

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Система NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик
ходової автомобіля

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РА-41
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Гадевич О.П.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

(підпис)

Паляниця Ю. Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В. Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів Л. Є.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РА-41. // Тернопіль, 2026р. // с.-81, рис.- 31, табл.- 16, бібліог.- 44, додат.- 4.

Ключові слова: СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ, NVH-ХАРАКТЕРИСТИКА, МІКРОКОНТРОЛЕР.

Даний курсовий проект призначений розробці та аналізу системи NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля, що дозволяє здійснювати контроль параметрів у реальному часі.

Розрахункова частина містить глибокий аналіз технічного завдання, структурної схеми виробу. Описано процес проектування та розрахунку ключових вузлів пристрою, включаючи розрахунок електричних параметрів каскадів, параметрів друкованого монтажу, а також вибір і обґрунтування компонентної бази. Особливу увагу приділено компоновці друкованого вузла пристрою та підсумкам цього етапу.

Спеціальна частина роботи зосереджується на обґрунтуванні використання сучасних систем автоматизованого проектування (САПР) для розробки даної системи моніторингу. Висновки узагальнюють отримані результати та підтверджують ефективність запропонованого підходу.

ANNOTATION

Theme of the qualification work: " NVH Monitoring System for the Structural and Dynamic Characteristics of a Vehicle's Chassis". Bachelor's qualification work // Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Group RA-41. // Ternopil, 2026. // p.-81, fig.-31, tab.-16, bibliography- 44, appendix-4.

Keywords: SYSTEM, MONITORING, NVH-CHARACTERISTICS, MICROCONTROLLER.

This course project is intended for the development and analysis of the NVH-monitoring system of structural and dynamic characteristics of the vehicle chassis, which allows for real-time parameter control.

The calculation part contains an in-depth analysis of the technical task, the structural diagram of the product. The process of designing and calculating key components of the device is described, including calculating the electrical parameters of the cascades, the parameters of the printed circuit board, as well as the selection and justification of the component base. Special attention is paid to the layout of the printed circuit board of the device and the results of this stage.

A special part of the work focuses on the justification of the use of modern computer-aided design (CAD) systems for the development of this monitoring system. The conclusions summarize the results obtained and confirm the effectiveness of the proposed approach.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Основна частина	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Розробка структурної схеми NVH-моніторингу	13
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми NVH-моніторингу	16
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази	21
1.5 Компоновка друкованого вузла	40
1.6 Висновки до розділу 1.....	46
2 Спеціальна Частина (САПР)	49
2.1 Вибір САПР.....	49
2.2 Використання САПР при проектуванні друкованого вузла	50
2.3 Висновки до розділу 2	60
3 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	61
3.1 Ергономічні аспекти безпеки життєдіяльності при експлуатації системи NVH-моніторингу	61
3.2 Організація безпечної роботи електроустановок	63
3.3 Висновки до розділу 3	65
Висновки	67
Список використаних джерел.....	69
ДОДАТКИ	

					ГОП 2.009.001 ПЗ							
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Система NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля Пояснювальна записка			<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>		
<i>Розробив</i>		Гадевич О.П.						н	6	73		
<i>Перевірів</i>		Паляниця Ю.Б.						ТНТУ, ФПТ каф.РТ гр.РА-41				
<i>Н. контр.</i>		Хвостівська Л.В.										
<i>Затв.</i>		Дунець В. Л.										

Вступ

У сучасному автомобілебудуванні та сфері технічної експлуатації транспортних засобів забезпечення надійності, безпеки та комфорту є пріоритетними завданнями. Зростання швидкостей руху, підвищення вимог до плавності ходу, а також активне впровадження інтелектуальних систем бортової діагностики створюють умови для розробки нових, більш складних апаратно-програмних комплексів. Важливою складовою оцінки технічного стану рухомого складу є аналіз віброакустичних характеристик за концепцією NVH (Noise, Vibration, and Harshness). Попри наявність стаціонарних стендів, мобільний моніторинг структурно-динамічних параметрів безпосередньо під час експлуатації автомобіля залишається критично важливим завдяки можливості виявлення дефектів на ранніх стадіях у реальних дорожніх умовах.

Актуальність теми зумовлена необхідністю безперервного контролю віброакустичного стану ходової частини для запобігання втомній деградації елементів підвіски, забезпечення оптимальних умов безпеки та підвищення плавності ходу. Особливого значення такі системи набувають у сфері експлуатації електромобілів (EV), де за відсутності маскувального шуму і вібрацій від двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) чітко проявляються високочастотні гармоніки та структурні резонанси підвіски і трансмісії. Застосування сучасних ІТ-технологій та бездротових протоколів передачі даних (зокрема Wi-Fi) дозволяє досягти високої швидкодії, енергоефективності та завадостійкості системи без необхідності прокладання додаткових кабельних ліній зв'язку в агресивному середовищі автомобільного шасі.

У межах цієї кваліфікаційної роботи реалізовано проєкт мобільного апаратно-програмного комплексу NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової частини автомобіля.

					ГОП 2.009.001 ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		7

Основним інструментом розробки виступили сучасні системи автоматизованого проектування (CAD), за допомогою яких було створено повний комплект конструкторської документації, спроектовано топологію друкованих плат та змодельовано тривимірний корпус пристрою. Візуалізацію та первинну обробку даних безпосередньо на борту забезпечує високопродуктивний мікроконтролер, який зчитує аналогові та цифрові сигнали з первинних вимірювальних перетворювачів (акселерометрів, датчиків вібрації), здійснює їх аналіз та передає масиви даних через бездротовий інтерфейс для подальшої математичної обробки та реєстрації швидкоплинних процесів.

					ГОП 2.009.001 ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

По-перше, забезпечення надійності, безпеки та комфорту руху є ключовою потребою сучасної автомобільної індустрії та пасажирських перевезень. Автомобіль під час руху є складною багатомасовою коливальною системою з розподіленими параметрами, яка постійно піддається кінематичному та силовому збудженню [1]. У період активного розвитку бездротових технологій та інтелектуальної бортової діагностики зростає попит на доступні, функціональні та енергоефективні стаціонарні системи моніторингу підвіски, що функціонують у реальному часі.

По-друге, комплексний аналіз цих збуджень та їхнього впливу на конструкцію і пасажирів об'єднаний у концепцію NVH (Noise, Vibration, Harshness). Хоча ці три явища мають спільну фізичну природу – поширення пружних хвиль у середовищі, їхній вплив на ходову частину розглядається через різні механізми взаємодії. Вібрація (Vibration) у контексті ходової частини — це низькочастотні механічні коливання (від 0.5 до 50 Гц), які передаються від плями контакту шини з дорогою на кузов. З інженерної точки зору, найбільш критичним є збіг частот зовнішнього збудження з власними частотами елементів підвіски. Резонанс невідвіснених мас виникає в діапазоні 10–15 Гц, тоді як відвіснена маса має власну частоту близько 1–2 Гц. Тривалий вплив некомпенсованих вібрацій призводить до прискореної втомної деградації металу важелів та руйнування еластомерних шарнірів (сайлентблоків). Згідно з ISO 2631, діапазон 4–8 Гц є найбільш небезпечним для людини, оскільки викликає резонанс внутрішніх органів [2].

По-третє, розвиток мікроконтролерної техніки та технології мікроелектромеханічних систем (MEMS) дає змогу реалізувати елементи зчитування, цифрової обробки та бездротової передачі віброакустичних

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики MagneRide MR

Параметр	Значення
Кількість каналів вимірювання	4 (цифрові, шина CAN)
Частота дискретизації	100 – 500 Гц
Інтерфейси обміну даних	CAN, FlexRay
Тип обробки даних	Внутрішні закриті алгоритми
Живлення системи	12 В від бортової мережі

Комплекс професійної автоспортивної телеметрії MoTeC BM-1 побудований на базі централізованого дата-логера та дротових п'єзоелектричних датчиків. Система забезпечує еталонну точність вимірювань і частоту дискретизації до 20 кГц. Проте вона вимагає прокладання складних екранованих коаксіальних кабелів, які схильні до трибоелектричного ефекту під час артикуляції підвіски. Зовнішній вигляд логера наведено на рис. 1.2. Вартість такого комплексу становить близько \$2500, що робить його неприйнятним для масового та комерційного використання [5].



Рисунок 1.2 – Комплекс професійної автоспортивної телеметрії MoTeC BM-1

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики MoTeC BM-1

Параметр	Значення
Кількість аналогових каналів	8 (дротові, коаксіальні)

Частота дискретизації	До 20 кГц
Інтерфейси обміну даних	CAN, Ethernet
Тип обробки даних	Запис сирих даних для ПК
Живлення системи	9 – 32 В постійного струму

Висновки з аналізу аналогів є наступними, що для створення ефективної системи NVH-моніторингу, що поєднувала б діагностичну глибину автоспортивної телеметрії з надійністю та технологічністю OEM-рішень, необхідно відмовитися від концепції централізованого оцифровування.

Найбільш перспективним є створення гібридного модуля: він має встановлюватися безпосередньо біля джерела вібрацій (на поворотному кулаці або важелі), самостійно оцифровувати високочастотний сигнал та апаратно виконувати його спектральний аналіз. Після цього по захищеній шині (CAN) або радіоканалу в бортову мережу надсилатиметься не «важкий» потік аудіо/віброданих, а лише легкі пакети з розрахованими коефіцієнтами або тригерами відхилень. Саме така архітектура ляже в основу нашої розробки.

1.2 Розробка структурної схеми NVH-моніторингу

Структурна схема системи NVH-моніторингу ходової частини автомобіля, зображена на рис. 1.3, ілюструє логічну побудову та взаємодію функціональних частин пристрою. Вона дозволяє відобразити загальні принципи роботи вузлів, окреслити шляхи проходження сигналу та живлення, а також показати цифрово-аналоговий зв'язок у системі за допомогою блок-схем або схеми взаємозв'язків.

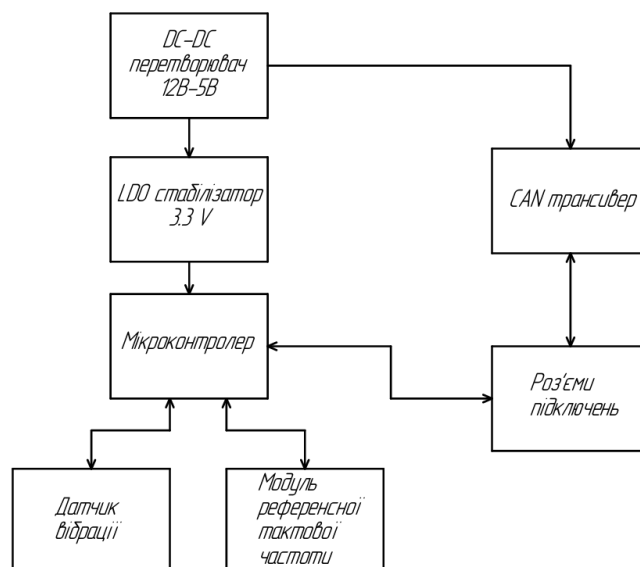


Рисунок 1.3 – Схема електрична структурна

В основі побудови пристрою полягає ідея поєднання високочастотного цифрового MEMS-каскаду первинного збору даних із потужним мікроконтролерним модулем для граничної спектральної обробки та видачі телеметрії в реальному часі. Схема включає в себе такі блоки: цифровий MEMS-акселерометр (датчик вібрації), апаратний буфер FIFO, центральне обчислювальне ядро (мікроконтролер із підтримкою FPU/DSP), контролер шини зв'язку, вузол CAN-трансивера, імпульсний DC-DC знижувальний перетворювач, лінійний LDO-стабілізатор та захисний вхідний фільтр бортової мережі автомобіля.

Сигнал механічних прискорень та віброакустичних коливань ходової частини сприймається первинним вимірювальним каскадом, реалізованим у вигляді цифрового MEMS-акселерометра. Така конфігурація забезпечує реєстрацію динамічних процесів за трьома просторовими осями (X, Y, Z) безпосередньо за місцем монтажу модуля (на поворотному кулаці або важелі підвіски), що мінімізує довжину аналогових ліній та запобігає спотворенням від наведень.

Після цього первинні дані передаються до інтегрованого апаратного буфера FIFO, який забезпечує тимчасове накопичення масивів інформації,

дозволяючи оптимізувати роботу центрального процесора. Далі оцифрований сигнал підлягає послідовному аналізу через послідовний периферійний інтерфейс SPI, обчислювальне ядро мікроконтролера та вихідний каскад драйвера шини CAN.

Внутрішньооплатний інтерфейс SPI, працюючи на високій тактовій частоті, формує необхідну швидкість передачі даних із високою стабільністю. Проміжне обчислювальне ядро мікроконтролера виконує функцію цифрової фільтрації, віконного згладжування та підготовки масивів для виконання спектрального аналізу.

Обчислювальна архітектура ядра з підтримкою DSP та апаратного математичного співпроцесора FPU дозволяє здійснювати потокове виконання швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Це забезпечує більш ефективну ідентифікацію частотних складових сигналу, зменшення затримок обробки та підвищення швидкодії системи діагностики [6].

Наявність вхідного захисного фільтра з TVS-діодами дозволяє стабілізувати вхідні кола пристрою, гасити високовольтні імпульси бортової мережі та запобігати пошкодженню напівпровідникових структур, що особливо важливо для автомобільних систем, де імпульсне та теплове навантаження є значними [7].

Паралельно з вимірювальним трактом функціонує цифровий блок зв'язку, реалізований на базі CAN-трансивера. Оброблений та відфільтрований сигнал, пройшовши спектральний аналіз у мікроконтролері, надходить на вхід контролера каналного рівня, після чого здійснюється формування стандартних диференційних кадрів, масштабування та подальша трансляція діагностичних маркерів у бортову мережу автомобіля. Сучасні підходи до цифрової обробки дозволяють ефективно виконувати ці завдання з мінімальними затримками.

Як зазначено у наукових статтях, віброакустичні та телеметричні дані можна обробляти за допомогою цифрових засобів у часовому, спектральному (частотному) просторах, просторі власних складових та із

застосуванням інтелектуальних підходів, таких як засоби машинного навчання. Це підкреслює потенціал подальшого розвитку подібних систем у напрямку інтелектуальної адаптації алгоритмів визначення зносу ходової частини [8, 9].

Живлення модуля NVH-моніторингу здійснюється від нестабільної бортової мережі автомобіля номіналом +12 В. Для живлення вихідного каскаду CAN-трансивера формується проміжна напруга +5 В за допомогою високоефективного імпульсного DC-DC стабілізатора, а для прецизійної цифрової та аналогової частини сенсора й мікроконтролера – жорстко стабілізовані +3.3 В, що подаються через лінійний LDO-регулятор з низьким рівнем власних шумів. Поділ рівнів живлення, каскадування та правильне фільтрування живильних ліній за допомогою конденсаторів ємнісного фільтра сприяє зниженню взаємних завад і покращенню завадостійкості всього пристрою [10].

У підсумку, розроблена структурна схема повністю узгоджується з вимогами технічного завдання. Функціональні модулі взаємодіють послідовно та забезпечують узгоджену вибірку сигналів, обчислення спектральних характеристик і передачу діагностичної інформації. Принцип дії пристрою є коректним щодо визначених вимог, що підтверджує його технічну придатність до реалізації.

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми NVH-моніторингу

Проектування схеми електричної принципової периферійного модуля моніторингу базується на принципах забезпечення максимальної цілісності сигналів, температурної стабільності та жорсткого дотримання вимог електромагнітної сумісності (ЕМС) в умовах автомобільного середовища.

Схему логічно розділено на три взаємопов'язані функціональні етапи: вимірвальний тракт цифрового MEMS-сенсора, обчислювальне ядро

мікроконтролера з інтерфейсними вузлами та каскадну підсистему вторинного живлення із вхідними захисними колами.

Центральним елементом вимірювального тракту є цифровий MEMS-акселерометр DD2 типу IIS3DWB. Зважаючи на його високу чутливість (широкосмуговий шум становить лише 75 мкг/√Гц), топологія підключення цього компонента є критичною [11]. Фрагмент електричної принципової схеми, що ілюструє підключення датчика, наведено на рисунку 1.5. Обмін даними з мікроконтролером реалізовано через чотирьох провідний швидкісний інтерфейс SPI (лінії CS, SPC, SDI, SDO). Для забезпечення жорсткого режиму реального часу лінію переривання датчика INT1 підключено до зовнішнього апаратного переривання (EXTI) мікроконтролера. Особливу увагу в схемі приділено фільтрації живлення датчика. Оскільки цифровий та аналоговий домени всередині мікросхеми живляться від різних виводів (VDD та VDD_IO), для кожного з них передбачено локальні розв'язувальні конденсатори. Для придушення високочастотних завад по лініях живлення вимірювального тракту використовуються керамічні конденсатори ємністю 0.1 мкФ. Розрахунок їхнього мінімального реактивного опору X_C на частоті можливих завад $f = 10$ МГц (частота тактування шини SPI) виконується за формулою:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad (1.1)$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot 3.14159 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{6.28318} \approx 0.159 \text{ Ом} \quad (1.2)$$

Такий низький реактивний опір (0.159 Ом) забезпечує ефективне закорочування високочастотних імпульсних наведень на землю, захищаючи аналогові кола датчика.

Для компенсації низькочастотних просадок напруги паралельно встановлено тантал-полімерні конденсатори ємністю 10 мкФ.

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

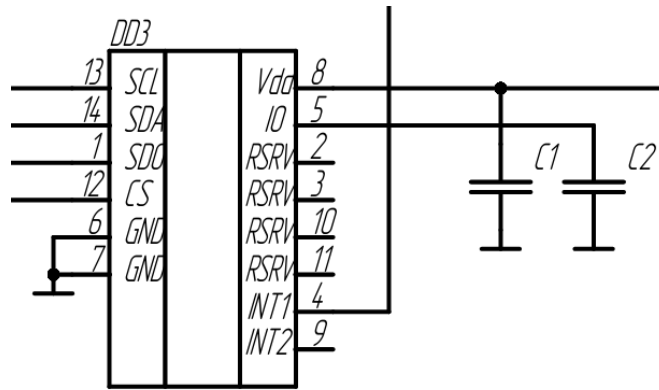


Рисунок 1.5 – Схемотехнічний вузол підключення цифрового MEMS-акселерометра PIS3DWB

Ядром системи є мікроконтролер DD1 типу STM32F446RE [12]. Його підключення реалізовано за схемою мінімальної обв'язки з урахуванням автомобільної специфіки (рис. 1.6). Для тактування ядра використано зовнішній кварцовий резонатор X1 частотою 8 МГц із температурною стабільністю 30 ppm, який підключено до виводів OSC_IN / OSC_OUT.

Використання внутрішнього RC-генератора (HSI) є недопустимим, оскільки в умовах різких перепадів температур його частота деградує. Для інтерфейсу CAN допуск на відхилення таймінгів частоти Δf становить [13]:

$$\Delta f \leq 0.1\% \quad (1.3)$$

Зовнішній кварц забезпечує стабільність на рівні ± 0.003 , що повністю задовольняє вимоги протоколу CAN. Внутрішній помножувач PLL розганяє частоту кварца до робочих 180 МГц. Лінії інтерфейсу SWD підтягнуті до шини живлення резисторами номіналом 10 кОм для забезпечення чіткого логічного рівня одиниці та захисту від наведень.

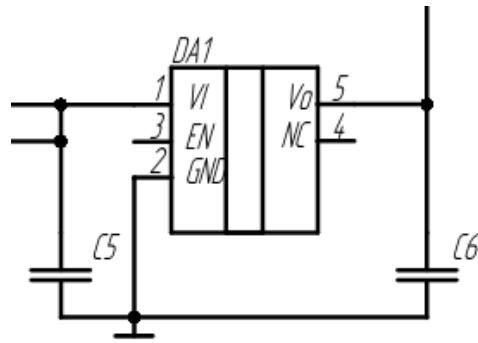


Рисунок 1.6 – Схемотехнічний вузол генератора тактової частоти мікроконтролера

Модуль зв'язку побудовано на базі CAN-трансивера DD3 типу TCAN1042-Q1 (рис. 1.7) [14]. З боку фізичної диференційної шини (CANH, CANL) застосовано схему розщепленого термінування. Замість одного резистора 120 Ом встановлено два послідовні резистори R1 та R2 номіналом по 60 Ом, середня точка яких через конденсатор C4 ємністю 4.7 нФ з'єднана з землею GND.

Еквівалентний опір $R_{екв}$ цього паралельного діляника для синфазного сигналу становить [7]:

$$R_{екв} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \cdot 60}{60 + 60} = 30 \text{ Ом} \quad (1.4)$$

Ця конфігурація утворює низькочастотний фільтр, частота зрізу якого для синфазних завад $f_{ст}$ розраховується за формулою [10]:

$$f_{ст} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{екв} \cdot C_4} \quad (1.5)$$

$$f_{ст} = \frac{1}{2 \cdot 3.14159 \cdot 30 \cdot 4.7 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{8.859 \cdot 10^{-7}} \approx 1.13 \text{ МГц}$$

Частота зрізу 1.13 МГц дозволяє безперешкодно пропускати корисний високочастотний диференційний сигнал шини CAN (до 1 Мбіт/с), але ефективно заземлює й пригнічує високочастотний синфазний шум та електромагнітні випромінювання крученої пари. Для захисту від високовольтних розрядів (ESD) встановлено супресорну збірку TVS-діодів VD1 типу PESD1CAN [15].

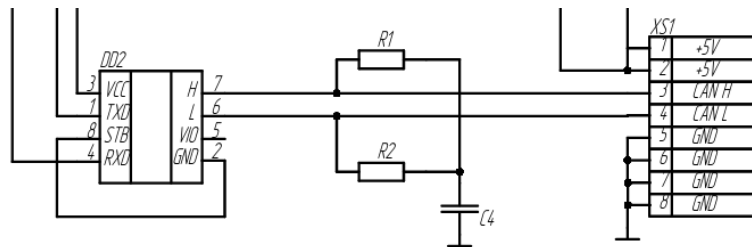


Рисунок 1.7 – Схемотехнічний вузол інтерфейсу зв'язку CAN-bus із захисними колами

Вхідний каскад (рис 1.8) підключений до бортової мережі автомобіля номіналом +12 В (максимально до +14.4 В). Для захисту від помилкового переполосування встановлено діод Шоттки VD2 [16], а від імпульсних викидів – TVS-діод VD3 типу SMAJ36A [17]. Для згладжування пульсацій та недопущення проникнення комутаційних шумів від імпульсного Виск-перетворювача U3 (2.1 МГц) назад у бортову мережу, інтегровано П-подібний LC-фільтр (L1, C5).

Розрахунок індуктивності дроселя L1 для забезпечення заданої частоти зрізу фільтра $f_c = 25$ кГц при використанні вхідного конденсатора $C_5 = 10$ мкФ виконується на основі формули Томсона:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_5}} \Rightarrow L_1 = \frac{1}{(2\pi \cdot f_c)^2 \cdot C_5} \quad (1.6)$$

$$L_1 = \frac{1}{(2 \cdot 3.14159 \cdot 25000)^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{2.4674 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-5}} \approx 4.05 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} =$$

$$= 4.05 \text{ мкГн}$$

Зі стандартного ряду номіналів обираємо дросель із запасом по індуктивності та струму насичення – 4.7 мкГн [18]. Реальна частота зрізу при цьому становить 23.2 кГц, що повністю відсікає гармоніки комутації перетворювача U3. Після імпульсного каскаду встановлено лінійний LDO-стабілізатор DA1 серії ADP150, який видає чисті +3.3 В для прецизійного живлення цифрового тракту [19].

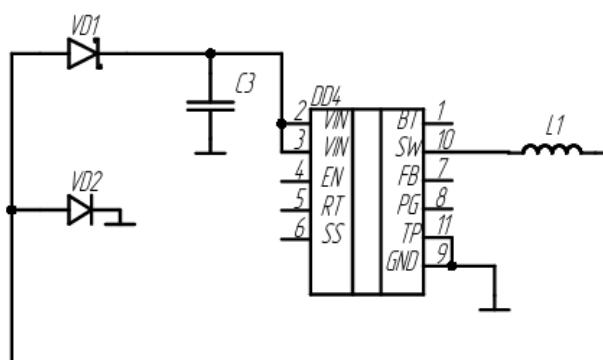


Рисунок 1.8 – Схемотехнічний вузол вхідного фільтра та захисту живлення

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

Під час побудови периферійного пристрою системи NVH-моніторингу ключовим етапом став підбір елементної бази. Основними критеріями вибору виступали: електричні параметри, відповідність автомобільному стандарту АЕС-Q100 [20], температурний діапазон роботи від -40 °С до +125 °С, компактність корпусів та завадостійкість.

У таблицях 1.3–1.14 наведено детальні технічні характеристики обраних компонентів пристрою та критерії їхнього вибору згідно з вимогами технічного завдання.

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 1.3 – Цифровий MEMS-акселерометр IIS3DWB (DD2)

Позиційне позначення	DD2
Тип елемента та його позначення	Цифровий трьохосьовий MEMS-акселерометр IIS3DWB
Компанія-виробник	STMicroelectronics
Критерії вибору	Ультраширокий діапазон АЧХ (до 6 кГц), низький рівень шуму, вбудований FIFO
Конструктивні особливості елемента	Корпус LGA-14 (2.5 x 3 x 0.83 мм)
Технічні властивості та ключові характеристики	
Напруга живлення цифрового тракту	1.71 ... 3.6 В
Напруга живлення інтерфейсу	1.62 ... 3.6 В
Спектральна щільність власного шуму	75 мкг/√Гц
Об'єм апаратного буфера FIFO	3 кілобайти
Максимальна частота шини SPI	10 МГц
Діапазон робочих температур	- 40 °С ... +105 °С



LGA-14L
(2.5 x 3.0 x 0.83 mm) typ.

Features

- 3-axis vibration sensor with digital output
- User-selectable full scale: ±2/4/8/16 g
- Ultrawide and flat frequency response range: from dc to 6 kHz (+3 dB point)
- Ultralow noise density: down to 75 µg/√Hz in 3-axis mode / 60 µg/√Hz in single-axis mode
- High stability of the sensitivity over temperature and against mechanical shocks
- Extended temperature range from -40 to +105°C
- Low power: 1.1 mA with all 3 axes delivering full performance
- SPI serial interface
- Low-pass or high-pass filter with selectable cutoff frequency
- Interrupts for wake-up / activity - inactivity / FIFO thresholds
- Embedded FIFO: 3 KB
- Embedded temperature sensor
- Embedded self-test
- Supply voltage: 2.1 V to 3.6 V
- Compact package: LGA 2.5 x 3 x 0.83 mm 14-lead
- ECOMPACT and RoHS compliant

Applications

- Vibration monitoring
- Condition monitoring
- Predictive maintenance
- Test and measurements

Product status link	
IIS3DWB	
Product summary	
Order code	IIS3DWBTR
Temp. range [°C]	-40 to +105
Package	LGA-14L
Packing	Tape and reel
Product resources	
ANS444 (device application note)	
TN0016 (handling, mounting, and soldering guidelines)	

Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд і розміра корпусу
MEMS-акселерометра IIS3DWB

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

ГОП 2.009.001 ПЗ

Арк.

22

Даний первинний вимірювальний перетворювач безпосередньо реєструє механічні вібрації, шуми та прискорення елементів підвіски автомобіля, трансформуючи фізичну величину у високоточний цифровий код.

Таблиця 1.4 – Мікроконтролер STM32F446RET6 (DD1)

Позиційне позначення	DD1
Тип елемента та його позначення	32-бітний мікроконтролер STM32F446RET6
Компанія-виробник	STMicroelectronics
Критерії вибору	Наявність апаратного FPU, DSP-інструкцій, контролера CAN та багатоканального DMA
Конструктивні особливості елемента	Корпус LQFP-64 (10 x 10 x 1.4 мм)
Технічні властивості та ключові характеристики	
Архітектура та тактова частота ядра	ARM Cortex-M4, 180 МГц
Об'єм вбудованої Flash-пам'яті / SRAM	512 КБ / 128 КБ
Напруга живлення ядра та периферії	1.7 ... 3.6 В
Споживання струму в максимальному режимі	50 мА
Кількість апаратних інтерфейсів SPI / CAN	4 / 2
Діапазон робочих температур	-40 °С ... +85 °С

Мікроконтролер виступає обчислювальним ядром системи: він керує зчитуванням даних з акселерометра через SPI, здійснює первинну цифрову фільтрацію сигналу, формує діагностичні пакети та транслює їх у бортову мережу CAN.

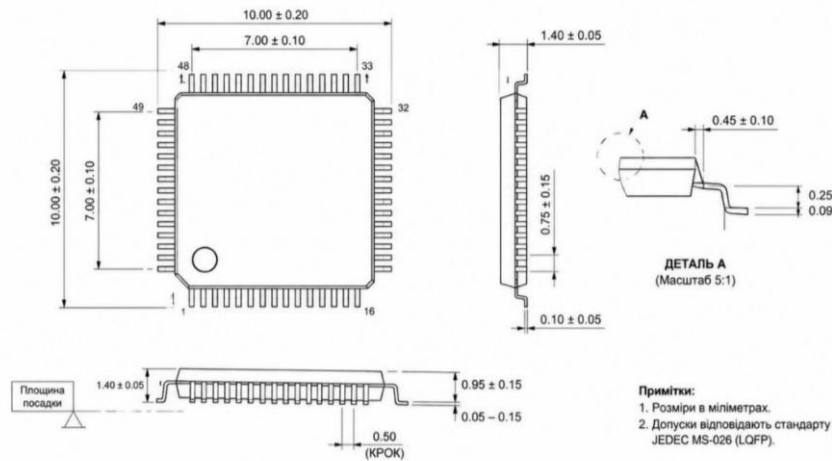


Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу мікроконтролера STM32F446RET6

Таблиця 1.5 – Автомобільний CAN-трансивер TCAN1042-Q1 (DD3)

Стійкість до напруги пробою на лініях шини	-58 В ... +58 В
Рівень захисту від електростатичних розрядів	±16 кВ (IEC 61000-4-2)
Струм споживання в домінантному стані	45 мА
Діапазон робочих температур	-55 °С ... +125 °С
Позиційне позначення	DD3
Тип елемента та його позначення	Швидкісний CAN-трансивер TCAN1042-Q1
Компанія-виробник	Texas Instruments
Критерії вибору	Сертифікація AEC-Q100, високий рівень ESD-захисту, стійкість до коротких замикань
Конструктивні особливості елемента	Корпус SOIC-8 (4.9 x 3.91 мм)
Технічні властивості та ключові характеристики	
Напруга живлення Vcc	4.5 ... 5.5 В

Максимальна швидкість передачі даних	5 Мбіт/с (CAN FD)
Тепловий опір кристал-довкілля (R0JA)	220 °C/Вт

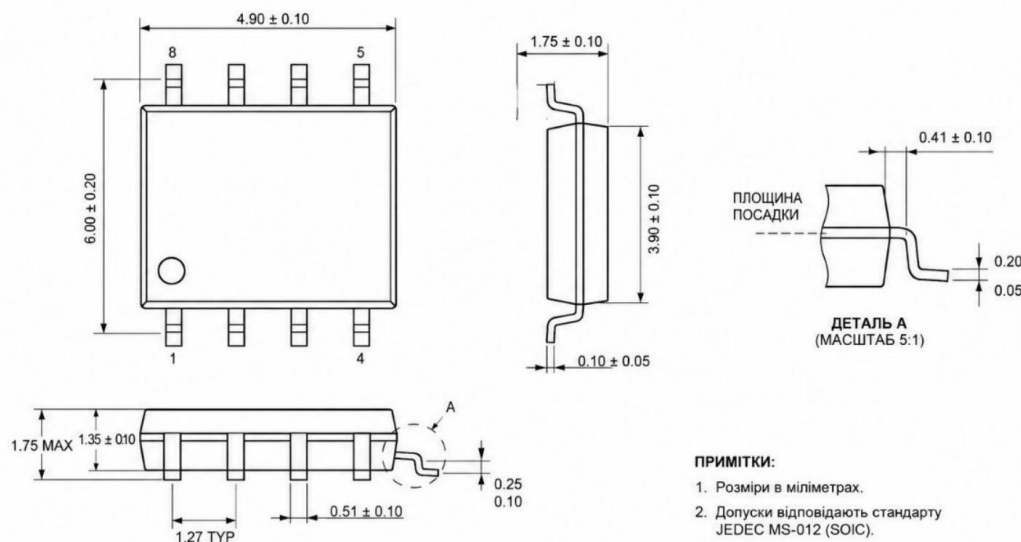


Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу лінійного стабілізатора напруги ADP150AUJZ-3.3-R7

Трансивер забезпечує узгодження цифрових логічних рівнів TTL/CMOS мікроконтролера з диференційними рівнями напруги фізичної автомобільної двопровідної шини CAN, гарантуючи надійний зв'язок при високому рівні завад.

Таблиця 1.6 – Лінійний LDO-стабілізатор напруги ADP150AUJZ-3.3 (DA1)

Позиційне позначення	DA1
Тип елемента та його позначення	Малощумний лінійний регулятор напруги ADP150AUJZ-3.3
Компанія-виробник	Analog Devices

Критерії вибору	Наднизький рівень власних шумів, високий коефіцієнт PSRR для живлення MEMS
Особливості елемента	Корпус TSOT-5 / SOT-23-5 (2.9 x 1.6 мм)
Технічні властивості та ключові характеристики	
Фіксована вихідна напруга	3.3 В
Вхідний діапазон напруги	2.2 ... 5.5 В
Максимальний вихідний струм навантаження	150 мА
Рівень власних шумів (в діапазоні 10 Гц – 100 кГц)	9 мкВ (RMS)
Коефіцієнт придушення пульсацій живлення (PSRR)	70 дБ на частоті 1 кГц

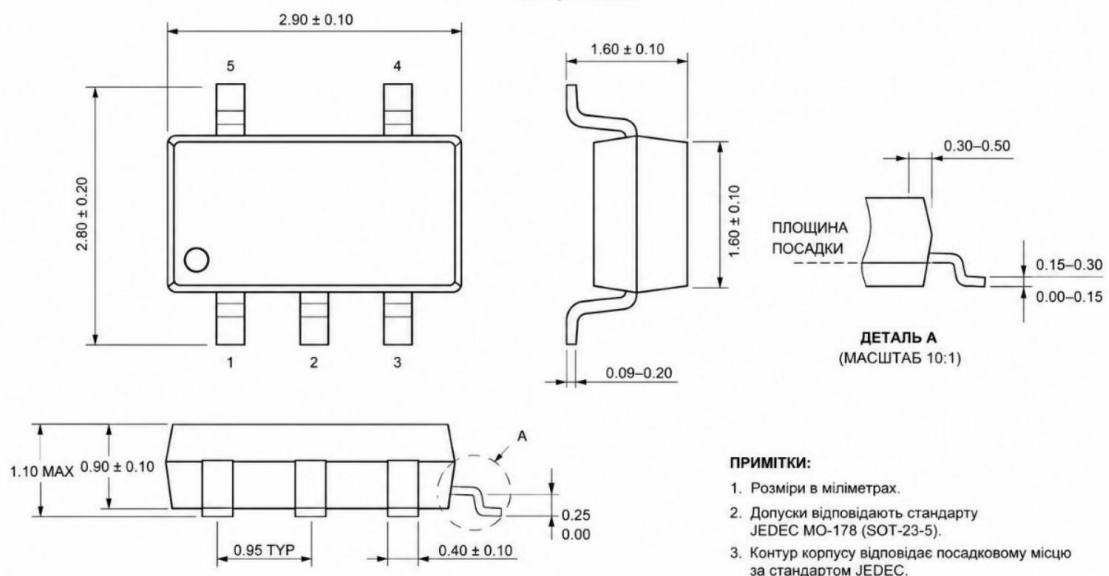


Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу лінійного стабілізатора напруги ADP150AUJZ-3.3-R7

Цей стабілізатор забезпечує прецизійну напругу живлення 3.3 В безпосередньо для чутливого вимірювального ядра та інтерфейсних ліній акселерометра, що дозволяє уникнути спотворення спектра вимірюваних вібрацій.

Таблиця 1.7 – Імпульсний понижувальний DC-DC регулятор LMR14030SQDPRRQ1 (DD4) [21]

Позиційне позначення	DD4
Тип елемента та його позначення	ШІМ-регулятор напруги з вбудованим силовим ключем
Компанія-виробник	Texas Instruments
Критерії вибору	Сертифікація АЕС-Q100, широкий діапазон вхідної напруги (до 40 В) для захисту від імпульсних сплесків в автоелектриці, висока частота комутації 2.1 МГц, що дозволяє зменшити габарити дроселя фільтра.
Конструктивні особливості елемента	Корпус WSON-10 (4.0 x 4.0 мм) з теплопровідною площадкою Thermal Pad.
Технічні властивості та ключові характеристики	
Вхідна напруга живлення	4 ... 40 В
Вихідний струм	До 3.5 А
Частота перемикання ШІМ	2.1 МГц
Струм споживання в режимі очікування	44 мкА
Діапазон робочих температур	-40 °С ... +125 °С

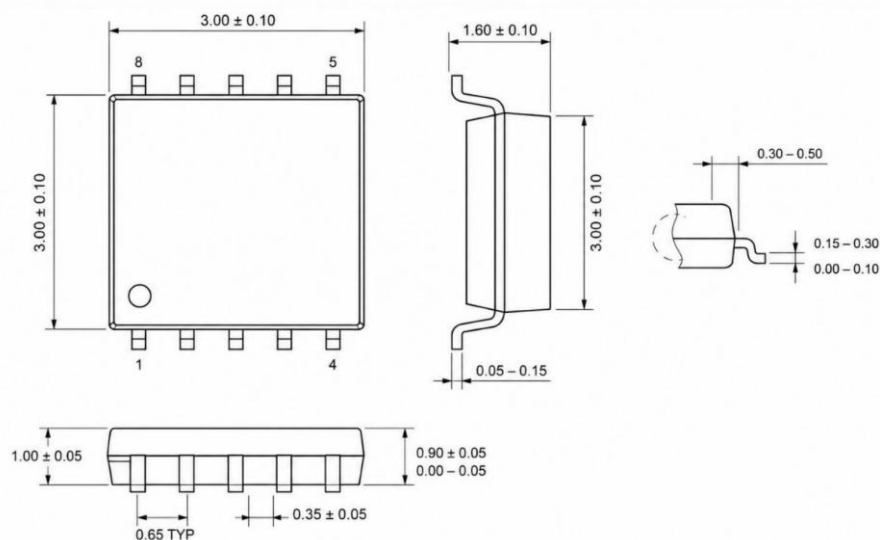


Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу імпульсивного понижувального DC-DC регулятора LMR14030SQDPRRQ1

Цей перетворювач виконує роль першого каскаду живлення, високоефективно (з мінімальним виділенням тепла) знижуючи нестабільну напругу бортової мережі автомобіля (12–14.4 В)

Таблиця 1.8 – Потужний індуктивний дросель LQM21PN4R7MGRD (L1)

Позиційне позначення	L1
Тип елемента та його позначення	Екранований багат шаровий силовий SMD-дросель
Компанія-виробник	Murata
Критерії вибору	Малі габарити, низький активний опір (DCR), високий струм насичення, магнітне екранування для запобігання випромінювання ЕМЗ на сусідні вимірювальні кола.

Конструктивні особливості елемента	Корпус 0805 (2.0 x 1.25 мм), монолітна керамічна структура.
Технічні властивості та ключові характеристики	
Номінальна індуктивність	4.7 мкГн
Максимальний постійний струм	1.2 А
Активний опір обмотки (DCR)	0.19 Ом
Частота власного резонансу	40 МГц
Діапазон робочих температур	-55 °C ... +125 °C

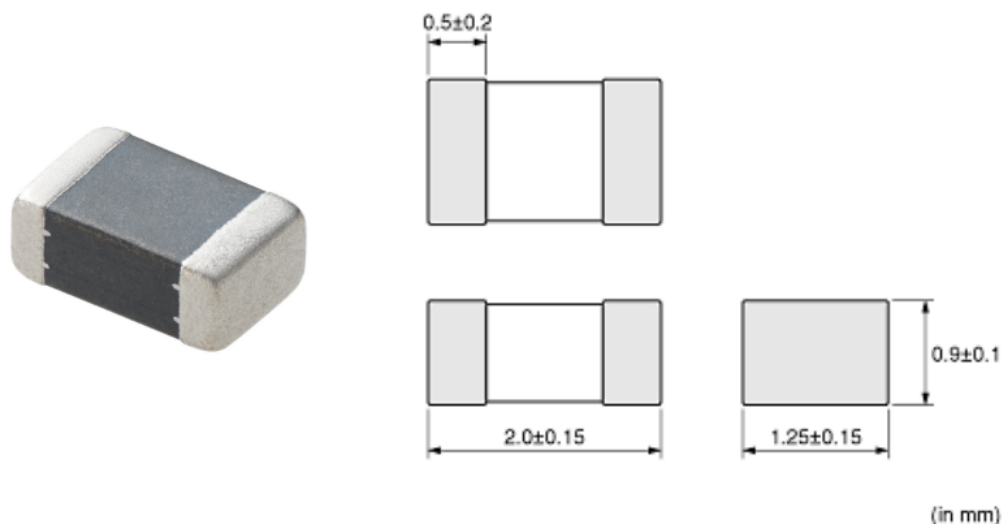


Рисунок 1.13 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу потужного індуктивного дроселя LQM21PN4R7MGRD

Цей дросель працює в складі LC-фільтра вхідного каскаду живлення та ситового силового контуру DC-DC перетворювача, накопичуючи енергію та згладжуючи високочастотні пульсації струму комутації.

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 1.9 – Високоточні чип-резистори RC0805FR-0760RL (R1, R2) [22]

Позиційне позначення	R1, R2
Тип елемента та його позначення	Тонкоплівкові прецизійні чип-резистори
Критерії вибору	Низький температурний коефіцієнт опору ($TCR = \pm 100$ / ppm $^{\circ}C$), жорсткий допуск точності номіналу (± 1 %) для забезпечення симетрії половинних плечей схеми розщепленого термінування шини CAN.
Конструктивні особливості елемента	Корпус 0805 для автоматизованого SMD-монтажу.
Технічні властивості та ключові характеристики	
Номінальний опір	60 Ом
Допустиме відхилення (точність)	$\pm 1\%$
Максимальна робоча потужність	0.125 Вт (1/8 Вт)
Максимальна робоча напруга	150 В
Діапазон робочих температур	$-55^{\circ}C \dots +155^{\circ}C$

DIMENSIONS

Table 1

TYPE	RC0805
L (mm)	2.00 ±0.10
W (mm)	1.25 ±0.10
H (mm)	0.50 ±0.10
l ₁ (mm)	0.35 ±0.20
l ₂ (mm)	0.35 ±0.20

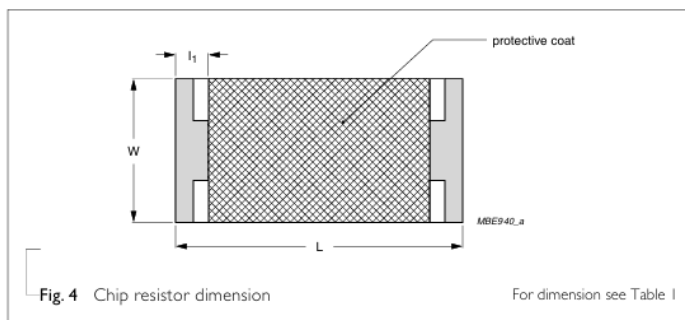


Рисунок 1.14 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу високоточних чип-резисторів RC0805FR-0760RL

Дані резистори використовуються для узгодження лінії зв'язку та формування схеми розділеного термінування диференційної шини CAN, що мінімізує відбиття сигналів та пригнічує синфазні завади.

Таблиця 1.10 – Діод Шотткі низького падіння напруги MBR0520LT1G (VD1)

Позиційне позначення	VD1
Тип елемента та його позначення	Випрямний діод Шотткі з низьким бар'єром
Компанія-виробник	ON Semiconductor / Texas Instruments
Критерії вибору	Критерії виборуМале прямого падіння напруги ($V_f \approx 0.38 \text{ V}$), висока швидкодія для використання як зворотного діода в імпульсному DC-DC перетворювачі на частоті 2.1 МГц

Конструктивні особливості елемента	Пластиковий компактний корпус SOD-123
Технічні властивості та ключові характеристики	
Максимальна зворотна напруга	20 В
Максимальний прямий струм	0.5 А
Пряме падіння напруги (при $I_f = 0.5\text{A}$)	0.38 В
Діапазон робочих температур	$-65\text{ }^\circ\text{C} \dots +125\text{ }^\circ\text{C}$

Діод інтегровано в силове коло знижувального перетворювача напруги як демпфуючий елемент для замикання струму дроселя в моменти, коли внутрішній КМОП-ключ контролера живлення перебуває в закритому стані.



SOD-123 2-LEAD, 1.60x2.69x1.16
CASE 425
ISSUE H

DATE 29 FEB 2024

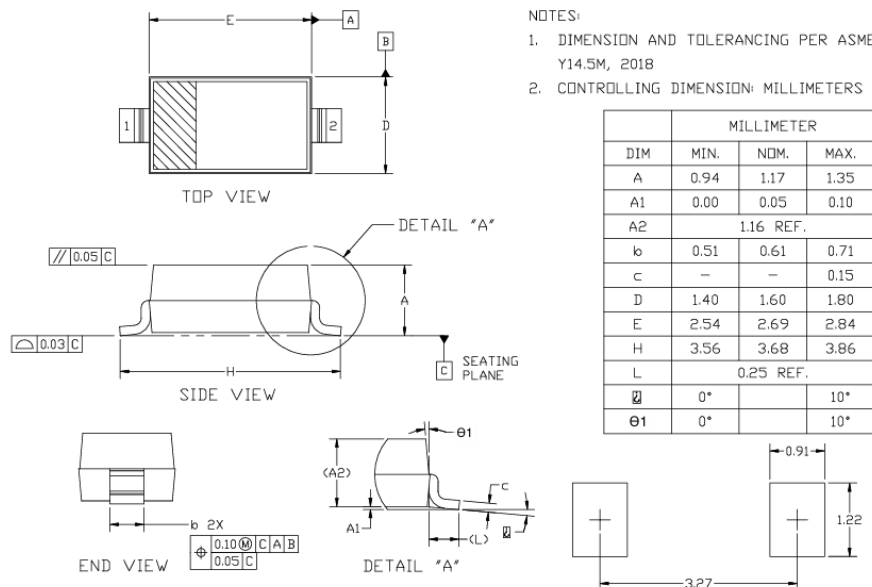


Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу діоду Шотткі низького падіння напруги MBR0520LT1G

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

Таблиця 1.11 – Універсальний випрямний діод Шоттки 1N5819 (VD2)

[23]

Позиційне позначення	VD2
Тип елемента та його позначення	Діод Шоттки загального призначення
Компанія-виробник	STMicroelectronics / Analog Devices
Критерії вибору	Використовується у вхідному каскаді для апаратного захисту пристрою від переполюсування (полярності живлення +12 В під час підключення до АКБ)
Конструктивні особливості елемента	Корпус DO-41 / SMD-варіант (SMA)
Технічні властивості та ключові характеристики	
Максимальна постійна зворотна напруга	40 В
Максимальний середній прямий струм	1.0 А
Імпульсний прямий струм (8.3 мс)	25 А
Діапазон робочих температур	-65 °C ... +125 °C

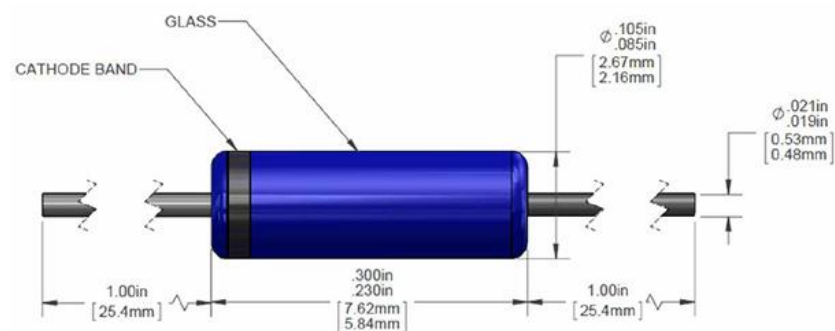


Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу універсального випрямного діоду Шоттки 1N5819

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

ГОП 2.009.001 ПЗ

Арк.

33

Даний діод виконує функцію вхідного бар'єра захисту: він блокує проходження струму та запобігає виходу з ладу елементів схеми у випадку помилкової подачі напруги живлення зворотної полярності.

Таблиця 1.12 – Керамічний резонатор CSTCE8M00G55-R0 (ZQ1) [24]

Позиційне позначення	ZQ1
Тип елемента та його позначення	Керамічний п'єзоелектричний резонатор
Компанія-виробник	Murata
Критерії вибору	Забезпечує стабільну частоту тактування процесора, має вбудовані конденсатори обв'язки, що суттєво економить місце на друкованій платі та підвищує стійкість до механічних вібрацій автомобіля порівняно з крихкими кварцями у металевих корпусах.
Конструктивні особливості елемента	Надмініатюрний SMD-корпус типу CENC (3.2 x 1.3 мм)
Технічні властивості та ключові характеристики	
Номінальна частота резонансу	8.00 МГц
Початкова точність налаштування частоти	± 0.5 %
Вбудована ємність конденсаторів	33 пФ

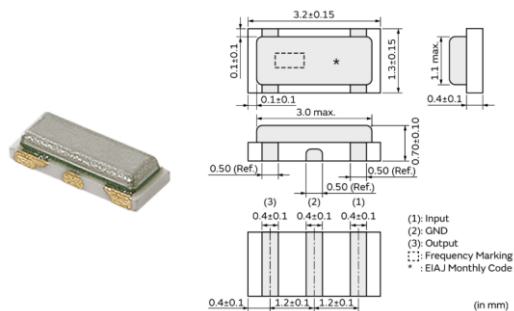


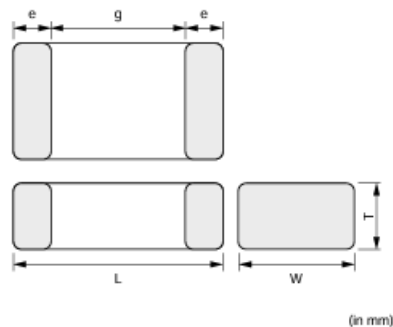
Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу керамічного резонатора CSTCE8M00G55-R0

Резонатор підключено до осциляторного каскаду мікроконтролера для генерації стабільного опорного тактового сигналу частотою 8 МГц, необхідного для синхронізації внутрішніх таймерів та інтерфейсів зв'язку.

Таблиця 1.13 – Керамічні чип-конденсатори GRM219R71H104KA01D (C1–C6) [25]

Позиційне позначення	C1–C6
Тип елемента та його позначення	Керамічні багат шарові конденсатори (MLCC) GRM219R71H104KA01D
Компанія-виробник	Murata
Критерії вибору	Висока температурна стабільність діелектрика (X7R), низький еквівалентний послідовний опір (ESR) та достатній запас за робочою напругою (50 В) для надійного придушення високочастотних завад в автомобільних колах.
Конструктивні особливості елемента	Компактний SMD-корпус 0805 для поверхневого монтажу.

Технічні властивості та ключові характеристики	
Номінальна ємність	0.1 мкФ (100 нФ)
Допустиме відхилення ємності	±10%
Номінальна робоча напруга	50 В
Тип діелектрика	X7R (зміна ємності в межах ±15% у всьому діапазоні)
Діапазон робочих температур	-55 °C ... +125 °C



■ Dimensions

Length L	1.6mm±0.1mm
Width W	0.8mm±0.1mm
Thickness T	0.8mm±0.1mm
Electrode e	0.2 to 0.5mm
Electrode Gap g (min.)	0.5mm

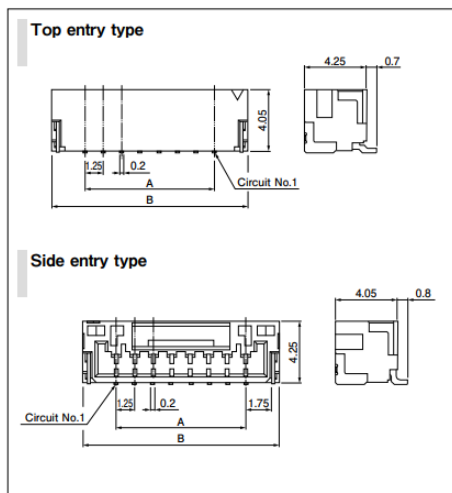
Рисунок 1.17 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу керамічних чип-конденсаторів GRM219R71H104KA01D

Ці конденсатори виконують функцію блокувальних фільтрів, а саме: вони встановлюються безпосередньо біля виводів живлення мікросхем для шунтування високочастотних завад на землю та згладжування локальних коливань напруги.

Таблиця 1.14 – Малогабаритний інтерфейсний роз'єм VM06B-GHS-TBT (XS1) [26]

Позиційне позначення	XS1
Тип елемента та його позначення	6-контактний низькопрофільний роз'єм серії GH

Компанія-виробник	JST (Japan Solderless Terminals)
Критерії вибору	Наявність механізму примусової фіксації (засувки), що унеможлиблює самовільне роз'єднання контактів під дією сильних вібрацій підвіски автомобіля, та висока щільність монтажу.
Конструктивні особливості елемента	Корпус для поверхневого монтажу (SMD) з кроком контактів 1.25 мм та металевими фіксаторами для надійної пайки до плати.
Технічні властивості та ключові характеристики	
Кількість контактів	6
Максимальний робочий струм	1.0 А (на один контакт)
Максимальна робоча напруга	50 В (змінного або постійного струму)
Опір контактів	не більше 0.02 Ом
Діапазон робочих температур	-25 °С ... +85 °С



No. of circuits	Model No.		Dimensions (mm)		Q'ty/reel
	Top entry type	Side entry type	A	B	
2	BM02B-GHS-TBT	SM02B-GHS-TB	1.25	5.75	2,500
3	BM03B-GHS-TBT	SM03B-GHS-TB	2.50	7.00	2,500
4	BM04B-GHS-TBT	SM04B-GHS-TB	3.75	8.25	2,500
5	BM05B-GHS-TBT	SM05B-GHS-TB	5.00	9.50	2,500
6	BM06B-GHS-TBT	SM06B-GHS-TB	6.25	10.75	2,500
7	BM07B-GHS-TBT	SM07B-GHS-TB	7.50	12.00	2,500
8	BM08B-GHS-TBT	SM08B-GHS-TB	8.75	13.25	2,500
9	BM09B-GHS-TBT	SM09B-GHS-TB	10.00	14.50	2,500
10	BM10B-GHS-TBT	SM10B-GHS-TB	11.25	15.75	2,500
11	BM11B-GHS-TBT	SM11B-GHS-TB	12.50	17.00	2,500
12	BM12B-GHS-TBT	SM12B-GHS-TB	13.75	18.25	2,500
13	BM13B-GHS-TBT	SM13B-GHS-TB	15.00	19.50	2,500
14	BM14B-GHS-TBT	SM14B-GHS-TB	16.25	20.75	2,500
15	BM15B-GHS-TBT	SM15B-GHS-TB	17.50	22.00	2,500

Material and Finish
 Contact: Phosphor bronze, copper-undercoated, tin-plated (reflow treatment)
 Housing: PA 9T, UL94V-0, natural (ivory)
 Reinforcement: Brass, copper-undercoated, tin-plated
 RoHS2 compliance This product displays (LF)(SN) on a label.
 Note: Contact JST for gold-plated product.

Рисунок 1.18 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу малогабаритного інтерфейсного роз'єму BM06B-GHS-TBT

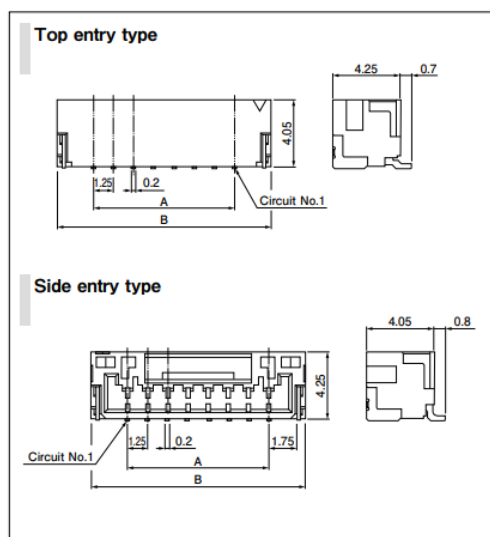
Роз'єм XS1 призначений для підключення модуля до основної бортової мережі автомобіля (подача живлення +12 В) та інтеграції пристрою в шину CAN-bus для передачі діагностичних даних.

Таблиця 1.15 – Інтерфейсний роз'єм програмування BM04B-GHS-TBT (XS2)

Позиційне позначення	XS2
Тип елемента та його позначення	4-контактний низькопрофільний роз'єм («вилка» на плату) серії GH
Компанія-виробник	JST (Japan Solderless Terminals)
Критерії вибору	Компактність, ідентичність конструктивного ряду з основним роз'ємом та надійне з'єднання при багаторазовому підключенні.

Конструктивні особливості елемента	SMD-виконання для горизонтального підключення, крок контактів 1.25 мм, наявність механічного замка.
Технічні властивості та ключові характеристики	
Кількість контактів	4
Максимальний робочий струм	1.0 А
Максимальна робоча напруга	50 В
Зусилля фіксації замка	не менше 15 Н
Діапазон робочих температур	-25 °С ... +85 °С

Цей роз'єм виведено на плату для забезпечення підключення внутрішнього інтерфейсу зневадження та програмування SWD (Serial Wire Debug), що дозволяє завантажувати мікропрограму в пам'ять мікроконтролера та проводити сервісне тестування модуля.



No. of circuits	Model No.		Dimensions (mm)		Q'ty/ reel
	Top entry type	Side entry type	A	B	
2	BM02B-GHS-TBT	SM02B-GHS-TB	1.25	5.75	2,500
3	BM03B-GHS-TBT	SM03B-GHS-TB	2.50	7.00	2,500
4	BM04B-GHS-TBT	SM04B-GHS-TB	3.75	8.25	2,500
5	BM05B-GHS-TBT	SM05B-GHS-TB	5.00	9.50	2,500
6	BM06B-GHS-TBT	SM06B-GHS-TB	6.25	10.75	2,500
7	BM07B-GHS-TBT	SM07B-GHS-TB	7.50	12.00	2,500
8	BM08B-GHS-TBT	SM08B-GHS-TB	8.75	13.25	2,500
9	BM09B-GHS-TBT	SM09B-GHS-TB	10.00	14.50	2,500
10	BM10B-GHS-TBT	SM10B-GHS-TB	11.25	15.75	2,500
11	BM11B-GHS-TBT	SM11B-GHS-TB	12.50	17.00	2,500
12	BM12B-GHS-TBT	SM12B-GHS-TB	13.75	18.25	2,500
13	BM13B-GHS-TBT	SM13B-GHS-TB	15.00	19.50	2,500
14	BM14B-GHS-TBT	SM14B-GHS-TB	16.25	20.75	2,500
15	BM15B-GHS-TBT	SM15B-GHS-TB	17.50	22.00	2,500

Material and Finish

Contact: Phosphor bronze, copper-undercoated, tin-plated (reflow treatment)
Housing: PA 9T, UL94V-0, natural (ivory)

Reinforcement: Brass, copper-undercoated, tin-plated

RoHS2 compliance This product displays (LF)(SN) on a label.

Note: Contact JST for gold-plated product.

Рисунок 1.19 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу інтерфейсного роз'єму програмування BM04B-GHS-TBT

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

1.5 Компоновка друкованого вузла

Форма друкованої плати бортового модуля NVH-моніторингу безпосередньо визначає як технологічність її виробництва, так і загальну вартість реалізації проєкту. Обрана геометрія впливає на можливості розміщення компонентів (мікроконтролера обробки даних, MEMS-акселерометрів та інтерфейсних вузлів) та визначає ефективність використання виробничих панелей при виготовленні пристрою [27].

Використання прямокутних або квадратних плат є оптимальним, оскільки такі конфігурації легко інтегруються до стандартних виробничих форматів, що дозволяє максимально ефективно використовувати матеріал основи та зменшувати відходи склотекстоліту. У протиположності цьому, плати нестандартної форми, які адаптовані під складні внутрішні вирізи елементів підвіски автомобіля (наприклад, круглі або з низкою технологічних пазів), вимагають додаткових операцій фрезерування та свердління, що може продовжити технологічний процес та збільшити ймовірність виникнення дефектів при серійному виробництві.

З огляду на відсутність конкретних жорстких обмежень щодо геометричних розмірів у технічному завданні на систему моніторингу ходової частини, для проєкту обрано прямокутну форму ДП. Виробничі стандарти передбачають, що габаритні розміри друкованої плати для даного класу апаратури не повинні перевищувати приблизно 160×85 мм, що є обґрунтованим компромісом між зручністю щільного монтажу елементів Edge Computing, можливістю надійного закріплення плати в захисному корпусі на важелі підвіски та ефективністю використання виробничих ресурсів.

Визначення геометричних параметрів елементів друкованого монтажу є критично важливим етапом проєктування електронної плати бортової системи NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової частини автомобіля. Оскільки розроблюваний модуль

$L = 0,4\text{м}$ – довжина провідника,

$U_{\text{дон}} = 0,5\text{В}$ – допустиме падіння напруги.

Визначаємо номінальне значення діаметрів монтажних отворів d [29]:

$$d = d_E + |\Delta d_{н.в.}| + r \quad (1.9)$$

де d_E – максимальний діаметр виводу встановленого ЕРЕ (діаметр вивода ЕРЕ.)

$\Delta d_{н.в.}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажного отвору (0,1 для всіх)

r – різниця між мінімальним діаметром отвору і максимальним діаметром вивода ЕРЕ, її вибирають в межах 0,1...0,4мм. Розрахункові значення d зводяться до нормалізованого ряду отворів: 1,1; 1,3; 1,5 мм.

$d_{E1} = 0,7$ -для мікросхем;

$d_{E2} = 0,9$ - для конденсаторів, резисторів, діодів, світло діодів.

$d_{E3} = 1,1$ -для підпаювання провідників, транзисторів та підстроювальних резисторів.

$$d = d_{E2} + |\Delta d_{н.в.}| + r = 0,7 + |\pm 0,1| + 0,4 = 1,1 \text{ мм}$$

$$d = d_{E2} + |\Delta d_{н.в.}| + r = 0,9 + |\pm 0,1| + 0,4 = 1,3 \text{ мм}$$

$$d = d_{E3} + |\Delta d_{н.в.}| + r = 1,1 + |\pm 0,1| + 0,4 = 1,5 \text{ мм}$$

Приймаємо такі стандартні діаметри отворів: 1,1;1,3; 1,5.

Розраховуємо діаметр контактних площадок [30].

$$D_{\text{min}} = D_{I\text{min}} + 1,5h\phi \quad (1.10)$$

де $h\phi$ – товщина фольги;

$D_{1\min}$ – мінімальний ефективний діаметр площадки.

$$D_{1\min} = 2 \left(b_m + \frac{d_{\max}}{2} + \delta d + \delta p \right) \quad (1.11)$$

де b_m – відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки.

$$b_m = 0,06 \text{ мм [31].}$$

де δ_d і δ_p - допуски на розташування отворів і контактних площадок;

$$\delta_d = 0,25 \text{ мм}, \delta_p = 0,4 \text{ мм};$$

d_{\max} - максимальний діаметр просвердленого отвору, мм.

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) \quad (1.12)$$

де Δd - допуск на отвір.

$$d_{\max 1} = 1,1 + 0,1 + 0,1 = 1,3 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 1,3 + 0,1 + 0,1 = 1,5 \text{ мм}$$

$$d_{\max 3} = 1,5 + 0,1 + 0,1 = 1,7 \text{ мм}$$

$$D_{1\min 1} = 2 \left(0,06 + \frac{1,3}{2} + 0,25 + 0,4 \right) = 2,72 \text{ мм}$$

$$D_{1\min 2} = 2 \left(0,06 + \frac{1,5}{2} + 0,25 + 0,4 \right) = 2,92 \text{ мм}$$

$$D_{1\min 3} = 2 \left(0,06 + \frac{1,7}{2} + 0,25 + 0,4 \right) = 3,12 \text{ мм}$$

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

$$D_{min1}=2,92+1,5\cdot 0,035+0,03=2,8 \text{ мм}$$

$$D_{min2}=2,92+1,5\cdot 0,035+0,03=3 \text{ мм}$$

$$D_{min3}=3,12+1,5\cdot 0,035+0,03=3,2 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр контактної площадки:

$$D_{max}=D_{min}+(0,02 \dots 0,06) \quad (1.13)$$

$$D_{max1}=2,82 + 0,02=2,82 \text{ мм}$$

$$D_{max2}=3 + 0,02=3,02 \text{ мм}$$

$$D_{max3}=3,2+0,02=3,22 \text{ мм}$$

Визначаємо ширину провідників. Мінімальна ширина провідників для ДДП і зовнішніх шарів БДП, які виготовлені комбінованим методом:

$$b_{min} = b_{1min} + 1.5h\phi \quad (1.14)$$

де b_{1min} - мінімальна ефективна ширина провідника, мм.

$b_{1min} = 0,15$ мм для плат 4- го класу точності.

$$b_{min} = 0,15 + 1.5 * 0,035 = 0,2 \text{ мм}$$

Визначаємо мінімальну відстань між елементами провідного матеріалу.

Мінімальна відстань між провідником і контактною площиною:

					ГОП 2.009.001 ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$S_{1\min} = L_0 - \left[\left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta p \right) + \left(\frac{d_{\max}}{2} + \delta 1 \right) \right] \quad (1.15)$$

$$S_{1\min 1} = 2,5 - \left[\left(\frac{2,82}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,3}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,01\text{мм}$$

$$S_{1\min 2} = 2,5 - \left[\left(\frac{3,02}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,5}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,21\text{мм}$$

$$S_{1\min 3} = 2,5 - \left[\left(\frac{3,22}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,7}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,5\text{мм}$$

де L_0 – відстань між центрами відповідних елементів;

Мінімальна відстань між двома контактними площадками:

$$S_{2\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta_p) \quad (1.16)$$

$$S_{2\min 1} = 2,5 - (2,82 + 2 \cdot 0,4) = -1,12\text{мм}$$

$$S_{2\min 2} = 2,5 - (3,02 + 2 \cdot 0,4) = -1,32\text{мм}$$

$$S_{2\min 3} = 2,5 - (3,22 + 2 \cdot 0,4) = -1,52\text{мм}$$

Мінімальна відстань між двома провідниками:

$$S_{3\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta_1) \quad (1.17)$$

$$S_{3\min 1} = 2,5 - (2,82 + 2 \cdot 0,05) = -0,42\text{мм}$$

$$S_{3\min 2} = 2,5 - (3,02 + 2 \cdot 0,05) = -0,62\text{мм}$$

$$S_{3min3} = 2,5 - (3,22 + 2 \cdot 0,05) = -0,82 \text{ мм}$$

Таким чином, проведені розрахунки геометричних елементів друкованого монтажу дозволили встановити оптимальні конструктивні параметри отворів, контактних площадок, сигнальних і силових провідників, а також безпечних технологічних зазорів між ними. Отримані значення повністю задовольняють вимогам 4-го класу точності, що гарантує високу якість формування паяних з'єднань, бездоганну якість передачі сигналів по високошвидкісній шині CAN та лініях SPI, а також ефективну електричну зв'язність усіх вузлів. Це є вирішальним фактором для забезпечення тривалої, стабільної та завадостійкої роботи бортового модуля системи NVH-моніторингу в жорстких умовах експлуатації автомобіля, де плата постійно зазнає впливу температурних коливань та інтенсивних вібраційних навантажень з боку ходової частини.

1.6 Висновки до розділу 1

У даному першому розділі кваліфікаційної роботи було проведено глибокий та всебічний аналіз сучасних методів, засобів і наявних світових аналогів для контролю та реєстрації параметрів NVH (Noise, Vibration, and Harshness — шуму, вібрації та жорсткості) ходової частини й конструктивних елементів шасі сучасних автомобілів. Проведене аналітичне дослідження дозволило повною мірою обґрунтувати гостру актуальність розробки нового периферійного модуля моніторингу, що володіє поліпшеними технічними, експлуатаційними та функціональними характеристиками порівняно з існуючими рішеннями. На основі отриманих результатів патентного та технічного пошуку були чітко окреслені базові інженерні вимоги до майбутнього виробу, сформовано його повну технічну концепцію та розроблено раціональні структури функціональної та електричної принципової схем.

					ГОП 2.009.001 ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		46

У ході проектування було виконано детальний та технічно обґрунтований підбір повної елементної бази пристрою з обов'язковим урахуванням жорстких специфічних вимог до автомобільної електроніки. Зокрема, у якості первинного перетворювача обрано високочастотний цифровий триосьовий MEMS-акселерометр з низьким рівнем власних шумів, який інтегровано з потужним 32-бітним мікроконтролером на базі ядра ARM Cortex-M4, високошвидкісним автомобільним CAN-трансивером нового покоління, каскадною системою стабілізації напруги (що включає імпульсний Виск-регулятор та прецизійний лінійний LDO-стабілізатор), а також екранованим силовим індуктивним дроселем, високонадійними керамічними резонаторами, спеціалізованими захисними діодами Шотткі, TVS-супресорами та малогабаритними герметичними інтерфейсними роз'ємами з механічною фіксацією.

Проведені математичні розрахунки всіх ключових вузлів принципової електричної схеми повністю підтвердили доцільність та правильність обраних номіналів компонентів. Розрахунки параметрів вхідного П-подібного LC-фільтра живлення дозволили досягти оптимальної частоти зрізу, що гарантує надійне відсікання комутаційних і високочастотних завад від бортової мережі автомобіля. Обчислення реактивного опору блокувальних керамічних конденсаторів та параметрів схеми розщепленого термінування диференційної шини CAN підтвердили високу електромагнітну сумісність (ЕМС) та завадостійкість інформаційного тракту пристрою при високошвидкісній передачі даних в умовах інтенсивних полів підкапотного простору.

Крім того, у розділі було здійснено комплексний розрахунок параметрів загального енергоспоживання модуля та детальний аналіз теплових режимів роботи напівпровідникових елементів за умов максимального навантаження. Визначено точний бюджет потужності для кожної шини живлення та розраховано рівень теплового перегріву кристала лінійного регулятора напруги відносно довкілля. Отримані результати

математичного моделювання та розрахунків тепловиділення беззаперечно доводять високу термостабільність системи, що дозволяє модулю безперебійно функціонувати у широкому температурному діапазоні без застосування додаткових громіздких радіаторів чи систем примусового охолодження. Це гарантує максимальну надійність, довговічність та високу технологічність розробленого периферійного вузла NVH-моніторингу, повністю підтверджує його готовність до подальших етапів конструкторського проєктування топології друкованої плати та написання програмного забезпечення.

					ГОП 2.009.001 ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		48

2.1 Вибір САПР

Використання сучасного програмного комплексу Altium Designer для проектування електричних принципових схем і друкованих плат має велике значення, оскільки забезпечує єдине інтегроване наскрізне середовище, що охоплює повний цикл розробки електронних пристроїв [32]. Цей цикл триває від початкового створення схематичних зображень компонентів до генерації фінальних виробничих файлів для промислових ліній [33]. Даний пакет програмних засобів суттєво спрощує робочий процес, підвищує загальну ефективність управління проектом бортового модуля та забезпечує зручність швидкого внесення змін на будь-якому етапі проектування.

Altium Designer пропонує широкий набір інструментів та інтелектуальних функціональних можливостей, які суттєво підвищують продуктивність інженера-розробника. Зокрема, системи інтерактивного та автоматизованого трасування маршрутів на платі дозволяють значно економити час, створюючи оптимальні електричні з'єднання з урахуванням закладених проектних правил [34]. Наявність великої кількості готових бібліотек компонентів дає змогу оперативно знаходити й використовувати необхідні елементи, що забезпечує швидке розгортання проектів, а можливість повторного використання цих баз даних безпосередньо сприяє стандартизації робочого процесу.

Крім того, Altium Designer надає можливість створення власних локальних інтегрованих бібліотек, що складаються з двох взаємопов'язаних частин: бібліотеки схемних символів і бібліотеки корпусів (посадочних місць). Графічні символи компонентів розробляються відповідно до встановлених вимог стандартів, а розміри та параметри посадочних майданчиків жорстко задаються згідно з конструкторськими даними

За допомогою інструменту Rectangle у робочому полі створюється прямокутник, який є графічним представленням елемента на схемі. Цей контур не є електрично значущим, проте служить для візуального представлення компонента на електричній схемі.

На першому етапі проектування було створено новий проєкт, до якого додано бібліотеки схематичну Schematic Library та друкованої плати PCB Library. Далі було створено умовно графічні позначення електрорадіоелементів підсилювача потужності, які повинні мати вигляд згідно з вимогами ДСТУ ГОСТ 2.702:2013.

Створення посадкових місць для компонентів виконано у середовищі PCB Library шляхом формування посадкових елементів відповідно до габаритів і конструкційних параметрів, наданих у документації на компоненти та відповідає методикам, викладеним у ДСТУ 2646-94 [35]. Частина компонентів взято з бібліотек, а інші створено вручну.

Завершальним етапом стало проведення перевірки усіх компонентів бібліотеки за допомогою інструмента Library Component Rule Check. У відповідному вікні було активовано перевірку на відсутність критичних помилок, таких як дублювання пінів або відсутність прив'язки (рис. 2.2). Результати наведено на рис. 2.3.

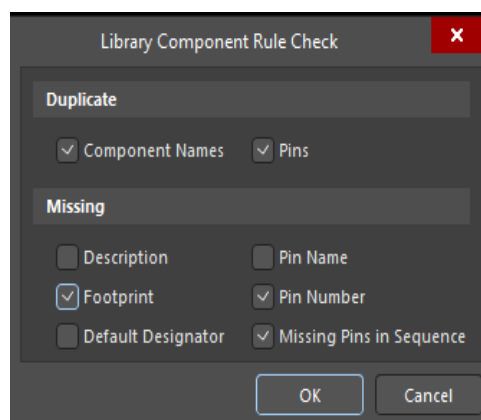


Рисунок 2.2 – Вікно перевірки компонентів Library Rule Check

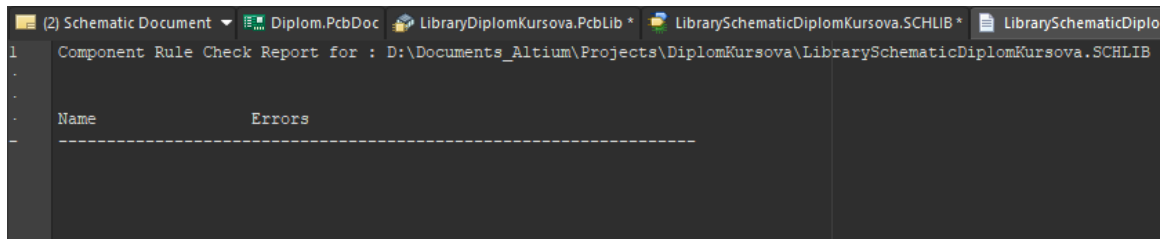


Рисунок 2.3 – Вікно результатів перевірки компонентів

Після перевірки бібліотек компонентів потрібно створити електрично принципову схему для того щоб можна було застосувати автоматичне трасування друкованої плати.

Для побудови такої схеми в середовищі Altium Designer застосовується інструмент «Schematic Editor», який дозволяє розміщувати необхідні елементи, поєднувати їх провідниками, а також додавати підписи, примітки та інші графічні елементи. Після відкриття робочої області було виконано налаштування координатної сітки. Встановлено сітку з кроком 2.5 мм, що відповідає вимогам до правильного компонування елементів на схемі: усі об'єкти мають бути розміщені на вузлах сітки, кратних 2.5 мм [36].

Наступним етапом стало розміщення на принциповій схемі усіх необхідних компонентів. Всі елементи, що входять до складу електричної схеми, були додані із попередньо створеної бібліотеки. Після розміщення компонентів було виконано їх з'єднання за допомогою інструмента «Place Wire». Після чого виконано імпорт проєкту у документ друкованої плати.

Процес з'єднання елементів здійснювався з дотриманням логіки побудови схеми, (рис. 2.4). Після завершення з'єднань виконано нанесення нумерації позицій елементів.

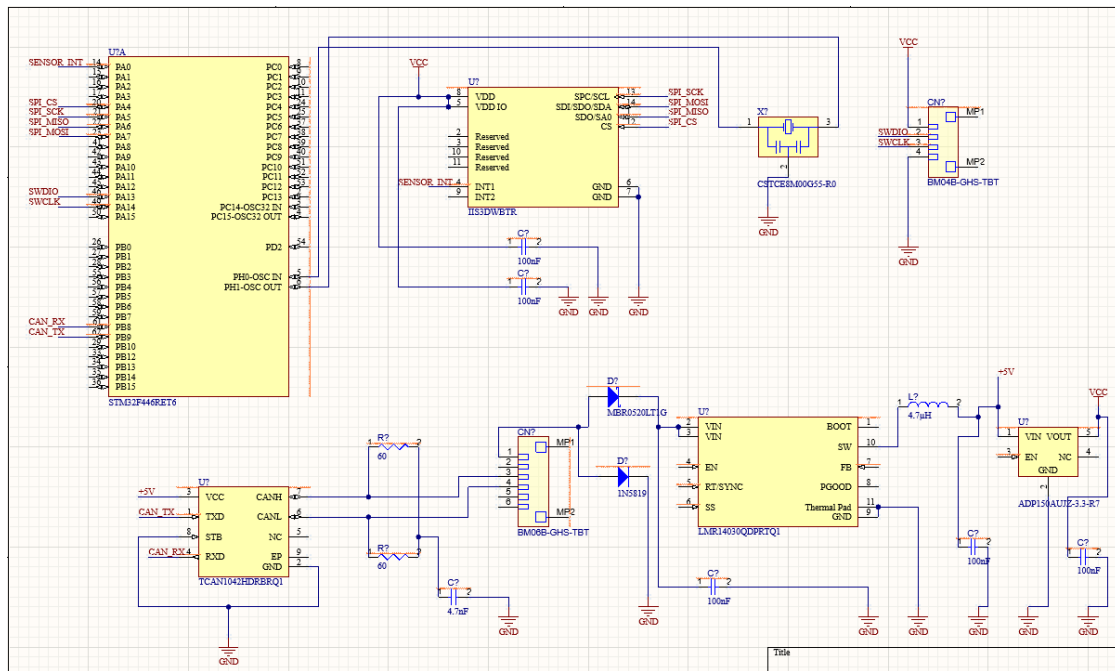


Рисунок 2.4 – Схема електрична принципова, розроблена в середовищі Altium Designer

Після завершення розробки електричної принципової схеми наступним важливим етапом є побудова топології друкованої плати, яка виконується в спеціалізованому середовищі PCB Editor у складі САПР Altium Designer. Цей етап полягає в перенесенні розміщених на схемі компонентів на робочі шари друкованої плати, визначенні їх оптимального просторового розташування, встановленні електричних з'єднань між виводами та формуванні реального фізичного представлення майбутнього пристрою.

У середовищі Altium Designer трасування здійснюється в інтерактивному режимі або автоматизовано з дотриманням встановлених правил розміщення та електричних зазорів [37]. Крім безпосереднього з'єднання компонентів, важливим інженерним завданням є правильна організація шарів друкованої плати, задання точної геометрії її меж, врахування нормативних вимог до відстаней між провідниками, отворами, контактними площадками та інші технологічні обмеження, що забезпечують експлуатаційну надійність пристрою та можливість його фабричного виготовлення [38].

На першому етапі створюється файл друкованої плати з розширенням *.PcbDoc, який додається до поточного проекту через меню Add New to Project → PCB. Потім за допомогою команди Design → Import Changes from... виконується перенесення всіх елементів та електричних мереж зі схеми на плату. Altium Designer автоматично відкриває діалогове вікно Engineering Change Order, де користувач підтверджує перелік проектних змін, після чого всі компоненти початково розміщуються за межами контуру плати.

Наступним кроком є створення або редагування фізичного контуру друкованої плати. Для цього у системному шарі Mechanical Layer 1 або Board Outline за допомогою графічного інструмента Line створюється замкнений прямокутник відповідних розмірів. Користувач задає габарити відповідно до конструкторських вимог проекту. Крок координатної сітки для розміщення елементів доцільно встановити рівним 0.1мм, що є оптимальним для точного позиціонування сучасних компонентів поверхневого монтажу (SMD).

Після формування меж плати виконується розміщення компонентів. Для цього необхідно вибрати потрібний елемент у робочій області, клацнувши по ньому лівою кнопкою миші. Компонент стає напівпрозорим, що свідчить про його активацію. Після цього елемент перетягується в обране місце на платі з дотриманням критеріїв зручності трасування та чинних технологічних обмежень. Просторову орієнтацію компонентів змінюють натисканням клавіші Space. За потреби крок кута повороту можна змінити в загальних налаштуваннях системи (Preferences → PCB Editor → General). Перед початком трасування з'єднань необхідно задати правила проектування друкованої плати, які забезпечують точність електричних та геометричних параметрів провідників, контактних площадок, отворів та міжелементних зазорів. У середовищі Altium Designer це налаштування виконується через пункт меню Design → Rules, що відкриває інженерний редактор PCB Rules and Constraints Editor, де всі правила згруповані за

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

категоріями та представлені у вигляді деревовидної структури. Основним параметром є Clearance – мінімальний електричний зазор між будь-якими об'єктами топології.

У даному проєкті встановлено базове значення 0.2 мм, що забезпечує безпечну відстань між провідниками для обраної технології монтажу. Інший важливий параметр – Width, який задає геометричну ширину провідників. Для уніфікації сигнальних ліній та спрощення виготовлення встановлено оптимальні значення мінімальної, бажаної та максимальної ширини провідника на рівні 0.2 мм, тоді як для силових ланцюгів живлення ширину провідників збільшено відповідно до розрахунків. Для побудови з'єднань вибрано топологію Shortest, яка дозволяє системі створювати найкоротші з'єднання між контактами компонентів.

Під час налаштування дозволених шарів для прокладання трас у правилах вибрано верхній шар (Top Layer) та нижній шар (Bottom Layer), що дозволяє виконувати розведення на обох сторонах плати. Для геометрії сигнальних з'єднань визначено кут повороту доріжок у 45 градусів, що суттєво зменшує ризик виникнення електромагнітних перешкод та покращує загальну технологічність виготовлення плати. Для параметрів перехідних отворів встановлено зовнішній діаметр контактної кільця 0.7 мм та діаметр отвору 0.3мм, що відповідає стандартним значенням для наскрізних металізованих переходів.

У розділі налаштувань для поверхневого монтажу задано технологічні відстані від краю площадки до першого повороту траси та до суміжних елементів топології. Окремо конфігуруються параметри паяльної маски – розширення (Solder Mask Expansion) встановлено на рівні 0.05 мм навколо контактних площадок, а розширення вікон для паяльної пасту (Paste Mask Expansion) – 0 мм, що повністю задовольняє вимогам промислового процесу монтажу SMT-компонентів.

Налаштування проєктних правил забезпечує суворе дотримання електричних і механічних обмежень, які є важливими для коректної роботи

Утиліта проводить наскрізний аналіз відповідності сформованої топології до всієї матриці раніше закладених проектних обмежень, включаючи контроль мінімальної ширини провідників, дотримання електричних зазорів між різнопотенційними об'єктами, виявлення незавершених або ізольованих мереж а також перевірку коректності підключення ліній до контактних майданчиків. За результатами цього аналізу генератор звітів Altium Designer формує детальний інженерний звіт, який дозволяє розробнику оперативно локалізувати та повністю усунути будь-які критичні розбіжності чи технологічні порушення ще до етапу виводу проектних файлів на промислове виробництво.

Таким чином, за допомогою інтегрованих інструментів і функціональних модулів САПР Altium Designer було успішно виконано повне інтерактивне та автоматизоване трасування друкованої плати для системи NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової частини автомобіля. Суворе дотримання технологічних правил маршрутизації, оптимізація ширини силових і сигнальних ліній, а також верифікація зазорів забезпечують стовідсоткову електричну, конструкторську та технологічну коректність топології плати, що є базовою та необхідною інженерною умовою для подальшого серійного виготовлення і надійної довгострокової експлуатації розробленого бортового пристрою.

Перед початком етапу трасування було виконано налаштування проектних правил. У меню Rules відкрито вікно «PCB Rules and Constraints Editor», де були встановлені параметри відповідно до вимог другого класу точності, обраного для даного проєкту, рис 2.10.

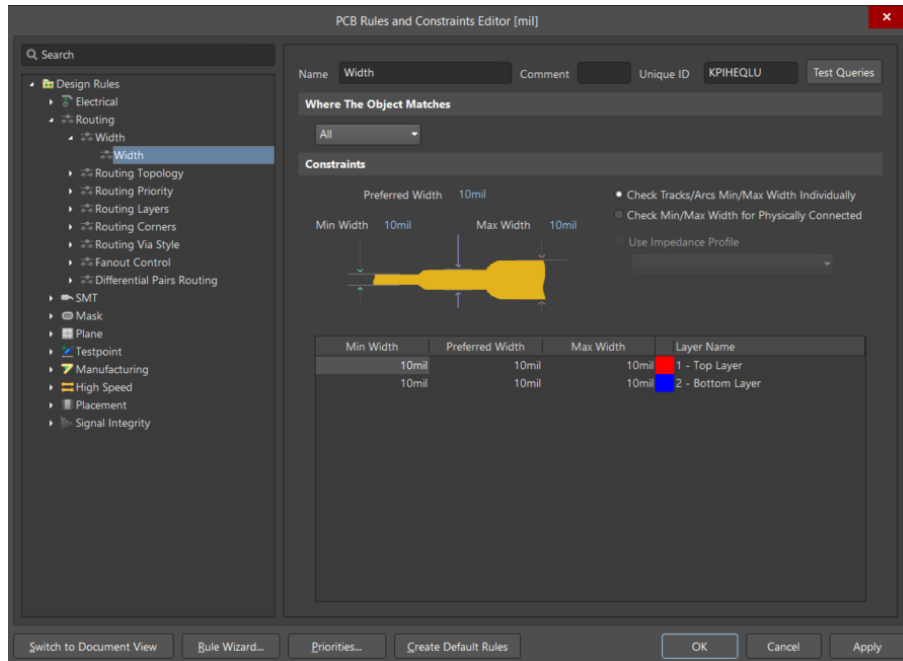


Рисунок 2.10 – Вікно налаштування правил проектування в Altium Designer

Процес трасування провідників розпочався з автоматичного прокладання, яке згодом було частково скориговано вручну. Для запуску автотрасування застосовано команду Route → Auto Route → All. У результаті автоматичного режиму трасування програма самостійно виконала прокладання основних електричних з'єднань згідно з створеною принциповою схемою. У цих зонах, де необхідно було дотриматися заданої ширини доріжок або забезпечити симетричність трас, застосовувалися засоби ручного редагування маршрутів.

На рис. 2.11 представлено фінальний вигляд прокладених провідників на друкованій платі підсилювального модуля.

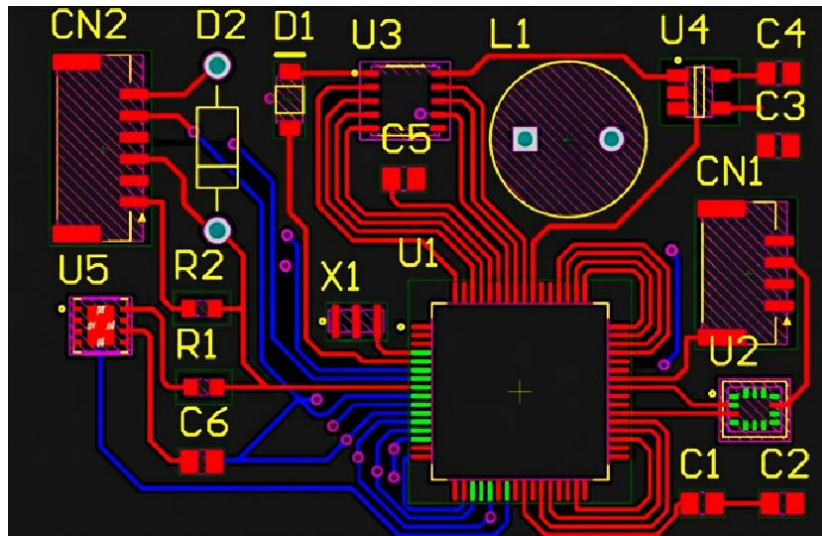


Рисунок 2.11 – Трасовані з'єднання на друкованій платі

Після завершення трасування була проведена перевірка відповідності встановленим правилам за допомогою Design Rule Check (DRC), що підтвердило правильність прокладки з'єднань та відсутність критичних помилок.

На завершальному етапі активовано 3D-перегляд друкованої плати на рис. 2.12 для оцінки правильності розміщення компонентів і перевірки посадкових місць. Остаточний вигляд друкованої плати наведено в додатку Б:

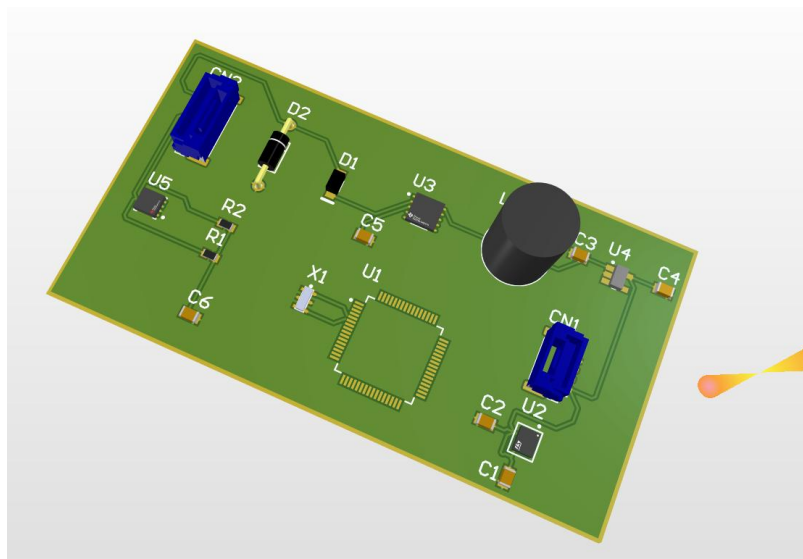


Рисунок 2.12 – 3D-модель зібраної друкованої плати

Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

2.3 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розглянуто використання САПР Altium Designer для проектування друкованого вузла периферійного модуля системи NVH-моніторингу. Завдяки застосуванню Altium Designer було забезпечено ефективне створення електричної принципової схеми, налаштування складних правил трасування швидкісних диференційних ліній автомобільної шини CAN-bus та оптимізацію розміщення компонентів навколо обчислювального ядра мікроконтролера і цифрового MEMS-акселерометра.

Виконано перевірки на помилки за допомогою функцій ERC та DRC, що забезпечило високу точність, завадостійкість і надійність проєкту в умовах підвищених електромагнітних навантажень. Обраний матеріал для плати склотекстоліт FR-4 відповідає вимогам до технологічних, механічних та електричних характеристик пристрою, що експлуатується на ходовій частині. В результаті було отримано повний комплект конструкторської документації, який повністю готовий до подальшого виробництва.

					ГОП 2.009.001 ПЗ	Арк.
						60
Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

3.1 Ергономічні аспекти безпеки життєдіяльності при експлуатації системи NVH-моніторингу

При розробці периферійного модуля системи NVH-моніторингу особлива увага приділяється ергономіці конструкції, що безпосередньо впливає на зручність, надійність та безпеку використання пристрою під час діагностики автомобіля як в умовах сервісної станції (СТО), так і під час дорожніх випробувань. Форм-фактор корпусу, розміщення інтерфейсних роз'ємів, спосіб монтажу та захист ліній зв'язку виконано з урахуванням анатомічних, антропометричних і психофізіологічних особливостей людини (інженера-діагноста), яка взаємодіє з пристроєм та аналізує отримані дані [39].

Основні ергономічні вимоги реалізовано через:

- застосування симетричного та низькопрофільного корпусу модуля, що дозволяє однаково комфортно здійснювати монтаж пристрою на елементи підвіски чи лонжерони як лівшам, так і правшам;
- фіксацію інтерфейсних кабелів живлення та шини CAN за допомогою малогабаритних роз'ємів із механічною засувкою, що забезпечує швидке «сліпе» підключення у важкодоступних місцях автомобіля та унеможливорює самовільне роз'єднання контактів під дією сильних вібрацій;
- захищені та скруглені кути й ребра металевого або пластикового корпусу, що повністю знижує ризик випадкових травм, порізів та защемлень пальців інженера під час встановлення, демонтажу або транспортування датчиків;
- абсолютно герметичну поверхню корпусу (клас захисту не нижче IP67), яка не має відкритих технологічних прорізів, що захищає внутрішню схему від потрапляння бруду, вологи та мастил, а також запобігає

випадковому контакту користувача зі струмоведучими доріжками плати [40].

Пристрій розрахований на тривалу експлуатацію в умовах впливу агресивного зовнішнього середовища ходової частини автомобіля з широким температурним діапазоном від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Проте процес зчитування даних, налаштування та моніторингу спектра вібрацій на екрані діагностичного ноутбука чи стенда виконується оператором у приміщенні лабораторії або цеху СТО. Рівень освітлення робочої зони, необхідний для комфортного сприйняття текстової та графічної інформації, згідно з ДСТУ ISO 6385:2005 [41], повинен бути не менше 300 лк. При цьому висока контрастність графічного інтерфейсу програмного забезпечення NVH-системи знижує втомлюваність очей діагноста.

Для підтвердження нормативного рівня освітлення робочого місця інженера-оператора проведено розрахунок необхідного світлового потоку. При площі робочої зони стенда $S = 1.5\text{ м}^2$, нормованій освітленості $E = 300$ лк та коефіцієнті запасу $K = 1.5$ отримаємо:

$$\Phi = E * S * K = 300 * 1.5 * 1.5 = 675\text{ лм.} \quad (3.1)$$

Світлодіодний світильник локального підсвічування, встановлений над робочим столом діагноста, повинен створювати світловий потік не менше 700 лм за умови кута розсіювання 120° .

Використання цифрового алгоритму передачі даних по шині CAN та висока частота оновлення інформації в інтерфейсі (що перевищує 60 Гц) повністю усувають ефект мерехтіння графіків на моніторі діагностичного комплексу, що знімає супроводжуючий дискомфорт та зорову втому [42]. Конструкція та програмне забезпечення дають змогу користувачу перебувати в полі моніторингу в межах оптимального кута зору без ризику перенапруження або втоми зорового аналізатора під час тривалих робочих змін.

3.2 Організація безпечної роботи електроустановок

Периферійний модуль системи NVH-моніторингу кузова та шасі автомобіля та елементи його вимірювального тракту працюють від низьковольтного джерела живлення з вихідною напругою до 14.4 В (бортова мережа), що відповідає вимогам безпечного електроживлення до електроустановок з напругою до 1000 В постійного струму. Як нормативний документ прийнято ДСТУ EN 61140:2016 "Захист від ураження електричним струмом" [43].

Живлення пристрою та обмін даними по шині CAN реалізовано через штатну бортову мережу транспортного засобу або ізольований діагностичний інтерфейс, який відповідає класу безпеки II з подвійною ізоляцією, що повністю виключає пряме підключення модуля до промислової мережі 220 В.

Усі струмоведучі частини, мікроконтролер та цифрові мікросхеми розміщено в герметичному корпусі зі щільного полімеру або анодованого алюмінію, що є діелектричним або ізольованим матеріалом і додатково захищає електричні вузли. Ступінь захисту корпусу оцінюється на рівні IP67 згідно з ДСТУ EN 60529:2014 [44]. Пристрій не має зовнішніх відкритих металевих частин, які можуть опинитися під небезпечною напругою бортової мережі, що не передбачає потреби у додатковому захисному заземленні самого модуля під час дорожніх випробувань.

Під час стендового тестування та налаштування модуля, яке виконується у лабораторних умовах СТО, передбачено використання додаткового захисту у вигляді:

- захисного ізоляційного килимка під місцем встановлення пристрою та ПК;
- обмеження доступу до внутрішніх елементів (виводів процесора та акселерометра) за допомогою герметизації корпусу та маркування «Не відкривати під напругою»;

– використання понижувального лабораторного блока живлення класу безпеки II для захисту персоналу від випадкового ураження при несправності мережевого адаптера.

З метою запобігання тепловому навантаженню та пробою ізоляції дровові з'єднання та шлейфи підключення виконані на основі мідного багатожильного гнучкого проводу з перерізом не менше 0.35 мм², відповідно до ДСТУ EN 60228:2015 [45].

Для оцінки ризику ураження електричним струмом під час комутації роз'ємів XS1 та XS2 використано метод матричного аналізу ризиків (табл. 3.1), де ймовірність події оцінено як "низьку", а наслідки – "помірні" (відчуття проходження струму без травмування). Отримано рівень ризику: прийнятний. Впроваджені технічні й організаційні заходи знижують ризик до мінімального.

Таблиця 3.1 – Оцінка ризику ураження електричним струмом при експлуатації системи NVH

Ймовірність / Наслідки	Легкі	Середні	Важкі
Висока	CP	B	BH
Середня	H	CP	B
Низька	P	H	CP

Позначення: P – прийнятний, H – низький, CP – середній ризик, B – високий, BH – вкрай небезпечний.

Для захисту мікроконтролера та цифрового датчика від електростатичних розрядів під час підключення інтерфейсів передбачено заземлення робочого місця інженера через антистатичний браслет. Компоненти роз'ємів виконано з матеріалів категорії UL94-V0 – це клас вогнестійкості полімерів, що характеризується самогасанням протягом 10

секунд після припинення дії полум'я. Відповідну характеристику описано у специфікаціях до компонентів [46].

Випробування пристрою в умовах надлишкової вологості підвіски не впливає на безпеку користувача. Проте всі друковані провідники та паяні з'єднання на платі оброблено захисним силіконовим компаундом для запобігання короткому замиканню у разі випадкового потрапляння конденсату чи води. Такий рівень ізоляції дозволяє зберігати експлуатаційну безпеку без необхідності застосування додаткових громіздких засобів індивідуального захисту.

3.3 Висновки до розділу 3

У процесі розробки периферійного модуля системи NVH-моніторингу кузова та шасі автомобіля враховано ключові аспекти безпеки життєдіяльності та охорони праці. Особлива увага приділялася ергономіці, електробезпеці та інженерно-психологічним характеристикам конструкції, які прямо впливають на комфорт та безпеку користувача (інженера-діагноста) під час експлуатації пристрою в умовах сервісної станції та дорожніх випробувань.

Завдяки продуманому низькопрофільному форм-фактору, використанню безпечних вогнестійких матеріалів і надійній конструктивній ізоляції корпусу (клас IP67) усунуто ризики ураження електричним струмом та механічних травм рук під час монтажу на підвіску. Застосування цифрового трьохосьового акселерометра та мікроконтролера дозволило реалізувати стабільну та високошвидкісну передачу даних по шині CAN, яка відповідає фізіологічним можливостям людини, не впливає на втому зору при аналізі графіків вібрацій та забезпечує ефективний візуальний контроль за режимом роботи пристрою на моніторі ПК.

Здійснений розрахунок освітленості підтвердив відповідність робочої зони діагностичного стенда нормативним вимогам щодо рівня яскравості.

Використані елементи живлення, автомобільні кабелі та електромонтаж відповідають вимогам чинних стандартів з електробезпеки. Матеріали корпусу та захисний силіконовий компаунд на друкованій платі забезпечують надійну механічну, електричну та вологозахисну ізоляцію.

					ГОП 2.009.001 ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		66

Висновки

Основна частина роботи присвячена комплексному аналізу та розробці системи NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля з позиції електронної схемотехніки та інженерії. Аналіз технічного завдання дозволив чітко сформулювати вимоги до пристрою, що забезпечило ефективність наступних етапів проектування. Розгляд структурної та функціональної схем дав можливість глибше зрозуміти принцип дії системи, логіку реєстрації високочастотних механічних вібрацій і шумів елементів підвіски та визначити її основні функціональні модулі, включаючи обчислювальне ядро та інтерфейс зв'язку.

Опис роботи електричної принципової схеми та оцінка її ефективності дозволили виявити вплив кожного елемента на загальну завадостійкість та працездатність пристрою в умовах інтенсивних електромагнітних завад автомобільного простору, а також запропонувати шляхи для оптимізації. Проектування і розрахунок функціональних вузлів (вхідного LC-фільтра живлення, блокувальних конденсаторів та схеми розділеного термінування диференційної лінії), обґрунтований вибір елементної бази (цифрового MEMS-акселерометра, мікроконтролера STM32 та автомобільного CAN-трансивера), аналіз загального бюджету енергоспоживання й термостабільності були виконані з високою точністю відповідно до сучасних інженерних стандартів.

У спеціальному розділі було обґрунтовано вибір системи автоматизованого проектування (САПР) Altium Designer, яка дозволила ефективно реалізувати повний цикл створення пристрою, зокрема трасування швидкісних ліній даних, верифікацію топології за допомогою інструментів ERC/DRC та повне 3D-моделювання плати модуля. Це сприяло оптимальному розміщенню компонентів, правильному розведенню шарів заземлення і живлення, а також суттєвому вдосконаленню

конструктивного виконання пристрою з урахуванням стійкості до постійних механічних та вібраційних коливань під час руху транспортного засобу.

Загалом, з огляду на ретельність виконаної роботи та професійний підхід до проектування, можна зробити висновок, що розроблена система повністю відповідає поставленим технічним вимогам, забезпечує високу точність зчитування діагностичних параметрів ходової частини і є придатною для практичного впровадження в автомобільну індустрію.

					ГОП 2.009.001 ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		68

Список використаних джерел

1. Динаміка колісних транспортних засобів : електронний навч. посіб. / О. В. Смирнов та ін. Харків : ХНАДУ, 2021. URL: <https://khnadu.edu.ua/dynamics-electronic-book> (дата звернення: 18.06.2026).
2. ISO 2631-1:1997. Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements. [Чинний від 1997-05-15]. Geneva : ISO, 1997. – 30 с.
3. Єдина система конструкторської документації (ЄСКД). [Чинний від 2013-01-01]. К.: УкрНДНЦ, 2013. – 210 с.
4. MagneRide Suspension Technology: Technical Overview & Specifications. BWI Group : official website. URL: <https://www.bwigroup.com/magneride-technology> (дата звернення: 18.06.2026).
5. MoTeC Data Logging and Telemetry Systems: Products Catalog. MoTeC Pty Ltd : official website. URL: <https://www.motec.com.au/data-logging> (дата звернення: 18.06.2026).
6. ARM Cortex-M4 Processor Technical Reference Manual. ARM Developer : official website. URL: <https://developer.arm.com/documentation/100166/latest> (дата звернення: 18.06.2026).
7. Automotive Transient Voltage Suppressors (TVS) and ESD Protection Application Note. STMicroelectronics : official website. URL: https://www.st.com/resource/en/application_note/an2689-protection-of-automotive-electronics-stmicroelectronics.pdf (дата звернення: 18.06.2026).
8. Бездротові інтелектуальні системи моніторингу вібрацій у задачах предиктивного обслуговування / В. П. Коваль та ін. Кібернетика та комп'ютерні технології. 2023. № 4. URL: <https://cyber-journal.org.ua/index.php/cc/article/view/2023-4-5> (дата звернення: 18.06.2026).

9. Machine Learning for Vehicle NVH and Suspension Diagnostics: A Review / J. Smith et al. International Journal of Automotive Technology. 2024. Vol. 25, no. 2. URL: <https://link.springer.com/journal/12239/articles/2024> (дата звернення: 18.06.2026).

10. Power Supply Design for Automotive ECUs: Low Noise LDO and DC-DC Cascading Techniques. Texas Instruments : application report. URL: <https://www.ti.com/lit/an/slyt732/slyt732.pdf> (дата звернення: 18.06.2026).

11. IIS3DWB: Ultra-wide bandwidth low-noise 3-axis digital vibration sensor. STMicroelectronics : official website. URL: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/iis3dwb.html> (дата звернення: 18.06.2026).

12. STM32F446RE: High-performance foundation line ARM Cortex-M4 MCU. STMicroelectronics : official website. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f446re.html> (дата звернення: 18.06.2026).

13. ISO 11898-1:2015. Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical signalling. [Чинний від 2015-12-01]. Geneva : ISO, 2015. – 98 с.

14. TCAN1042-Q1 Automotive Fault-Protected CAN Transceiver with Fault Protection. Texas Instruments : official website. URL: <https://www.ti.com/product/TCAN1042-Q1> (дата звернення: 18.06.2026).

15. PESD1CAN: CAN bus ESD protection diode. Nexperia : official website. URL: <https://www.nexperia.com/products/esd-protection-tvs-filtering-and-signal-conditioning/esd-protection/PESD1CAN.html> (дата звернення: 18.06.2026).

16. Schottky Barrier Rectifiers: Reverse Polarity Protection in Automotive Applications. Diodes Incorporated : application note. URL: <https://www.diodes.com/assets/App-Notes/AN43.pdf> (дата звернення: 18.06.2026).

17. SMAJ36A Transient Voltage Suppressor Diode Series. Littelfuse : official website. URL: <https://www.littelfuse.com/products/tvs-diodes/surface-mount/smaj.aspx> (дата звернення: 18.06.2026).

18. Fixed Inductors for Power Lines: Selection Guide for Automotive ECUs. Murata Manufacturing Co., Ltd. : official website. URL: <https://www.murata.com/en-global/products/inductor/power> (дата звернення: 18.06.2026).

19. ADP150: Ultralow Noise, 150 mA Linear Regulator. Analog Devices : official website. URL: <https://www.analog.com/en/products/adp150.html> (дата звернення: 18.06.2026).

20. AEC-Q100: Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Integrated Circuits. Automotive Electronics Council : official website. URL: <http://www.aecouncil.com/AECDocuments.html> (дата звернення: 18.06.2026).

21. LMR14030-Q1 SIMPLE SWITCHER 40 V, 3.5 A Step-Down Converter with High Efficiency. Texas Instruments : official website. URL: <https://www.ti.com/product/LMR14030-Q1> (дата звернення: 18.06.2026).

22. RC Series Thick Film Chip Resistors: Product Specification. Yageo : official website. URL: <https://www.yageo.com/en/Product/Type/ChipResistors/ThickFilm> (дата звернення: 18.06.2026).

22. 1N5817, 1N5818, 1N5819 Axial Lead Schottky Barrier Rectifiers. onsemi : official website. URL: <https://www.onsemi.com/products/discrete-power-modules/schottky-diodes-rectifiers/1n5819> (дата звернення: 18.06.2026).

23. Ceramic Resonators (CSTCE Series): Chip Type Three-Terminal Structure. Murata Manufacturing Co., Ltd. : official website. URL: <https://www.murata.com/en-global/products/timingdevice/ceramicresonator> (дата звернення: 18.06.2026).

24. GRM219R71H104KA01D: Chip Monolithic Ceramic Capacitors for General Purpose. Murata Manufacturing Co., Ltd. : official website. URL:

документації. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT). [Чинний від 2014-07-01]. К.: УкрНДНЦ, 2014. – 32 с.

35. PCB Design Rules and Constraints Editor in Altium Designer. Altium Tech Docs. URL: <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/constraining-the-design-pcb-rules> (дата звернення: 18.06.2026).

36. High-Speed PCB Layout and Signal Integrity Guidelines. Altium Tech Guide. URL: <https://www.altium.com/resource-center/high-speed-pcb-layout-guidelines> (дата звернення: 18.06.2026).

37. ДСТУ EN ISO 26800:2019. Ергономіка. Загальний підхід, принципи та поняття. [Чинний від 2020-01-01]. К.: УкрНДНЦ, 2019. – 24 с.

38. IEC 60529:2013. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). [Чинний від 2013-11-01]. Geneva : IEC, 2013. – 154 с.

39. ДСТУ ISO 6385:2005. Ергономічні принципи проектування робочих систем (ISO 6385:2004, IDT). [Чинний від 2006-07-01]. К.: УкрНДНЦ, 2006. – 15 с.

40. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [Чинний від 2014-04-08]. К.: МОЗ України, 2014. – 48 с.

41. ДСТУ EN 61140:2016. Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання. [Чинний від 2017-01-01]. К.: УкрНДНЦ, 2016. – 125 с.

42. ДСТУ EN 60529:2014. Ступені захисту, забезпечувані кожухами (Код IP). [Чинний від 2015-01-01]. К.: УкрНДНЦ, 2015. – 105 с.

43. ДСТУ EN 60228:2015. Провідники ізольованих кабелів. [Чинний від 2016-01-01]. К.: УкрНДНЦ, 2015. – 56 с.

44. UL 94:2023. Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. [Чинний від 2023-01-01]. Northbrook : UL Standards, 2023. – 64 с.

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедру РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“_____” _____ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Система NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик
ходової автомобіля»

Узгоджено:
Керівник дипломного проекту
Паляниця Ю.Б. _____
“_____” _____ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РА-41
Гадевич О.П. _____
“_____” _____ 2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Система NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № _____ від “___” _____ 20__ р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Гадевич Олег Петрович групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення розроблювального приладу;
- вибір компонентної бази розроблювального приладу;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи приладу;
- проектування друкованого вузла та друкованої плати приладу

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

- 4.1.1. Контрольовані параметри: трьохосьова вібрація, шуми та механічні прискорення;
- 4.1.2. Діапазон частот вимірювань (АЧХ датчика): 0,5 Гц ... 6 кГц (по кожній осі);
- 4.1.3. Максимальне вимірюване прискорення: ± 16 g;
- 4.1.4. Спектральна щільність власного шуму датчика: ≤ 75 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$;
- 4.1.5. Напруга живлення модуля (номінальна): 12 ... 14,4 В;
- 4.1.6. Внутрішні робочі напруги живлення компонентів: 5,0 В та 3,3 В;
- 4.1.7. Загальна споживана потужність: $\leq 0,6$ Вт;

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема приладу;
- електрична принципова схема приладу;
- друкована плата приладу;
- друкований вузол.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

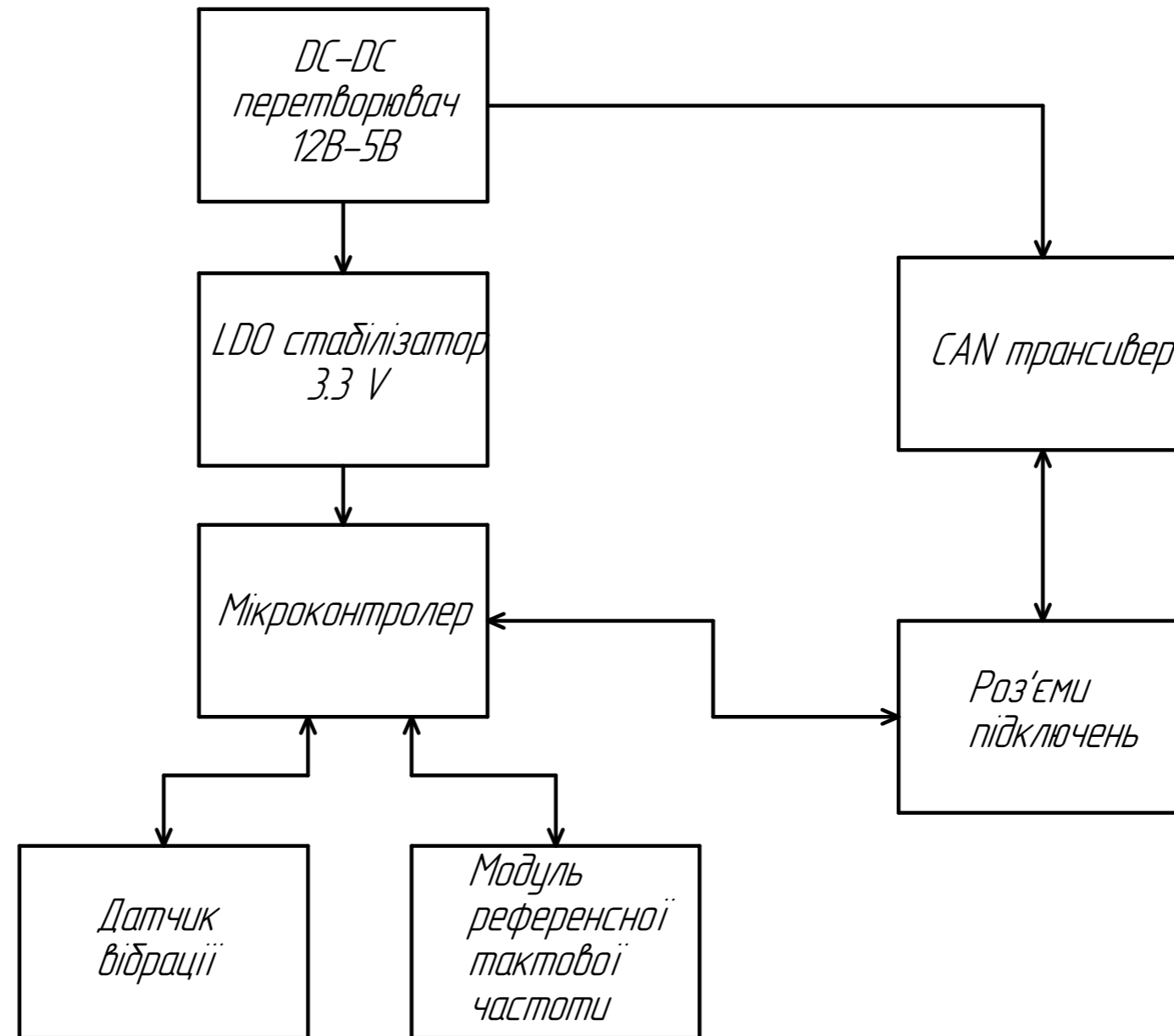
Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	
3	Розробка структурної схеми приладу	
4	Розробка схеми електрично принципової	
5	Розрахунок основних вузлів у схемі приладу	
6	Вибір компонентної бази приладу	
7	Компоновка друкованого вузла	
8	Створення допоміжної документації	
9	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	
10	Нормоконтроль	
11	Перевірка роботи на анти плагіат	
12	Попередній захист КР	
13	Захист КР	

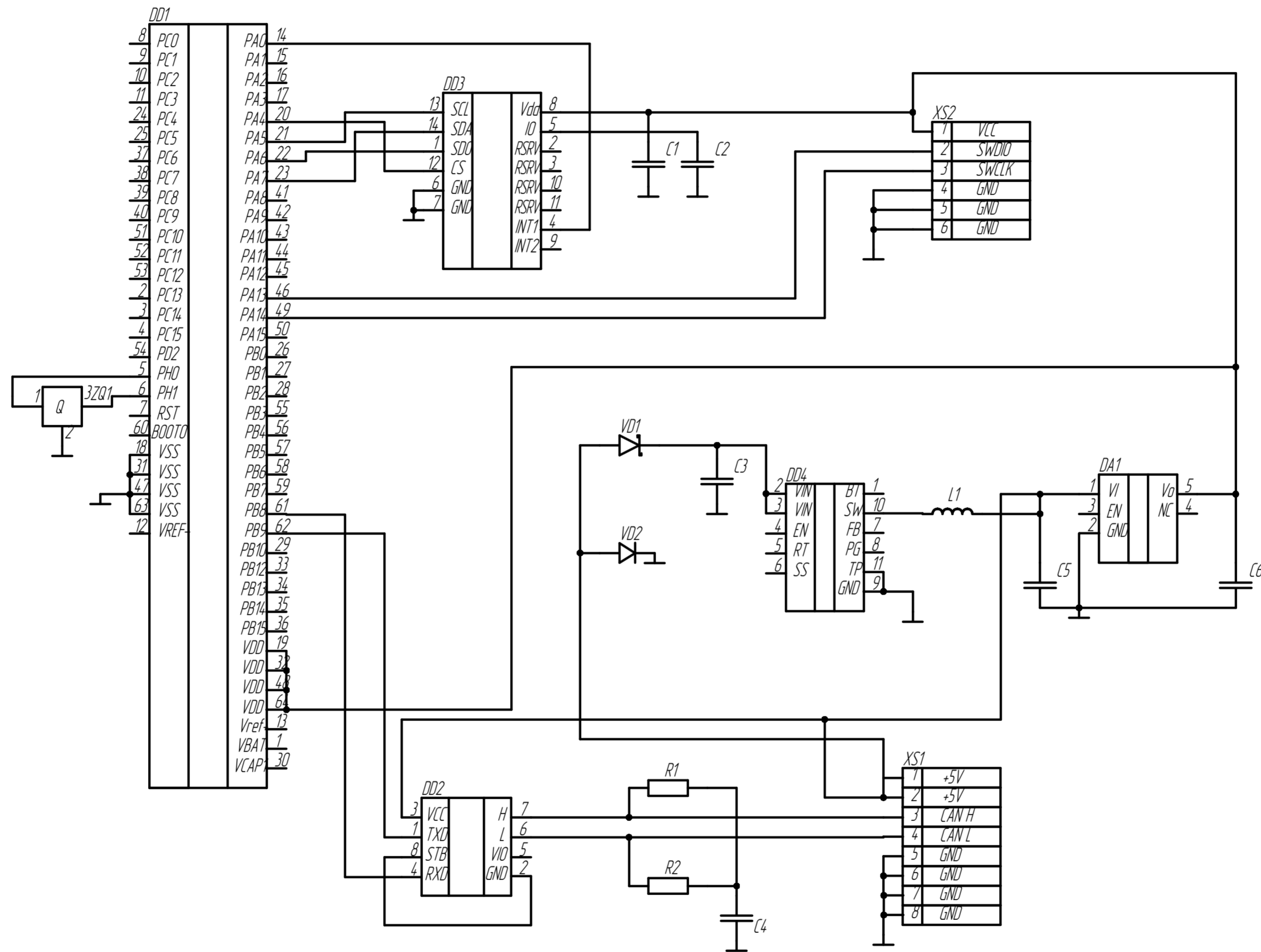
Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

7.1 Під час виконання дипломного проекту в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення



					ГОП 2.009.001 Е1			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Система NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля Схема електрична структурна	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Гадевич О.П.					-	
Перев.		Паляниця Ю.Б.				Аркцш	Аркцшів	1
Т.контр.						ТНТУ ім. І.Пулюя група РА-41		
Н.контр.		Хвостівська Л.В.				Формат А3		
Затв.		Дунець В.Л.						

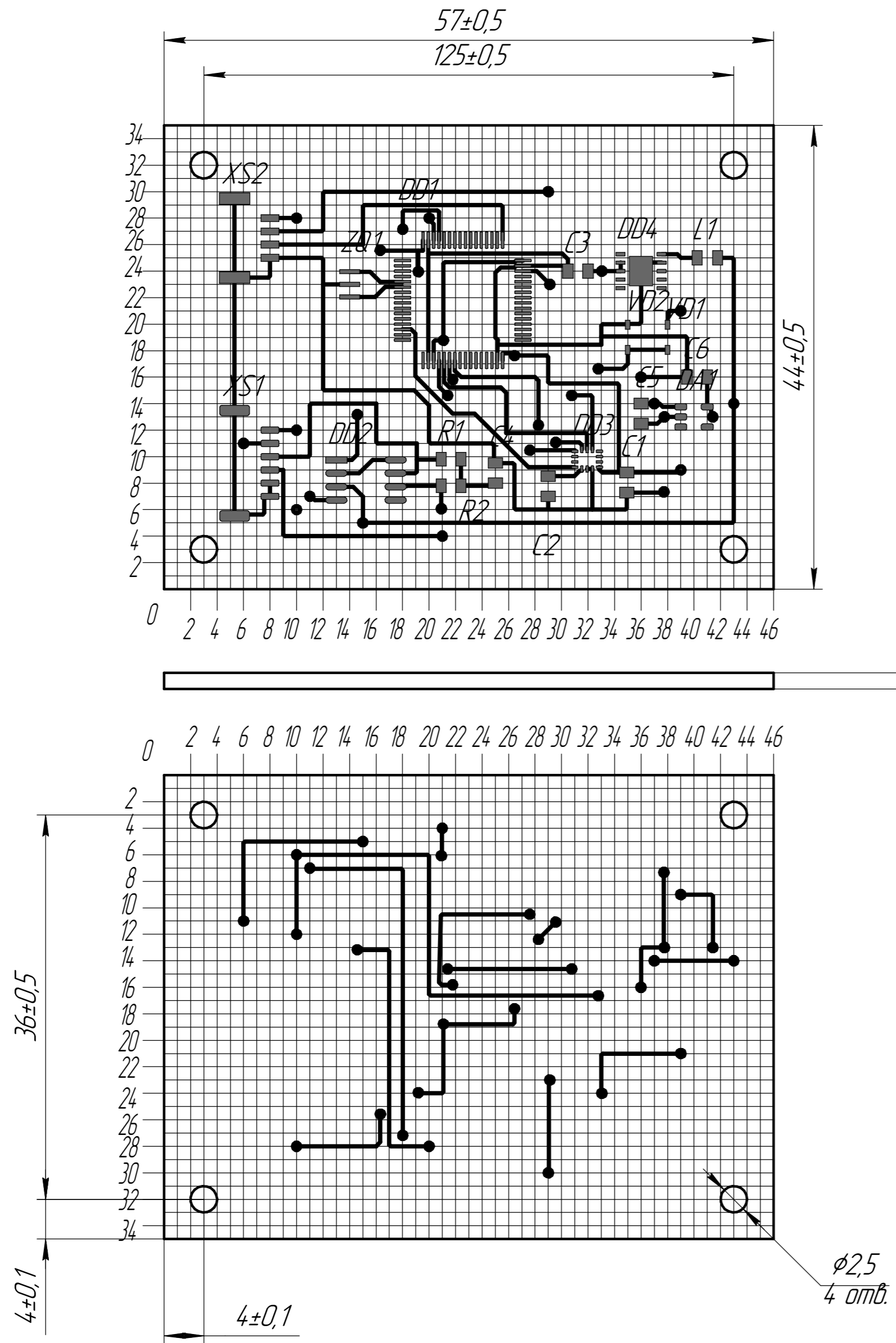


ГОП 2.009.001 ЕЗ					Лит.	Маса	Масштаб
Эк.	Арк.	№ докум.	Лист	Дата			
Разроб.	Гадєвич О.П.					-	
Перев.	Паляниця Ю.Б.						
Т.контр.					Арк.	Архив	1
Н.контр.	Хвостівська Л.В.				ТНТУ ім. І.Пулюя група РА-41		
Затв.	Цицєць В.Г.				Формат А2		

Система NVH-моніторингу
структурно-динамічних
характеристик ходової
автомобіля
Схема електрична принципа

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	<u>Система NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля</u>		
	<u>Конденсатори</u>		
C1-C6	GRM219R71H104KA01D «Murata»	6	
	<u>Мікросхеми</u>		
DA1	ADP150AUJZ-3.3-R7«AnalogDevices»	1	
DD1	STM32F446RET6«STMicroelectronics»	1	
DD2	IIS3DWBTR«STMicroelectronics»	1	
DD3	TCAN1042HQDRQ1 «Texas Instruments»	1	
DD4	LMR14030SQDPRRQ1 «Texas Instruments»	1	
L1	Дросель LQM21PN4R7MGRD «Murata»	1	
R1-R2	Резистори RC0805FR – 60 Ом ±1% «YAGEO»	2	
	<u>Діоди</u>		
VD1	MBR0520LT1G «Texas Instruments»	1	
VD2	1N5819 «Analog Devices»	1	
	<u>Роз'єми</u>		
	<u>« JST »</u>		
XS1	BM06B-GHS-TBT	1	
XS2	BM04B-GHS-TBT	1	
ZQ1	Керамічний резонатор CSTCE8M00G55-RO «Murata»	1	

					ГОП 2.009.001 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Гадевич О.П.				Система NVH-моніторингу структурно-динамічних характеристик ходової автомобіля Перелік елементів	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Паляниця Ю. Б.					н	1	1
Рецензор						ТНТУ, ФПТ каф. РТ зр. РА-41		
Н.Контр.	Хвостівська Л.В.							
Затвер.	Дунець В.Л.							

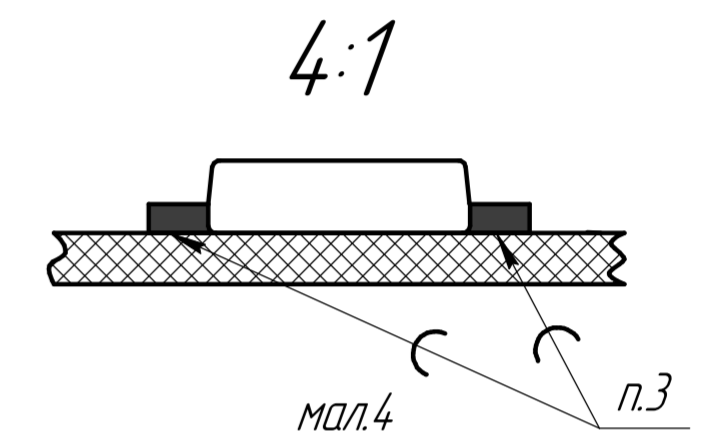
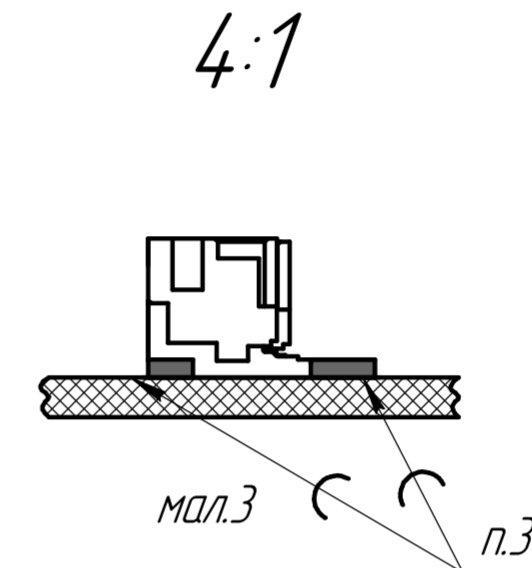
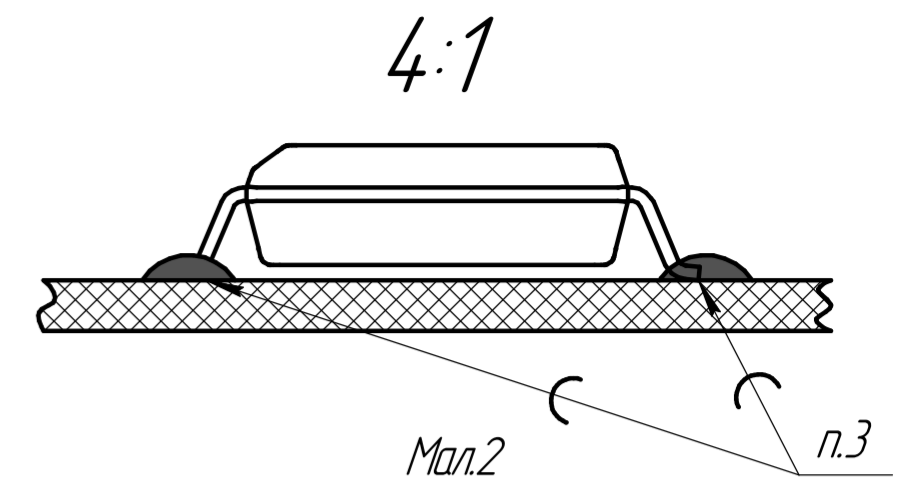
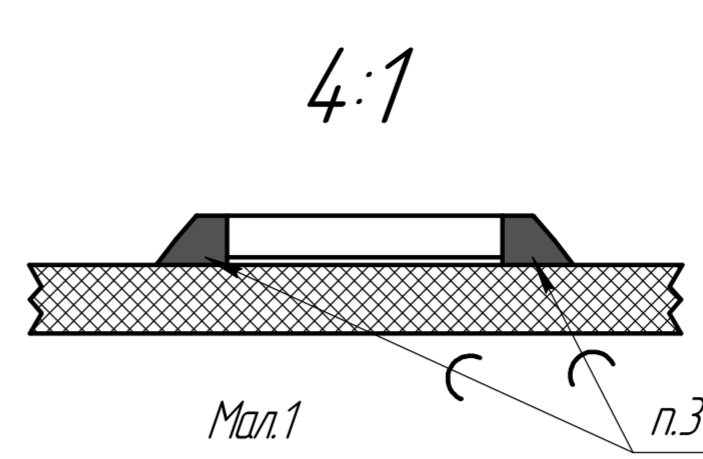
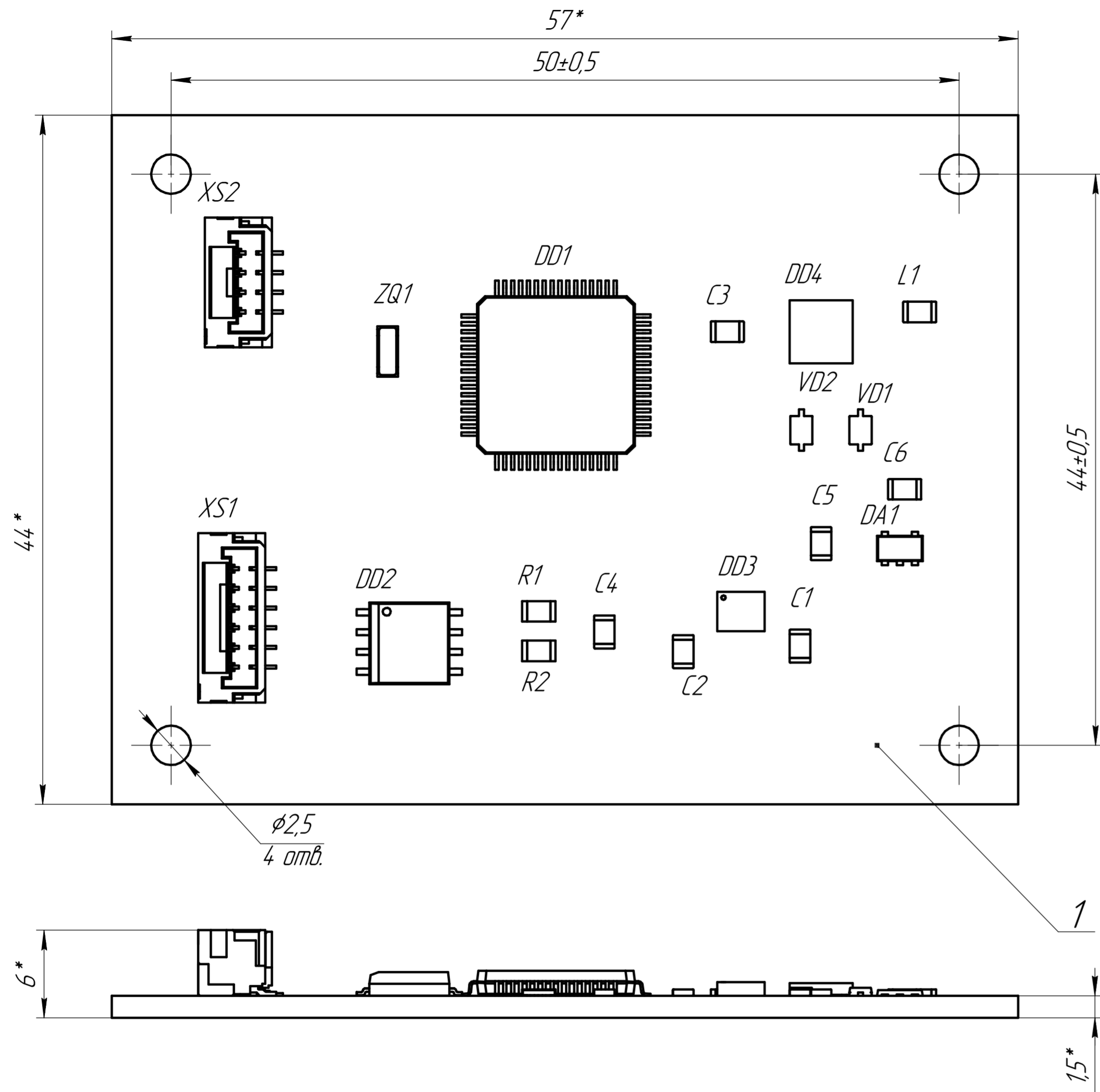


Таблиця отворів

Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	К-ть отворів
●	0.3	0.7	металіз.	33
■	-	1.3x1	-	22
—	-	1x2	-	125

- *Розміри для довідок;
- Клас точності 3
- Крок координатної сітки 1.25 мм.
- Плату виготовляти електрохімічним методом.
- Параметри отворів-див.Таблицю отворів.
- Мінімальна ширина друкованих провідників 0.25 мм
- Мінімальна відстань між друкованими провідниками 0.3 мм.
- Плату маркувати фарбою ТН ПФ-01 біла ТУ 29-02-889-88шрифтом 2.5 ПР. 41.
- Контактні площадки покрити припоєм ПОС-40

ГОП 7.102.001					Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		0,15	2:1
Розроб.	Горбун О.П.				Плата друкована		
Перев.	Полянська Ю.Б.				Арк.	Архівів 1	
Т.контр.					СФ-2-35-ІКП		
Н.контр.	Хвостівська Л.В.				ТНТУ, ФПТ каф. РТ		
Затв.	Душень В.Л.				гр. РА-41		
Формат А2							



1. * Розміри для довідок
2. Крок координатної сітки 1,25мм, елементи встановити: резистори R1-R2 згідно мал.1; конденсатори C1-C6, згідно мал.1; дросель L1 згідно мал.1; мікросхеми DA1, DD2 згідно мал.2; роз'єми XS1-XS2 згідно мал.3; діоди VD1-VD2 згідно мал.4;
3. Паяти паяльною пастою SAC305 "Mechanic"
4. Паяти ПОС-61
5. Виводи згинати під кутом 30 та обрізати в межах контактних площадок
6. Покрити лаком АК-133
7. Позначення елементів показано умовно

					ГОП 2.009.001 СК			
Эм.	Арк.	№ докум.	Лист	Дата	Вузол друкований	Лит.	Маса	Масштаб
Разроб.	Гайдавич О.П.						0,35	4:1
Перев.	Пляничья В.Б.				<i>Складальне креслення</i>			
Т.контр.					Арк.	Аркцифр	1	
Н.контр.	Хвостівська Л.В.				ТНТУ, ФПТ каф. РТ			
Затв.	Дічунець В.І.				гр. РА-41			
					Формат А2			

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			ГОП 2.009.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A4			ГОП 2.009.001 ПЕЗ	Перелік елементів		
A2			ГОП 2.009.001 СК	Друкований вузол		
				<u>Деталі</u>		
A2		1	ГОП 7.103.001	Плата друкована	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				<u>Конденсатори</u>		
		2		GRM219R71H104KA01D«Murata»		
				<u>Мікросхеми</u>		
		3		ADP150AUJZ-3.3-R7 «AnalogDevices»	1	DA1
		4		STM32F446RET6 «STMicroelectronics»	1	DD1
		5		IIS3DWBTR «STMicroelectronics»	1	DD2
		6		TCAN1042HQDRQ1 «Texas Instruments»	1	DD3
		7		LMR14030SQDPRRQ1 «Texas Instruments»	1	DD4
		8		ДросельLQM21PN4R7MGRD «Murata»	1	L1

ГОП 2.009.001 СП

Змін.	Арх.	№ докум.	Підпис.	Дата
Розроб.		Гадєвич О.П.		
Перевір.		Паляниця Ю.Б.		
Нконтр.		Хвостівська Л. В.		
Затверд.		Дунець В. /І.		

Вузол друкований

Специфікація

Літв.	Арк	Аркуші в
	1	2
ТНТУ, ФПТ каф. РТ зр. РА-41		

