

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

«Удосконалення методів дистанційного вимірювання параметрів та характеристик технічних засобів»
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ЕПМ 18-1
Косінов О.М.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Грицунов О.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Бондаренко І.М.
(прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії

(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки електронних приладів та пристроїв

(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.

кафедри _____

(підпис)

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Косінову Олексію Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення методів дистанційного вимірювання параметрів та характеристик технічних засобів»

затверджена наказом по університету від 04 11 2019 р. № 1635 СТ2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.12. 2019 р.

3. Вихідні данні для роботи Розробити систему дистанційного вимірювання параметрів та характеристик ходової частини автомобіля з передаванням даних через систему RFID-міток з забезпеченням електромагнітної сумісності

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1. Структурна схема системи дистанційного вимірювання2. Топологічна схема системи3. Розрахунок еклектичної сумісності

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання рішенням випускової кафедри) слайди презентації 21

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на атестаційну роботу	04.11.2019	
2	Огляд інформаційних джерел за темою роботи	06.11-15.11.2019	
3	Вибір та обґрунтування методу дослідження	16.11-30.11.2019	
4	Складання і опрацювання математичної моделі досліджуваних процесів	01.12-05.12.2019	
5	Опрацювання результатів дослідження та оформлення пояснювальної записки	06.12-09.12.2019	
6	Подання роботи на кафедру	10.12.2019	

Дата видачі завдання 04 11 2019 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Грицунов О.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 45 сторінки, 22 рисунків, 18 додатків, 13 використаних джерел.

ДАТЧИКИ ТИСКУ, СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ НА СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛЯХ, СИСТЕМА RFID, RFID-МІТКИ, СЧИТУВАЧ.

Метою атестаційної роботи магістра є ознайомлення із принципами роботи безконтактного датчику тиску, якій використовується на сучасних автомобілях, як в основній комплектації, так і в можливості встановлення його самому.

Задачі роботи зводяться до вирішення комплексу питань схемо-технічного, характеру, пов'язаних з розробкою систем безконтактного контролю параметрів середовища на онові сучасної мікроелектронної бази.

ABSTRACT

The explanatory note contains 45 pages, 22 drawings, 18 appendices, 13 sources used.

PRESSURE SENSORS, MEASUREMENT SYSTEMS ON MODERN VEHICLES, RFID SYSTEM, RFID TAGS, READER.

The purpose of the bachelor's performance appraisal is to get acquainted with the principles of operation of a contactless pressure sensor, which is used on modern cars, both in the basic configuration, and in the possibility of installing it.

The tasks of the work are reduced to solving a complex of circuitry issues, the nature of which are related to the development of systems of contactless control of environmental parameters based on a modern microelectronic base.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1 Класифікація СКТШ.....	9
1.2 Комплектність в складі ТМРС.....	12
1.3 Спосіб управління.....	13
1.4 Системи ідентифікації.....	15
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО ДАТЧИКА ТИСКУ ШИН.....	18
3 МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ RFID-СИСТЕМИ.....	27
3.1 Опис системи моделювання електромагнітних полів CST.....	28
3.2 Розрахунок електромагнітних полів зчитувача інформації.....	32
3.3 Розрахунок електромагнітних полів кабелів.....	36
4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ПРИСТРОЇВ БЕЗКОНТАКТНОЇ СИСТЕМИ ТИСКУ В АВТОМОБІЛЬНИХ ШИНАХ.....	40
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	45

ВСТУП

В даний час системи контролю і управління (TMPS) і (CTIS) користуються великою популярністю.

Використання безконтактних датчиків тиску дуже актуальна, так як з ростом потужності автомобіля, зростає і швидкість, збільшується гальмівний шлях.

Для стабільної роботи гальмівної системи необхідно точно знати, в якому стані тиск в колесах для безпечного руху на великих швидкостях.

Так само актуальність питання пов'язана вартістю комплекту шин на ринку на даний момент.

При неправильній експлуатації шини, вона може деформуватися, нерівномірно зношуватися, що веде до зносу в 1/3 рази швидше ніж при правильному тиску, витрата палива збільшується на 10%. Перекачена або недокачена шина може викликати аварійну ситуацію на дорозі.

Також великою перевагою є можливість покупки готових системами на свій автомобіль.

Датчик вбудований в диск або встановлений на колесо, зчитує інформацію про тиск в шині, передає інформацію на електронний блок управління в бортовій мережі тим самим оповіщаючи водія про зміну тиску на тому чи іншому колесі.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ABS – антиблокувальна система, що запобігає блокуванню коліс при гальмуванні

САПР – Система автоматизованого проектування

СТІС – централізована система підкачки шин

CST – Computer Simulation Technology

СКТШ – система контролю тиску в шинах

ECU – електронний блок керування в автомобілі

ESP – система курсової стійкості, працює разом з системами ABS

EMC – Електромагнітна сумісність

RFID – радіочастотна ідентифікація спосіб автоматичної ідентифікації об'єктів

TPMS – система контролю тиску і температури в шинах автомобіля

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Система контролю і управління TPMS – система контролю тиску і температури в шинах автомобіля (СКТШ). Система призначена для інформування водія про падіння тиску в шинах.

1.1 Класифікація СКТШ

СКТШ можна класифікувати за багатьма ознаками. Пропоную розглянути основні види та типи даних систем:

Існують системи контролю:

- непрямі;
- безпосередні;
- централізовані.

Централізована система підкачки шин (CTIS) дозволяє контролювати тиск повітря в кожній шині, розроблялася вона для підвищення ефективності роботи на різних поверхнях.

Вона знайшла застосування в сільськогосподарських галузях. Ще одна функція CTIS – це підтримка тиску в колесі в разі проколу.

Існують два основних виробники CTIS: американська корпорація Dana і Французька Syegon.

Dana випускає дві версії CTIS, для використання у військових цілях (PSI) і для комерційного використання (TPCS).

На Рис. 1.1 показано загальний пристрій централізованої системи підкачки шин.

На кожному колесі розташований клапан, який дозволяє ізолювати колесо від системи і впливати на нього, тільки в разі потреби.

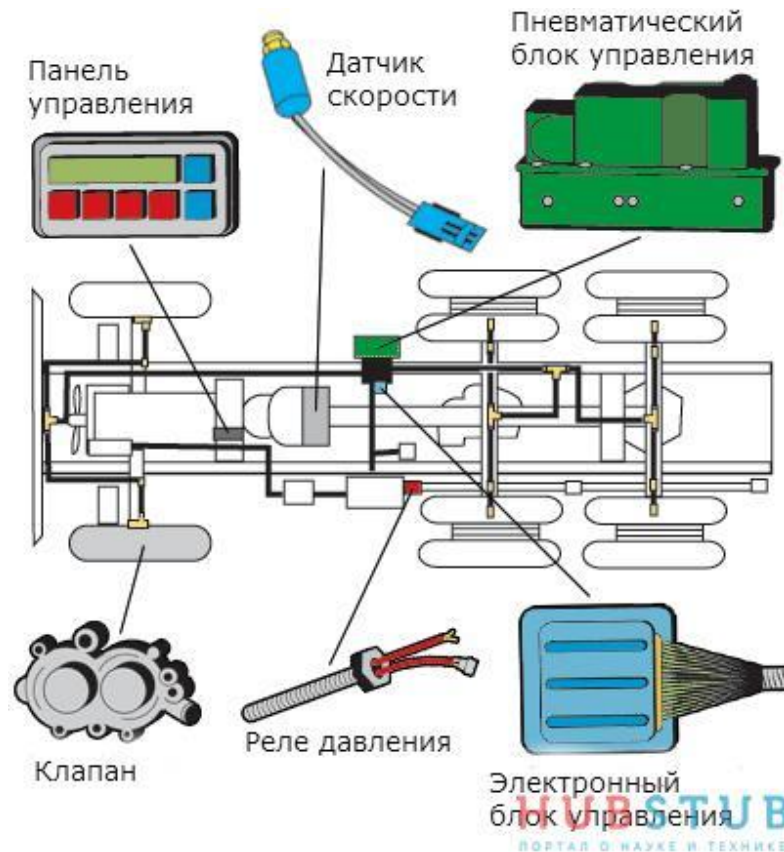


Рисунок 1.1 – Загальний пристрій централізованої системи підкачки шин

Електронний блок управління (ECU), встановлені позаду пасажирського сидіння, відправляє команди пневматичні блоку управління, який контролює клапана і тиск в системі, а також передає свідчення тиску в шинах ECU.

За допомогою панелі керування водій регулює тиск в шинах, а також стежить за станом системи.

Якщо автомобіль рухається по шосе, для того щоб уникнути пошкоджень, тиск в шинах має бути вище, тому CTIS включає в себе датчики швидкості. Система автоматично надуває і спускає колеса в залежності від швидкості руху.

Повітря для роботи CTIS отримує від того ж компресора, що і гальмівна система, реле тиску гарантує, що повітря не буде надходити в CTIS поки не заповниться гальмівна система.

Система непрямого контролю тиску в шинах є програмним розширенням блоку ABS з системою «ESP / ESC». Використовуючи штатні датчики обертання окремо для кожного колеса, система постійно стежить за змінами зовнішнього радіуса шини, і в разі, якщо тиск в шині буде знижено більш, ніж на 0,5 бара (приблизно 0,5 кгс / см²), то система видасть попередження на дисплей панелі приладів, а також буде включена жовта піктограма індикації попередження про падіння тиску в шинах на панелі приладів.

Система «TMPS версії II» – має ряд переваг в порівнянні з попередньою версією «TMPS версії I».

Основна різниця в тому, що «версія I» – виводить на екран повідомлення «Перевірте тиск в шинах», без вказівки в якому саме конкретному колесі було знижено тиск шини. Це не завжди зручно, крім того, «версія I» значно більше схильна до помилкових спрацьовувань системи непрямого контролю тиску в шинах.

На відміну від «версії I», «TMPS версії II» – виводить повідомлення «Перевірте тиск в (конкретному) колесі», що більш наочно і зрозуміло, на яке саме колесо варто звернути увагу. Для здійснення калібрування тиску в цьому випадку існує кнопка скидання.

При безпосередньому контролі спеціальний датчик вимірює температуру і тиск в колесі і за допомогою вбудованого радіопередавача малого радіусу дії передає інформацію на основний блок, встановлений біля водія. Основний блок обробляє отриману інформацію по заздалегідь заданими правилами, виводить її на дисплей бортового комп'ютера (Рис. 1.2), або подає сигнал тривоги.

Розроблено системи, які охороняють колеса від злодійства під час стоянки «Страж коліс». Залежно від підключення, оповіщення відбувається, через автомобільний сигнал або на телефон власника.

1.2 Комплектація в складі TPMS

TPMS пристрій, який працює з датчиками за прикладом RFID. Даний комплект складається з:

- блоку управління;
- датчиків тиску з антенами передачі.

Блок управління, в електроніці електронний блок управління (ЕБУ) – це загальний термін для будь-яких систем, які керують одним або декількома електричними системами або підсистемами в автомобілі.



Рисунок 1.2 – Бортовий комп'ютер в автомобілі

Датчики тиску. Кожен з колісних датчиків є високотехнологічним пристроєм, що включає в себе:

- набір аналізаторів (тиску, температури і т. д.);
- набір керуючих контролерів;
- передавальну антену;
- елемент живлення.

Датчики тиску зазвичай монтуються в якості заміни звичайних вентилів підкачки і прикріплюються до внутрішньої поверхні диска за допомогою спеціальних хомутів.

Анени датчиків зазвичай виводяться в простір колісної арки і в сучасних моделях у кожного колеса є своя антена. Наприклад датчик тиску з антеною фірми BMW, що зображено на Рис.1.3.

На деяких моделях замість індивідуальних антен використовується елемент центрального замка, як загальна антена для всіх 4-х коліс. Такі системи позбавлені можливості надання даних про кожній шині окремо і є застарілими.



Рисунок 1.3 – Датчик тиску з антеною фірми BMW

1.3 Спосіб управління

Також бувають системи які працюють через штатну систему ABS. Саме вони зазвичай і ставляться в серійній комплектації автомобілів у бортовий комп'ютер, Рис. 1.4.

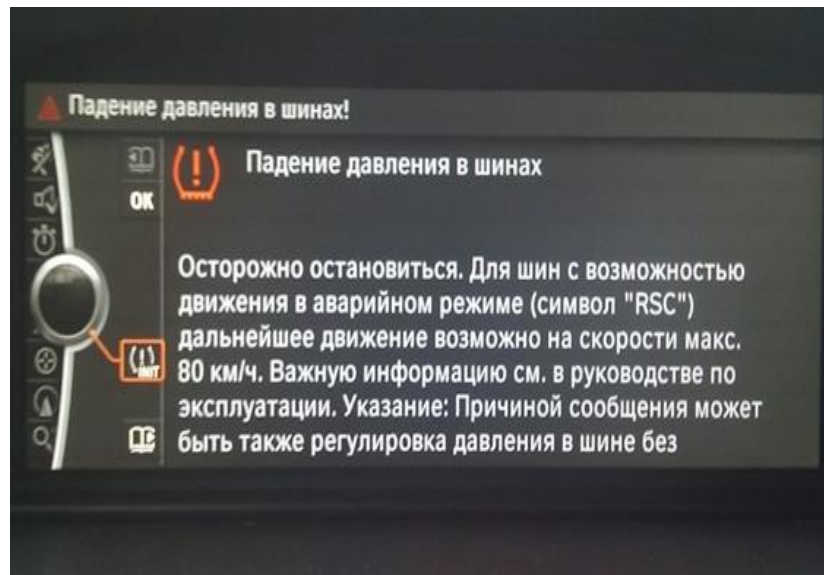


Рисунок 1.4 – Бортовой комп'ютер автомобіля

Електроніка за допомогою датчиків в кожен момент часу визначає частоти обертання коліс і їх відносну різницю. Як відомо, при падінні тиску висота профілю шини стає нижче.

Отже, швидкість обертання колеса з пробитою шиною збільшується, отже, збільшується і різниця частот обертання коліс на одній осі. В результаті система фіксує ці зміни, і дає тривожний сигнал.

Система моніторингу тиску X-Pressure. У найпростішому варіанті Optic вона являє собою чотири ковпачка, які встановлюються на штатні вентиля, Рис.1.5. а про падіння тиску вони сигналізують зміною кольору.

У деяких випадках такі системи не приносять користі зовсім. Наприклад, коли на автомобілі встановлюються покриття з технологією Run-Flat.

У шин з такою технологією навіть при повній втраті тиску висота профілю зменшується незначно – приблизно на 30-40 %. Тиску в шині немає, а посилені боковини продовжують «тримати», і не просто тримати, а дозволяють продовжувати рух з дуже навіть пристойною швидкістю, протягом досить тривалого часу.



Рисунок 1.5 – Датчики тиску

Багато автомобілів самі попереджають свого господаря про падіння тиску в шині.

1.4 Системи ідентифікації

В даний час найбільш популярними в системах контролю і управління доступом наступна системи ідентифікації RFID.

За типом використовуваної пам'яті розрізняють:

- RO (англ. Read Only) – дані записуються тільки один раз, відразу при виготовленні. Такі мітки придатні тільки для ідентифікації. Ніяку нову інформацію в них записати не можна. Важливо, що їх практично неможливо підробити;
- WORM (англ. Write Once Read Many) – крім унікального ідентифікатора такі мітки містять блок одноразово записуваної пам'яті, яку в подальшому можна багаторазово читати;

– RW (англ. Read and Write) – такі мітки містять ідентифікатор і блок пам'яті для читання / запису інформації. Дані в них можуть бути перезаписані багаторазово.

За типом джерела живлення RFID-мітки діляться на:

– пасивні RFID-позначки не оснащені власним джерелом живлення. Вони отримують необхідний для обробки інформації заряд енергії з електромагнітного сигналу, що виходить від скануючого пристрою. Структура системи пасивної радіочастотної мітки представлена на Рис. 1.6. Тому дальність зчитування пасивних RFID-міток визначається виключно параметрами рідера. До їх переваг відносяться відносно низька вартість і тривалий експлуатаційний період;

– активні RFID-мітки містять джерело живлення в власній конструкції. Відстань їх зчитування не залежить енергетичних параметрів скануючого пристрою. Таким чином, дальність сканування активних міток більше приблизно в 2-3 рази, ніж у пасивних. Ще одним важливим їх перевагою є висока допустима швидкість, з якою RFID мітка рухається поруч з рідером. Це особливо актуально для протикрадіжних систем. Однак при цьому активні мітки значно дорожче і габаритніше пасивних;

– напівпасивну RFID-мітки, також звані напівактивними, дуже схожі на пасивні мітки, але оснащені батареєю, яка забезпечує чіп енергоживленням. При цьому дальність дії цих міток залежить тільки від чутливості приймача зчитувача і вони можуть функціонувати на більшій відстані і з кращими характеристиками.

Важливою відмінністю пасивних міток від активних є те, що пасивні позначки не випромінюють радіосигнал. Пасивні мітки, відповідаючи на сигнал зчитувача, тільки модулюють навантаження своєї антеною системи в момент її знаходження в полі несучої частоти зчитувача. Зчитувач виявляє і детектирує ці слабкі відображені модуляції на тлі безперервного випромінювання несучої частоти через свою приймально-передавальну антену.

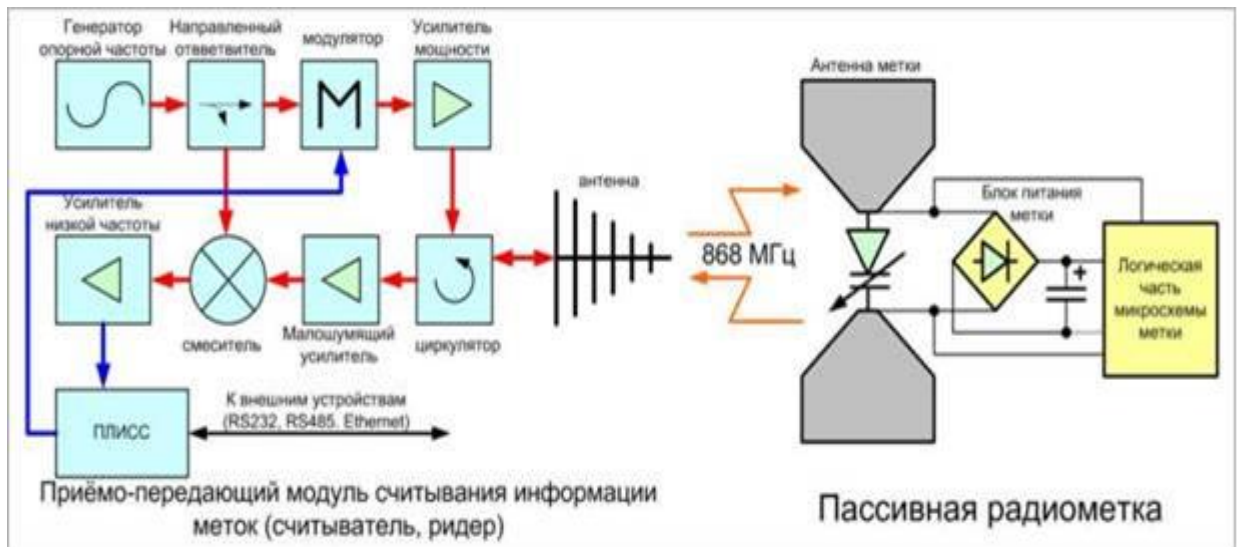


Рисунок 1. 6 – Структура системи пасивної радіочастотної мітки

Принцип роботи міток гранично простий і описується як робота звичайного трансформатора. Трансформатор – це елемент дозволяє змінювати величину протікає по ньому струму і поданого на його первинну обмотку напруги в співвідношенні кількості витків його первинної та вторинної обмотки $U_1 / U_2 = N_1 / N_2$. А ось імпеданс обмоток змінюється вже в зовсім іншій пропорції: $Z_1 / Z_2 = (N_1 / N_2)^2$. відповідно невелика зміна імпедансу в навантаженні буде явно виражена для опитувального пристрою. Відповідно отримуємо наступну систему: приймально-передавальний модуль, як антени у якого якась обмотка (первинна).

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО ДАТЧИКА ТИСКУ ШИН

Датчик тиску – пристрій, фізичні параметри якого змінюються в залежності від тиску вимірюваного середовища. У датчиках тиск вимірюваного середовища перетворюється в уніфікований пневматичний, електричний сигнали або цифровий код.

П'єзоелектричні датчики MPXY8040A, Рис.2.1, застосовуються для вимірювання швидкозмінних процесів в діапазоні частот від одиниць Гц до сотень кГц.



Рисунок 2.1 – П'єзоелектричний датчик

MPXY8040A, які сконструйовані для вимірювання позитивного тиску і вакууму. Датчики ідеально підходять для різних областей застосування, включаючи застосування в споживчих, промислових, побутових, медичних і автомобільних електронних приладах.

Датчики сімейства MPXY8040A – це недорогий спосіб вимірювати тиск зі зворотним зв'язком і підстроюванням в режимі реального часу. В

наявності є датчики з вертикальним, одностороннім і двостороннім розташуванням портів. Датчики підходять для масового виробництва з поверхневим монтажем компонентів, завдяки своєму корпусу типу SOP.

Особливості датчиків сімейства MPXY8040A:

- вимірювання позитивного / негативного тиску;
- ідеально підходять для систем, що базуються на мікропроцесі або мікроконтролері;
- витривалий термопластичний корпус для поверхневого монтажу;
- температурна компенсація в діапазоні температур від +40 до +125 С;
- модифікації для простого і диференціального вимірювання тиску.

Таблиця 2.1 – Інтегральні датчики тиску в шинах (Integrated Tire Pressure Monitor)

Серія	Р макс., кПа	Р макс. (бар)	Цифровий вихід	Макс. точність, -20 С	Макс. точність, 25 ... 70 С	U піт., В
MPXY8020A	637,5	6,4	8-біт	± 15 кПа	± 7,5 кПа	2,1...3,6
MPXY8021A	637,5	6,4	8-біт	± 20 кПа	± 7,5 кПа	2,1...3,6
MPXY8040A	900	9	8-біт	± 25 кПа	± 20 кПа	2,1...3,6

На Рис. 2.2 зображена схема датчика тиску з частотним виходом.

Калібрування проводиться двома змінними резисторами R3 і R12, де R3 – калібрування нуля, а R12 – всього діапазону вихідного сигналу

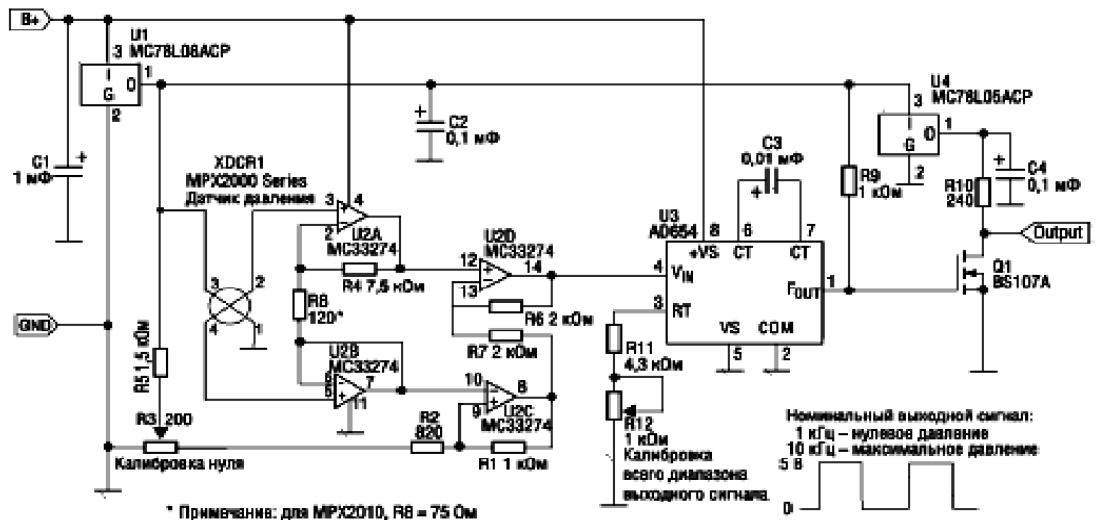


Рисунок 2.2 – Схема датчика тиску з частотним виходом

Пристрій і принцип роботи RFID-системи. Технологія радіочастотної ідентифікації використовує енергію електромагнітного поля для читання і запису інформації на невеликий пристрій – RFID-позначку.

Об'єкт, оснащений RFID-міткою, ідентифікується за унікальним цифровому коду, що зберігається в пам'яті електронної мітки.

Транспондер (RFID-мітка) складається з чіпа (інтегральної мікросхеми) і антени, зображення даної мітки подано на Рис. 2.3.

Антенна здійснює прийом / передачу сигналу від / до зчитувача. Чіп служить для обробки прийнятих / переданих сигналів і зберігання інформації.

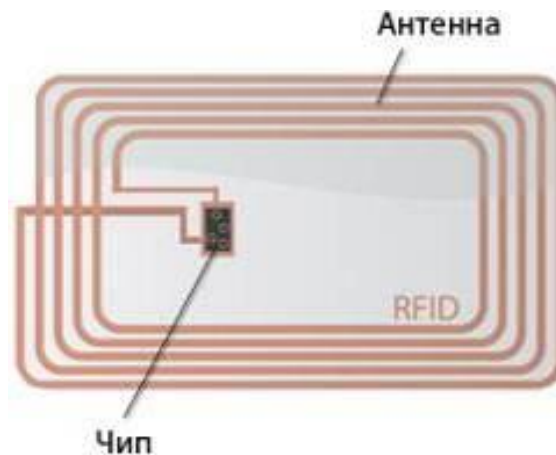


Рисунок 2.3 – Пристрій RFID-мітки

Система RFID влаштована просто і складається з трьох складових:

- зчитувача інформації (рідер);
- транспондера (RFID-мітки);
- ПО (програмне забезпечення, обробляє дані).

Рідер генерує і поширює електромагнітні хвилі в навколишній простір.

У той момент, коли RFID-мітка потрапила в зону електромагнітних хвиль, що зчитує, відбувається зчитування інформації та передачі її на програмне забезпечення. Принцип роботи RFID-системи можемо прослідкувати на Рис. 2.4.

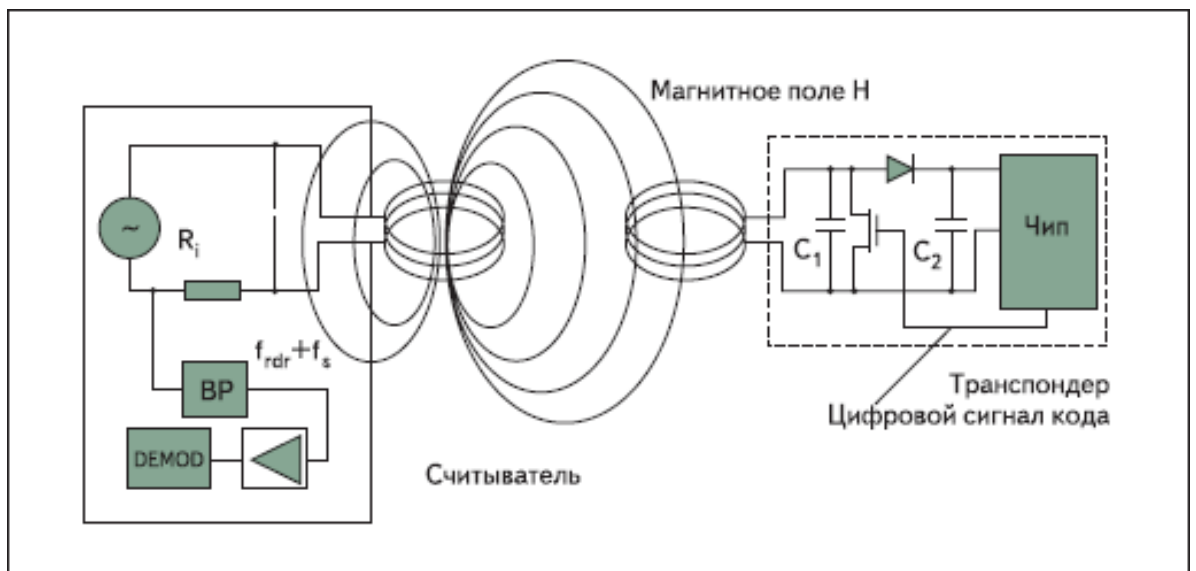


Рисунок 2.4 – Принцип роботи RFID-системи

Рідер має: приймально-передавальний пристрій і антену, які посилають сигнал до мітки і приймають у відповідь; мікропроцесор, який перевіряє і декодує дані; пам'ять, яка зберігає дані для подальшої передачі, якщо це необхідно.

Мітка виявляє сигнал від рідера і починає передавати дані, збережені в його пам'яті, назад в рідер. Немає ніякої потреби в контакті або прямої видимості між зчитувачем і міткою, оскільки радіосигнал легко проникає

через неметалеві матеріали. Таким чином, теги можуть бути навіть приховані всередині тих об'єктів, які підлягають ідентифікації.

Мітки бувають активними або пасивними.

Активні мітки працюють від приєднаної або вбудованої батареї, вони вимагають меншої потужності зчитувача і, як правило, мають велику дальність читання.

Пасивна мітка функціонує без джерела живлення, отримуючи енергію з сигналу зчитувача. Пасивні мітки менше і легше активних, менш дорогі, мають фактично необмежений термін служби.

За принципом дії системи RFID можна розділити на пасивні і інтерактивні. У більш простій пасивної системі випромінювання зчитувача постійно під часу (не модулювати) і служить тільки джерелом харчування для ідентифікатора.

Отримавши необхідний рівень енергії, ідентифікатор включається і модулює випромінювання зчитувача своїм кодом, який зчитувачем і приймається. За таким принципом працюють більшість систем управління доступом, де потрібно тільки отримати серійний номер ідентифікатора.

Системи, що використовуються, наприклад, в логістиці, працюють в інтерактивному режимі. Зчитувач в такій системі випромінює модульовані коливання, тобто формує запит. Ідентифікатор дешифрується запит і при необхідності формує відповідну відповідь.

Частотні діапазони і стандарти. В технології RFID є два ключових визначення:

- proximity (карти і брелоки) – ідентифікатори малої дальності, як правило, близько 10 см, використовуються в системах доступу;

- vicinity – ідентифікатори середньої дальності (близько півтора метрів), використовуються для ідентифікації товарів і продукції, в основному, в логістичних додатках.

З точки зору робочих частот основними є низькочастотний діапазон (125 або 134 кГц), середньочастотний (13,56 МГц) і високочастотний (800 МГц .. 2,45 ГГц).

Низькочастотний діапазон використовується, як правило, в системах доступу, а також для ідентифікації тварин і металевих предметів.

В даний час найбільш популярний середньочастотний діапазон. Він використовується в транспортних і інших аналогічних програмах, де потрібна робота з перезаписуваними картами.

Базовим стандартом є ISO 14443, і практично всі смарт-карти виробляються відповідно до цього стандарту. Для міток в середньочастотному діапазоні: ISO 15693. За ISO 15693, в основному, виробляються перезапису мітки з досить широкою функціональністю.

Переваги RFID-технології:

- для RFID не потрібен контакт або пряма видимість;
- RFID-мітки читаються швидко і точно;
- RFID може використовуватися навіть в агресивних середовищах, а RFID-мітки можуть читатися через бруд, фарбу, пар, воду, пластмасу, деревину;
- пасивні RFID-мітки мають фактично необмежений термін експлуатації;
- RFID-мітки несуть велику кількість інформації і можуть бути інтелектуальні;
- RFID-мітки практично неможливо підробити;
- RFID-мітки можуть бути не тільки для читання, а й для запису інформації.

Області застосування RFID-технології

До останнього часу RFID-системи були більш дорогими у порівнянні зі штрих-кодovими системами безконтактної ідентифікації. Однак технічний прогрес в області тегів привів до того, що вони почали використовуватися в областях, в яких перш використовувався тільки штрих-код.

В даний час тегів системи успішно конкурують зі штрих-кодovими, в тому числі і в ціні. Більш того, RFID-технологія дозволяє пропонувати рішення для роботи в оптично важких умовах.

В даний час RFID-системи застосовуються в різноманітних випадках, коли потрібно оперативний і точний контроль, відстеження та облік численних переміщень різних об'єктів. Одне із застосувань:

Технологія RFID, також відома під назвою «chip-in-tire» ("чіп у шині") полягає в установці в каркасі шини мікрочіпа в процесі її виготовлення. Даний чіп містить дані шини, включаючи її унікальний ідентифікаційний код.

Всі шини Goodyear, які використовуються в гонках на вантажівках, оснащені технологією радіочастотної ідентифікації RFID, присвоює шині унікальний ідентифікаційний код, який використовується представниками

Міжнародної автомобільної федерації FIA. Коло їх завдань включає контроль кожної шини з метою дотримання усіма командами норм щодо числа і використання гоночних шин в гонках на вантажних автомобілях. Ідентифікація шин за допомогою маркування на боковині може займати багато часу, тому що найчастіше боковини мають знос.

Шини з впровадженням радіочіпи дозволяють істотно знизити часові витрати, адже тепер для ідентифікації кожної шини потрібно тільки ручний сканер.

Крім того, до важливих переваг шин RFID можна віднести неможливість вилучення чіпа без руйнування шини. Це дозволить скоротити крадіжки шин, так як шина з ідентифікаційним чіпом безпосередньо прив'язана до певного причеп, що дозволяє легко визначити її власника.

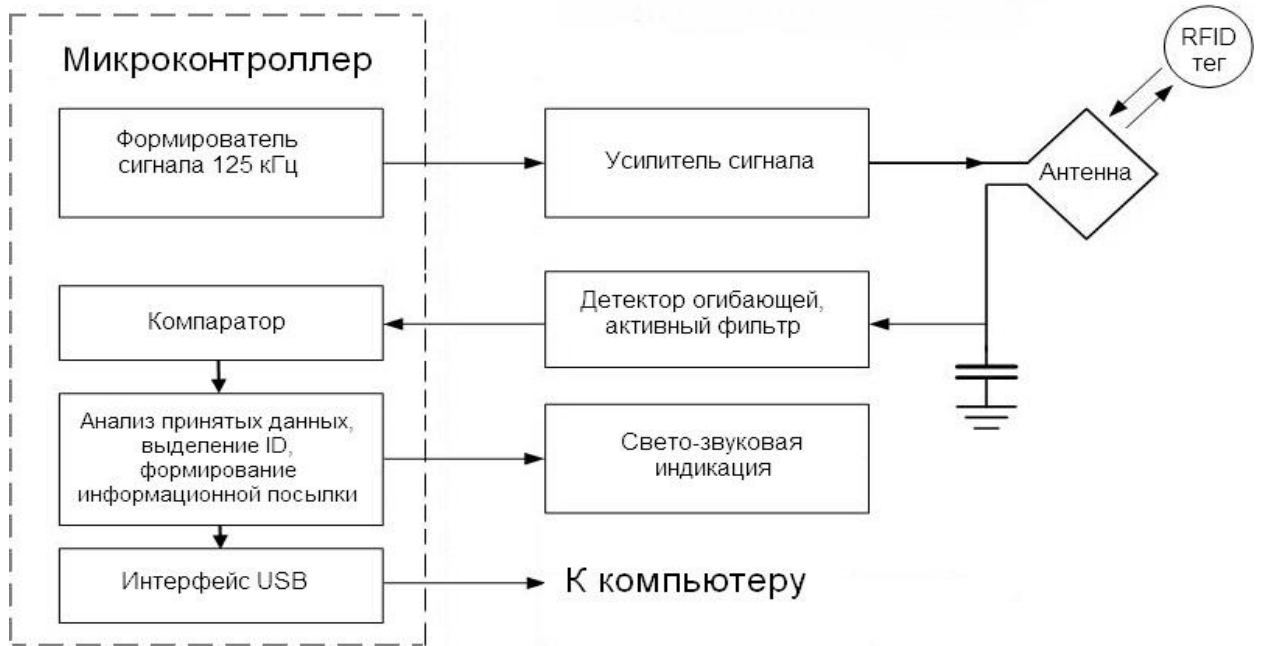


Рисунок 2.5 – Функціональна схема rfid зчитувача

Даний RFID-зчитувач працює з мітками частотою 125 кГц в картах розміром з кредитну картку і 125 кГц брелоках. Функціональна схема rfid зчитувача представлена на Рис. 2.5.

При цьому використовується протокол EM4100. Коли ви наближаєте RFID-позначку на близьку відстань (4-5 см) до котушки зчитувача (L1), зчитувач вважає 10-цифровий унікальний ідентифікатор мітки і передасть його як ASCII символи через послідовних вихід зі швидкістю 2 400 біт в секунду.

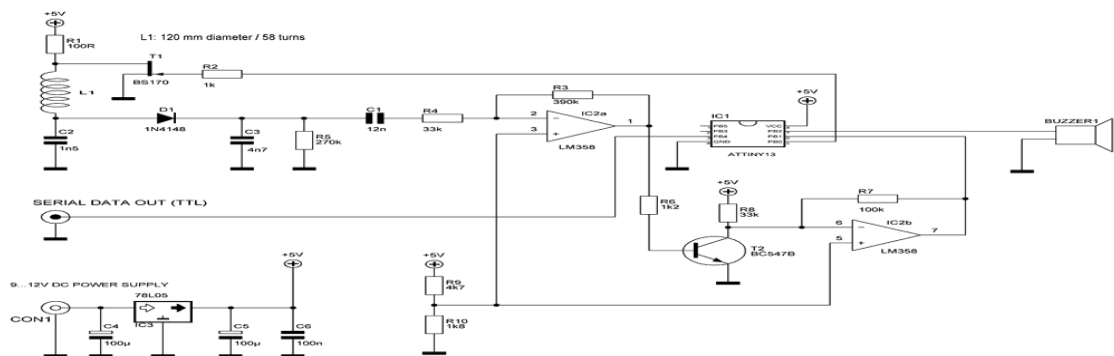


Рисунок 2.6 – Електрична принципова схема rfid зчитувача

Контролер створює прямокутний імпульс сигналу частотою 125 кГц. Даний сигнал виходить з виведення PB0. По задньому фронту імпульсу на виводі PB0 (Логічний нуль «0»), транзистор T1 закритий.

Таким чином, котушка L1 збуджується через резистор R1 (номіналом 100 Ом) від напруги + 5V. Коли імпульс на виведення PB0 зростає (Логічна одиниця '1') транзистор T1 відкривається і один з висновків котушки L1 з'єднується з землею GND. До котушки L1 паралельно приєднується конденсатор C2, створюючи LC генератор. Дані перемикання котушки L1 від логічної одиниці до логічного нуля відбуваються 125 000 разів в секунду (125 кГц).

RFID-зчитувач передає енергію до транспондеру (мітці) шляхом створення електромагнітного поля. Передача енергії між RFID-зчитувачем і міткою відбувається на тому ж принципі, що і робота трансформаторів, що перетворюють напругу 220 В мережі змінного струму в 12 В змінного струму, завдяки магнітному полю, яке створює первинна обмотка. У нашому випадку первинна обмотка – це RFID-зчитувач, а вторинна обмотка – це RFID-мітка. Різниця лише в тому, що в схемі RFID-зчитувача. Робота електричної принципової схеми rfid зчитування подана на Рис.2.6.

Розробка алгоритму роботи пристрою. Алгоритм роботи який я пропоную, буде базуватися на системі зчитування RFID-мітки і передачі її сигналу в бортову мережу автомобіля.

Для розробки безконтактного датчика тиску в шині мені буде необхідно: датчик тиску, пасивна мітка, зчитувач сигнал якого надалі буде відправлятися в бортовий комп'ютер в салоні автомобіля.

Датчик буде встановлюватися в диску, поруч з міткою.

Всі компоненти кріпляться залізними хомутами, а зчитувач кріпиться в арку на залізнні скоби, в арку вставляється захисний локер, який запобігає потраплянню вологи, пилу і гравію на сам зчитувач.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ RFID-СИСТЕМИ

Широке використання різних електротехнічних і радіоелектронних засобів призводить до зростання рівнів електромагнітних полів, створюваних ними в навколишньому просторі. Ці поля є перешкодами для інших подібних пристроїв, погіршуючи умови їх функціонування і знижуючи ефективність застосування.

Згідно ДСТУ, термін «Електромагнітна сумісність» (ЕМС) визначається як здатність технічного засобу функціонувати із заданою якістю в заданій електромагнітній обстановці і не створювати неприпустимих електромагнітних завад іншим технічним засобам

Поняття «Електромагнітна сумісність» поширюється на методи і засоби захисту технічних засобів від впливу ненавмисних електромагнітних завад і ослаблення таких перешкод в їх джерелах і середовищі поширення.

Завдання забезпечення ЕМС виникла як наслідок науково-технічного прогресу в радіотехніці, електроніці та зв'язку з наступних причин:

- безперервне зростання загального числа радіоелектронної апаратури;
- недостатнє число вільних від перешкод радіоканалів в усіх освоєних діапазонах;
- зростання загального рівня перешкод від головним чином індустриальних джерел;
- ускладнення функцій і складу радіоелектронної апаратури.

Забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів (РЕЗ) відноситься до однієї з найбільш актуальних проблем сучасної техніки, оскільки процес розвитку електротехніки, електроенергетики, радіоелектроніки та засобів телекомунікацій підсилює залежність результатів застосування нових засобів від умов їх спільного функціонування.

Згідно з технічним регламентом, технічний засіб має бути розроблено та виготовлено таким чином, щоб при його використанні:

- електромагнітні перешкоди, створювані технічним засобом, не перевищували рівня, що забезпечує функціонування засобів зв'язку та інших технічних засобів відповідно до їх призначення;

- технічний засіб мав рівень стійкості до електромагнітних перешкод (завадостійкості), що забезпечує його функціонування в електромагнітній обстановці, для застосування в якій воно призначене.

Технічні засоби, відповідність якого вимогам технічного регламенту не підтверджено, не допускаються до випуску в обіг на ринку.

Визначити відповідність розроблюваного пристрою вимогам EMC можна за допомогою проведення комплексу вимірювань. Застосування спеціалізованих систем автоматизованого проектування (САПР) при розробці пристроїв дозволяє виявити проблеми EMC на ранніх етапах проектування і уникнути додаткових дорогих змін в конструкції пристрою.

Метою цього розділу є моделювання характеристик електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, а саме, RFID-системи, призначеної для передачі сигналів безконтактних автомобільних датчиків. Проблема EMC є суттєвою в даному випадку, оскільки декілька таких датчиків можуть розміщуватися у салоні автомобіля, тобто, в обмеженому просторі з металевими стінками, які відбивають радіохвилі.

3.1 Опис системи моделювання електромагнітних полів CST

Компанія CST (Computer Simulation Technology), заснована в 1992 році, пропонує широкий набір програмних рішень для аналізу електромагнітних полів.

Сучасна версія пакету CST STUDIO SUITE складається з декількох модулів.

CST MICROWAVE STUDIO (CST MWS) – інструмент для швидкого і точного чисельного моделювання високочастотних пристроїв (антен, фільтрів, відгалужувачів потужності, планарних і багат шарових структур), а також аналізу проблем цілісності сигналів і електромагнітної сумісності.

CST EM STUDIO (CST EMS) – пакет для моделювання статичних і низькочастотних електромагнітних полів в таких пристроях, як датчики, актуатори, трансформатори, електромеханічні вимірювальні головки, екранують конструкції. Тут є можливість аналізу електро та магнітостатичних полів, вихрових і поверхневих струмів.

CST PARTICLE STUDIO (CST PS) – спеціалізований пакет для аналізу поведінки заряджених частинок в електромагнітних полях і моделювання таких пристроїв, як електронні гармати, катодні променеві трубки, магнетрони.

CST CABLE STUDIO (CST CS) – спеціалізований пакет для моделювання ЕМ ефектів в кабелях, що дозволяє оптимізувати вагу і розмір одиночних проводів, кручених пар, а також складних джгутів з необмеженим числом провідників.

CST PCB STUDIO (CST PCBS) – спеціалізований пакет, дозволяючи виконувати аналіз цілісності сигналів і перехресних спотворень на високошвидкісних цифрових, змішаних аналого-цифрових платах, а також в джерелах живлення.

ST BOARDCHECK (CST BC) – спеціалізований пакет, дозволяючи виконувати імпорт проектів друкованих плат, виконаних в різних системах проектування, і виявляти в них можливі проблеми електромагнітної сумісності по набору заданих обмежень.

CST MPHYSICS STUDIO (CST MPS) – спеціалізований пакет для аналізу теплових та механічних навантажень.

CST DESIGN STUDIO – інструмент, що дозволяє розбити складний пристрій на окремі частини, промоделювати їх окремо і потім інтегрувати

отримані дані в єдине ціле. Крім того, тут є можливість одночасного моделювання електричних схем і 3D ЕМ структур.

Швидкість і точність моделювання залежить від вибору обчислювального методу. CST STUDIO SUITE містить широкий набір обчислювачів. Для кожної конкретної задачі можна підібрати обчислювач, який дозволить зробити моделювання найкращим чином.

CST STUDIO SUITE включає наступні обчислювальні технології:

а) Обчислювальні технології для області високих частот:

1) Обчислювач в тимчасовій області (Transient Solver) – спільні завдання;

2) Обчислювач в частотній області (Frequency Domain Solver) – спільні завдання;

3) Обчислювач з використанням інтегральних рівнянь (Integral Equation Solver) – електрично великі структури,

4) Асимптотичний обчислювач (Asymptotic Solver) – електрично великі структури, RCS;

5) Обчислювач резонансних мод (Eigenmode Solver) – об'ємний резонанс;

6) Модуль синтезу фільтрів (Filter Designer 2D) – синтез і аналіз НВЧ фільтрів;

7) Модуль синтезу фільтрів (Filter Designer 3D) – синтез і аналіз НВЧ фільтрів зі зв'язаними об'ємними резонаторами.

б) Обчислювальні технології для області низьких частот:

1) Електростатичний і магнітостатичних обчислювачі (Electrostatic / Magnetostatic Solver), статичні завдання;

2) Обчислювач стаціонарних струмів (Stationary Current Solver) – аналіз постійних струмів;

3) Обчислювач в часовій області (Transient Solver) – завдання з нелінійними матеріалами;

4) Обчислювач в частотній області (Frequency Domain Solver) – вихрові струми, струму зміщення.

в) Обчислювальні технології для області автоматизації проектування електронних пристроїв:

1) Обчислювач з використанням часткових еквівалентних схем (PEEC Solver) – одношарові плати;

2) Обчислювач з використанням матриці ліній передач (TLM Solver) – цілісність сигналів;

3) Тривимірний обчислювач методом кінцевих елементів в частотній області (3D FEM Solver) – цілісність ланцюгів живлення;

4) Перевірка правил проектування (EMC і SI Rule Check) – перевірки обмежень EMC і SI на платах.

г) Обчислювальні технології для області динаміки частинок:

1) Обчислювач трекінгу частинок (Tracking Solver) – низькочастотні пристрої, електронні гармати;

2) Обчислювач Particle In Cell (PIC Solver) – високочастотні додатки, НВЧ пристрої;

3) Обчислювач кільватерних полів (Wakefield Solver) – прискорювальна техніка.

д) Обчислювальні технології для області електромагнітної сумісності:

1) Обчислювач з використанням матриці ліній передач (TLM Solver).

2) Обчислювач кабелів (Cable Solver) – кабель і кабельні джгути.

3) Перевірка правил проектування (EMC Rule Check) – перевірки обмежень EMC на платах.

Комбінація перерахованих модулів забезпечує точний і багатосторонній підхід для вирішення завдань електромагнітної сумісності.

Нижче розглянуто приклад використання пакету CST STUDIO для аналізу питань EMC при проектуванні RFID-мітки. Розглянуті підходи можуть бути застосовані до моделювання широкого кола автомобільних електронних пристроїв.

Щоб уникнути можливих проблем електромагнітної сумісності при проектуванні друкованих плат необхідно дотримуватися певних правил компонування.

3.2 Розрахунок електромагнітних полів зчитувача інформації

На Рисунку 3.1 показано відрізок мікрополоскової лінії довжиною 5 см, який розміщений на краю ізолюючої підкладки з відносною діелектричною проникністю 4,2.

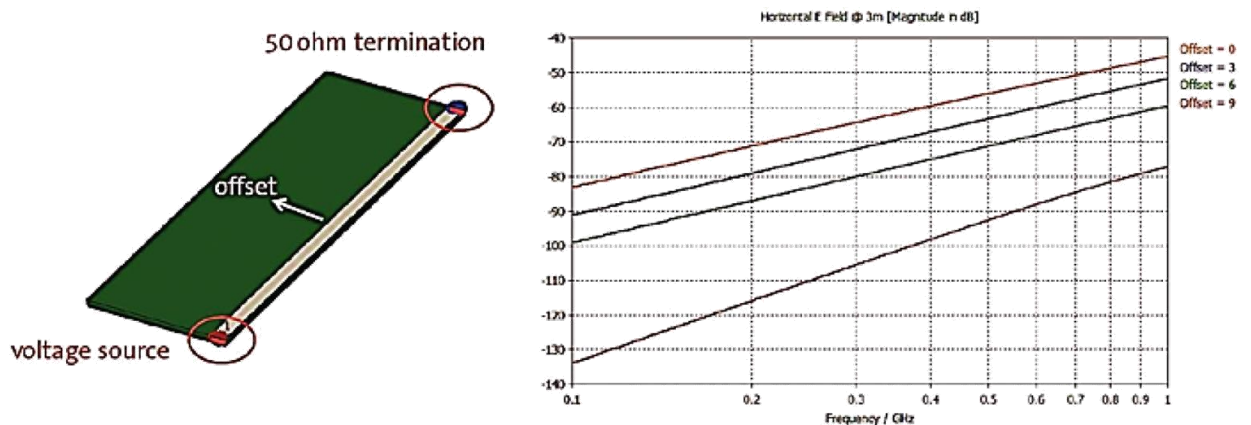


Рисунок 3.1 – Залежність напруженості електричного поля від величини зміщення мікрополоскової лінії від краю підкладки

До однієї сторони лінії підключена навантаження 50 Ом, до іншої - джерело напруги. У показаній моделі положення лінії параметризовані: зсув 0 мм відповідає положенню лінії на краю підкладки, при зміщенні на 9 мм лінія розташована в центрі підкладки. Моделювання виконується з використанням методу кінцевого інтегрування у часовій області в програмі CST MICROWAVE STUDIO, електричне поле з горизонтальною поляризацією реєструється за допомогою пробника для проходження поля, встановленого на відстані 3 метри. З графіка, розташованого справа на Рис. 3.1, видно, як випромінювання поля залежить від частоти і положення

мікрополоскової лінії. При переміщенні лінії від центру до краю підкладки напруженість випромінюваного електричного поля збільшилася більш ніж на 30 дБ, це може стати причиною збільшення емісії пристрою.

Широкопasmовне моделювання в частотній області в пакеті CST дозволяє отримати графічні зображення розподілу електромагнітних полів у салоні автомобіля (Рис. 3.2), кожне з яких може вносити вклад в емісію пристрою.

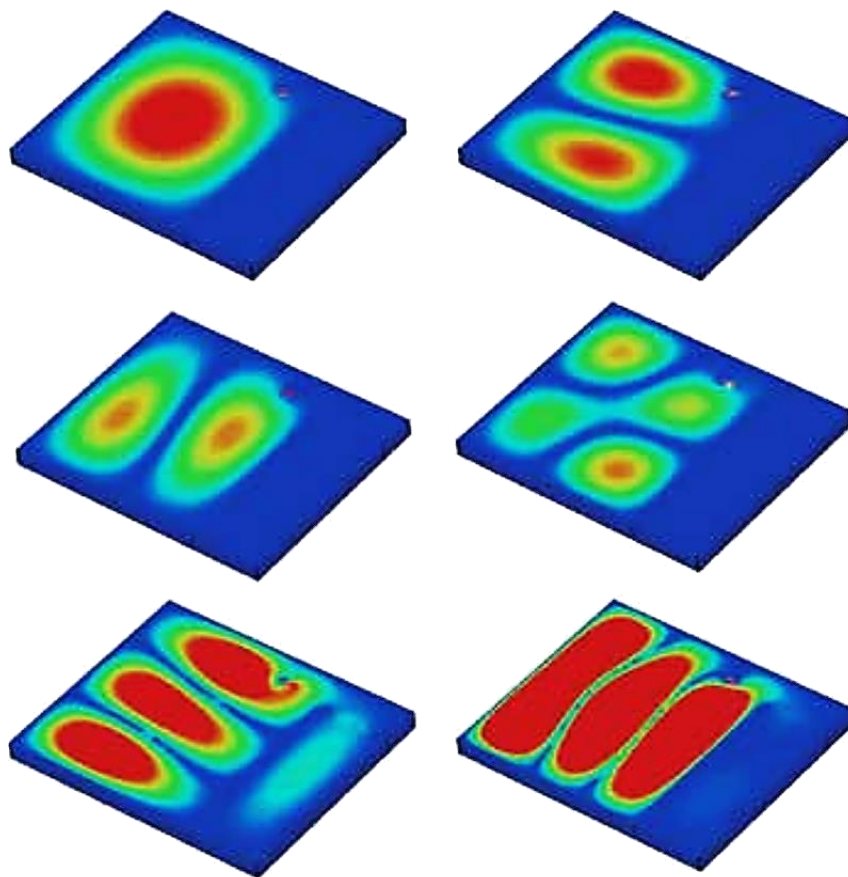


Рисунок 3.2 – Графічні зображення розподілу електромагнітних полів від джерела, розташованого в кутку салону автомобіля

Якщо є «шумлячий» компонент, який випромінює на резонансній частоті, то його варто перемістити в інше місце салону. Як показано

на Рис. 3.3, переміщення джерела з кута салону на край призводить до появи різних розподілів електромагнітних полів.

Поля можуть протікати через шви, отвори і панелі пристрою, тому дуже важливо враховувати їх при розрахунку. Однак, моделювання цих випадків забирає багато часу. Моделювання може бути прискорене шляхом застосування компактних моделей. Компактні моделі за допомогою метода з використанням матриці лінії передач (Transmission-line matrix method), замінюються на тонкі структури з ефективним еквівалентним поданням, яке взаємодіє з полями таким же чином.

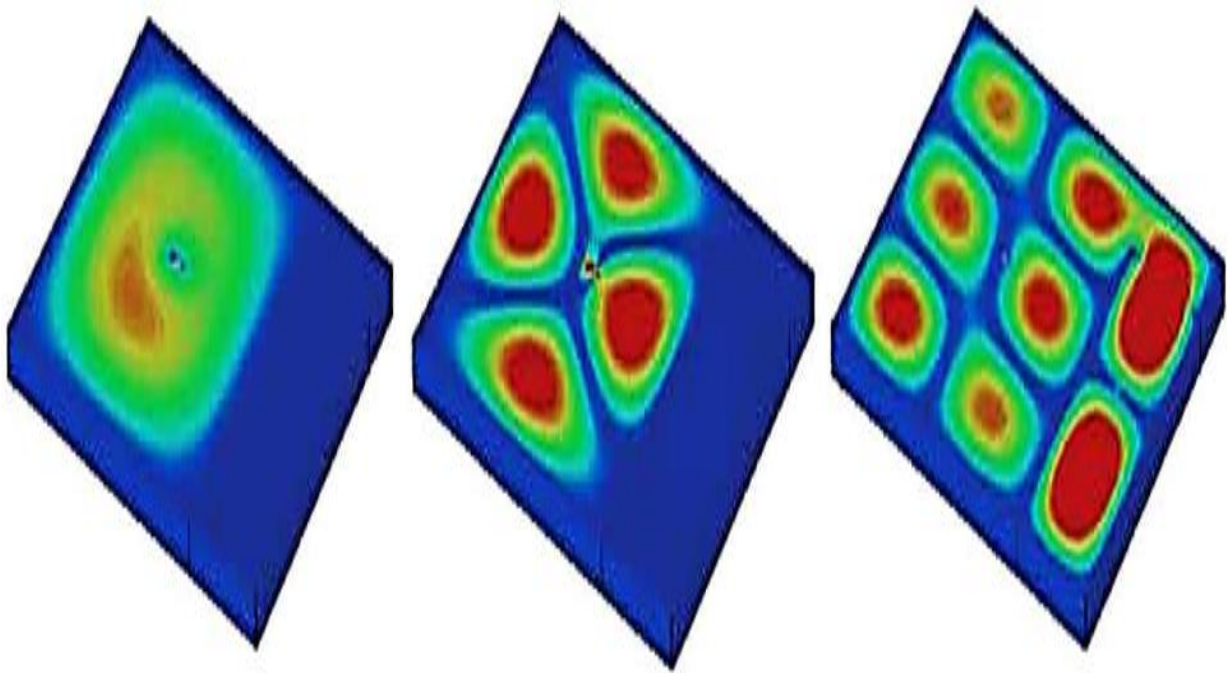


Рисунок 3.3 – Графічні зображення розподілу електромагнітних полів від джерела, розташованого в центрі салону автомобіля

На Рис. 3.4 проводиться порівняння докладної і компактної моделей вентиляційної решітки з шестикутними отворами.

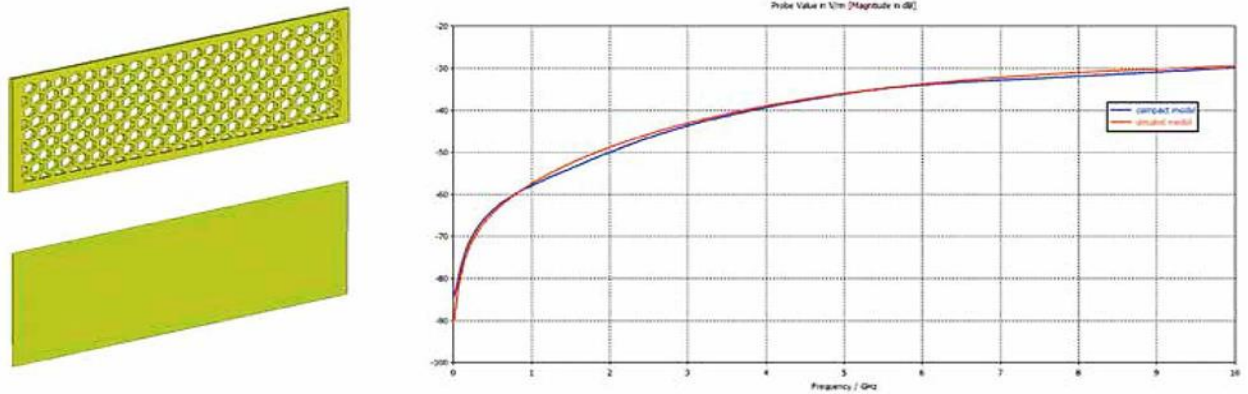


Рисунок 3.4 – Детальна модель вентиляційної решітки (угорі ліворуч), компактна модель (внизу зліва), порівняння результатів розрахунку напруженості поля для двох моделей

Компактна модель демонструє таку ж поведінку, як докладна модель. Результати вимірювань напруженості поля дуже схожі у всьому діапазоні частот. Компактні моделі прораховуються швидше (наприклад, час моделювання компактної моделі, показаної на Рис. 3.4, був вдвічі меншим, ніж докладної), вони також вимагають менш докладну сітку розбиття, що веде до ще більшої економії часу для моделей з більшою електричною довжиною.

За результатами вимірів, показаним на Рис. 3.5, видно, що, присутні деякі витоку поля через корпус автомобіля.

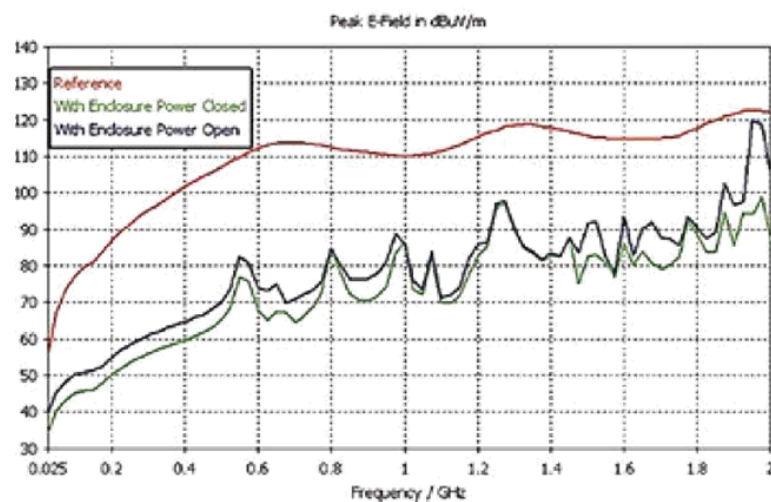


Рисунок 3.5 – Частотна залежність напруженості електричного поля

Напруженість цих полів на кілька порядків нижче, ніж у полів навколо незакритої друкованої плати. Спостерігається різке збільшення напруженості електричного поля навколо зчитувача інформації, який випромінює перешкоди майже такі ж, як в разі відсутності корпусу. Це відповідає витоку через отвір роз'єму живлення. Без цього отвору емісія на 20 дБмкВ/м менше.

3.3 Розрахунок електромагнітних полів кабелів

Крім забезпечення низького рівня емісії перешкод, важливо приділяти увагу тому, щоб зовнішні поля не впливали на пристрій. Кабелі, відіграючи роль антен, – одна з поширених причин проблем, пов'язаних зі взаємним впливом зовнішніх полів RFID-пристроїв на їх роботу.

Існує безліч підходів для моделювання кабелів: електростатичний підхід, повнохвильове моделювання, та спеціалізоване моделювання кабелів з використанням модуля CST CABLE STUDIO. Кожен з методів має свої переваги і недоліки, основні особливості цих методів наведені в табл. 3.1.

Зчитувач інформації включає в себе порт USB; пакет CST STUDIO дозволяє змоделювати екранований USB кабель (Рис. 3.6). USB кабель складається з дроти живлення 5 В, дроти заземлення і витої пари – набору сигнальних проводів. Кожен окремий провід може бути менше міліметра в діаметрі, при високих частотах на вигинах кабелів виникає складне електромагнітне поле. При проведенні повнохвильового моделювання такої системи буде потрібно неймовірно високий розділ сітки розбиття, що може негативно вплинути на час моделювання.

Таблиця 3.1 Методи моделювання кабелів

Електростатичне моделювання	Електростатичне моделювання може бути використано для розрахунку вкладу індуктивності і ємності в опір лінії. Такий підхід є швидким, але забезпечує достатню точність тільки при розрахунку на постійному струмі.
Повнохвильове моделювання	Повнохвильове 3D моделювання дозволяє моделювати низькочастотні ефекти, дисперсію сигналів при їх поширенні по лінії. Цей підхід є дуже точним для широкосмугових сигналів, але є більш повільним, ніж спеціалізоване моделювання кабелів.
Спеціалізоване моделювання кабелів	Моделювання здійснюється шляхом пошуку двовимірного поля в поперечному перерізі кабелю, метод застосовується для імітації розповсюдження поля уздовж лінії. Цей підхід є точним і ефективним.

Для вирішення цієї проблеми може бути застосований модуль CST CABLE STUDIO. Кабель може бути розділений на сегменти, кожний з яких має постійний поперечний переріз. Рішення електромагнітного поля в двовимірній площині може бути використано для визначення електричних властивостей для кожного сегмента кабелю.

Всі відповідні характеристики кабелю можуть бути враховані, в тому числі період скручування жил крученої пари, товщина і діелектрична проникність діелектриків і екранів.

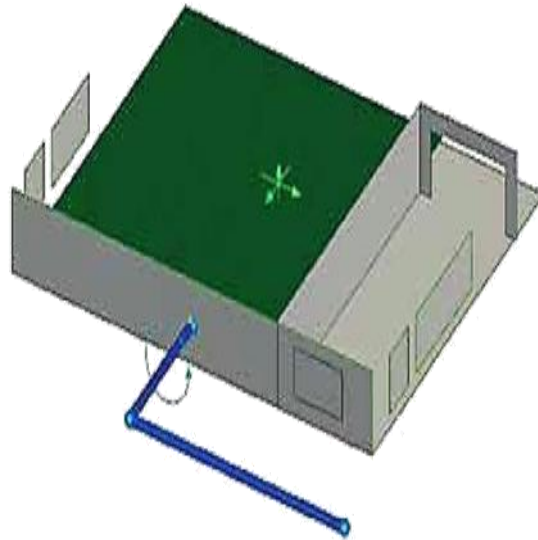


Рисунок 3.6 – Спрощена модель зчитувача інформації з кабелем

На Рис. 3.7 показано розподіл електричного поля в пристрої при наявності з'єднання екрану кабелю до шасі і при його відсутності. Для імітації опромінення моделі маршрутизатора використовувалася плоска хвиля.

З результатів моделювання в CST STUDIO витікає, що приєднання екрану кабелю до корпусу має вирішальне значення з точки зору чутливості пристрою до перешкод. На етапі проектування необхідно переконатися, що це сполучення зроблено коректно, цей зв'язок не повинен погіршуватися протягом терміну служби пристрою, ефекти викликані старінням можуть істотно збільшити сприйнятливість пристрою до зовнішніх перешкод.

Підсумовуючи результати розділу, можна сказати наступне. Моделювання може бути використано на будь-якому етапі процесу проектування автомобільних безконтактних датчиків. Використання CST STUDIO SUITE дозволяє досліджувати широкий спектр характеристик EMC пристрою перед проведенням вимірювання прототипу.

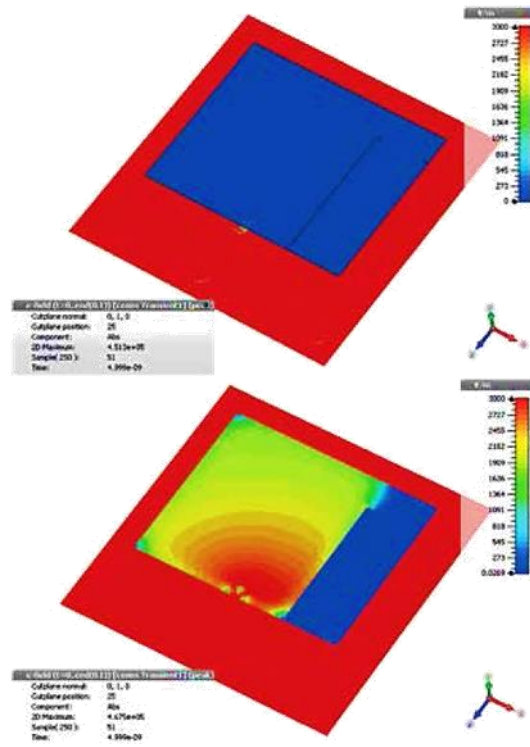


Рисунок 3.7 – Графічне зображення розподілу електричного поля в пристрої при наявності з'єднання між екраном кабелю і шасі (вгорі) і при відсутності з'єднання (внизу)

4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ПРИСТРОЇВ БЕЗКОНТАКТНОЇ СИСТЕМИ ТИСКУ В АВТОМОБІЛЬНИХ ШИНАХ

Проектування друкованих плат вироблялося з використанням пакету автоматизованого проектування PCAD 2000.

Пакет САПР PCAD 2000 містить в своєму складі три основні програми:

- схемний графічний редактор Schematic;
- технологічний графічний редактор PCAD PCB;
- адміністратор бібліотек Library Executive.

Вище перераховані програми працюють під управлінням Windows і викликаються в діалоговому вікні PCAD за допомогою активації (подвійного натискання клавішею миші) іконки обраної програми.

Для розробки друкованої плати в САПР PCAD необхідно виконати наступні етапи:

- створення файлу бібліотеки компонентів проектованого пристрою (при відсутності таких в стандартних бібліотеках);
- створити і відредагувати схему принципову проектованого пристрою;
- створити файл з'єднань елементів;
- провести компоновку схеми в редакторі PCAD PCB;
- виконати трасування друкованої плати, попередньо поставивши параметри трасування.

Схема принципова створюється в програмі Schematic. Файли з принциповими схемами необхідні для створення списку з'єднань і мають розширення sch. Вид робочого вікна програми наведений на Рис. 4.1.

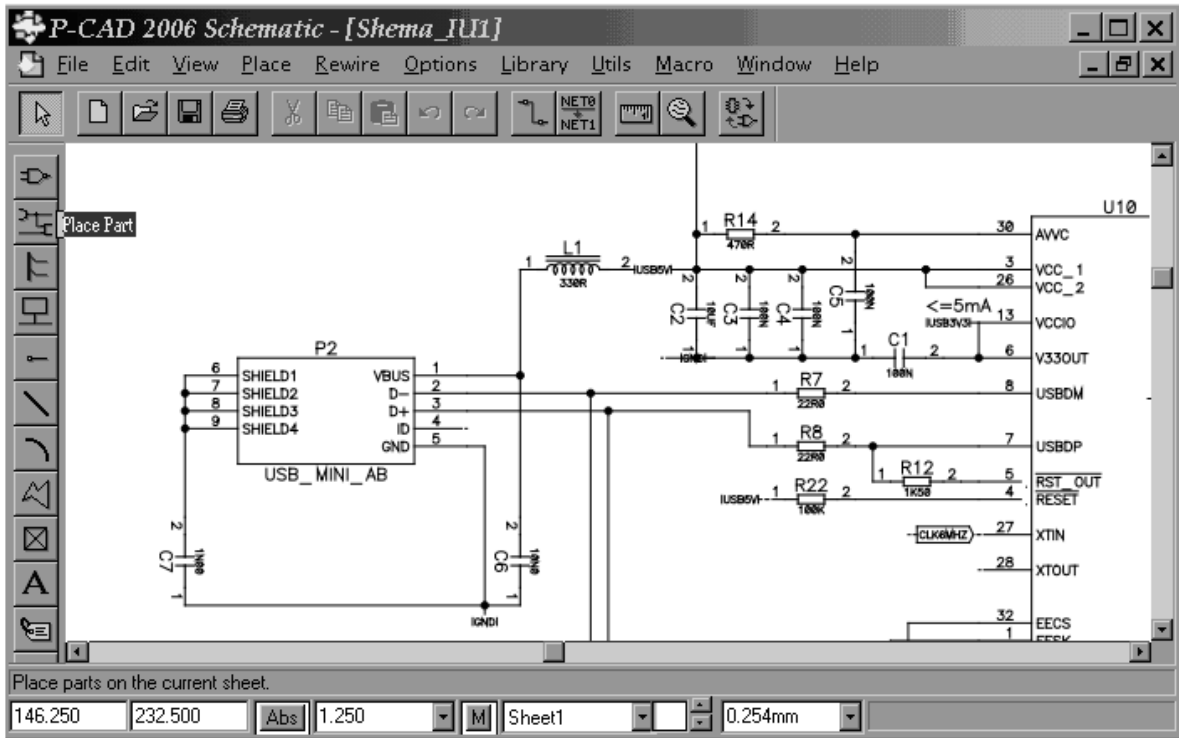


Рисунок 4.1 – Вікно програми P-CAD Schematic

Для створення схеми необхідно виконати наступні етапи:

- підключити бібліотеки компонентів розроблюваного устрою (для цього необхідно вибрати команду P-CAD Schematic \ Library \ Add і в діалоговому вікні вибрати відповідну бібліотеку);
- перенести зображення елементів схеми на робоче поле вікна P-CAD Schematic (це можна зробити двома шляхами або скориставшись кнопкою швидкого доступу PlasePart знаходиться зліва в панелі швидких кнопок або за допомогою команди P-CAD Schematic \ Plase \ Part і у вікні вибрати ім'я компонента);
- створити між елементне з'єднання (з'єднання між елементами проводять фіксуванням курсору на виводах елементів);
- зберегти файл схеми командою P-CAD Schematic \ File \ Save;
- створити файл з'єднань елементів командою P-CAD Schematic \ Utils \ Generate NetList.

Компонування і створення друкованої плати здійснюється в програмі

P-CAD PCB. Вид робочого вікна програми P-CAD наведено на Рис. 4.2.

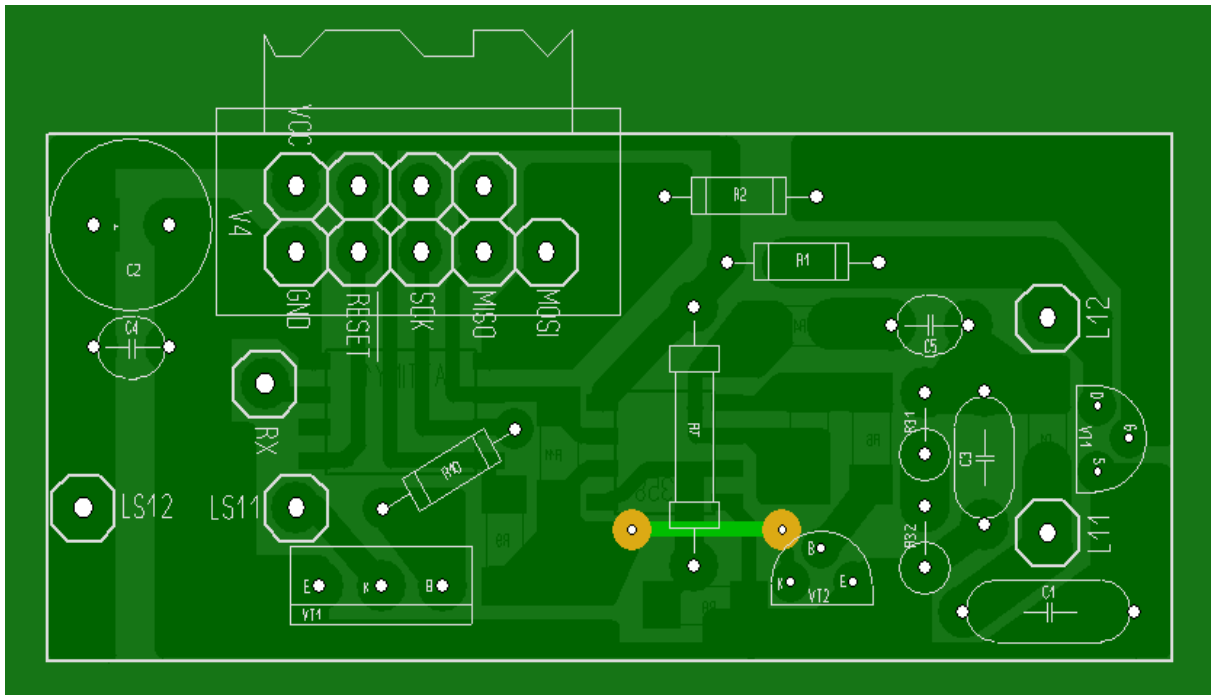


Рисунок 4.2 – Друкована плата rfid зчитувача

Для виконання друкованої плати необхідно виконати наступні етапи:

- підключити бібліотеки компонентів пристрою командою P-CAD PCB \ Library \ Setup (в діалоговому вікні вибрати відповідну бібліотеку і натиснути кнопку ОК).

Для проведення

- провести настройку шарів трасування (вибрати доступні для проведення трас) командою P-CAD PCB \ Options \ Layers;
- позначити контури плати (для цього вибрати шар Board на нижній панелі P-CAD PCB;
- розташувати елементи (дана операція може проводитися вручну або за допомогою настройки програми оптимізації розташування елементів, яка налаштовується командою P-CAD PCB \ Place \ Autoplacement);

- виконати трасування (дана операція може проводитися вручну або за допомогою програми автоматичного трасування яка налаштовується командою P-CAD PCB \ Route \ Autorouters). Робоче вікно програми P-CAD PCB з виконаної трасуванням;
- зберегти файл трасування;
- на заключному етапі отримати файл свердлування, файл розташування і перелік елементів, креслення необхідний для виготовлення фотошаблону Рис. 4.3 та інша необхідна при виробництві друкованих плат конструкторська і монтажна документація.

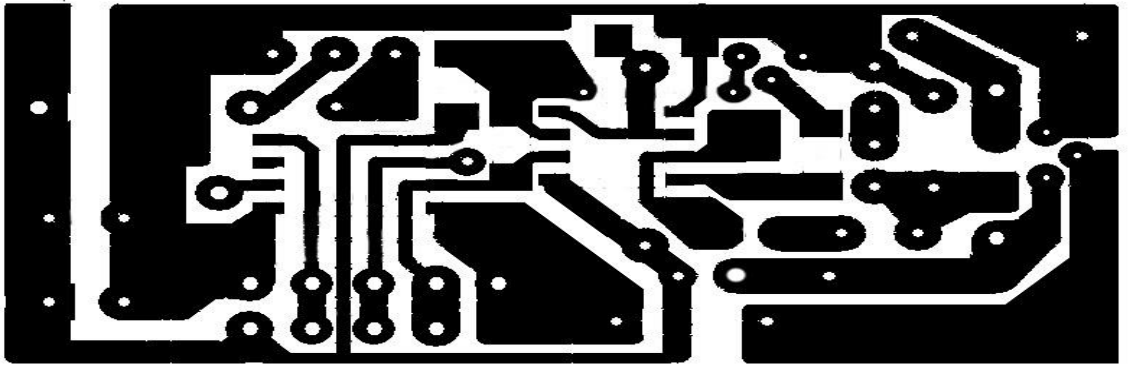


Рисунок 4.3 – Розведення друкованої плати

ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи було розглянуто види систем безконтактних датчиків тиску автомобілів, які допомагають водієві стежити за станом його коліс в русі. Розглянули принцип роботи прямої підкачки шин.

Так само мною було запропонована розробка бюджетної системи тиску в шинах на основі RFID технологій.

У процесі дослідження було використано датчик тиску, принцип системи RFID зі зчитувачем.

В роботі було розроблена структурна схема електрична та принципова.

Перевага даної системи в тому, що вона універсальна та підходить до будь-якого диску, її можна зібрати самому, вартість такої системи не дорожче ніж вартість її аналогів.

ПРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Абрамов А.М. Системи управління доступом, 1998. - 190 с.
2. Ворона В.А., Тихонов В.А. Системи контролю і управління доступом, 2010. -272 с.
3. Caloyannides M.A. Privacy Protection and Computer Forensics, 2004. -366 p.
4. Томас Мауфер. WLAN: практичне керівництво для адміністраторів і професійних користувачів, 2010. - 308 с.
5. Джим Гейер. Бездротові мережі. Перший крок, 2005. - 198 с.
6. Джек Маккалоу. Секрети бездротових технологій, 2008. - 200 с.
7. Кузнецов М.А. Сучасні технології та стандарти рухомого зв'язку, 2011. - 188 с.
8. Майкл Уенстром. Організація захисту мереж Cisco, 2003. - 216 с.
9. Набоких В.А. Діагностика електрообладнання, 2013 - 208с.
10. Горбунов А.О. RFID-технології у виробництві // Журнал «ИСУП», 2012. Вип. №4. стор. 8-9.
11. Федоров М. Технологія RFID. Досвід використання і перспективні напрямки // Журнал «Компоненти і технології», 2013. Вип. №9. стор. 6
12. Дшхунян В.Л., Шаньгина В.Ф. Електронна ідентифікація. Безконтактні електронні ідентифікатори та смарт-карти, 2013. - 154 с.
13. Технології радіочастотної ідентифікації (RFID) / П.С. Складярова та ін. // Бібліотечний вісник. 2009. № 5. С. 46. URL: <http://www.bitlite.ru> (дата звернення: 04.11.19).