3 = 0,15 \cdot 33,9 = 5,09 \text{ mA}$$

Визначивши дійсні значення струмів у вторинних обмотках, знайдемо площу перерізу та діаметр проводів цих обмоток.

Для першої вторинної обмотки будемо мати:

$$S_{\text{пр2}} = \frac{I_2}{j} \text{ мм}^2 \quad (8.24)$$

$$S_{\text{пр2}} = \frac{33,9 \cdot 10^{-3}}{3} = 0,0113 \text{ мм}^2$$

$$d_{\text{пр2}} = \sqrt{\frac{4S_{\text{пр2}}}{\pi}} \text{ мм} \quad (8.25)$$

$$d_{\text{пр2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0113}{\pi}} = 0,189 \text{ мм}$$

					КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		51

В якості проводу даної обмотки будемо використовувати провід ПЭТВ-2 з діаметром міді $d_{\text{пр}2} = 0,200$ мм (з діаметром ізоляції $d_{\text{пр}2\text{из}} = 0,240$ мм).

Для другої вторинної обмотки будемо мати:

$$S_{\text{пр}3} = \frac{I_3}{j} 7 \text{ мм}^2 \quad (8.26)$$

$$S_{\text{пр}3} = \sqrt{\frac{5,09 \cdot 10^{-3}}{3}} = 0,0037 \text{ мм}^2$$

$$d_{\text{пр}3} = \sqrt{\frac{4S_{\text{пр}3}}{\pi}} \text{ мм} \quad (8.27)$$

$$d_{\text{пр}3} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0017}{\pi}} = 0,087 \text{ мм}$$

В якості проводу даної обмотки будемо використовувати провід ПЭТВ -2 з діаметром міді $d_{\text{пр}3} = 0,100$ мм.

Ізоляцію поверх сердечника накладувати не будемо, оскільки в нього вже є захисне покриття із полімерної плівки. З урахуванням цього внутрішній діаметр осердя складе $d_{\text{внутр}} = 11$ мм.

Знайдемо діаметр першого шару:

$$d_{\text{шр}3} = d_{\text{внутр}} - d_{\text{пр}1\text{из}} \text{ мм} \quad (8.28)$$

$$d_{\text{шр}3} = 11 - 0,175 = 10,825 \text{ мм}$$

Довжина першого шару складає:

$$l_{\text{шр}1} = \pi d_{\text{шр}1} \text{ мм} \quad (8.29)$$

$$l_{\text{шр}1} = \pi \cdot 10,825 = 38,9905 \text{ мм}$$

Максимальне число витків, яке може розміститись в першому шарі без врахування щільності намотки, складає:

$$W_{1\text{max}} = \frac{l_{\text{шр}1}}{d_{\text{пр}1\text{из}}} \text{ ВИТ} \quad (8.30)$$

$$W_{1\text{max}} = \frac{38,9905}{0,175} = 263,2 \text{ ВИТ}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Отже, первинна обмотка, яка містить 250 витків, цілком поміститься в першому шарі.

Поверх першого шару накладаємо міжшарову ізоляцію з лаковолкна ЛШМС-150-0,10 товщиною $\Delta_{из}=0,10$ мм з 50%-им перекриттям.

Другий шар залишимо для розміщення в ньому першої вторинної обмотки. Яка намотується проводом з діаметром ізоляції $d_{пр2из}=0,240$ мм.

Діаметр другого шару складає:

$$d_{ел2} = d_{ел1} - d_{пр1из} - 4\Delta_{из} - d_{пр2из} \text{ мм} \quad (8.31)$$

$$d_{ел2} = 10,825 - 0,150 - 4 \cdot 0,1 - 0,240 = 10,035 \text{ мм}$$

Довжина другого шару складає:

$$l_{шр2} = \pi d_{шр2} \text{ мм} \quad (8.32)$$

$$l_{шр2} = \pi \cdot 10,035 = 30,1099 \text{ мм}$$

Максимальне число витків, яке може розміститись в другому шарі без врахування щільності намотки, складає:

$$W_{2max} = \frac{l_{шр2}}{d_{пр2из}} \text{ ВИТ} \quad (8.33)$$

$$W_{2max} = \frac{30,1099}{0,240} = 123,2 \text{ ВИТ}$$

Отже, перша вторинна обмотка, яка містить 30 витків, цілком поміститься в другому шарі.

Поверх другого шару накладаємо міжшарову ізоляцію з лаковолкна ЛШМС-150-0,10 товщиною $\Delta_{из}=0,10$ мм з 50%-им перекриттям.

Третій шар залишимо для розміщення в ньому другої вторинної обмотки, яку намотаємо проводом з діаметром ізоляції $d_{пр3из}=0,128$ мм.

Діаметр третього шару складає:

$$d_{ел3} = d_{ел2} - d_{пр2из} - 4\Delta_{из} - d_{пр3из} \text{ мм} \quad (8.34)$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

$$d_{\text{ел3}} = 10,035 - 0,240 - 4 \cdot 0,1 - 0,128 = 9,037 \text{ мм}$$

Довжина третього шару складає:

$$l_{\text{шр3}} = \pi d_{\text{шр3}} \text{ мм} \quad (8.35)$$

$$l_{\text{шр3}} = \pi \cdot 9,037 = 28,098 \text{ мм}$$

Максимальне число витків, яке може розміститись в третьому шарі без врахування щільності намотування, складає:

$$w_{3\text{ма}} = \frac{l_{\text{шр3}}}{d_{\text{пр3из}}} \text{ ВИТ} \quad (8.36)$$

$$w_{3\text{ма}} = \frac{28,098}{0,128} = 207,5 \text{ ВИТ}$$

Отже, друга вторинна обмотка, яка містить 10 витків, цілком поміститься в третьому шарі. Поверх третього шару накладаємо міжшарову ізоляцію з лаковолокна ЛШМС-150-0,10 товщиною $\Delta_{\text{из}}=0,10$ мм з 50%-им перекриттям.

Знайдемо діаметр отвору в готовому трансформаторі:

$$d_{\text{отв}} = d_{\text{шр3}} - d_{\text{пр2из}} - 4\Delta_{\text{из}} \text{ мм} \quad (8.37)$$

$$d_{\text{отв}} = 9,037 - 0,128 - 4 \cdot 0,1 = 8,509 \text{ мм}$$

Реально діаметр отвору буде меншим за розраховане значення, оскільки не враховувалась радіальна щільність намотування.

Знайдемо індуктивність первинної обмотки трансформатора:

$$L_1 = \mu_0 \mu_{\text{вф}} \frac{w_1^2 \cdot S}{L} \quad (8.38)$$

$$L_1 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot \frac{250^2 \cdot 58 \cdot 10^{-6}}{7 \cdot 10^{-3}} = 32,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Знайдемо ідеальну потужність втрат в сердечнику:

$$P_{\text{уд}} = P_0 \left(\frac{f}{f_0}\right)^a \cdot \left(\frac{\Delta B}{B_0}\right)^\beta \text{ Вт/кг} \quad (8.40)$$

$$P_{\text{уд}} = 74 \left(\frac{50}{1}\right)^{1,48} \cdot \left(\frac{0,15}{0,14}\right)^{2,05} = 74 \cdot 50^{1,48} \cdot 1,07^{2,05} = 27,8 \text{ Вт/кг}$$

Тоді потужність розсіювання в осерді, складає:

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

$$P_c = P_{уд} \cdot m \quad (8.41)$$

$$P_c = 27,8 \cdot 10,8 \cdot 10^{-3} = 0,324$$

Очевидно, що отримана величина потужності не може призвести до значного перегріву осердя.

8.3 Вибір мікросхеми

Мікросхеми ШІМ-контролерів серії UC384x мають всі необхідні функціональні можливості для виконання схем управління мережевими імпульсними джерелами живлення перетворювачами постійний струм – постійний струм із зворотнім зв'язком по струму та постійною частотою перетворення. Вмонтовані структурні елементи мікросхеми забезпечують її відключення при недозволених низькій вхідній напрузі та струмі менше 1mA. Прецизійне джерело опорної напруги використовується для збільшення точності на вході підсилювача сигналу помилки. ШІМ – контролер контролює також граничні значення по струму. Вихідний каскад забезпечує роботу на навантаження типу n-канального польового транзистора з ізольованим затвором та має низький логічний рівень напруги у відключеному положенні.

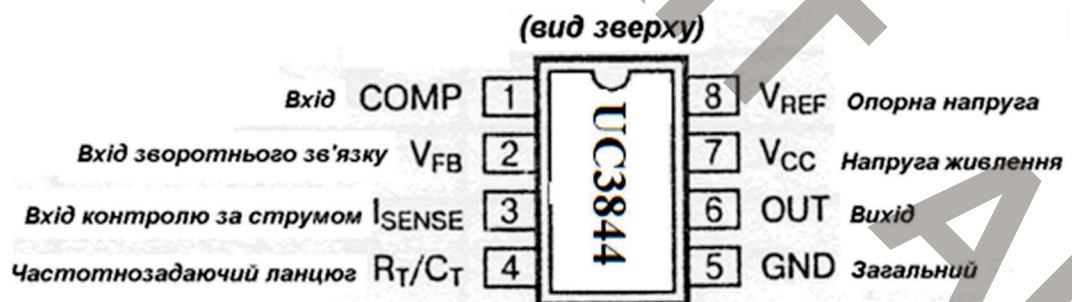


Рисунок 8.4 Мікросхема UC3844

На рисунку 8.4 зображено мікросхему в корпусі DIP-8, яка була обрана для блоку живлення.

									Арк
									55
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата					

Властивості мікросхеми:

Призначена для мережесих джерел живлення

Малий пусковий струм 1 мА

Автоматична компенсація зворотнього зв'язку по напрузі

Покращення характеристик навантаження

Схема захисту з гістерезисом для відключення при недопустимо низькій вхідній напрузі

Виключення подвійних імпульсів

Вмонтоване джерело опорної напруги

Робоча частота до 500 кГц

					КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		56

Наступний крок - процес промивки. Мікроконтролер закриває клапан Y_5 і відкриває клапан Y_1 . Після цього розчин для промивки надходить у соляний місток із об'єму A_1 за рахунок ввімкнення крокового двигуна у напрямку руху за годинниковою стрілкою. Цей розчин взаємодіючи з поверхнями іоноселективних мембран електродів змиває залишки іонів натрію і калію з поверхонь останніх. Далі мікроконтролер закриває клапан Y_1 , відкриває клапан Y_5 і вмикає кроковий двигун у напрямку руху за годинниковою стрілкою, зливаючи використаний розчин у об'єм «Злив». Процес промивки проводиться 2 – 3 рази.

Наступним етапом є визначення різниці потенціалів для другого стандарту, який знаходиться у об'ємі A_3 . Процес вимірювання аналогічний до вимірювання різниці потенціалів першого стандарту. На прикінці вимірювання відбувається процес промивки.

Після визначення E_1 та E_2 (див. пункт 5) для кожного вимірювального іона, мікроконтролер розраховує відповідні коефіцієнти k (для іонів натрію і калію) за формулою (5.6). після цього на індикаторі «Дисплей» з'являється наступна інформація для користувача – «Готовий до процесу вимірювання».

Процес вимірювання .

Коли оператор прочитає повідомлення «Готовий до процесу вимірювання», можна починати проводити дослідження проби. Спочатку проба підноситься до капіляру «Проба» і натискається кнопка «Почати вимірювання», що знаходиться у блоці «Клавіатура». Мікроконтролер сприймає команду «Почати вимірювання» і подає сигнал керування на пристрій управління роковим двигуном, який вмикає останній у напрямку руху за годинниковою стрілкою при цьому попередньо відкривши клапан Y_5 . Проба затягується у вимірний місток і там зупиняється за рахунок контролю її місцезнаходження через оптопари VD_3 і VD_4 . Двигун вмикається. Далі вимірюється різниця потенціалів для кожного досліджуваного клапана і за формулою (5.7) розраховується мікроконтролером концентрації іонів натрію і калію у пробі. Результати вимірювання виводяться на «Дисплей» у

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі була проведена розробка приладу для визначення концентрації іонів K^+ та Na^+ в рідинах за допомогою потенціометричного методу. На основі проведених досліджень та експериментів були отримані наступні результати:

Розроблена програмна частина для мікроконтролера ATmega640 демонструє можливості збору, обробки і аналізу даних, а також керування процесом вимірювання. Програма дозволяє зручно налаштовувати параметри вимірювання, проводити калібрування приладу та зберігати результати в пам'ять для подальшого аналізу.

Проведені експерименти та порівняння з аналогічними комерційними приладами підтвердили високу ефективність та точність розробленого приладу для визначення концентрації іонів K^+ та Na^+ в рідинах. Результати вимірювань були в межах допустимих похибок, що свідчить про надійність та готовність приладу до використання в різних дослідницьких та промислових областях.

Основні допустимі похибки вимірювання для іонів K^+ ($\pm 0,2$ ммоль/дм³) та Na^+ (± 2 ммоль/дм³) забезпечують достатню точність результатів вимірювання. Застосування калібрування з 1-точковим і 2-точковим методами дозволяє забезпечити стабільність та точність вимірювань протягом тривалого періоду часу.

Розроблений блок обробки інформації на базі мікроконтролера ATmega640 забезпечує зручне та ефективне збирання даних з датчиків, обчислення концентрації іонів K^+ та Na^+ та візуалізацію результатів на екрані.

Розроблений блок живлення, що включає трансформатор і імпульсний блок живлення, забезпечує стабільне та надійне живлення приладу від мережі з напругою 220 В та частотою 50 ± 1 Гц. Використання такого блоку живлення дозволяє забезпечити ефективну роботу приладу при відповідності вхідним вимогам струму та напруги.

										Арк
										60
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата						

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Іоноселективні електроди [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/3374/ionoselektivni-elektrodi>
2. Іонофор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://wiki5.ru/wiki/Ionophore>
3. Потенціометричний метод аналізу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://stud.com.ua/180292/ekologiya/potentsiometricheskiy_metod_analizu
4. Ion-selectives electrodes [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.slideshare.net/dilshadambady/ion-selective-electrodesise>
5. Аналізатор електролітів крові НТІ E-Lyte Plus [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://foramed.com.ua/laboratorna-diagnostika/analizatori-elektrolitiv-krovi/analizator-elektrolitiv-krovi-hti-e-lyte-plus.html>
6. Аналізатор газів крові і електролітів GEM Premier 3500 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prom.ua/ua/p1128858985-analizator-gazov-krovi.html>.
7. Буферний розчин [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%87%D0%B8%D0%BD.
8. Іоно-селективні електроди [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.referat911.ru/Himiya/onoselektivn-elektrodi-z-rdkimi-plastifikovanimi/572282-3376626-place2.html>

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ

Арк

61

9. Інструментальні методи хімічного аналізу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/Instrumentalni-metodi-himichnogo-analizu.pdf>.
10. Atmega640 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.microchip.com/en-us/product/ATMEGA640..>
11. Скляний електрод комбінований лабораторний ЕСК-10603 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prom.ua/ua/p62719784-elektrod-steklyannyj-kombinirovannyj.html>

					<i>КБР.ПБ.19050032. 01.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

АКІТ

АКІТ

ДОДАТКИ

АКІТ

АКІТ