

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій
к.т.н., доц. Нікітчук Т.М.

« 19 » 06 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему розробка пристрою контролю та передачі телемедичних даних
за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія»
освітній ступінь «бакалавр»

Виконавець роботи
студент 4 курсу, гр.БІ-21

19.06.2022 
(дата, підпис)

Борисевич О.Р.

Керівник роботи
к.т.н., доц.

19.06.2022 
(дата, підпис)

Коломієць Р.О.

Житомир
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему розробка пристрою контролю та передачі телемедичних даних

Виконав: студент 4 курсу, групи БІ-20
спеціальності

163 «Біомедична інженерія»

Борисевич О.Р.

Керівник Коломієць Р.О.

Рецензент Нікітчук Т.М.

Житомир
2022

«Затверджено»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій

 Т.М. Нікітчук
«10» січня 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студента Борисевича Олега Романовича

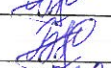
Тема роботи Розробка пристрою контролю та передачі
телемедичних даних

Затверджена Наказом університету від «10» січня 2022 р. № 23/с

Термін здачі студентом завершеної роботи червень 2022р.

Вихідні дані роботи: пристрій призначений для моніторингу, контролю
та передачі медичних даних по протоколу MQTT на сервер.
Електроживлення: від мережі 220В, 50Гц; підтримка ModBus
RTU, ModBus TCP/IP. Умови експлуатації: закриті
опалювані приміщення.

Консультанти з випускної кваліфікаційної роботи із зазначенням розділів,
що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1 Аналітичний етап роботи	Коломісць Р.О.	листопад 2021	
2 Технічне завдання	Коломісць Р.О.	листопад 2021	
3 Структурна схема	Коломісць Р.О.	грудень 2021	
4 Примісна схема	Коломісць Р.О.	січень-лютий 2022	
5 Конструктивна схема	Коломісць Р.О.	березень-травень 2022	
6 Оформлення роботи в цілому	Коломісць Р.О.	травень-червень 2022	

Керівник  Коломісць Р.О.
(підпис)

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка

Студент

(підпис)

Керівник

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	9
1.1 Загальні відомості про розвиток медичних систем моніторингу.....	9
1.2 Розгляд патентних рішень та приладів медичного моніторингу	13
2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	20
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ ТА ПРОГРАМИ	21
3.1 Розробка структурної схеми приладу.	21
4 СИНТЕЗ І РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	22
4.1 Вибір компонентної бази	22
4.2 Розробка схеми на базі вибраних модулів.....	24
5 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	28
5.2 Вимоги до конвертера	29
5.3 Реалізований функціонал	31
5.4 Організація проекту дисплея.	35
5.5 Опис протоколу «конвертер – дисплей»	37
ВИСНОВКИ.....	47
Перелік використаних джерел.....	48
Додаток А	51
Додаток Б.....	52
Додаток В	53
Додаток Г.....	54
Додаток Д	55

					ІББІ.480001.002-ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Борисевич О.Р.			Кваліфікаційна робота. Розробка пристрою контролю та передачі телемедичних даних.	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник.		Коромісць Р.О.				6	60	
Реценз.		Пікітчук Т.М.		19.06.20		Державний Університет «Житомирська Політехніка» Гр. Бі-21		
Н. Контр.								
Затверд.								

РЕФЕРАТ

В даній кваліфікаційній роботі було розроблено пристрій контролю та моніторингу та передачі медичних даних. Були розглянуті патентні рішення та література для вибору основних напрямків розробки цього пристрою. Розроблені схеми, програмний код та сам пристрій. Також була перевірена робота таких протоколів як MQTT, ModBus RTU та ModBus TCP/IP. У роботі п'ять розділів, одна таблиця, 60 сторінок та 28 картинок.

					<i>ІББІ.480001.***-ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Моніторинг здоров'я – це комплекс діагностичних досліджень, які проводять упродовж певного проміжку часу. Це дає можливість визначити зміни у здоров'ї людини, відповідність індивідуального рівня віковій та статевій нормі. Такий моніторинг проводять для призначення профілактичних чи лікувальних заходів, спрямованих на оздоровлення і лікування.

Моніторинг стану здоров'я із застосуванням телеметрії дозволяє здійснювати віддалений нагляд за динамікою одужання пацієнтів. Використання системи телеметричного моніторингу дозволяє персоналу лікарні надавати необхідний догляд для оцінки стану хворих, які вимагають клінічної уваги. Таким чином, лікарі або середній медичний персонал, незалежно від місця перебування пацієнта, може контролювати:

- серцеву діяльність
- насиченість крові киснем
- функції дихання
- рівень глюкози
- артеріальний тиск та температуру тощо.

У США та розвинених країнах Європи для якісної організації моніторингу стану здоров'я створено окремий напрям діяльності середнього медичного персоналу – медичне сестринство телеметрії. Для цього фахівці отримують відповідну освіту та проходять спеціальну реєстрацію, отримуючи кваліфікацію сертифікованих медсестер прогресивного догляду. Ці сестри надають безпосередню допомогу гостро хворим дорослим пацієнтам незалежно від їх фізичного перебування (зокрема із застосуванням телеметрії).

Дистанційний моніторинг надав медичному персоналу більше можливостей під час пандемії COVID-19. Адже це сприяє виявленню респіраторних ускладнень у пацієнтів із підозрою на коронавірус, одночасно знижуючи шанси на зараження серед медиків.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При телемоніторингу застосовуються різні інформаційні технології (ІТ) для дистанційного моніторингу пацієнтів, як правило, у домашніх умовах. Такий моніторинг може включати, наприклад, передачі за допомогою технологій показників кров'яного тиску, частоти серцевих скорочень або маси тіла. При цьому використовуються лінії телефонного зв'язку, широкосмтові, супутникові або бездротові мережі.

Крім того, можна відстежувати та передавати медичному працівникові електрокардіографічні сигнали, показники насичення крові киснем або тиск у великих артеріях організму. Вимірювання виконуються за допомогою спеціальних датчиків, від яких залежить тип телемоніторингу.

Предметом даної кваліфікаційної роботи є розробка саме пристрою контролю та передачі знятих телемедичних даних. Актуальність цієї розробки обумовлена не різноманітним ринком, високою ціною категорією та малою кількістю приладів даного призначення.

Саме в ХХІ столітті постійний дистанційний моніторинг пацієнтів стане звичайною медичною практикою. Спростить лікувальний, реабілітаційний та діагностичний процеси.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Загальні відомості про розвиток медичних систем моніторингу

Зародження телемедицини відбулося у другій половині 19-го століття, а одна з перших опублікованих згадок з'явилася на початку 20-го століття, коли дані електрокардіограми були передані по телефонних дротах. Початок телемедицини в її сучасному розумінні було покладено в 1960-х роках минулого століття і значною мірою зумовлено розвитком військової і космічної техніки.

Як приклади ранніх технологічних етапів в області телемедицини можна навести використання телебачення для проведення консультацій між фахівцями психіатричного інституту і лікарів загальної практики в державних психіатричних лікарнях, а також надання порад медичних фахівців з основного клінічного установи співробітникам медичного центру в аеропорту.

Основні етапи

У 1905 році в Швеції в була здійснена передача сигналу електрокардіограми по телефонних лініях зв'язку.

У 1922 році в університетському госпіталі Готтенбурга по радіоканалах проводилися медичні консультації моряків, які перебували в плаванні.

У 1959 році в США була проведена перша телевізійна консультація психіатричного хворого.

У 1959 році в Канаду було передано зображення флюорограми легень.

У 1965 році американський кардіохірург М. ДеБейкі, використовуючи супутниковий канал зв'язку, консультував хід операції на серці, що виконується в Женеві (Швейцарія).

Першими кроками «телемедицини» як «дистанційної діагностики» можна вважати телеметричний запис фізіологічних показників у перших космонавтів, а також перші надані їм медичні поради — як перші телеконсультації.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У 1988 році під час землетрусу у Вірменії були налагоджені телемости (аудіо-, відео та факсимільний зв'язок) між зонами лиха і провідними медичними центрами США під егідою радянсько-американської комісії з космічної біології та медицини.

Початок розвитку телемедицини в Україні пов'язують з 1940-ми роками, а саме з дослідженнями, які проводилися в рамках космічних проектів. Після цього розвиток продовжувався, в основному, через передачі ЕКГ по різних каналах зв'язку та відеоконсультації.

В 1994 році відбулися переговори з міжнародними фахівцями з впровадження телемедицини в Україні та здійснилися перші телеконсультації.

З кінця 1990-х років розвивалася національна мережа теле-ЕКГ.

В 2000 році створився перший в Україні телемедичний центр (в Донецькому НДІ травматології та ортопедії). Пізніше телемедицина почала впроваджуватися в клінічну роботу в ряді областей країни (телетравматологія і телеортопедія, теледерматологія, телерадіологія). Обласні телемедичні мережі функціонують з 2002 року.

У 2006 році створилася національна громадська організація – Асоціація розвитку української телемедицини та електронної охорони здоров'я.

В Україні у 2007 році створено Державний клінічний науково-практичний центр телемедицини МОЗ України – спеціалізований заклад охорони здоров'я, створений для впровадження та розвитку телемедицини в Україні. Згідно Статуту, він забезпечує надання висококваліфікованої комплексної консультативної медичної допомоги населенню із застосуванням телемедичних технологій.

Із 2009 року Державний центр телемедицини реалізує проект створення телемедичної мережі України, завдяки якій започатковано телемедичне консультування та обмін досвідом лікарів.

26.03.2010 р. було прийнято наказ №261 «Про впровадження телемедицини в закладах охорони здоров'я», яким було затверджено ряд

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормативних документів. Проте тоді зробити щось конкретне в плані реального запровадження телемедицини вдалося лише за підтримки бізнесу та благодійних організацій.

Наступний крок зроблено у жовтні 2015 року: МОЗ України видало Наказ №681 «Про затвердження нормативних документів щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров'я», в якому було прописано Порядок організації медичної допомоги на первинному, вторинному (спеціалізованому), третинному (високоспеціалізованому) рівнях із застосуванням телемедицини, Положення про кабінет телемедицини закладу охорони здоров'я та форми первинної облікової документації.

Влітку 2017 року Україна почала перехід на електронну систему охорони здоров'я eHealth. А у листопаді 2017 року парламент ухвалив закон «Про підвищення доступності та якості медичного обслуговування у сільській місцевості». У рамках закону планується розбудувати та модернізувати амбулаторії та ФАПи, забезпечити лікарів житлом і службовим транспортом, придбати діагностичне устаткування. Також закон передбачає активне впровадження телемедицини.

Під час пілотного проекту по формуванню телемедичної мережі у сільських місцевостях Дніпропетровської, Кіровоградської, Полтавської, Рівненської та Харківської областей, який стартував на початку 2019 року, загальна кількість телеконсультацій станом на 10 жовтня 2019 року склала 3 287.

В рамках реалізації закону було закуплено багато пристроїв для дистанційного контролю деяких параметрів організму. Наприклад, наприкінці 2018 року Корюківська міськрада придбала для районного Центру первинної медико-санітарної допомоги (ЦПМСД) мобільний діагностичний комплекс IDIS.

На сьогодні з 1 квітня 2020 року в Україні стартував черговий етап медичної реформи, який передбачає, що в умовах нової моделі фінансування

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

почнуть працювати також заклади вторинної спеціалізованої та високоспеціалізованої допомоги. Іншими словами, як і у випадку з первинною ланкою, роботу цих закладів оплачуватиме НСЗУ, в залежності від кількості послуг, які вони нададуть пацієнту.

Деколи моніторинг тяжкохворих пацієнтів залежить від безпосереднього спостереження та фізикального обстеження, моніторинг є періодичним, його частота залежить від захворювання пацієнта. Інший моніторинг є триваючим протягом усього часу, забезпечується складними пристроями, які потребують спеціальної підготовки та досвіду для роботи. Більшість таких пристроїв генерують сигнал тривоги, якщо перевищено референсні рівні певних фізіологічних параметрів. Кожне відділення інтенсивної терапії (ВІТ) повинно суворо дотримуватися протоколів розслідування причин сигналів тривоги.

Моніторинг зазвичай включає вимірювання основних фізіологічних показників (температури тіла, артеріального тиску, пульсу та частоти дихання), кількісне визначення всіх показників введення та виведення рідини з організму, і крім того, показників ваги. Артеріальний тиск можуть реєструвати за допомогою автоматизованого сфігмоманометра, або можна використати артеріальний катетер для постійного моніторингу артеріального тиску. Також використовують черезшкірний датчик для пульсоксиметрії.

До середини березня 2020 року ІТ-директори у сфері охорони здоров'я намагаються розширити використання телемедицини для вирішення проблем, пов'язаних із загрозою пандемії Covid-19.

Як пише видання HealthCare Business News, оскільки кількість випадків Covid-19 продовжує зростати по всьому світу, ІТ-фахівці в різних країнах зосереджені на тому, щоб допомогти медпрацівникам розширити можливості догляду за хворими за допомогою нових підходів, включаючи телемедицину.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Розгляд патентних рішень та приладів медичного моніторингу

Монітор пацієнта Dräger Vista 120

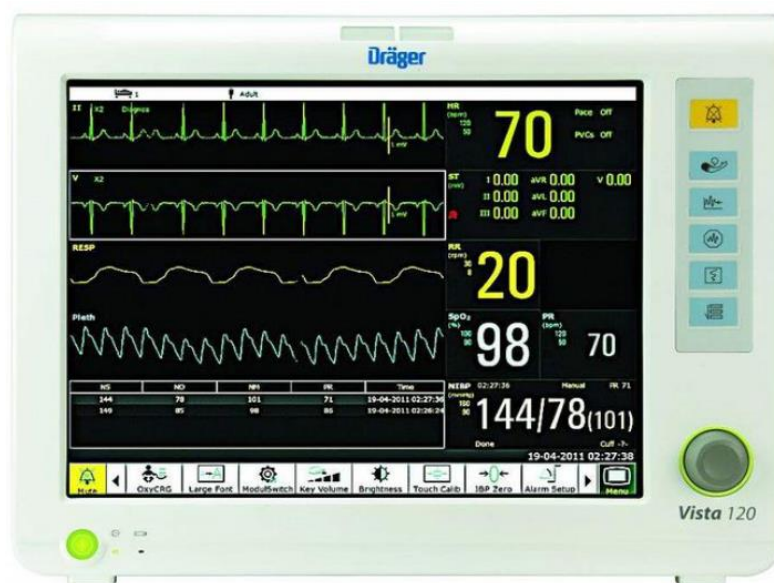


Рис. 1.1 – Монітор пацієнта Dräger Vista 120

Операційні монітори пацієнта Dräger Vista 120 представлені у чотирьох варіантах вихідної конфігурації. Всі вони включають функції вимірювання ЕКГ, НІАД, частоти дихання, температури та параметрів SpO₂. Більш просунуті режими доступні залежно від моделі та підключаються як додаткові опції. Всі апарати серії оснащуються сенсорним кольоровим дисплеєм високої роздільної здатності з діагоналлю 15”.

Цього розміру більш ніж достатньо, щоб ви могли вивести на екран до одинадцяти кривих одночасно, забезпечуючи повноцінне спостереження на всіх етапах лікування, від підготовки хворого до хірургічного втручання до фінального відновлення.

Монітори пацієнта Dräger Vista 120 підтримують вимірювання SpO₂ за ексклюзивною технологією компанії та відповідно до протоколів Nellcor. Інвазивний тиск на два канали, серцевий викид та EtCO₂ встановлені на версії MS31996 та MS31998, які є найбільш сучасними та багатофункціональними приладами серії. Всі пристрої обладнані звуковими та візуальними сигналами

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривоги, щоб лікар моментально отримав попередження про можливі проблеми. Крім того, ці апарати сумісні з газовими аналізаторами Scio Four і здатні відображати дані, які допомагають отримати згадані прилади.

Технічні характеристики:

- Кольоровий дисплей TFT: діагональ 15"; роздільна здатність 1024*768; функція сенсорного керування; можливість одночасного відображення до 11 кривих.
- Функція ЕКГ на 3 або 5 відведень.
- Функція вимірювання частоти дихання.
- Функція вимірювання температури на 2 канали.
- Функція вимірювання SpO₂.
- Функція вимірювання НІАД.
- Функція вимірювання ІАД на 2 канали (опція, доступна для моделей MS31996 та MS31998).
- Функція вимірювання серцевого викиду (опція, доступна для моделей MS31996 та MS31998).
- Функція вимірювання EtCO₂ (опція, доступна для моделей MS31996 та MS31998).
- Можливість підключення до центральної моніторингової станції, з функціями ведення бази пацієнтів та обміну даними у режимі реального часу.
- Можливість настроїти параметри відображення елементів робочого інтерфейсу на екрані апарата.
- Зберігання інформації у пам'яті системи: до 120 годин трендів; до 60 сигналів тривоги; до 1200 вимірювань НІАД.
- Система візуального та звукового оповіщення при спрацюванні сигналів тривоги.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вбудований реєстратор-термопринтер з функцією друку до 3 каналів даних.
- Вбудований акумулятор для автономної роботи системи.
- Сумісність із анестезіологічними аналізаторами газу Scio Four.ч
- Зручна панель керування з поворотною ручкою налаштування та кнопками швидкого доступу до режимів та функцій.
- Інтерфейси та роз'єми: порт для підключення системи виклику медсестри; аналоговий вихід; USB; VGA; порт синхронізації з дефібрилятором; інші роз'єми.

Монітор Infinity M540



Рис. 1.2 – Монітор Infinity M540

Один монітор M540 може супроводжувати пацієнта протягом усього перебування у клініці, безперервно транслюючи дані. Залежно від тяжкості стану пацієнта та профілю відділення, M540 може працювати як самостійний пристрій, або у складі IACS. Наприклад, пацієнт надходить у відділення невідкладної допомоги, де M540 працює самостійно, потім з тим же M540 пацієнт переводиться в ВІТ або ОР та підключається до IACS. Далі пацієнт з

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

М540 слід у передопераційну для вступного наркозу, а потім в операційний зал, де М540 знову підключається до ІАС. Після операції пацієнт переводиться до палати пробудження разом з М540. У результаті пацієнт транспортується без переєднання кабелів у супроводі безперервного моніторингу.

Технічні характеристики:

- Портативний та ергономічний
- Легкий, міцний та надійний (1,2 кг, включаючи батарею).
- Екран з автоматичним поворотом на 180°
- Дозволяє підключати М540 з будь-якої сторони від пацієнта в палаті або під час транспортування, зберігаючи правильну візуальну орієнтацію.
- Великий, легкочитаний широкоформатний дисплей
- Виключає потребу використання окремого транспортного монітора.
- Гучність сигналів тривоги, що налаштовується.
- За умовчанням під час транспортування гучність встановлюється на 50%, забезпечуючи необхідний рівень сигналу.
- Профілі, що налаштовуються
- Адаптація налаштувань моніторингу до нового відділення - медикам не потрібно змінювати параметри конфігурації під час кожного підключення монітора.
- Бездротове транспортування
- При транспортуванні монітор від'єднується від док-станції натисканням кнопки і автоматично передає дані до мережі Infinity бездротового зв'язку.
- Портативний
- Супроводжує пацієнта при переміщенні по клініці та в автомобілі швидкої допомоги.
- Водонепроникний

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Бризгозахисний, витримує занурення в рідину (випробувано шляхом занурення у воду на глибину 30 см на протязі 10 хвилин).
- Мережеві функції
- Прямий зв'язок монітора з Infinity CentralStation, Symphony, Gateway та Innovian Web
- Безперервна передача інформації до мережі Infinity для підтримки системи оповіщення та сигналізації, а також для віддаленого перегляду даних на інших моніторах
- Функція створення звітів безпосередньо з M540 через Gateway/Infinity CentralStation

Комплекс для телемедицини IDIS2GO



Рис. 1.3 – Комплекс для телемедицини IDIS2GO

Програмно-апаратний комплекс IDIS2GO – це портативний, телемедичний програмно-апаратний комплекс (ПАК), що забезпечує діагностику функцій та періодичний нагляд за пацієнтом в процесі лікування або реабілітації, та призначений для збору, передачі та зберігання інформації

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

про показники діяльності (фізіологічні параметри) організму пацієнта, а саме: вимірювання артеріального тиску, електрокардіографічне дослідження (12 каналів), частоти серцевих скорочень, вимірювання рівня глюкози у крові.

Також аналіз сечі, вимірювання функцій дихання, вимірювання насиченості крові киснем, частоти пульсу, вимірювання температури тіла, проведення фотозйомки та аудіо запису, а також додатково проводити аускультацию, дерматоскопію та інші дослідження при підключенні до нього відповідних пристроїв, та передачі всіх даних для телемедичних консультацій.

Програмно-апаратний комплекс IDIS2GO може використовуватись у лікувально-профілактичному закладі, поліклініці, амбулаторії, ФАП, а також як мобільний варіант безпосередньо вдома у пацієнта. Використання такого комплексу можливо як лікарями, так і середнім (фельдшером) та молодшим медичним персоналом. А також ця система забезпечує повноцінну роботу у режимах «Off-line» (збір та зберігання даних обстеження до появи підключення Інтернет та синхронізації з Хмарним сховищем), та «On-line» (автоматична передача даних обстеження до Хмарного сховища після відновлення підключення до мережі Інтернет).

Програмно-апаратний комплекс IDIS2GO разом з спеціалізованим програмним забезпеченням утворюють програмно-апаратний комплекс. Головний модуль працює під керуванням операційної системи Android, що спрощує керування пристроєм для користувача. Дистанційно зібрані дані в автономному режимі завантажуються в хмарне сховище з якого передаються у телемедичну мережу, медичну інформаційну систему медичного закладу, централізований архів медичних даних для зберігання або для телемедичних консультацій.

Технічні характеристики:

- Електрокардіографічне дослідження (12 каналів).
- Неінвазійне вимірювання артеріального тиску.
- Неінвазійне вимірювання насиченості крові киснем.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Неінвазійне вимірювання частоти пульсу (пульсоксиметр).
- Фотозйомка та аудіозапис.
- Передача даних для телемедичних консультацій.
- Обмін даними та результатами обстеження за допомогою веб-платформи.

1.3 MQTT протокол

MQTT (англ. Message Queue Telemetry Transport) — спрощений мережевий протокол, що працює на TCP/IP. Використовується для обміну повідомленнями між пристроями за принципом видавець-підписник.

Перша версія протоколу була розроблена доктором Енді Станфорд-Кларком (IBM) та Арлен Ніппер (Arcom) 1999 року і опублікована під роялті-фрі ліцензією. Специфікація MQTT 3.1.1 була стандартизована консорціумом OASIS 2014 року.

Подальшим розвитком MQTT стала розробка версії цього протоколу для сенсорних мереж MQTT-SN на основі UDP або Bluetooth.

В 2019 OASIS офіційно реалізував стандарт MQTT 5.0.

1.4 Висновки

Виходячи із прочитаної літератури та огляду патентних рішень, прилад має мати дисплей, орієнтовано зрозумілий інтерфейс, мати релейні виходи та аналогові входи, канали передачі даних RS. MQTT протокол передачі даних був обраний як один із поширених. Також прилад має підтримувати протокол MODBUS.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Призначення та мета створення виробу: пристрій призначений для моніторингу, контролю та передачі медичних даних по MQTT протоколу на сервер брокер, звідки також буде відбуватися моніторинг цих же даних.
2. Технічні характеристики:
 - електроживлення – від побутової електромережі 220 В, 50 Гц;
 - підтримка ModBus RTU, ModBus TCP IP.
3. Конструктивні характеристики:
 - умови експлуатації приладу: закриті опалювані приміщення, тобто температури від 15 до 35°C, нормальний атмосферний тиск, відносна вологість повітря від 20 до 80%;
 - дисплей та орієнтовано простий інтерфейс.
4. Кінцевий результат проектування: електрична принципова схема пристрою, друкована плата, прилад.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ ТА ПРОГРАМИ

3.1 Розробка структурної схеми приладу.

В ході розгляду різних патентних рішень були зроблені висновки та розглянуті нові варіанти здешевлення так функцій пристрою, розроблено структурну схему приладу.

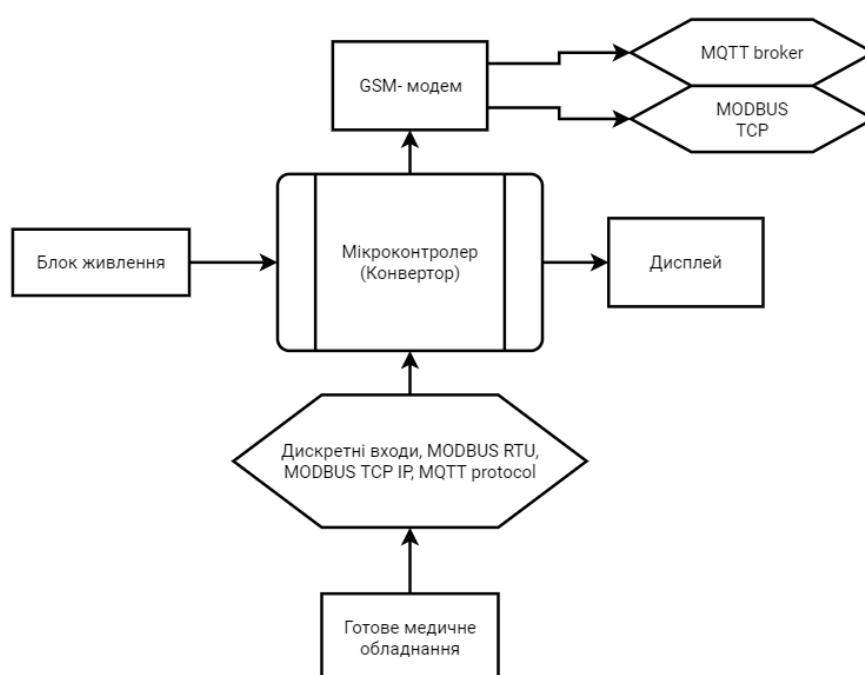


Рис. 3.1 – Структурна схема приладу передачі та контролю медичних даних.

Через медичне обладнання через протокол MQTT, ModBus або дискретні входи надходить інформація. Мікроконтроллер приймає на себе обробку, буферизацію та конвертацію даних для подальшої відправки у дисплей чи по MQTT, ModBus протоколам на інші пристрою чи MQTT брокер.

4 СИНТЕЗ І РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1 Вибір компонентної бази

В ході розгляду різних патентних рішень було обрано взяти за основу високопродуктивний флеш-мікроконтролер ARM® Cortex®-M0+ від Microchip з низьким енергоспоживанням, ATSAMd21G18 який ідеально підходить для широкого спектру автоматизації, споживчих, вимірювальних і промислових застосувань.

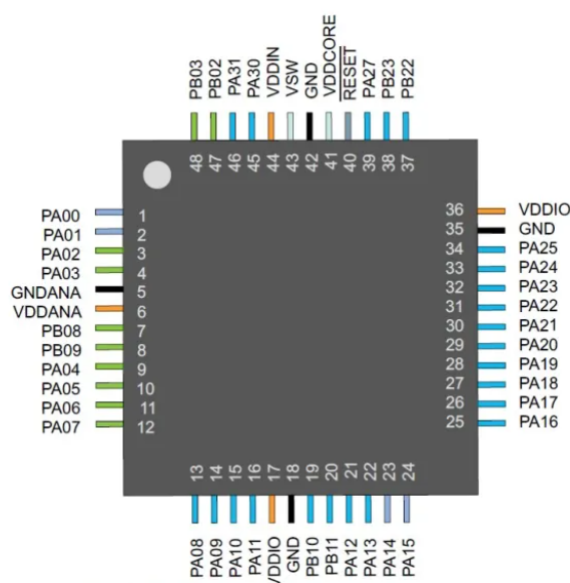


Рис. 4.1 – Розташування пінів ATSAMd21G18

Він має:

- 256 КБ флеш-пам'яті та 32 КБ SRAM;
- Робоча частота до 48 МГц;
- Шість модулів послідовного зв'язку (SERCOM), які можна конфігурувати як UART/USART, SPI або I²C, три 16-розрядні таймери/лічильники, 32-бітовий годинник і календар реального часу, 20 каналів ШІМ, один 14-канальний 12-бітний АЦП, один 10-розрядний ЦАП;
- Повношвидкісний USB-пристрій і вбудований хост;

					ИББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- Підтримка до 120 сенсорних каналів;
- Блок живлення від 1,62 до 3,63 В.

В зв'язку з потребою моніторингу телемедичної інформації було обрано сенсорний дисплей який би одночасно виконував функцію контролю.

В зв'язку з відносною дешевизною та легкістю конфігурації та написанні програми було обрано панель Nextion Discovery Series NX4832T035. Обмін даними з панеллю ведеться всього по двом лініям UART, а саме Rx,Tx. Саме налаштування та прошивка панелі ведеться через програму виробника Nextion editor.



Рис. 4.2 – Панель Nextion Discovery Series NX4832T035

Для передачі даних на відстань та по інтернет мережі був обраний GSM-модуль SIM800C з антеною.



Рис. 4.3 – Модуль SIM800C

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Стандартний інтерфейс управління модуля SIM800C надає доступ до сервісів мереж GSM/GPRS 850/900/1800/1900МГц для здійснення голосових дзвінків, надсилання/приймання SMS повідомлень, обміну цифровими та факсимільними даними.

В ході розгляду даташитів та мануалів модулів були розроблені наступні схеми орієнуючись на приклади з літературних джерел та готові патентні рішення.

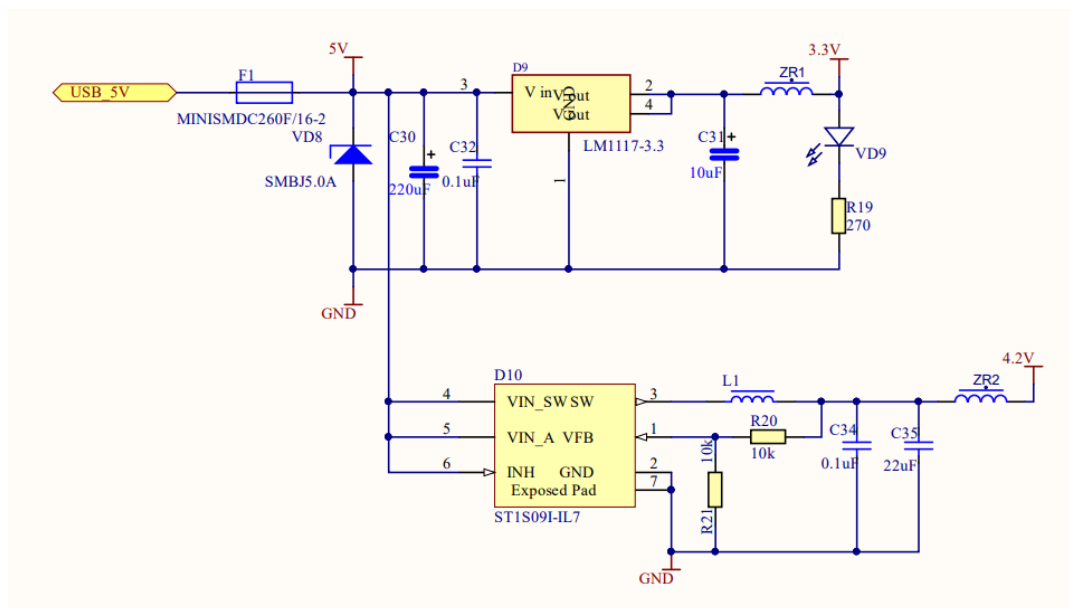


Схема блоку живлення була виконана на стабілізаторі напруги LM1117-3.3 та DC-DC перетворювачі напруги ST1S09I-IL7.

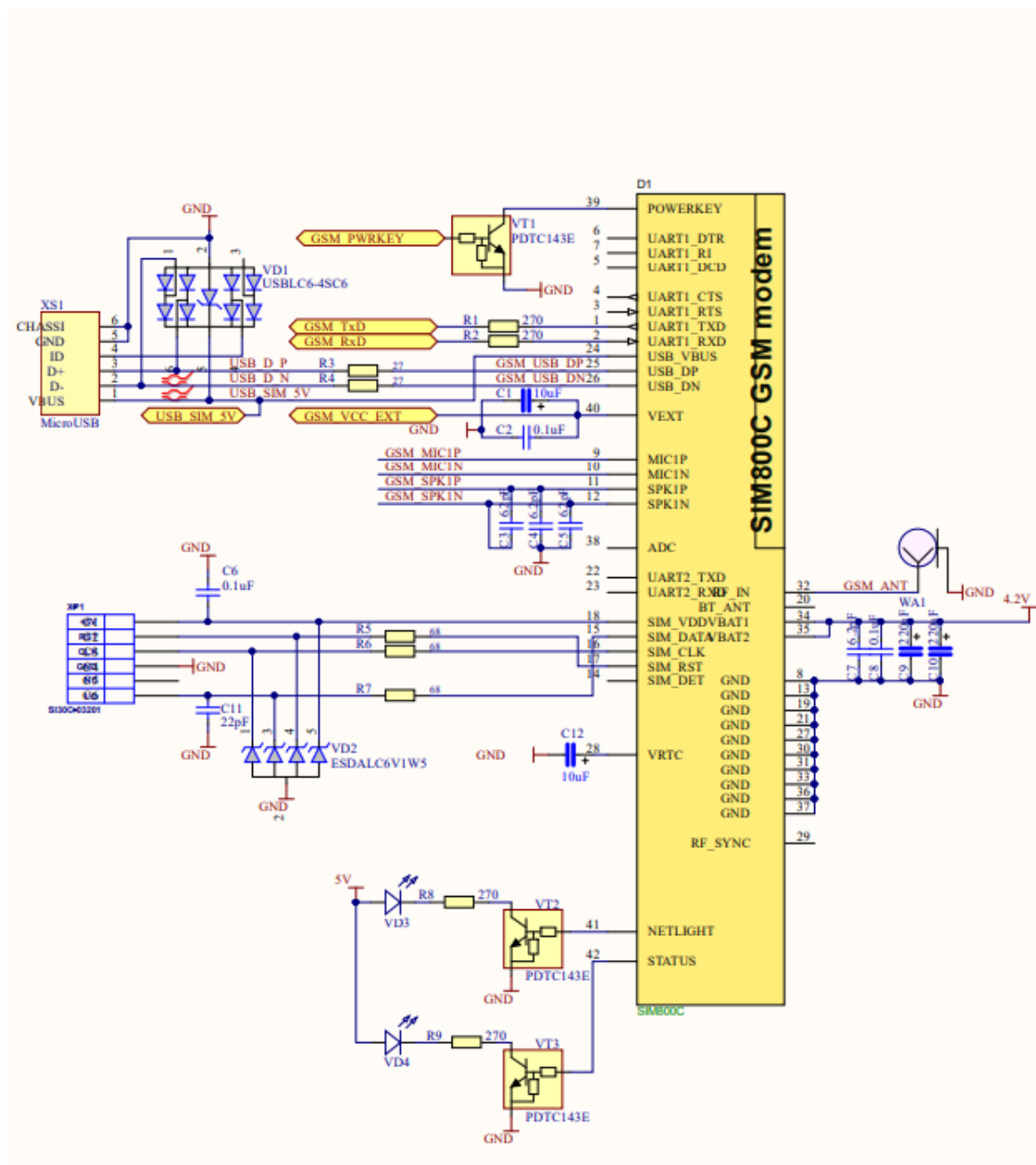


Рис. 4.6 – Схема підключення модуля SIM800C

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІББІ.480001.002-ПЗ

Арк.

26

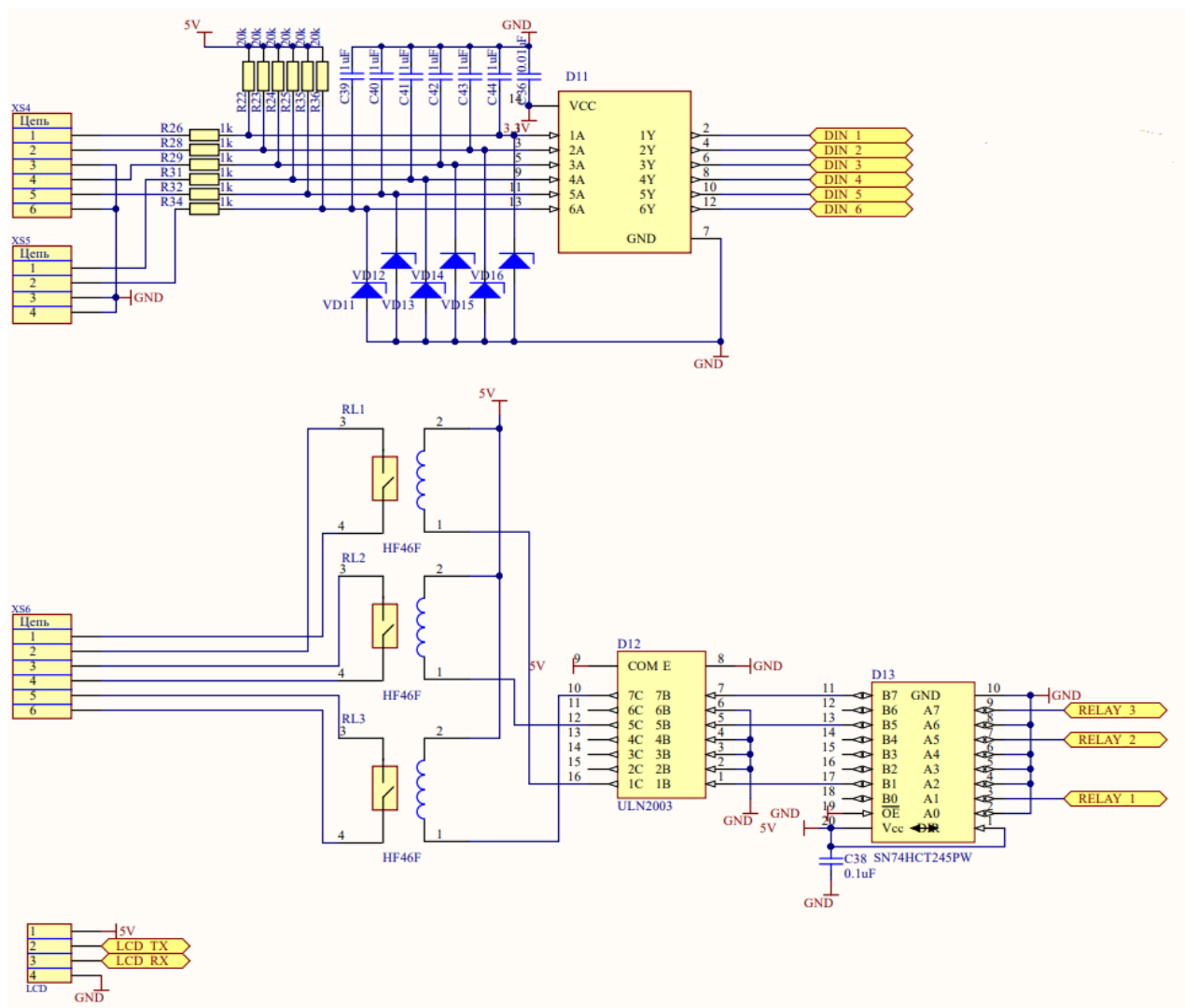


Рис 4.7 – Схема підключення релейних виходів та дискретних входів.

5 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

5.1 Середовище розробки, початкові драйвери та ATMELSTART

Для полегшення написання початкових драйверів було обрано середовище конфігурування ATMELSTART. Це новий, інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс для розробки та конфігурації додатків, що вбудовуються, що дозволяє розробникам створювати унікальні програмні рішення.

Постійне зростання складності і системних вимог додатків, що вбудовуються, змушує інженерів все частіше вдаватися до використання інтегрованих середовищ проектування з метою отримати більш інтелектуальний, продуктивний і зручний інструмент розробки.

Побудована на основі новітньої версії Microsoft Visual Studio Shell, середовище Atmel Studio 7 та ATMELSTART значно скорочує загальний час проектування, дозволяючи істотно збільшити ефективність розробки та налагодження, за рахунок простого у використанні інтерфейсу користувача, і більш оперативно реагувати на сучасні вимоги ринку споживчої та промислової електроніки.

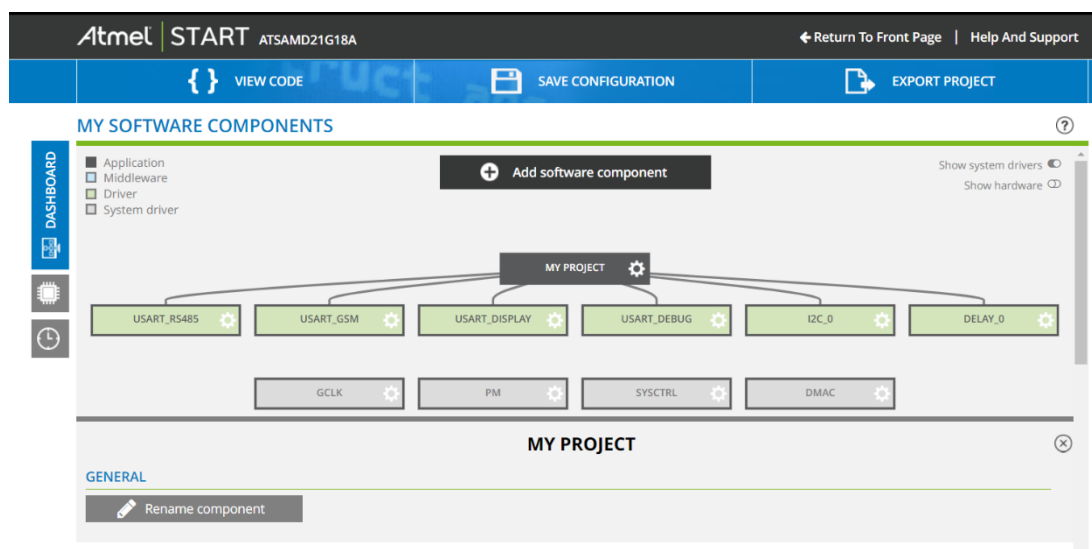


Рис. 5.1 – Середовище конфігурування драйверів ATMELSTART

З початку були сконфігуровані драйвери тактового генератору для зв'язку мікроконтролеру з дисплеєм та модемом.

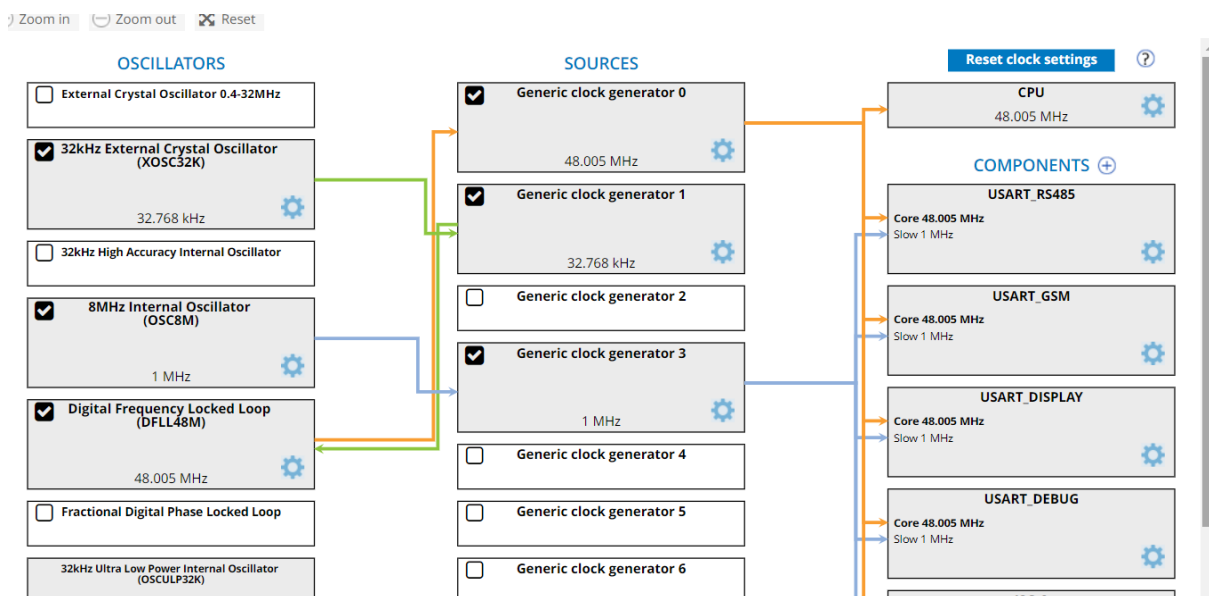


Рис. 5.2 – Середовище конфігурування драйверів ATMEZB-1280

Повна програма дописувалася у середовищі MicrochipStudio.

5.2 Вимоги до конвертера

1. Конвертер працює за протоколом Modbus RTU як master. Фізичний рівень – RS485.

1. Зв'язок між конвертером та дисплеєм здійснюється за послідовним інтерфейсом UART, параметри зв'язку якого повинні забезпечувати достатню швидкість обміну інформацією (наприклад, 115200 або вище). Зміни параметрів зв'язку не передбачено.

2. Конвертер працює лише з одним підключеним контролером у мережі RS485. Також конвертер може працювати одночасно з підключеним GSM модулем.

3. Адресний простір для всіх чотирьох типів Modbus регістрів контролера повинен лежати в діапазоні від 0 до 65534.

4. Налаштуваннями конвертера для роботи з ПЛК за протоколами Modbus є:

- параметри мережі RS485;
- кількість опитуваних Modbus регістрів;
- типи опитуваних регістрів Modbus регістрів;

5. Конвертер повинен опитувати значення Modbus регістрів підключеного контролера, зазначені в описі на даний контролер. Набір цих регістрів залежить від керованої програми контролера і є частиною ТЗ розробки проекту дисплея. Також конвертер може опитувати значення регістрів зовнішнього GSM модему. Значення та набір цих регістрів буде описано пізніше.

6. Конвертер проводить безперервне опитування значень всіх регістрів (доступних для відображення та управління) у контролері, які синхронізує зі своєю внутрішньою таблицею регістрів (фактично копією), реалізованою у вигляді набору змінних.

7. Основним елементом обміну інформацією конвертера з дисплеєм є змінна певного типу.

8. Дисплей повинен безперервно, за певним протоколом, описаним нижче, проводити віднімання тих значень змінних, які є актуальними для конкретного вікна дисплея. Після чого відбувається оновлення цих даних у вікні.

9. Зміна значення будь-якого параметра, при натисканні на елемент керування в дисплеї, викличе формування конвертером Modbus запиту на запис coils або holding register (залежно від конкретного типу параметра) і відправить його в контролер, минаючи внутрішню таблицю конвертера. Оновлене значення цього параметра з'явиться на дисплеї лише після вчитування його з контролера (тобто після виконання контролером команди запису див. п.1.6).

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Реалізований функціонал

1. Перетворювач Modbus RTU <=> MQTT.

Перетворювач функціонує як Master. Конфігурування проводиться у вікні MQTT topics, де користувач прив'язує регістр Modbus до конкретного топіка. При цій прив'язці враховуються особливості Modbus регістру, такі як "точність" та наявність знаку. Також вказується адреса slave-пристрою, що дозволить керувати декількома пристроями з різними адресами, але однаковими параметрами зв'язку.

У кожному топіку є параметр, який відповідає за періодичність синхронізації даного топіка з брокером (у напрямку до брокера). Від брокера повідомлення надходять асинхронно. Цей параметр може приймати значення slow (годинник), medium (хвилини) і fast (секунди), що відповідає періодичності надсилання даних. Рознесення відправлення топиків необхідно для зменшення обсягу оперативної пам'яті, що виділяється для приймачів буферів MQTT. Ці три параметри встановлюються у вікні параметрів «MQTT config».

Вікно параметрів «MQTT config» містить (рис. 5.4):

- адресу або доменне ім'я брокера;
- порт;
- ім'я користувача;
- пароль користувача;
- ID користувача;
- періодичність перепідключення (сек).

Середовище розробки зображене на рис. 5.3, розроблене спеціально для розробки інтерфейсів для панелей Nextion.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

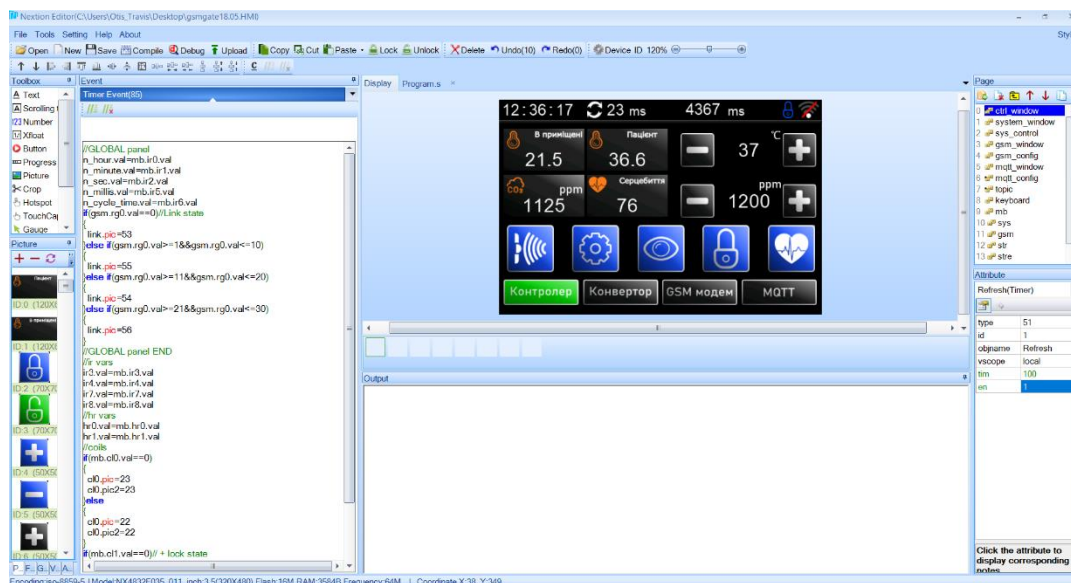


Рис. 5.3 – Середовище розробки NextionEditor

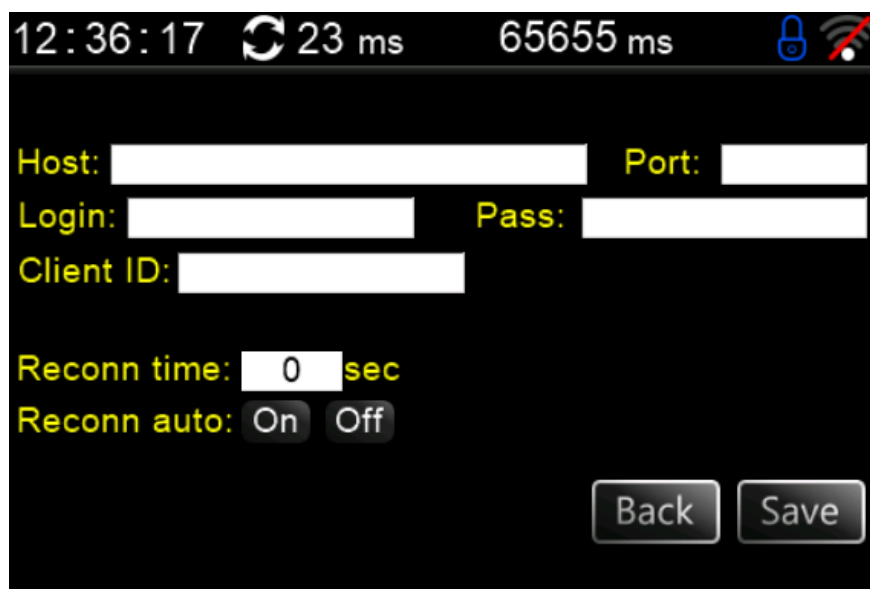


Рис. 5.4 – Вікно MQTT config

2. Стабільність і надійність підключення до брокера забезпечується рахунок механізмів як самого модему, який періодично перевіряє наявність зв'язку (відповідає параметр AT+CIPRTKA), і лише на рівні брокера — при відключенні клієнта від нього надходить відповідне повідомлення Closed. Також бібліотека MQTT має вбудований захист від порушення цілісності стека MQTT - викликається обробник, який ініціалізує перезапуск стека.

Усі перелічені причини ініціюють процедуру перепідключення до брокера (з певним встановленим інтервалом). Кількість спроб перепідключення передаються користувачеві окремим топіком, і може бути проаналізовано.

При більш серйозних проблемах з модемом, такими як прихід unsolicited повідомлення "+CPIN: NOT READY", викликане апаратним збоєм, існує механізм апаратного перезавантаження модему.

Додатково можна реалізувати сповіщення через смс або додзвон за наявності проблем із підключенням до брокера. Це необхідно у разі великої кількості невдалих спроб перепідключень за короткий проміжок часу.

3. Можлива опція постійного логування роботи пристрою на карту пам'яті SD.

В якості логера служить пристрій під назвою "OpenLog" – проект з відкритим вихідним кодом. Цей логер продається у вигляді готових модулів. Логування провадиться записом окремих рядків у текстовий файл. Щоразу, коли на логер подаються харчування, створюється новий файл.

4. Всі данні в панель вводяться клавіатурою(рис. 5.5). Клавіатура має лише англійську розкладку, має верхній регістр, та набір часто використовуваних знаків. Змінюються регістри орієнтованими кнопками на тій же клавіатурі.

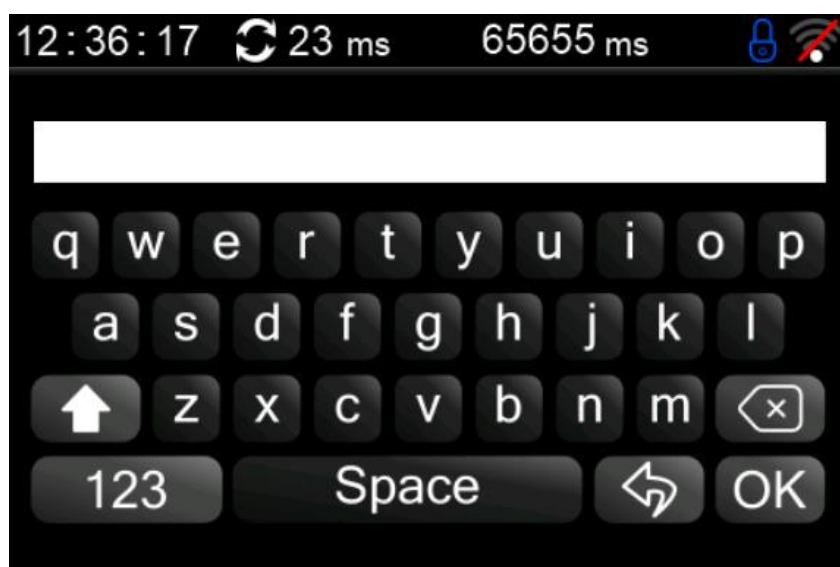


Рис 5.5 – Клавіатура сенсорної панелі

Приклад головної сторінки на рис. 5.6. Наразі ніяких реальних даних з людини прилад не знімає, тому тестові данні шлються від підготовленого контролера для тестування зв'язку між мікроконтролером пристрою та дисплеєм. Така інформація як температура в приміщенні та вологість повітря знімаються з реальних сенсорів.

Оскільки прилад є універсальним та основні принципи роботи з даними належать саме прошивці дисплею, її можна буде змінювати на замовлення замовника під різні проектні рішення індивідуально. З готовим концептом картинок, даних та уже написаними механізмами обробки інформації, формування нового інтерфейсу дисплею під конкретну задачу буде займати не більше 3-4 днів. Це і дасть приладу варіативність та універсальність.



Рис. 5.6 – Головна сторінка моніторингу та контролю

Сторінка формування топіків (рис. 5.7) має велику кількість обов'язкових налаштувань. Такі як номер регістру, назва топіку, тип регістру, точність, знаковість, кількість зчитуваних регістрів враховуючи початковий та QoS, у широкому значенні — якість послуг, які надає комунікаційна мережа. Параметр дельта це допуск при якому значення змінюється.

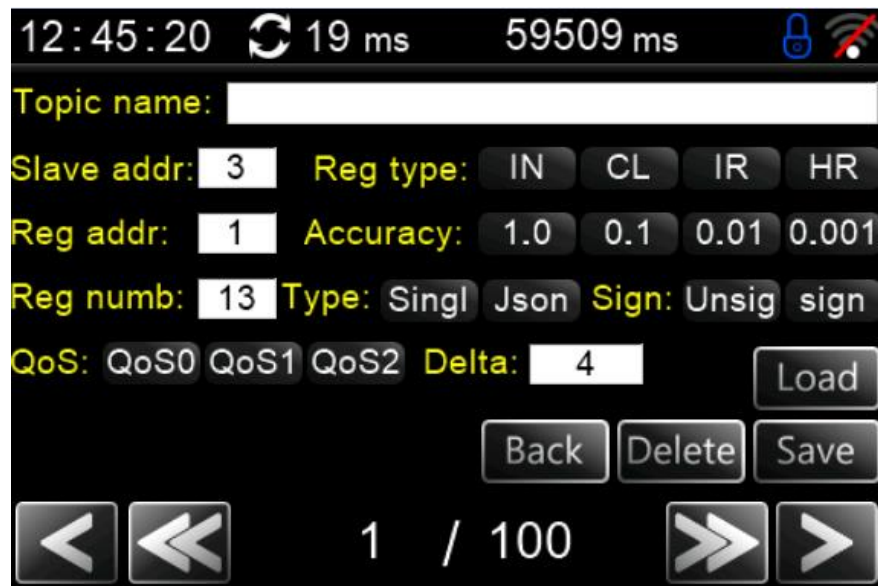


Рис. 5.7 – Сторінка формування топіків

5.4 Організація проекту дисплея.

1. Проект дисплея складається із набору відповідних вікон. Кожне вікно будується на основі технічного завдання і містить певний набір картинок з елементами управління та відображення, прив'язкою до цих елементів відповідних Modbus реєстрів, а також реалізацією алгоритму їхньої взаємодії.

2. Вікно з налаштуваннями, яке не залежить від проекту, має містити щонайменше наступні параметри:

- налаштування зв'язку за RS485;
- кількість і тип опитуваних реєстрів.

3. Проект дисплея містить певний набір змінних, розділених на кілька типів:

- Modbus змінні підключеного контролера – "mb";
- рядкові змінні конвертера – «str»;
- системні змінні конвертера – «sys»;
- змінні весняного модуля GSM – «gsm»;
- змінні сервісу MQTT- «mqtt».

4. Для кожного типу змінних у проекті існує окремо вікно, де є ці змінні. Це так звані вікна змінних. Назва цих вікон відповідає назвам типів – "mb", "str", "sys", "gsm", "mqtt". Змінні у цих вікнах є глобальними.

5. Доступ до глобальних змінних здійснюється за такими назвами:

Тип "mb":

- mb.in0....254.val // Input
- mb.cl0....254.val // Coils
- mb.ir0....254.val // Input register
- mb.hr0...254.val // Holdingregister

Тип «str» та «stre»:

- str.ln0..254.txt // String

Тип "sys":

- sys.reg0..254.val // Sys

Тип "gsm":

- gsm.reg0..254.val // Gsm

Тип "mqtt":

- mqtt.reg0..254.val // MQTT

6. У кожному робочому вікні дисплея є "свій" або поточний набір вищезгаданих змінних, якими оперує це вікно. Значення цих змінних періодично запитується (протоколом обміну передбачено спеціальний запит) у конвертера та оновлюється на дисплеї. Значення інших змінних, доступних у проекті дисплея, не оновлюється. Воно оновлюється принаймні відкриття вікон, у яких вони задіяні (так реалізовано у зв'язку з необхідністю обміну великим обсягом інформації за оновлення всіх змінних).

7. Прив'язка конкретної змінної до її функціонального призначення відбувається локально, не більше вихідного коду конкретного вікна. Наприклад, для вікна "control" це:

control.fan_speed.val= mb.hr3.val – до внутрішньої змінної fan_speed вікна control прив'язана змінна, значення якої дорівнює значенню модбас регістру підключеного контролера (Holding register з адресою 3).

8. Весь алгоритм зміни значень змінних та його обробка відбувається на рівні проекту дисплея.

5.5 Опис протоколу «конвертер – дисплей»

1. Обмін між дисплеєм та конвертером здійснюється за інтерфейсом UART з наступними параметрами зв'язку:

- швидкість – 115200;
- парність – ні;
- кількість стоп біт – 2.

2. У дисплей конвертером надсилаються два типи команд – на зміну значення змінних (є відповіддю на запит читання змінних) та системні команди дисплея, які спрямовані на виконання внутрішніх завдань самого дисплея. Формат цих команд визначений.

3. Кожна відправлена команда – це рядок символів у форматі ASCII, з обов'язковою послідовністю, що термінує, – відправка три рази 0xFF.

4. Формат команд, що надсилаються конвертером в дисплей для зміни глобальних змінних, виглядає так:

«XXX.YYY.val=ZZZ», де

XXX – тип змінної (див. п. 2.3)

XXX – адреса та тип (див. п.2.5)

YYY – значення змінної

Наприклад, mb.hr23.val=23 або sys.rg3.val=23 або str.ln0.txt="This is text"

5. Формат команд, що відправляються дисплеєм у конвертер, виглядає так:

[0x3D] [Size] [CMD] [TYPE] [ADDR] [VAL]... [TYPE] [ADDR] [VAL] [CRC] , де:

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0x3D – маркер початку команди;

Size – розмір області даних, виділених жовтим кольором (1 байт);

CMD – команда читання/запис (1 байт):

CMD = 1 – Read,

CMD = 2 – Write;

TYPE – тип змінних (1 байт):

TYPE = 1 – Input,

TYPE = 2 – Coils,

TYPE = 3 – Input register,

TYPE = 4 – Holding register,

TYPE = 5 – String RAM,

TYPE = 6 – SYS,

TYPE = 7 – GSM,

TYPE = 8 – MQTT,

TYPE = 9 - String EPROM;

ADDR – адреса змінних (2 байти);

VAL - значення змінної (2 байти);

CRC – контрольна сума області, виділеної жовтим кольором, буде описана пізніше (1 байт).

6. При надсиланні команди на читання, поле "VAL" відсутнє. Ця команда періодично відправляється дисплеєм по таймеру дисплея. Команда може містити запит від 1 до кількох змінних які потрібно оновити у конкретному вікні дисплея. При зміні вікна дисплея відбувається зміна списку змінних, що запитуються. Враховуючи постійне опитування підключеного контролера конвертером, у відповідь надходять «актуальні» на даний момент значення фактично значення з контролера. Наприклад, при запиті 5 змінних отримаємо 5 відповідей .

7. Команда на запис відправляється в той момент, коли змінюється користувачем будь-якого параметра, за допомогою натискання на дисплеї

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елемента управління. Нове значення відправляється в конвертер, з подальшим формуванням конвертером Modbus запиту на запис у контролер даного значення. Можна змінювати як одне, і кілька значень за раз.

Винятком є передача рядка (TYPE = 5 або 9). В даному випадку немає підрахунку контрольної суми – поле [CRC] відсутнє! Також за одну передачу може передатися лише один рядок!

[0x3D] [Size] [2] [5 або 9] [ADDR] [STRING.....]

6. При надсиланні команди на читання поле «VAL» відсутнє. Ця команда періодично відправляється дисплеєм по таймеру дисплея. Команда може містити запит від 1 до кількох змінних які потрібно оновити у конкретному вікні дисплея. При зміні вікна дисплея відбувається зміна списку змінних, що запитуються. Враховуючи постійне опитування підключеного контролера конвертером, у відповідь надходять «актуальні» на даний момент значення фактично значення з контролера. Наприклад, при запиті 5 змінних отримаємо 5 відповідей формату, описаного вище.

7. Команда на запис відправляється в той момент, коли змінюється користувачем будь-якого параметра, за допомогою натискання на дисплеї елемента управління. Нове значення відправляється в конвертер, з подальшим формуванням конвертером Modbus запиту на запис у контролер даного значення. Можна змінювати як одне, і кілька значень за раз.

8. Приклад відправки дисплеєм команди на читання 11 регістрів Modbus (2 coils, 3 HR і 6 IR) та отримання відповіді (зображено на малюнку нижче). Швидкість UART – 115 200.

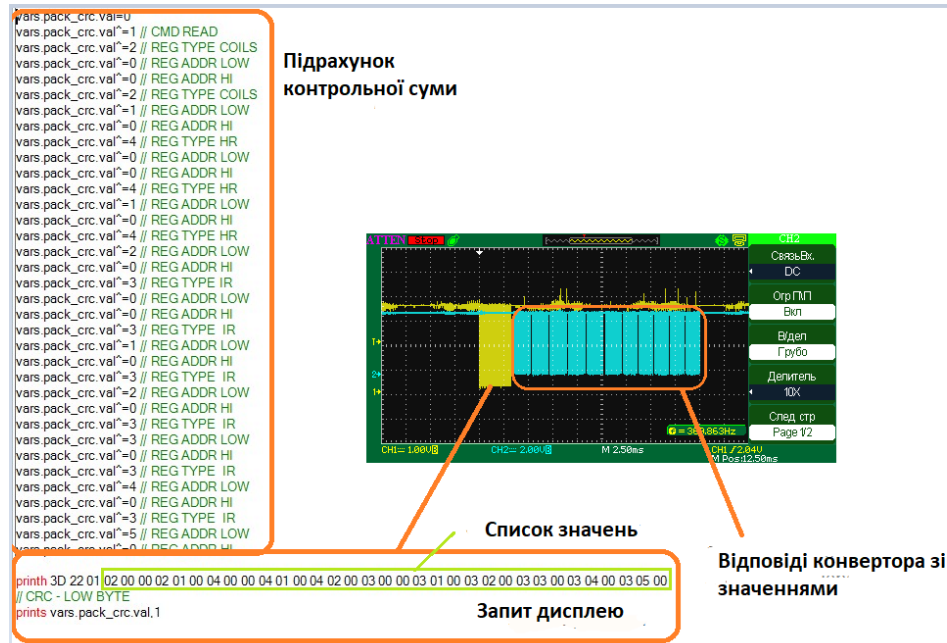


Рис. 5.8 – Приклад відправки дисплеєм команди на читання 11 регістрів

Відправка команди на читання (запит) змінних зайняло близько 3 мс, відповідь близько 20 мс, що сумарно дорівнює 23 мс. У цьому таймер дисплея для опитування змінних налаштовано 100 мс, тобто. має ще запас.

При відправленні команди на читання рядка відповідь може бути тривалішим за часом, що пов'язано з передачею умовно «довгого» рядка, наприклад, “str.ln0.txt=This is a new long string etc. ..”. У цьому випадку необхідно контролювати сумарний час відповіді, щоб він не перевищував час таймера дисплея (при необхідності збільшити період таймера).

5.6 Готовий прилад

На рисунках 5.9 і 5.10 представлений вигляд апаратної частини готового пристрою (без корпусу).

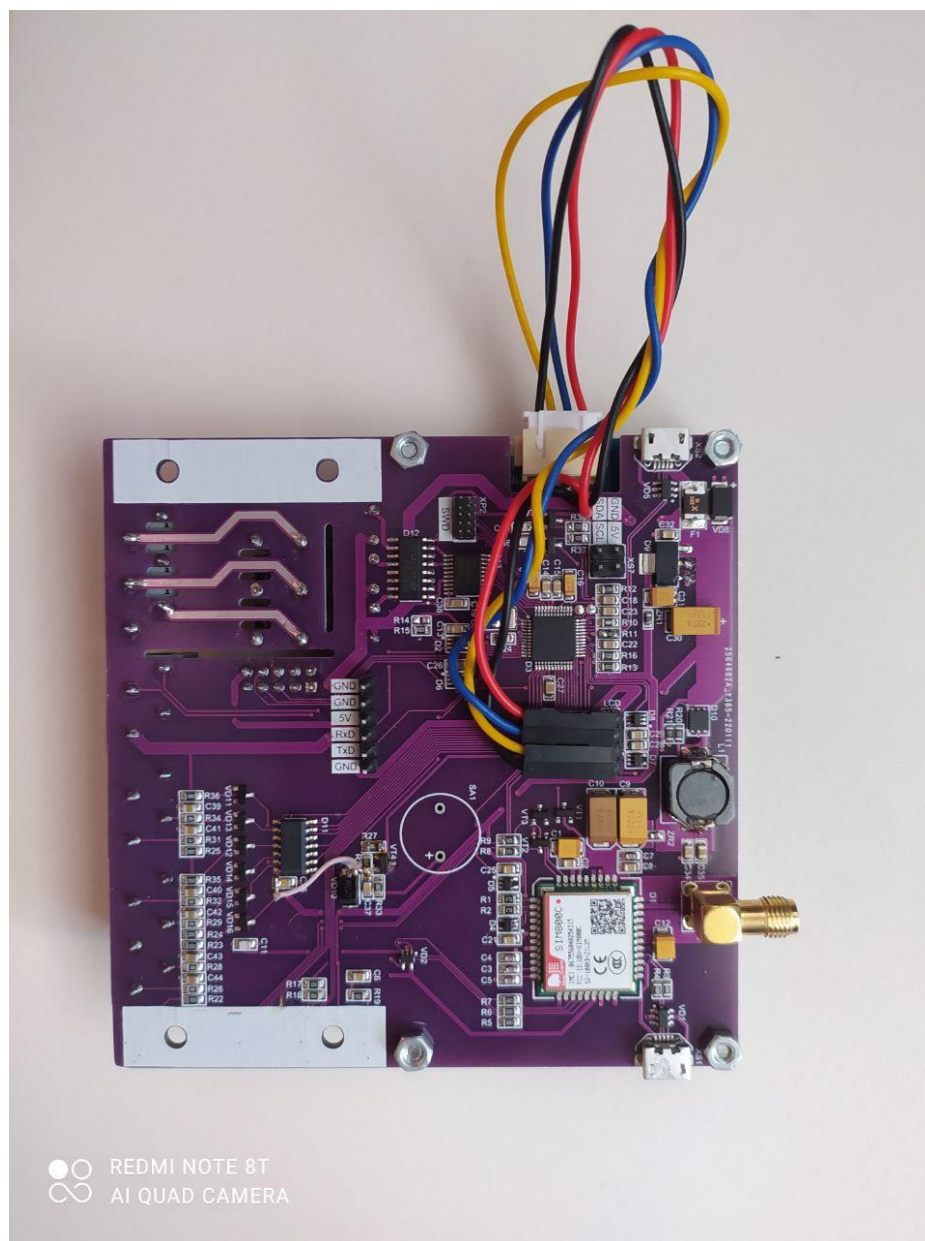


Рис. 5.9 – Фото задньої частини готового приладу

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

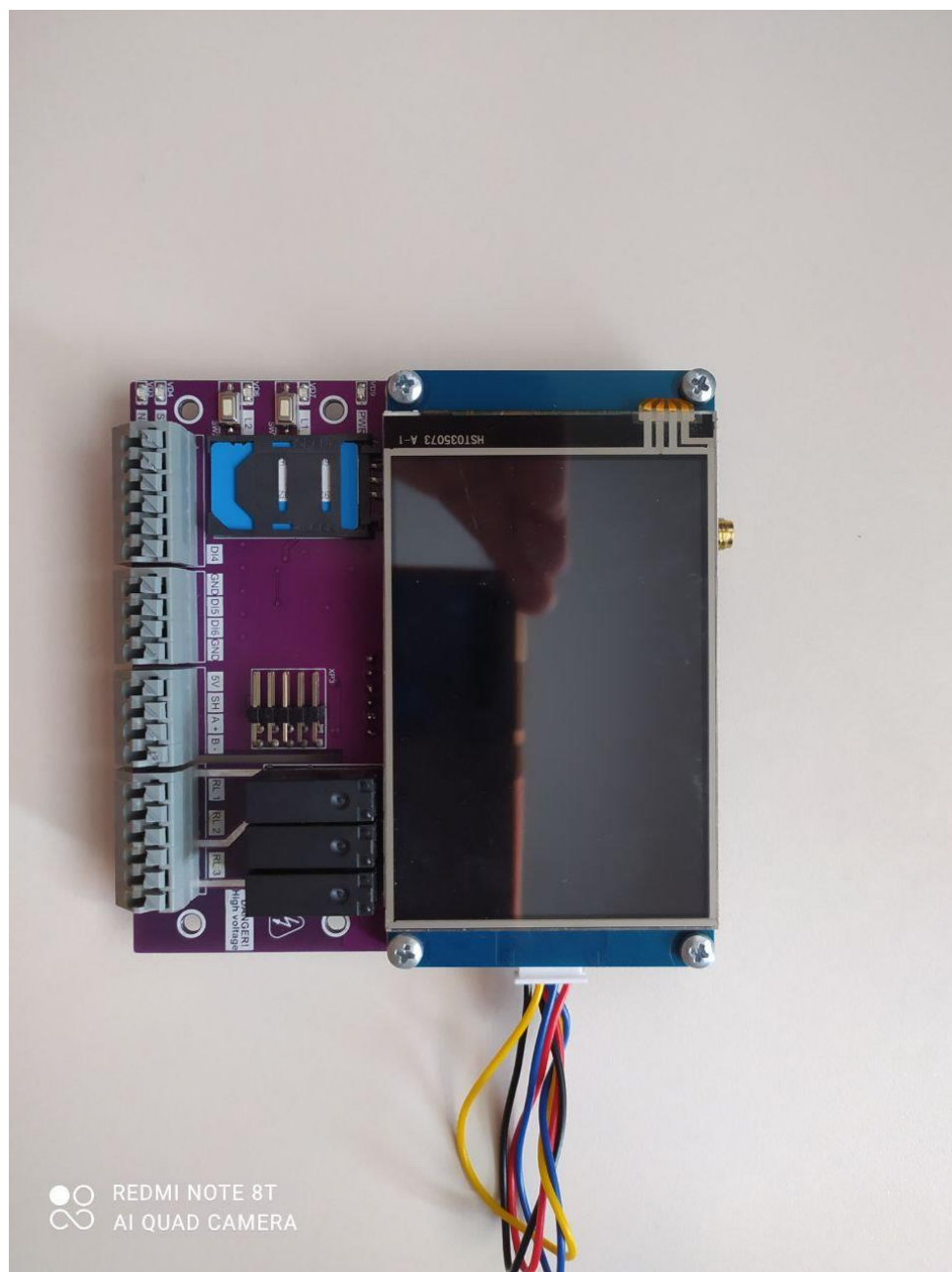


Рис. 5.10 – Фото передньої частини готового приладу

					ИББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Рис. 5.11 – Фото приладу у роботі

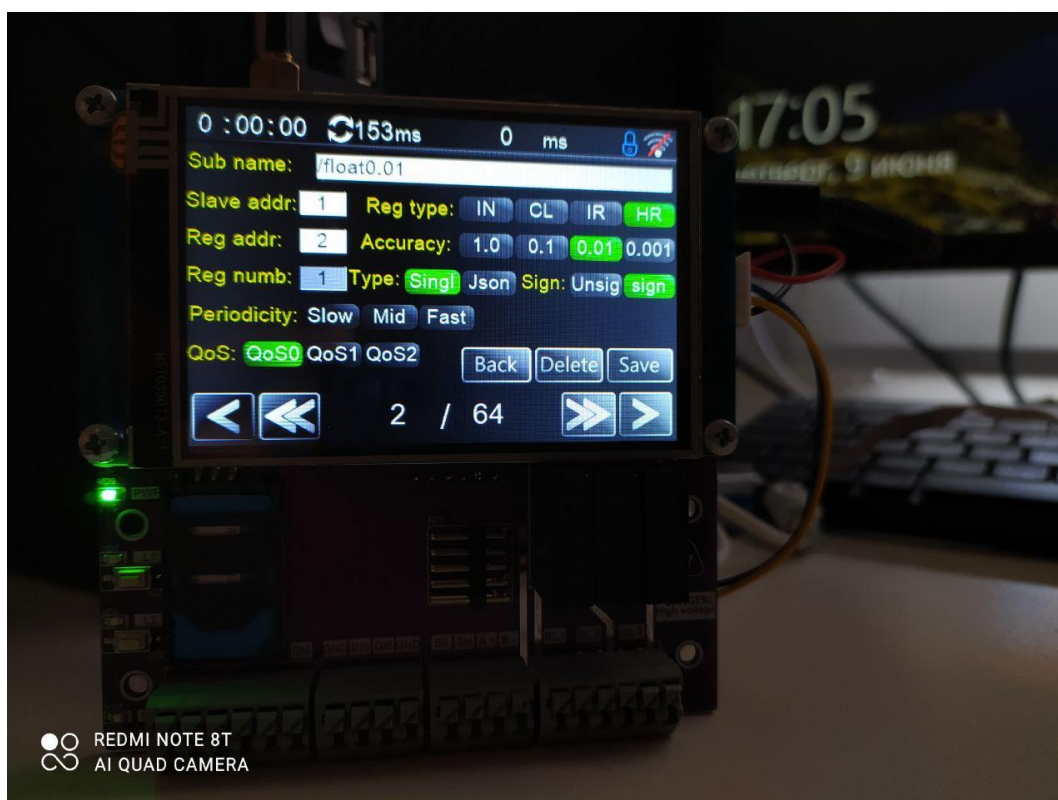


Рис. 5.12 – Фото приладу у роботі

5.7 Друкована плата

Друкована плата була розроблена у середовищі AltiumDesign (рис. 5.13).

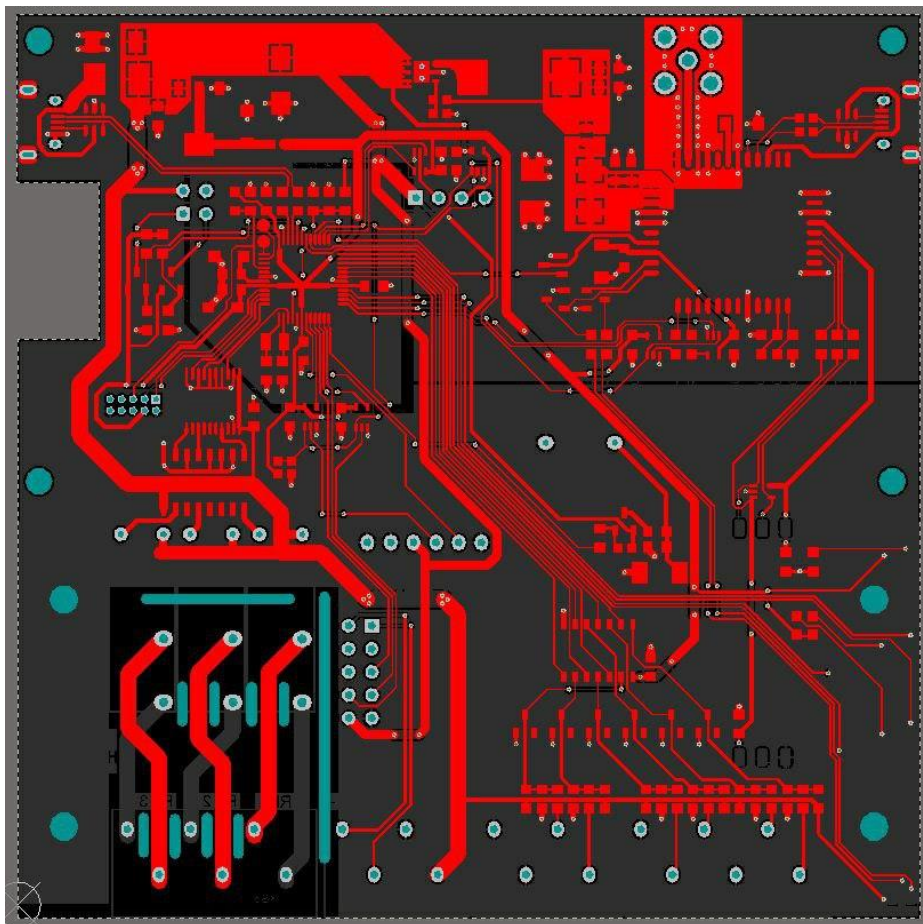


Рис. 5.13 – друкована плата пристрою

Вона двостороння, виконана на фольгованому склотекстоліті товщиною 1 мм і з товщиною фольги 35 мкм. Клас точності плати – 4-й. Тип монтажу – комбінований (переважна більшість електродіокмпонентів у SMD-виконанні, але є кілька деталей у виконанні для наскрізного монтажу). Габаритні розміри плати 100×100 мм.

					ІББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

5.8 Розрахунок надійності приладу

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов пристрою за формулою (5.1)

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \alpha_i(T, K_H), \quad (5.1)$$

де λ_{0i} – номінальна інтенсивність відмов i -го елемента; K_1, K_2 – поправочні коефіцієнти в залежності від механічних факторів (відповідно ударів та вібрації); K_3 – поправочний коефіцієнт в залежності від вологості та температури; K_4 – поправочний коефіцієнт в залежності від тиску повітря; α_i – поправочний коефіцієнт в залежності від температури (T) та коефіцієнта навантаження (K_H);

Коефіцієнти K_1, K_2, K_3, K_4 – однакові для всіх елементів, і складають:

$$K_1=1,04, K_2=1,03, K_3=1, K_4=1.$$

За результатами розрахунку складемо таблицю 5.1.

Розрахуємо інтенсивність відмов системи за формулою (5.2):

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = K_1 K_2 K_3 K_4 \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} \alpha_i(T, K_{Hi}), \quad (5.2)$$

де n – загальна кількість елементів в системі. Підставивши у формулу відповідні значення з таблиці 5.1, отримаємо $\Lambda = 2,07393 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$

Розрахуємо середній час наробітку до відмови системи:

$$T = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{2,07393 \cdot 10^{-6}} = 48217 \text{ год.}$$

					ИББІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1

До розрахунку надійності приладу

<i>Елементи</i>	<i>К- ть, N</i>	$\lambda_{0i} \cdot 10^{-6}, \frac{1}{год}$	K_{Hi}	$\alpha_i(T, K_{Hi})$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}, \frac{1}{год}$	$\alpha_i \cdot N \cdot \lambda_i \cdot 10^{-6}, \frac{1}{год}$
Резистори постійні	39	0,008	0,5	0,66	0,00264	0,06795
Конденсатори керамічні	46	0,03	0,5	0,66	0,00198	0,06011
Діоди	13	0,05	0,6	0,71	0,03550	0,32765
Мікросхеми	15	0,02	1	0,67	0,15000	1,50750
Роз'єми	6	0,005	0,2	0,05	0,00025	0,00007
Пайка	153	0,0001	0,8	0,85	0,00085	0,11054
Плата	1	0,0001	0,7	0,75	0,00015	0,00011
Разом			-			2,07393

Ймовірність безвідмовної роботи системи під час наробітку $t_p = 10000$ год (тому що в році 8760 годин, безвідмовна робота протягом 10000 годин вказує на те, що розробник може сміливо давати на свій виріб гарантію 1 рік):

$$P(t_p) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t_p\right) = \exp(-2,07393 \cdot 10^{-6} \cdot 10000) \approx 0.97$$

або 97%.

ВИСНОВКИ

В ході данної роботи був розроблений пристрій моніторингу та контролю медичних даних на базі мікросхеми ATSAM21G18. Були реалізовані такі протоколи обміну дискретних даних як MQTT, ModBus RTU, ModBus TCP/IP. Прилад був перевірений разом із датчиками температури, вологості. Робота протоколу MQTT була перевірена на локальному сервері, та у мобільному додатку MQTT broker. Реалізована передача даних між мікроконтролером та дисплеєм.

					ИБІ.480001.002-ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік використаних джерел

1. Mohammaddan, S., & Komeda, T. (2010). Wire-driven mechanism for finger rehabilitation devices. Proceedings of the IEEE int. conf. on mechatronics and automation in China, 1015-1018.
2. Young, H.L., & Mutharasan, R. (2005). What Is a Biosensor? Sensor technology handbook. Science Direct, 6, 161-180.
3. Al-Jumaily, A., & Olivares, RA. (2009). Electromyogram (EMG) driven system based virtual reality for prosthetic and rehabilitation devices. 11 th Int Conf on Information integration and web-based applications and services. Malaysia. ACM, 582-586.
4. Goto, S., Nakamura, M., & Sugi, T. (2008). Development of meal assistance orthosis for disabled persons using EOG signal and dish image. International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 1 (2), 107-115.
5. Gupta, R., Bera, JN., & Mitra, M. (2010). Development of an embedded system and MATLAB-based GUI for online acquisition and analysis of ECG signal. Measurement, 43, 1119-1126.
6. Silvia, P., Stefano, M., Stefania, B., Sara, C., Ilaria, P., & Barbara, L. (2010). Early assessment of neuro-rehabilitation technology: a case study. J. Biomed. Eng. Technol. IndraSci, 4 (3), 232-244.
7. Prange, G.B., Jannink, M.J.A., Groothuis-Oudshoorn, C.G.M., Hermens, H.J. & Ijzerman, M.J. (2006). Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. Journal of rehabilitation research and development, 43 (2), 171-184.
8. Karatas, M., Cetin, N., Bayramoglu, M. & Dilek, A. (2004). Trunk muscle strength in relation to balance and functional disability in unihemispheric stroke patients. American journal of physical medicine and rehabilitation, 83 (2), 81-87.

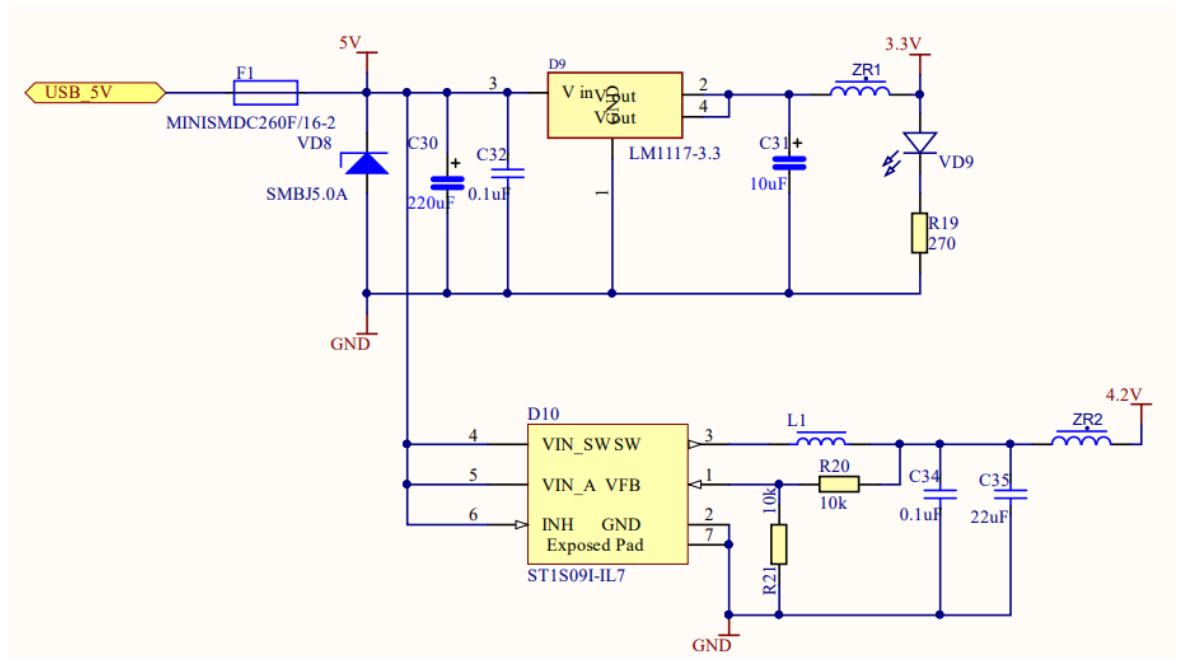
9. Pantelopoulos, A., & Bourbakis, N. (2008). A survey on wearable biosensor systems for health monitoring. Proceedings of the 30th Annual IEEE int. conf. on engineering in medicine and biology society in BC, USA, 4887-4890.
10. Katherine, M.T., Holly, A.Y., David, J., & Feil-Seifer Maja, J.M. (2008). Survey of domain-specific performance measures in assistive robotic technology. Proceedings of the 8th workshop on performance metrics for intelligent systems in USA, 116-123.
11. Janis, J.D., & Jonathan, R.W. (2008). Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation. J. Lancet. Neurol, 11 (17), 1032-1043.
12. Steinisch, M., & Guarnieri, BM. (2009). Virtual reality and robotics for neuro-motor rehabilitation of ischemic stroke patients. World congress on medical physics and biomedical engineering, 61-63.
13. Särelä, A., Salminen, J., Koskinen, E., Kirkeby, O., Korhonen, I., & Walters D. (2009). A home-based care model for outpatient cardiac rehabilitation based on mobile technologies. 3rd Int Conf on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 1-18.
14. Nagaoka, T., Sakatani, K., Awano T., Yokose, N., Hoshino, T., Murata, Y., ... & Eda, H. (2010). Development of a new rehabilitation system based on a brain-computer interface using near-infrared spectroscopy. Adv. Exp. Med. Biol, 662, 497-503.
15. Majdalawieh, O., Gu, J., Bai, T., & Cheng, G. (2003). Biomedical signal processing and rehabilitation engineering: a review. Proceedings of IEEE Pacific Rim conference on communications, computers and signal processing in Canada, 2, 1004-1007.
16. Kozyavkina, O.V., Kozyavkina, N.V., Hordiyevych, M.S., Voloshyn, T.B., Lysovych, V.I, Babelyuk, V.Y., ... Popovych, I.L. (2018). Forecasting caused by Kozyavkin© metod changes in hand function parameters in children with spastic form of cerebral palsy at their baseline levels as well as EEG, HRV

AND GDV. Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny -
Achievements of clinical and experimental medicine, 4, 17-35.

17. Enzo Pasquale, S., Gemignani, A., Paradiso, R., & Taccini, N. (2005).
Performance evaluation of sensing fabrics for monitoring physiological and
biomechanical variables. IEEE T Inf Technol B., 9 (3), 345-352.
18. Ahamed, NU., Sundaraj, K., & Poo, TS. (2013). Design and development of
an automated, portable and handheld tablet personal computer-based data
acquisition system for monitoring electromyography signals during
rehabilitation. Proc Inst Mech Eng Part H-J Eng Med., 262-274.
19. Burns, A., Greene, B.R., McGrath, M.J. & O'Shea (2010). SHIMMERTM: A
Wireless Sensor Platform for Noninvasive Biomedical Research. IEEE Sens
J., 10 (9), 1527-1534.
20. Schabowsky, C.N., & Godfrey, S.B. (2010). Development and pilot testing of
HEXORR: hand Exoskeleton rehabilitation robot. J Neuroeng Rehabil., 7, 36.
21. Sasidhar, S., Panda, S.K., & Xu, J. (2010). A real time control algorithm for a
myoelectric glove for the rehabilitation of wrist and elbow of stroke patients.
8th IEEE Int Conf on control and automation, 745-749.

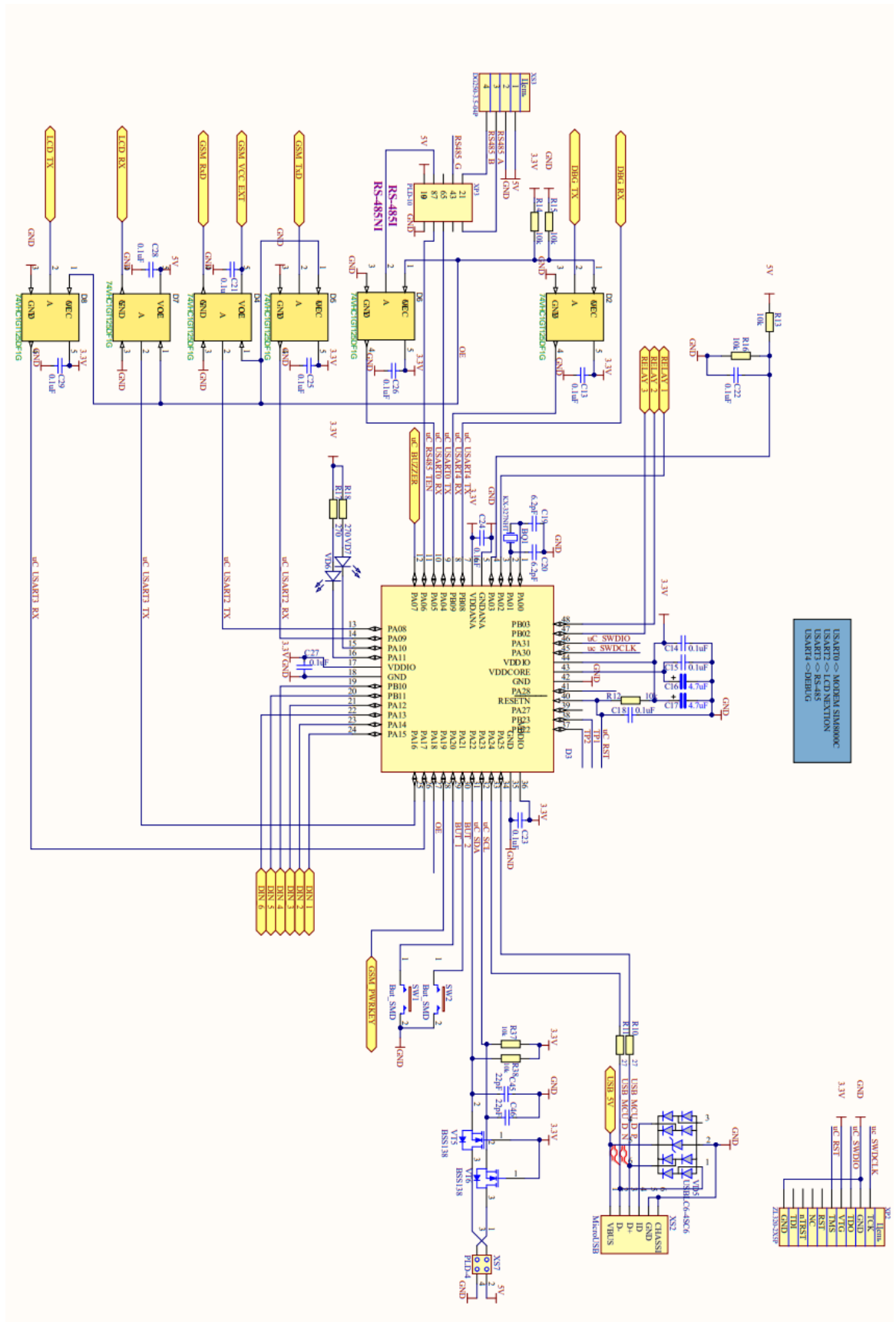
Додаток А

Схема живлення на стабілізаторі напруги LM1117-3.3 та DC-DC перетворювачі напруги ST1S09I-IL7.



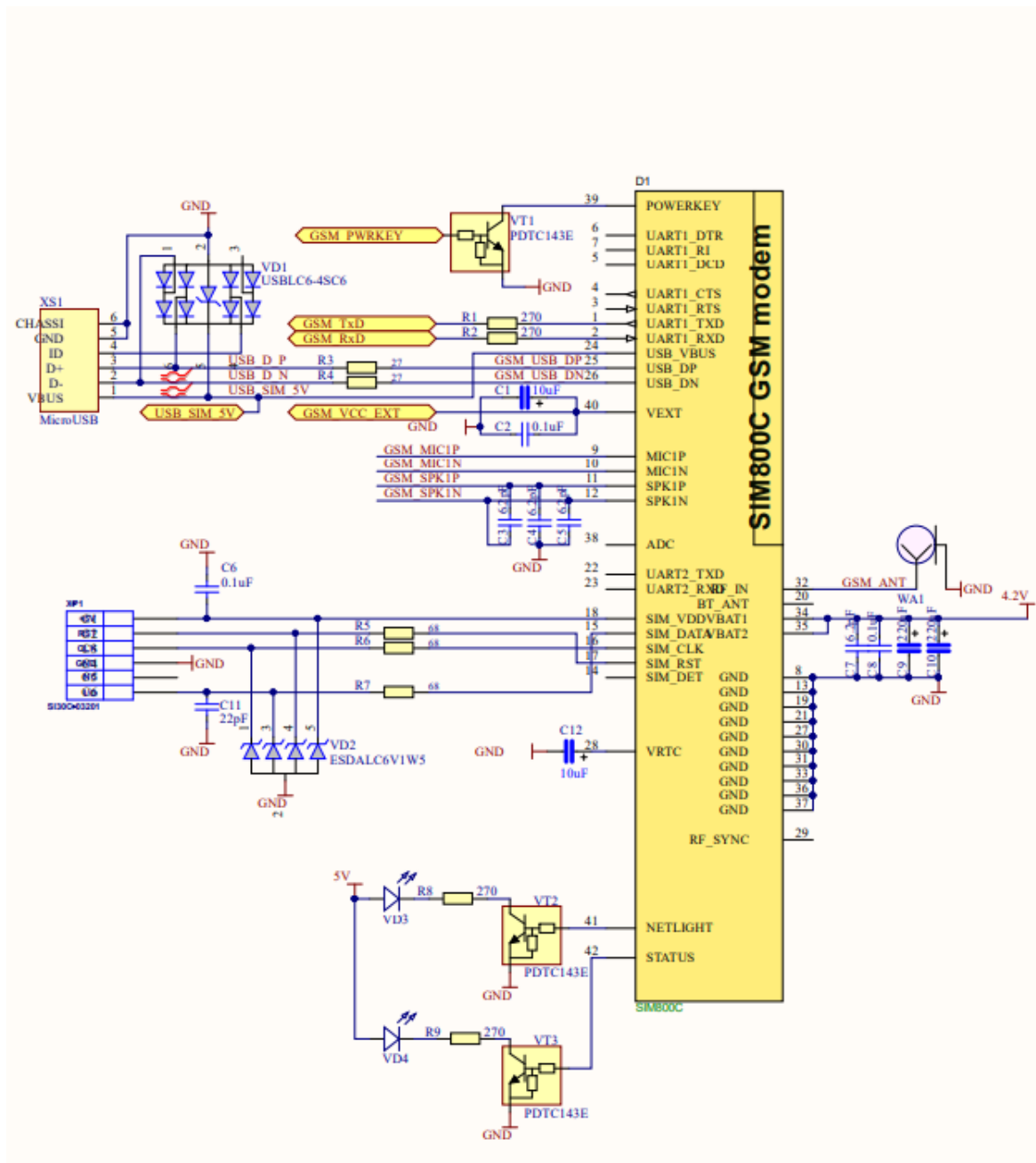
Додаток Б

Схема підключення ATSAM21G18 та реалізація пінів.



Додаток В

Схема підключення модуля SIM800С



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

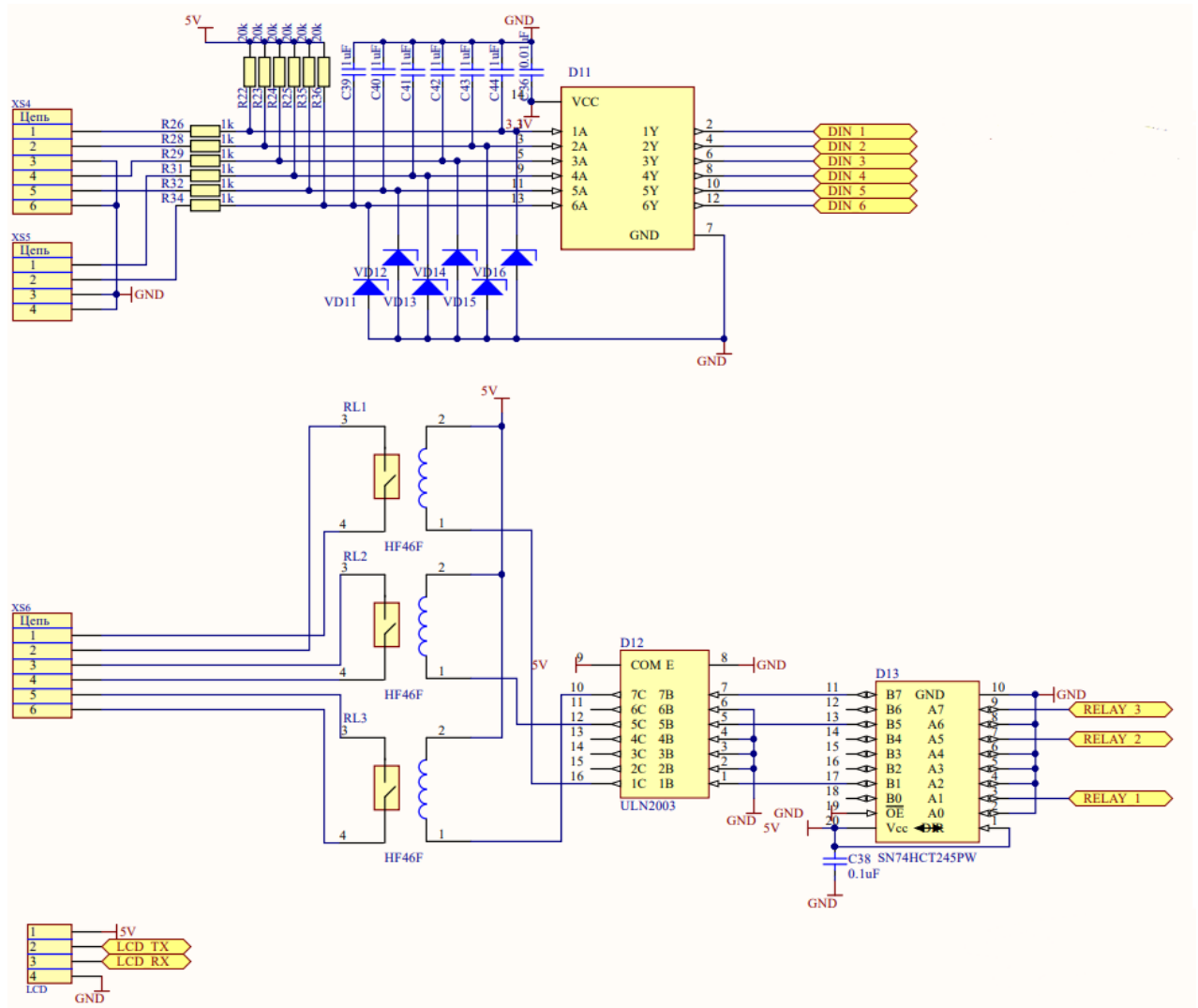
ИББЛ.480001.002-ПЗ

Арк.

53

Додаток Г

Схема підключення релейних виходів та дискретних входів.



Додаток Д

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Кварцевий резонатор		
BQ1	KX-327NHT	1	
	Конденсатор		
C1	TAJB 10 мкФ20В ±10%	1	
C2	C0805 100nF 5% 50V X7R	1	
C3-C5	C0805 6.2 пФ50В NPO ±20%	3	
C6	C0805 100nF 5% 50V X7R	1	
C7	C0805 6.2 пФ50В NPO ±20%	1	
C8	C0805 100nF 5% 50V X7R	1	
C9-10	TAJD 220 мкФ10% 10В	2	
C11	C0805 22pF 5% 50V NP0	1	
C12	TAJB 10 мкФ20В ±10%	1	
C13-C15	C0805 100nF 5% 50V X7R	3	
C16-C17	TAJA 4.7мкФ16В 10%	2	
C18	C0805 100nF 5% 50V X7R	1	
C19-C20	C0805 6.2 пФ50В NPO ±20%	2	
C21-C29	C0805 100nF 5% 50V X7R	9	
C30	TAJD 220 мкФ10% 10В	1	
C31	TAJB 10 мкФ20В ±10%	1	
C32	C0805 100nF 5% 50V X7R	1	
C34	C0805 100nF 5% 50V X7R	1	
C35	C0805 22 мкФ10В X5R ±20%	1	
C36	C0805 10nF 10% 50V X7R	1	
C37-C38	C0805 100nF 5% 50V X7R	2	

ІББІ.480001.002-ПЗ

					Літ.		
Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Борисевич О.Р.			Специфікація		Арк.	Аркуші
Перевір.	Коломієць Р.О.					55	58
Реценз.	Нікітчук Т.М.		19.06.22		Державний Університет «Житомирська Політехніка» Гр. БІ-21		
Н. Контр.							
Затверд.							

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	ESD захист		
VD1,VD5	USBLC6-4SC6	2	
	Діод Шоткі		
VD2	ESDALC6V1W5	1	
	Світлодіод		
VD3-VD9	KP-2012EC	5	
	Супрессор		
VD8	SMBJ5.0A	1	
	Діод		
VD10	US1M	1	
	Сабілітрон		
VD11-16	BZX84-C5V1	6	
	Транзистор		
VT1-VT3	PDTC143ET.215	3	
VT4	RLML6402TRPBF	1	
VT5-VT6	BSS138	2	
	Роз'єми		
WA1	SMA002	1	
XP1	SI30C-03201	1	
XP3	PLD-10	1	
XS1-XS2	MicroUSB	2	
XS3	DG250-3.5-04P-11-00AH	1	
	Компонент перешкододавлюючий		
ZR1-ZR2	BLM18PG471SN1	2	

					ІББІ.480001.002-ПЗ											
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата												
Розроб.		Борисевич О.Р.			Специфікація <table border="1"> <tr> <td>Літ.</td> <td>Арк.</td> <td>Аркушів</td> </tr> <tr> <td></td> <td>57</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Державний Університет «Житомирська Політехніка» Гр. БІ-21</td> </tr> </table>			Літ.	Арк.	Аркушів		57	58	Державний Університет «Житомирська Політехніка» Гр. БІ-21		
Літ.	Арк.	Аркушів														
	57	58														
Державний Університет «Житомирська Політехніка» Гр. БІ-21																
Перевір.		Коломієць Р.О.														
Реценз.		Нікітчук Т.М.		19.06.22												
Н. Контр.																
Затверд.																

[illegible]