МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
ФІЗИКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр
«Експериментальне і теоретичне дослідження магнітного поля біфілярних котушок індуктивності»

Виконав: студент 2 курсу, групи НФ-61
Пугач Владислав Юрійович
Спеціальність
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма:
Прикладна фізика нетрадиційної енергетики
Керівник:
Доцент, кандидат фіз.-мат. наук,
Кудрявцев Ігор Миколайович
Рецензент:
Заступник директора Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,
член-кореспондент НАН України
Костіков Андрій Олегович

Харків – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Інститут Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність «Прикладна фізика та наноматеріали»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

____Віктор ТКАЧЕНКО
підпис , ініціали, прізвище

"____"_____20___року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Пугачу Владиславу Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи «Експериментальне і теоретичне дослідження магнітного поля біфілярних котушок індуктивності»

керівник роботи Кудрявцев Ігор Миколайович, канд. фіз.-мат. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від "___"_____20__ року №___

2. Строк подання студентом роботи_____

3. Перелік питань, які потрібно розробити
навести огляд найбільш актуальних задач, пов'язаних з експериментальним і теоретичним дослідженням магнітного поля біфілярних котушок індуктивності, розробити принципову схему експериментального стенду, підібрати необхідні електронні комплектуючі та контрольно-вимірювальну апаратуру, скласти стенд з урахуванням можливості гнучкої перебудови робочої схеми, випробувати експериментальний стенд та оптимізувати конструктивну схему, провести дослідження магнітного поля різних видів

біфілярних котушок індуктивності, отримати результати досліджень і по ним побудувати графіки.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1.	Аналіз науково-технічної літератури з даної тематики
2.	Аналіз основних досягнень в галузі дослідження біфілярних котушок індуктивності к теперішньому часу і основні напрями можливого використання отриманих результатів
3.	Аналіз їх застосування в сучасній електроніці
4.	Розробка оригінального експериментального стенду, за допомогою якого була виконана основна робота та основні результати виконання даної дипломної роботи.

5. Дата видачі завдання_____

Студент _____ **Пугач В.Ю**
підпис ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ **Кудрявцев І.М.**
підпис ініціали, прізвище

Реферат

Ця дипломна робота містить 46 сторінок, 33 рисунка, 3 джерела інформації.

У вступі сформульовані цілі і завдання роботи, вказані способи вивчення представленої теми, а також описані актуальність даної тематики і основні напрями можливого використання отриманих результатів.

У першому розділі була проаналізована науково-технічна література з даної тематики, а також розглянуті основні досягнення в галузі дослідження біфілярних котушок індуктивності к теперішньому часу, також був проведено аналіз їх застосування в сучасній електроніці.

Другий розділ присвячений розробці оригінального експериментального стенду, за допомогою якого була виконана основна робота. Дана глава закінчується результатами експериментальних досліджень. Висновки містять основні результати виконання даної дипломної роботи.

Реферат

Данная дипломная работа содержит 47 страниц, 33 рисунка, 3 источника информации.

Во введении сформулированы цели и задачи работы, указанные способы изучения представленной темы, а также описаны актуальность данной тематики и основные направления возможного использования полученных результатов.

В первой главе была проанализирована научно-техническая литература по данной тематике, а также рассмотрены основные достижения в области исследования бифилярной катушек индуктивности к настоящему времени, также был проведен анализ их применения в современной электронике.

Второй раздел посвящен разработке оригинального экспериментального стенда, с помощью которого была выполнена основная работа. Данная глава заканчивается результатам экспериментальных исследований. Выводы содержат основные результаты выполнения данной дипломной работы.

Essay

This thesis contains 47 pages, 33 figures, 3 sources of information.

The introduction formulates the goals and objectives of the work, indicates ways to study the topic, as well as describes the relevance of this topic and the main directions of possible use of the results.

The first section analyzed the scientific and technical literature on this topic, as well as considered the main achievements in the study of bifilar inductors to date, as well as an analysis of their application in modern electronics.

The second section is devoted to the development of the original experimental stand, with which the main work was performed. This chapter ends with the results of experimental research. Conclusions contain the main results of this thesis.

ЗМІСТ

Вступ.....2

1. Аналіз науково - технічної літератури.....3

1.1 Основні теоретичні відомості.....3

1.2 Види котушок.....4

1.2.1 Соленоїд.....4

1.2.2 Біфілярна котушка Хупера.....5

1.2.3 Біфілярна котушка Тесла.....6

1.3 Патенти по індукційним пристроям.....8

1.3.1 Патент Хупера.....8

1.3.2 Патент Тесла.....14

1.3.3 Експеримент з плоскою спіральною котушкою.....16

1.4 Застосування біфілярних котушок в сучасній електроніці....28

2. Експериментальні дослідження.....32

2.1 Основні завдання і методи виконання проекту.....32

2.2 Розробка експериментальної установки.....33

Висновки.....46

Список літератури.....47

ВСТУП

Дана дипломна робота присвячена вивченню звичайних і плоских біфілярних котушок індуктивності. Розробка та створення експериментального стенду для дослідження магнітного поля плоских біфілярних котушок різного виду. А також аналізу отриманих теоретичних результатів.

Дана тема в сучасній фізиці є актуальною і відноситься до галузі альтернативної енергетики. Дана дипломна робота допоможе просунутися в розумінні таких процесів, як електрогравітації і неоднорідність магнітного поля.

Результати даної роботи можуть знайти практичне застосування як в галузі новітніх електричних альтернативних силових установок, так і щодо вдосконалення сучасних фундаментальних знать з електромагнітної теорії.

Дана тема дуже актуальна для науки. Тому для даного дипломного проекту було розроблено та виготовлено оригінальний експериментальний стенд, за допомогою якого і будуть отримані основні експериментальні результати.

1. Аналіз науково - технічної літератури
1.1 Основні теоретичні відомості

Загальновідомо, що навколо провідника з електричним струмом виникає магнітне поле, яке описується силовими лініями. Силовими лініями магнітного поля називаються лінії, дотичні до яких в кожній точці збігаються з напрямом вектора магнітної індукції. [1]

Їх властивості є загальними для будь-яких векторних полів, а саме: вони не перетинаються і не мають зламів. Найбільш наочним прикладом візуалізації силових ліній магнітного поля є їх вплив на дрібнодисперсний порошок заліза (рис. 1.1). [1]

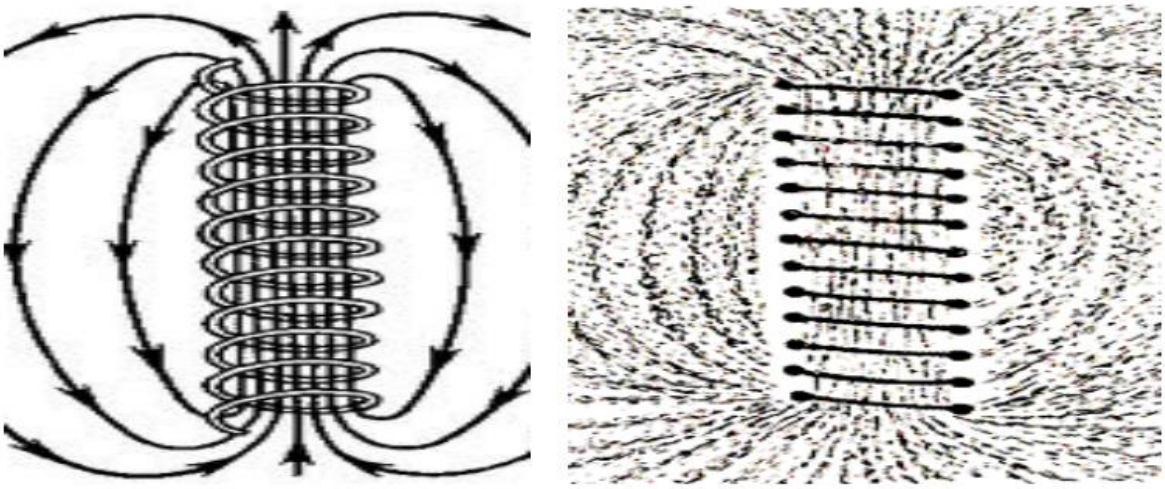


Рис.1.1 Візуалізація силових ліній магнітного поля (праворуч)

На малюнку показані силові лінії магнітного поля найпростішої конструкції, що складається з групи провідників з струмом. Ця конструкція, яка отримала назву «соленоїд», більш ста років застосовується в якості наочного посібника для показу структури силових ліній магнітного поля. [1]

Магнітне поле, як електричне, електромагнітне (сукупність магнітного та електричного) поля, є носієм, який дозволяє в певних умовах переміщати

інформацію в просторі зі швидкістю, близькою до швидкості поширення світла у вакуумі - 300000000 м / сек. [1]

1.2 Види котушок

1.2.1 Соленоїд

Прийнято вважати, що якщо розглядати конструкцію соленоїда, в якому виток до витка перша і наступні обмотки накладені (намотані) одна на іншу навколо його осьової лінії, то силові лінії магнітного поля мають вигляд, наведений вище. [1]

Якщо виготовити соленоїд, застосовуючи багаторядну намотування провідника способом «виток до витка», то ми отримаємо багатовитковому соленоїд - котушку. Також, прийнято вважати, що структура силових ліній магнітного поля в одній площині являє собою набір концентричних кіл, а в іншій площині - математичний символ «нескінченність». Така структура утворюється в результаті суперпозиції магнітних полів від кожного окремого провідника котушки з струмом (рис. 1.2). [1]

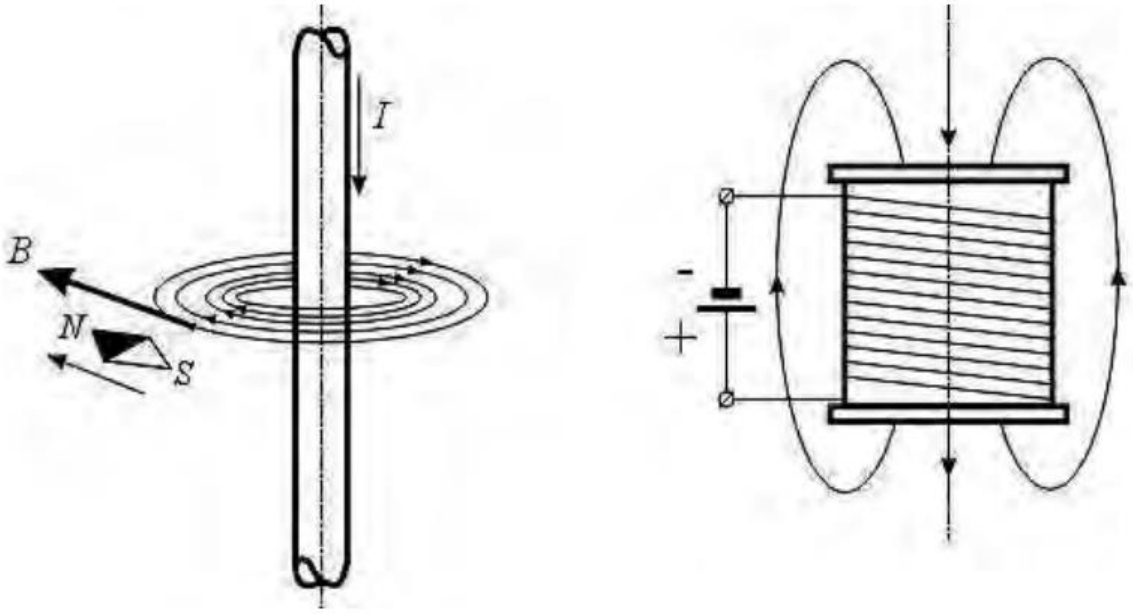


Рис.1.2. Вид силових ліній магнітного поля провідника і котушки з струмом

Такий же вигляд мають силові лінії магнітного поля соленоїда, в якому перша і наступні спіральні обмотки виток до витка накладені (намотані) одна на іншу. При цьому соленоїд складається ніби з набору плоских спіральних котушок. [1]

1.2.2 Біфілярна котушка Хупера

На Рис.3. показана неіндуктівна котушка в формі цілісного, низького, товстостінного, порожнього циліндра (60). Постійний струм, по проводах (62) надходить на котушку (60). В області прямо під котушкою Хупер розмістив такий же форми не феритовий диск (64), підтримуваний опорою (66) на кінці балки (68). Балка має точку опори (70) і збалансована з вантажем (72). При положенні диска (64) під котушкою (60) поле (B × v) може бути направлено тільки вертикально, коли постійний струм підключений і тече через котушку (60).

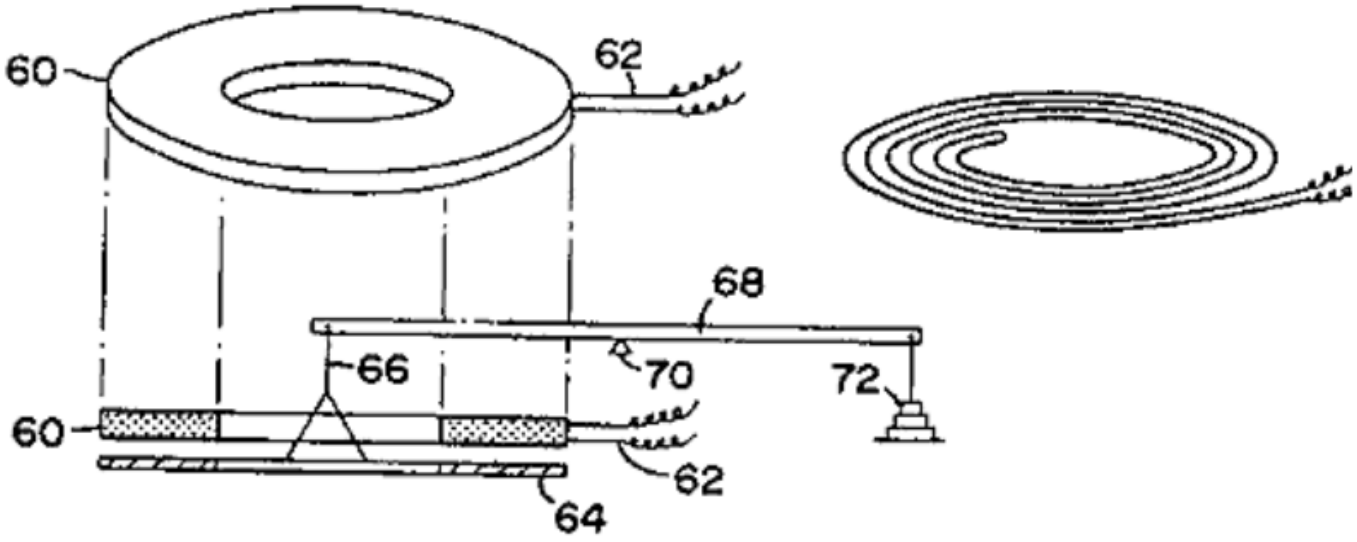


Рис.1.3. Неіндуктівна котушка Хупера і неіндуктівна обмотка

Також на Рис.1.3. показана як здійснюється неіндуктівна обмотка, один довгий, ізольований провід просто повертається назад в середній точці і намотується двічі утворюючи котушку зображеної форми.

1.2.3 Біфілярна котушка Тесла

Під терміном «котушки» Тесла увазі спіралі, соленоїди або, фактично, будь-який провідник різні частини якого, виходячи з вимог застосування або використання, були приведені в такі взаємовідносини один-з-іншому, які відчутно збільшують самоіндукції. [2]

Тесла виявив, що в будь-який котушці існує певна залежність між її самоіндукцією і ємністю, що дозволяє току даної частоти і напруги проходити через неї без опору понад оммического, або, іншими словами, як ніби вона не має ніякої самоіндукцією. Це відбувається завдяки взаємній залежності, що існує між особливим характером струму, самоіндукцією і ємністю котушки, останнім, кількісно може нейтралізувати самоіндукції на даній частоті. [2]

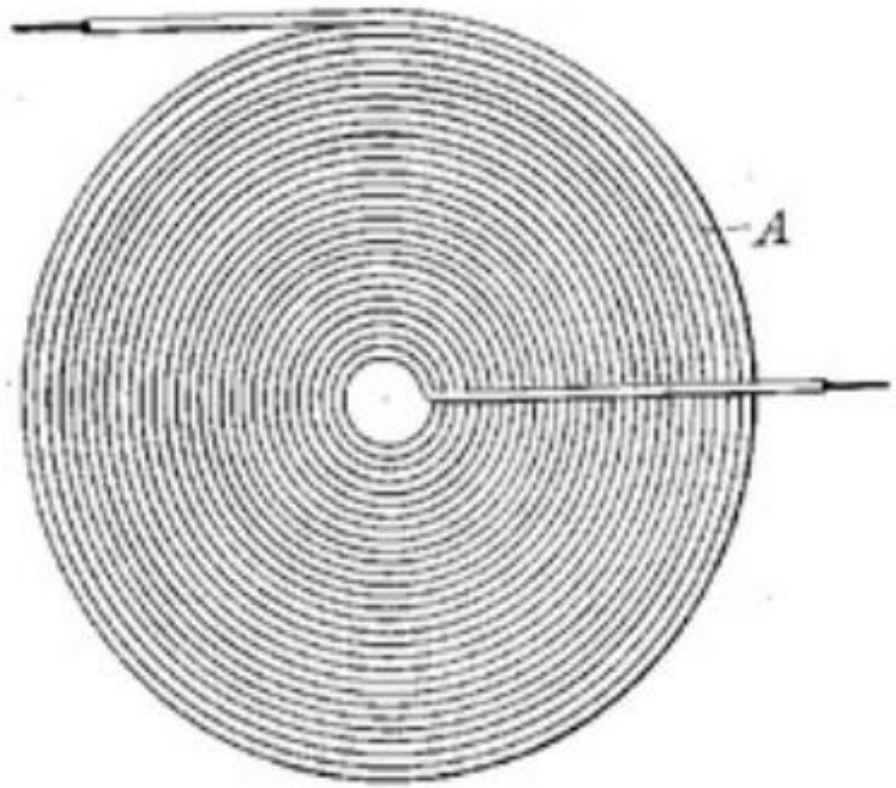


Рис.1.4. Схема котушки намотаною звичайним чином

Добре відомо, що чим вище частота або різниця потенціалів струму, тим менше ємність, необхідна для нейтралізації самоіндукції; отже, невелика ємність, яка присутня в будь-який котушці, тим не менш може бути достатньою для досягнення зазначеної мети якщо інші умови виконані. У звичайних котушках різниця потенціалів між сусідніми витками або частинами спіралі дуже мала, таким чином, як конденсатори, вони мають дуже маленькою ємністю і відношення між значеннями самоіндукції і ємності не досягає рівня, який задовольнив би розглядаються вимоги, так як ємність дуже мала в порівнянні з самоіндукцією. [2]

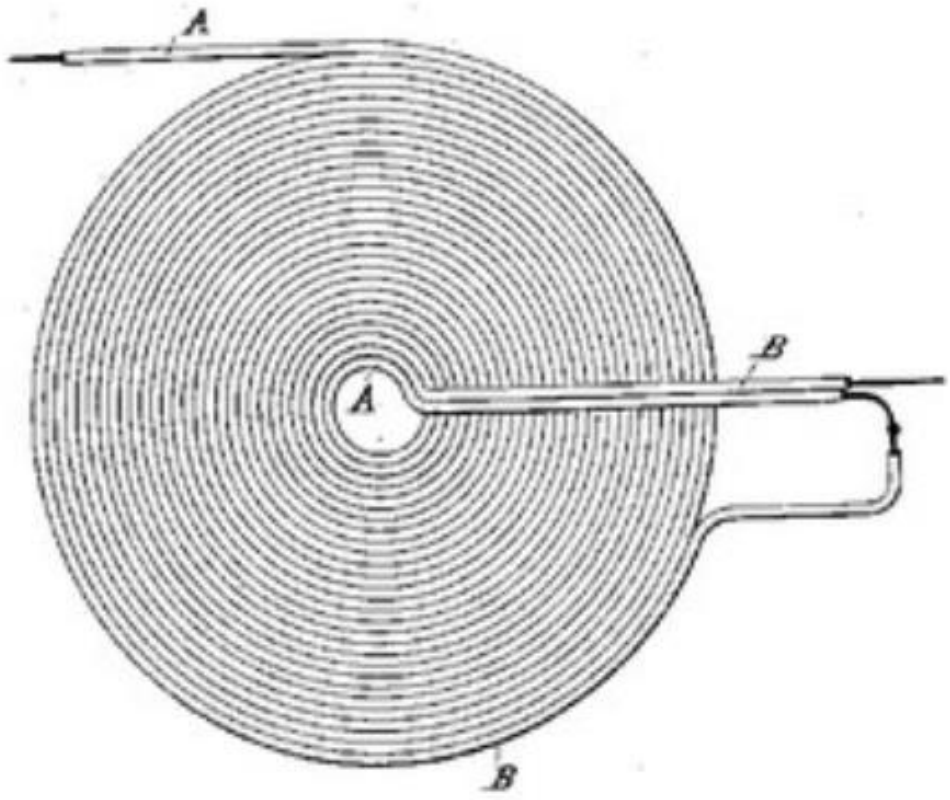


Рис.1.5. Схема способу намотування, яку придумав Тесла

Для того, щоб досягти мети і суттєво збільшити ємність будь-якої даної котушки, Тесла намотав її таким чином, щоб отримати більшу різницю потенціалів між сусідніми витками або вигинами, і, так як енергія, запасені в котушці, розглядаючи її як конденсатор, пропорційна квадрату різниці потенціалів сусідніх витків, очевидно, що Тесла таким чином отримав значно

більше збільшення ємності при тому ж збільшенні різниці потенціалів між витками. [2]

2.3 Патенти по індукційним пристроям

2.3.1 Патент Хупера

Цей винахід відноситься до електрогенераторного пристрою, що створює рухове електричне поле в просторі, що оточує цей пристрій, і не вимагає ніяких механічних переміщень частин цього пристрою в створенні цього поля. Теорія пояснює створення такого поля заснована на постулаті, що кожен електрон, що рухається, утворює струм в лінійному провіднику несе з собою хвилю магнітного поля. [3]

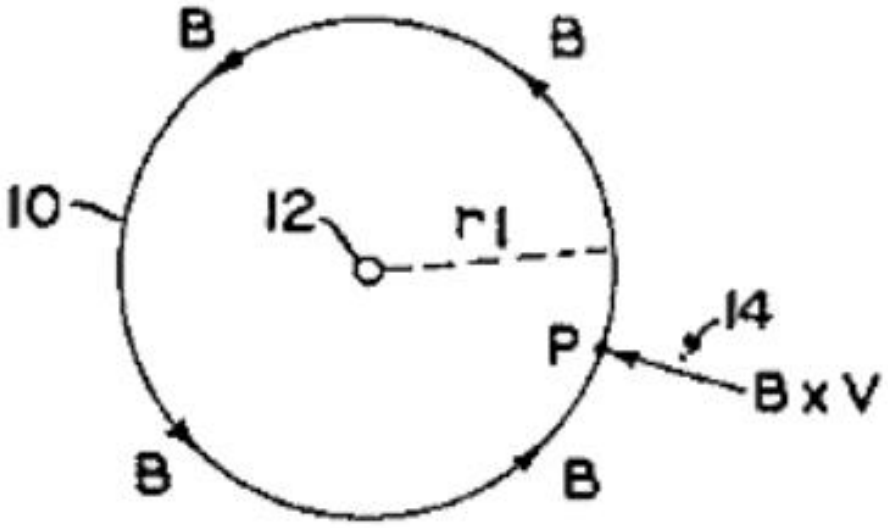


Рис.1.6. Схематична ілюстрація провідника зі струмом, що генерує магнітний потік.

Закон Біо-Савара говорить, що

$$\boldsymbol{B} = \frac{\boldsymbol{m_0 l}}{\boldsymbol{2\pi r}} \quad , (1)$$

где $\boldsymbol{B}$ - магн. поток (вебер\м^2),

$\boldsymbol{m_o} = \boldsymbol{4\pi \times 10^{17}}$ - (вебер\амп.метр),

$\boldsymbol{I}$ - ток (А).

Як зазначено на Рис.1.6 цей потік складається з концентричних хвиль спрямованих проти годинникової стрілки (стрілка 10) притому, що струм в провіднику (12) спрямований під прямим кутом до площини і в напрямку читача. [3]

Електрони створюють цей потік рухаються перпендикулярно до площини, на якій лежить папір зі швидкістю $\boldsymbol{v}$ (м \ сек). Тому в будь-якій точці $\boldsymbol{P}$ на відстані $\boldsymbol{r_1}$ від провідника (12) створюється рухове електричне поле щільністю $\boldsymbol{E = B \times v}$ (в \ м) спрямоване радіально всередину до проводу в площині аркуша паперу, як вказано стрілкою 14. [3]

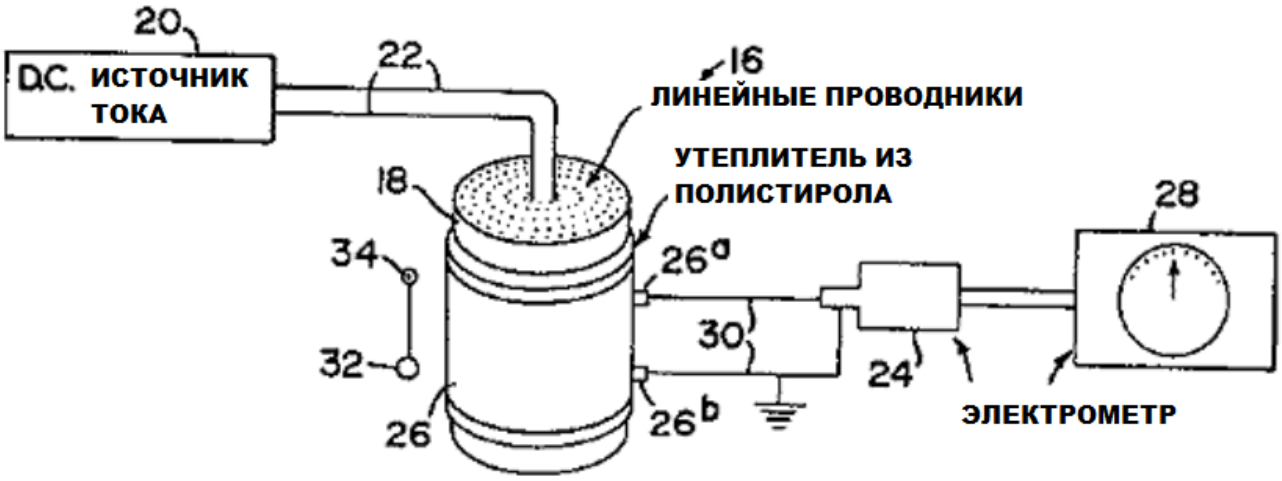


Рис.1.7. Схематичне зображення винаходу.

Варіант застосування винаходу зазначений на Рис.1.7, який складається з багатьох ізольованих паралельних провідників (номер 16), щільно упакованих та з'єднаних послідовно, так, що створюють блок (18) в

циліндричній формі. Коли постійний струм від джерела (20) тече через провідники (22) цього пристрою з віссю у вертикальному напрямку, то половина провідників (16) будуть мати потік струму вгору, а інша половина - вниз. Вийде неіндуктівний пристрій, тому що навколишній магнітний потік, утворений рухомим вгору струмом, буде накладеним і, таким чином, цей потік може бути заміряємо. [3]

Відповідно до відомим "Принципом складання полів", коли одне з них існує, а інше, на перший погляд, здається відсутнім. Коли пакет (18) провідників має циліндричне перетин, тоді будуть існувати дві системи кругообразно спрямованих магнітних полів, одна спрямований за годинниковою, інша проти годинникової стрілки. Але що найбільш важливо - кожна з цих систем росте в напрямках радіально і всередину, щоб їх рушійні магнітними полями, розподіленими в горизонтальній площині в просторі навколо циліндричного пристрою. [3]

Таким чином ми маємо поле, яке ні магнітне, ні електростатичне і, як я визначив експериментально, не залежить від електростатичного екрана. Ніяких подібних полів невідомо в фізиці на сьогоднішній день, крім гравітаційних. Хупер довів теоретично, що це поле може притягувати електрично нейтральну матерію і довів експериментально, що інтенсивність такого поля може бути заміряна за допомогою електрометричних систем (24, 28), що приводяться в дію різницею потенціалів виникає в провідниках (30), що з'єднують цю систему з конденсатором (26). Головка електрометрії (24) приводить в дію індикатор (28). [3]

При кріогенних температурах потік електронів в провіднику значно збільшується. Теоретичні розрахунки показують, що ця швидкість в міді при 20С становить 3.6x1012 (див \ сек) при щільності струму 480 (амп \ см2). Середня швидкість вільних електронів в провіднику теоретично становить 108 (см \ сек). При надпровідникових температурах, коли електроопір досягає

нуля, швидкість електронів досягає значення 1011 (див \ сек). Ця швидкість в 1010 разів більше ніж швидкість при 20С. [3]

Це показує, що інтенсивність $(\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{v})$ поля описаного пристрою може бути збільшена до 10^{10} разів при температурі близькій до абсолютного нуля. Тому винахід передбачає, що кожне з описаних пристроїв буде працювати при критичних температурах, при яких провідник стає суперпровідника. При сьогоднішніх технологіях доступні нові провідникові матеріали здатні працювати при температурах близько абсолютного нуля. [3]

Пристрій, описане на Рис.1.7, показує неможливим генерацію просторового розподілу електрополя до теперішнього часу, але є засобом для дослідження властивостей цього поля в зв'язку з його взаємовідносинами з феноменом електрогравітації. До того ж дозволяє, вперше, застосувати прямий експериментальний метод для визначення швидкості електронів в провідниках з різних матеріалів. [3]

Коли циліндричний конденсатор (26) заряджений ($\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{v}$) полем і його різниця потенціалів ($\boldsymbol{РП}$) визначається:

$$\boldsymbol{РП}_{(\text{вольт})} = \boldsymbol{B}\times\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{l}\ ,$$

де $\boldsymbol{l}$ - відстань між пластинами конденсатора.

Звідки $\boldsymbol{v} = \frac{\text{РП}}{\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{l}}$ (м/сек),

де $\boldsymbol{B}$ вимірюється в (вебер/м^2).

Це пристрій демонструє силу тяжіння електрично нейтральної матерії, яку краще назвати диференціальної силою, тобто результуючої силою між відштовхуванням і тяжінням. Поле B × v є електричним полем, чинним на всі елементарні заряди включаючи атоми матерії, електрони, протони, навіть нейтрони. Сила цього поля, будучи слабкою, що не іонізує атоми матерії, але будучи не схильною до екранування, поляризує їх. [3]

Це призводить до невеликого подовження орбіт деяких електронів в напрямку поля. Позитивні заряди рухаються в злегка більш інтенсивний район сходження радіально спрямованого поля, в той час, як негативні заряди рухаються злегка далі, в слабший район поля. Таким чином диференціальна сила між відштовхуванням і тяжінням діюча на складові атома приводить в результаті до поляризації атомів і виникнення цієї сили тяжіння, яка є, по-моєму, еквівалентній гравітації. [3]

Невеликий, електрично нейтральний, простий маятник (32) підвішений близько до однієї сторони мого пристрою (Рис.1.7) піддається невеликому, але помітного відхилення під дією сильного ($\boldsymbol{B} \times \boldsymbol{v}$) рухового електричного поля.

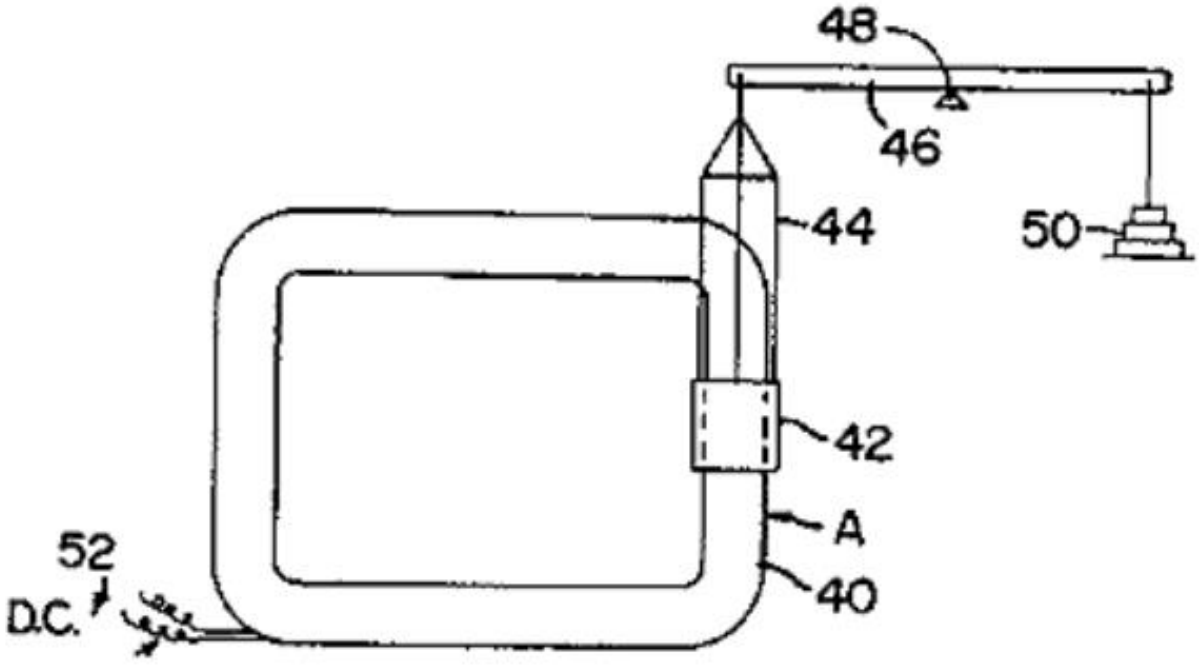


Рис.1.8. Схема модифікації генератора, зображеного на Рис.1.7

Завдяки модифікації генератора, як показано на Рис.1.3 і 1.8, стали можливими різні методи для вивчення феномена електрогравітації.

На Рис.1.7 показана прямокутна котушка (40), зроблена з одиночного дроти, багато разів проходить через конфігурацію, що утворить велику ногу (***A***), переважно круглого перетину. Необхідна умова - витки повинні бути паралельні і щільно намотані. Одна нога котушки (цил. Гільза 42), зроблена з

електрично нейтрального проведеного або НЕ проведеного матеріалу підвішена на рамі (44) і має на одному кінці чутливий балансир (46). [3]

Балансир спирається на підтримку (48) і нагружен вантажем (50) для врівноваження ваги гільзи (42). Коли досить сильний постійний струм (I) проходить по лініях (52) і через котушку, магнітний потік, щільністю (***B***) утворюється в області циліндричного ваги, чиї стінки є відстанню ***r*** від центральної осі котушки.

$$\boldsymbol{B = \frac{m_0 nl}{2\pi r}}$$ (вебер/м^2), (4)

де ***n*** - число витків.

Якщо струм несподівано відключиться, магнітний потік припиниться. Цей потік протягом всього процесу відмови перетинає стінки підвішеного циліндра з спрямованої горизонтально і всередину швидкістю ***v*** (м / сек). Це створює пристойне рухове вертикальне електричне поле ***(B × v)*** в стінках циліндра, спрямоване вгору або вниз, в залежності від напрямку струму в котушці. У цьому пристрої рухове вертикальне електричне поле ***(B × v)*** не є збіжним, але формується вертикально, тому притягання і відштовхування атомів циліндра буде однаковим. [3]

Іншими словами, дія цього поля або збільшить або зменшить стан, вже існуючої за допомогою земної гравітації, поляризації всередині циліндра. Якщо поляризація збільшиться, тоді гравітаційне тяжіння земного поля буде більше. Якщо поляризація зменшиться, тоді вага циліндра буде менше. Цілком ймовірно, що поляризація може бути зменшена до нуля. У цьому випадку об'єкт буде невагомий. Якщо інтенсивність де-поляризації поля ***(B × v)*** буде збільшуватися, тоді виникне поляризація вироблена земним полем в протилежному напрямку. В цьому випадку земне тяжіння на циліндр буде діяти відштовхуюче. І це буде електрогравітації в чистому вигляді. [3]

2.3.2 Патент Тесла

В електромеханічних апаратах і системах змінного струму самоіндукціоние котушки або провідники можуть у багатьох випадках працювати з втратами, що відомо, як промислова ефективність, і що приносить шкоду в різних аспектах. Ефект самоіндукції згаданий вище, може бути нейтралізований ємністю струму певною мірою відповідно до самоіндуктівностью і частотою струму. Це досягається використанням конденсаторів, зібраних і застосовуваних як окремий інструмент. [2]

Винахід Тесла має на меті виготовити котушки досконалими і уникнути залучення конденсаторів, які дорогі, громіздкі і труднорегуліруємий. Грубо кажучи, що якщо дуже сильно підвищити ємність котушки, то для даної частоти струму, знижується опір в витках і ефект самоіндукції стрімко падає. [2]

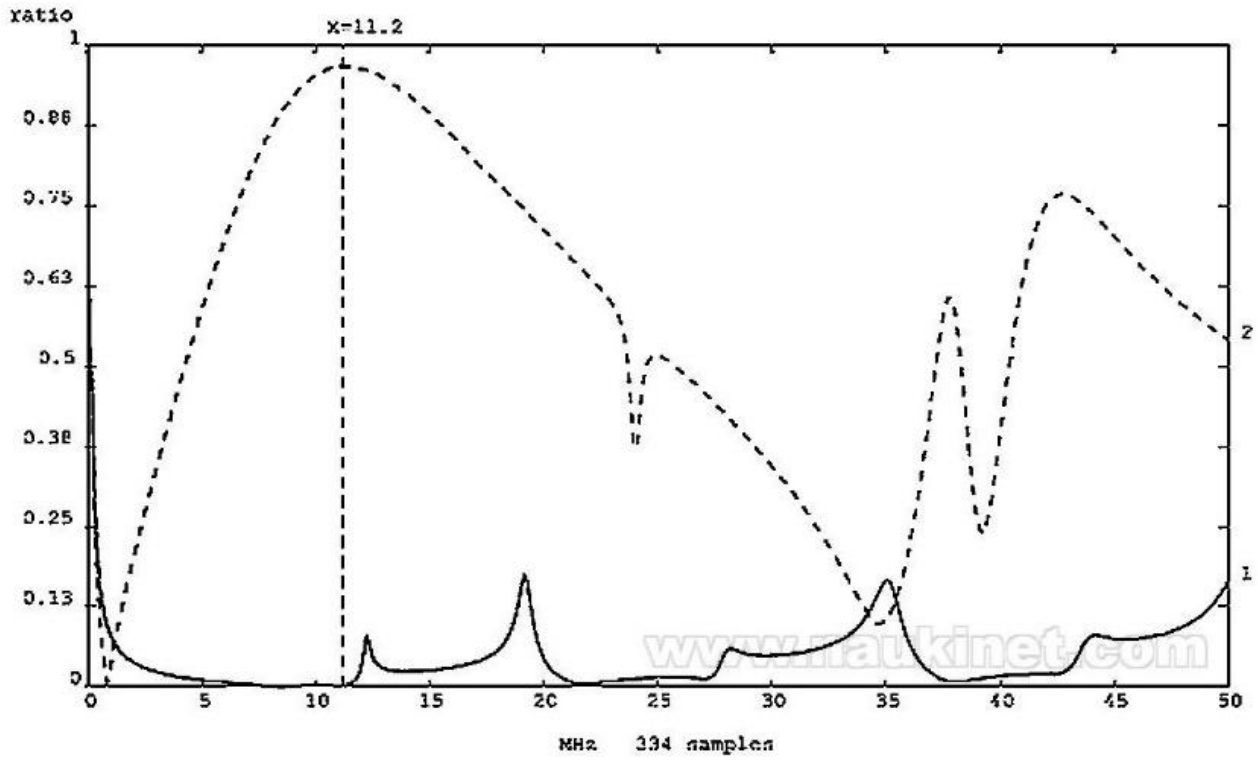


Рис.1.9. Тут на малюнку: верхня крива, - це величина, що запасається енергії в біфілярного котушці Тесли, а нижня крива, - величина енергії в звичайній плоскій котушці, намотаною в один провід.

Також ці котушки розроблялися Теслой виключно для умов резонансу (послідовний LC - контур, резонанс напруг). В резонансі на кінцях індуктивності (котушки) з'являється потенціал набагато потужніший, ніж зовнішній керуючий сигнал контуру (подається напруга). Але зняти безпосередньо його від туди не можна. При підключенні навантаження співвідношення L і C резонансного контуру порушується (зменшується індуктивність і система виходить з резонансу. [2]

На Рис. 4 зображена звичайна котушка спіралей або витків, з яких вона намотана і які ізольовані один від одного. Припустимо, що кінці цієї котушки показують різницю потенціалів 100 В і що вона міститься 1000 витків. Тоді очевидно, що існує різниця потенціалів в одну десяту вольта між двома будь-якими суміжними точками на сусідніх витках. [2]

Якщо тепер, як показано на Рис.5, провідник -в- намотаний паралельно провіднику а- і ізольований від нього, а кінець-а- буде з'єднаний з початком провідника -в-, тоді довжина зібраних разом провідників буде така ж і число витків те ж саме (1000). І тоді різниця потенціалів між двома будь-якими точками провідників а- і -в- буде 50 В, а тому ємнісний ефект пропорційний квадрату цієї різниці, то енергія скупчилася в котушці буде тепер в 250000 разів більше. [2]

Дотримуючись цього принципу тепер можна намотати будь-яку кількість котушок, не тільки описаним вище шляхом, але будь-яким іншим відомим способом але так, щоб забезпечити таку різницю потенціалів між сусідніми витками, яка забезпечить необхідну ємність щоб нейтралізувати самоіндукції для будь-якого струму, який може мати місце. [2]

Ємність отримана таким чином має додаткову перевагу в тому, що розподіляється рівномірно, що є найбільш важливим в більшості випадків. І як результат, обидва параметри, - ефективність і економія, легше досягаються

тоді, якщо розмір котушок, різниця потенціалів і частота струму збільшуються. [2]

1.3.3 Експеримент з плоскою спіральною котушкой

Розглянемо відміну виявленої нової структури силових ліній магнітного поля від загальноприйнятого виду структури (Рис.1.10), що вважається класичним. Як приклад така структура силових ліній магнітного поля опублікована в роботах академіка Володимира Федоровича Уткіна - генерального конструктора КБ «Південне» (Україна), який досконально вивчав праці Ніколи Тесла з метою їх застосування в області ракетно-космічної техніки. Для наочності покажемо повний вид загальновідомою структури силових ліній магнітного поля відповідно до загальноприйнятих вимог класичної фізики магнетизму (Рис.1.11). [1]

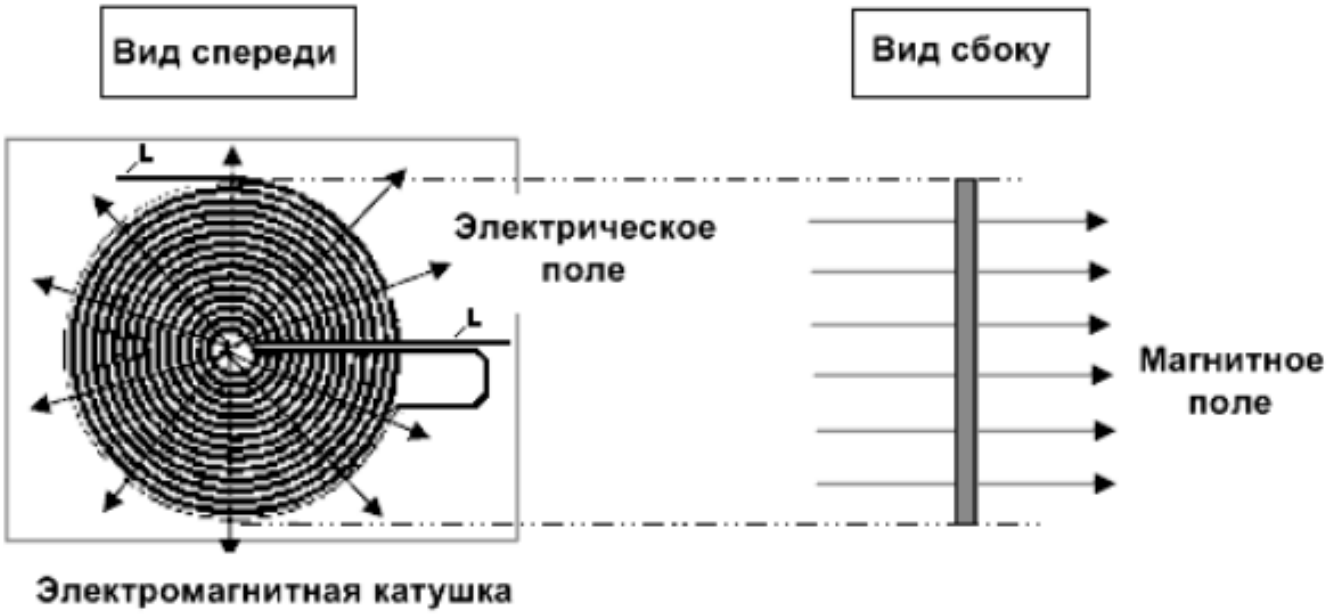


Рис.1.10. Загальноприйнята структура силових ліній магнітного поля в зоні, що примикає до витків плоскої спіральної котушки

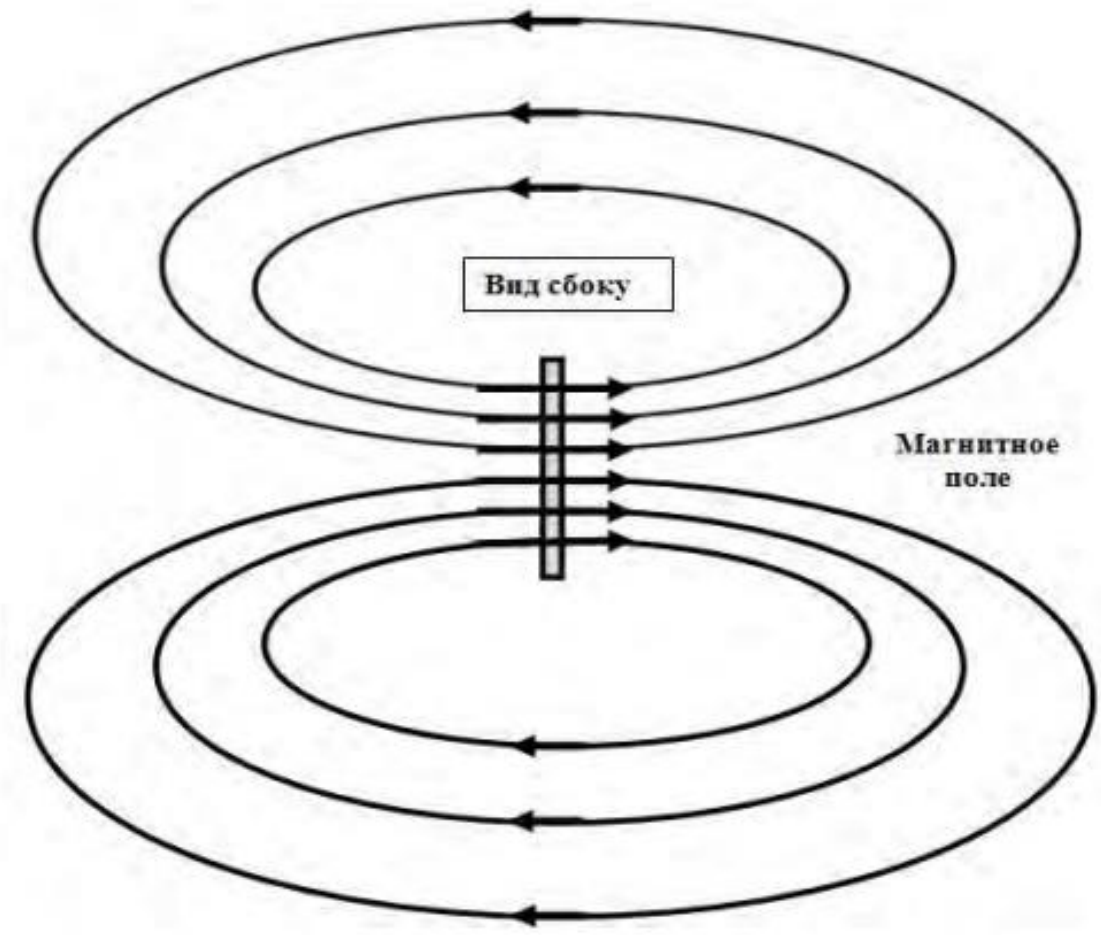


Рис.1.11. Загальноприйнята структура силових ліній магнітного поля в ближній зоні (зоні витків) плоскою спіральної котушки і за її межами

Об'єкт дослідження, структура магнітного поля плоскої котушки виконаної у вигляді спіралі, може бути представлена суперпозицією полів концентричних окремих дискретних витків, діаметр яких змінюється відповідно до кроку спіралі. У свою чергу, виток складається з нескінченно малих окремих прямолінійних ділянок. При цьому магнітне поле кожного витка обчислюється як суперпозиція полів складових його дискретних ділянок (ДУ), а точність результатів моделювання пропорційна їх кількості. [1]

Чисельне рішення побудованої таким чином математичної моделі дозволяє отримати значення індукції магнітного поля складної конфігурації провідників в будь-якій точці простору. Практична реалізація розробленої моделі для плоскої котушки включає такі етапи. [1]

А. Обчислення магнітної індукції поля ДУ в будь-якій точці простору (ТП) за законом Біо - Савара - Лапласа:

$$\Delta \boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\left(\frac{\Delta \boldsymbol{L} \times \boldsymbol{r}}{\boldsymbol{r}^3}\right), \quad (1)$$

де $\Delta \boldsymbol{L} = \left(\Delta L_x; \Delta L_y; \Delta L_z\right)$ - дискретна ділянка;

$\boldsymbol{r} = \left(r_x; r_y; r_z\right)$ – досліджувана точка.

Якщо векторний добуток $\boldsymbol{\Delta L \times r}$ позначити через допоміжний вектор $\boldsymbol{k}$ ($\boldsymbol{k} = \boldsymbol{\Delta L \times r}$), то, згідно з Рис. 12, з урахуванням формул (2), слід вираження (3) і (4):

$$\Delta L_x = \Delta L \cos\alpha;$$
$$\Delta L_y = \Delta L \sin\alpha \cos\gamma; \quad (2)$$
$$\Delta L_z = \Delta L \sin\alpha \cos\gamma;$$

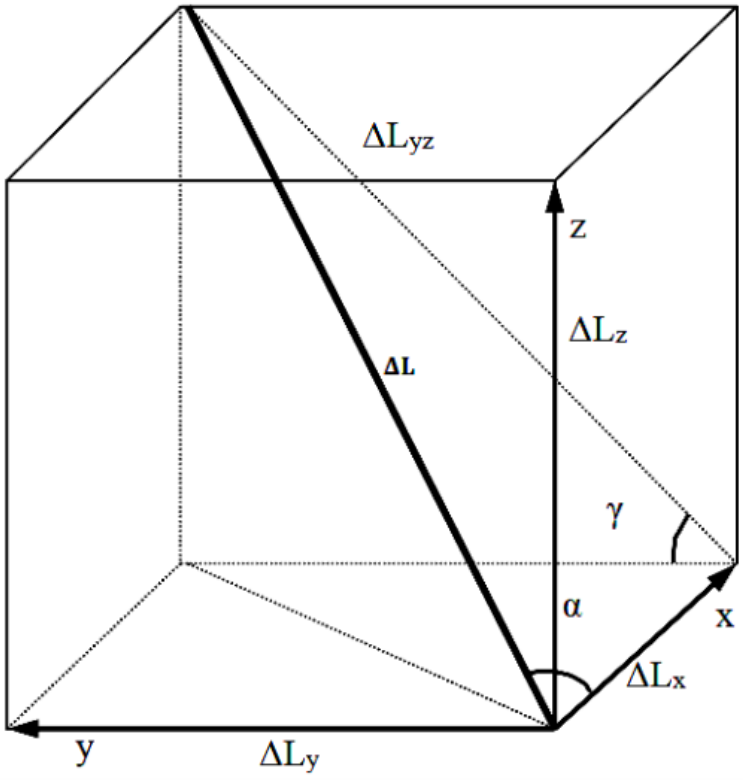


Рис.1.12. Визначення орієнтації ДУ

$$|\mathbf{k}| = |\Delta\mathbf{L} \times \mathbf{r}| = \sqrt{\mathrm{k_x^2} + \mathrm{k_y^2} + \mathrm{k_z^2}};$$

$$\mathrm{k_x} = \begin{vmatrix} \Delta L_y & \Delta L_z \\ r_y & r_z \end{vmatrix} = \Delta L_y r_z - r_y \Delta L_z;$$

$$\mathrm{k_y} = \begin{vmatrix} \Delta L_z & \Delta L_x \\ r_z & r_x \end{vmatrix} = \Delta L_z r_x - r_z \Delta L_x; \qquad (3)$$

$$\mathrm{k_z} = \begin{vmatrix} \Delta L_x & \Delta L_y \\ r_x & r_y \end{vmatrix} = \Delta L_x r_y - r_x \Delta L_y;$$

$$|\mathbf{r}| = \sqrt{\mathrm{r_x^2} + \mathrm{r_y^2} + \mathrm{r_z^2}};$$

$$r_x = x_i - x;$$

$$r_y = y_i - y; \qquad (4)$$

$$r_z = z_i - z;$$

де (x_i , y_i , z_i) – координати ДУ; (x, y, z) – координати довільної точки простору.

Б. Обчислення магнітного поля витка

Для цього необхідний послідовний розрахунок впливу всіх ділянок з урахуванням їх просторового місцезнаходження та лінійних розмірів проекцій ділянок.

Для спрощення обчислення виток розміщується в одній з площин простору (площини x-y) (рис.1.13).

Тоді проекції ДУ визначаються таким чином:

$$\Delta L_{xi} = \Delta L \cdot sin\alpha; \qquad x_i = R \cdot cos\beta;$$

$$\Delta L_{yi} = \Delta L \cdot cos\alpha; \qquad y_i = R \cdot sin\beta; \qquad (5)$$

$$\Delta L_{zi} = 0; \qquad z_i = 0;$$

де $i = 1 \dots N$; $\beta = 0 \dots 360°$ с шагом $2\pi/N$; $\Delta L = 2\pi R/N$;

N - кількість ділянок витка (визначає точність розрахунків); R - радіус витка.

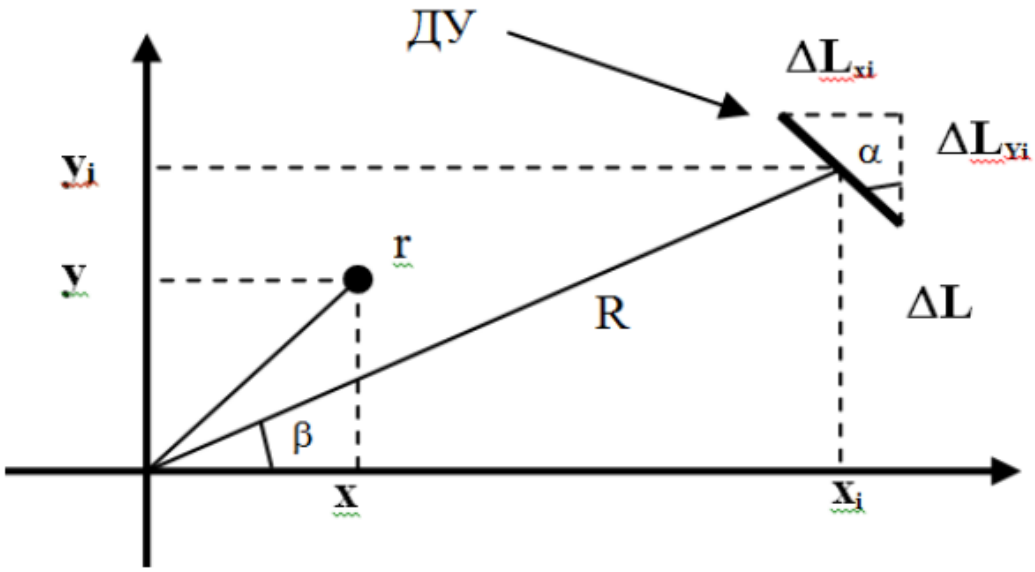


Рис.1.13. Прямолінійний дискретний ділянку

Результатом цих дій є значення магнітної індукції -BR, створеної всіма ділянками витка.

В. Обчислення загальної магнітної індукції в ТП:

Здійснюється за принципом суперпозиції індукції витків, що створюють спіраль:

$$B_{полн} = B_{R1} + B_{R2} + \ldots + B_{Rm-1} + B_{Rm}$$

де R_m – радіус зовнішнього витка (кільця) спіралі.

Визначення магнітної індукції спіралі проводиться в такій послідовності (рис.1.14):

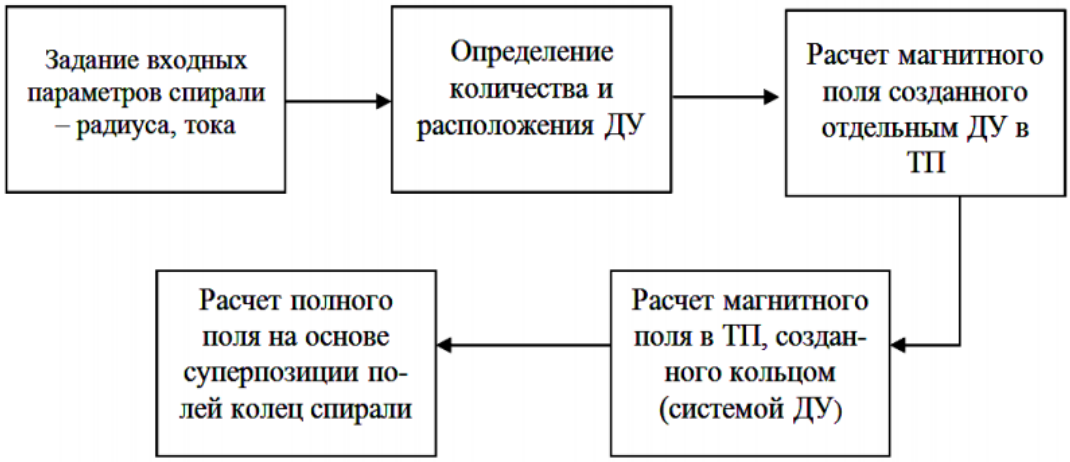


Рис.1.14. Послідовність обчислення $B_{полн}$

Метою експериментальних досліджень було підтвердження результатів математичного і комп'ютерного моделювання шляхом вимірювань і візуалізація структури магнітного поля за допомогою загальновідомого класичного методу. [1]

В ході проведених експериментів було отримано інформацію про конфігурацію магнітного поля в ближній зоні традиційних простих магнітних генераторів кільцевої конструкції і більш складних спіральних конструкцій, що застосовуються в спецтехніки. [1]

Для вивчення конфігурації магнітного поля була застосована вимірювальна установка, схема якої показана на рис.1.15.

Установка дозволяє сканувати датчиком Холла магнітне поле котушки в обраній площині. При цьому можливе вимірювання як нормальної, так і тангенціальною складових магнітного поля.

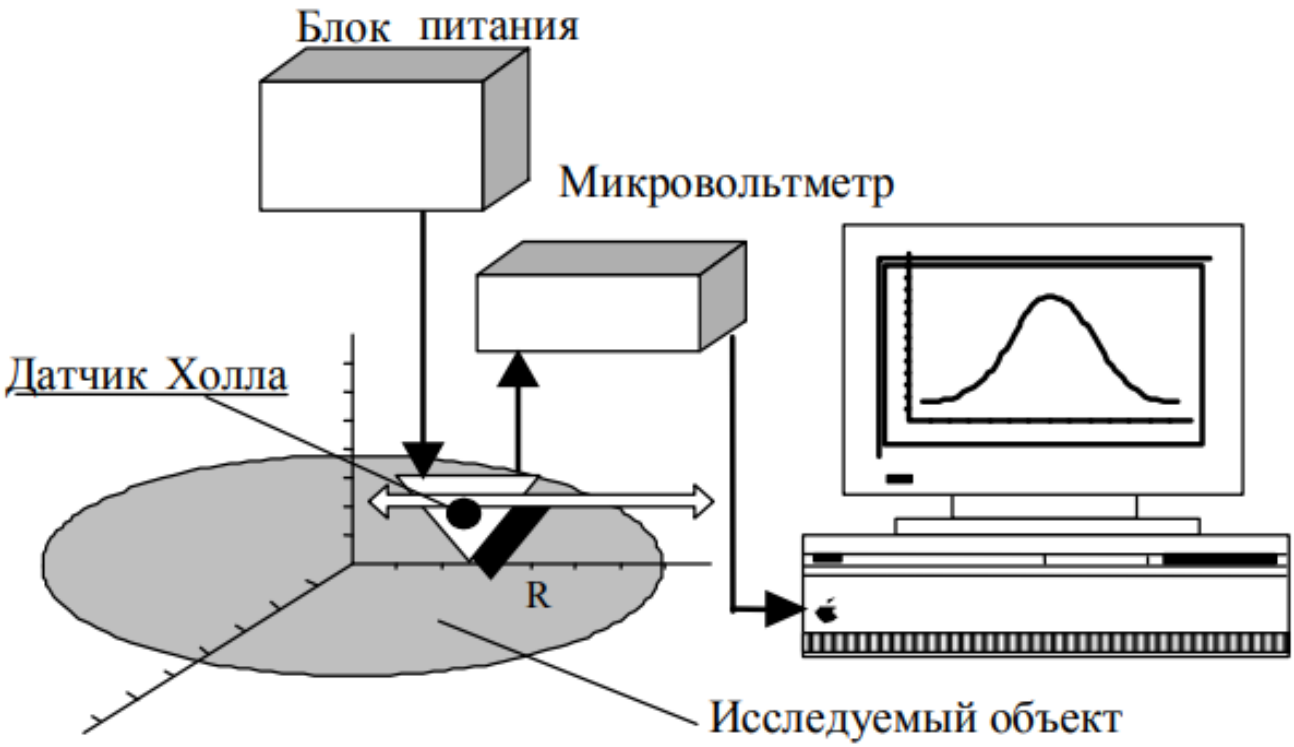


Рис.1.15. Схема установки для вивчення конфігурації магнітного поля

Вимірювання складалися з трьох етапів:

1) тарування установки в магнітному полі лінійного струму. При цьому контролювалося відповідність результатів вимірювань вектора напруженості магнітного поля (за величиною і орієнтації) розрахункових значень, які для лінійного струму загальновідомі;

2) отримання залежності нормальної компоненти магнітного поля від координати H (R) для круглого витка (кола) з струмом радіусом 85 мм;

3) сканування поверхні спіралі датчиком Холла для вимірювання залежності нормальної компоненти магнітного поля від координати H (R) (рис.1.16).

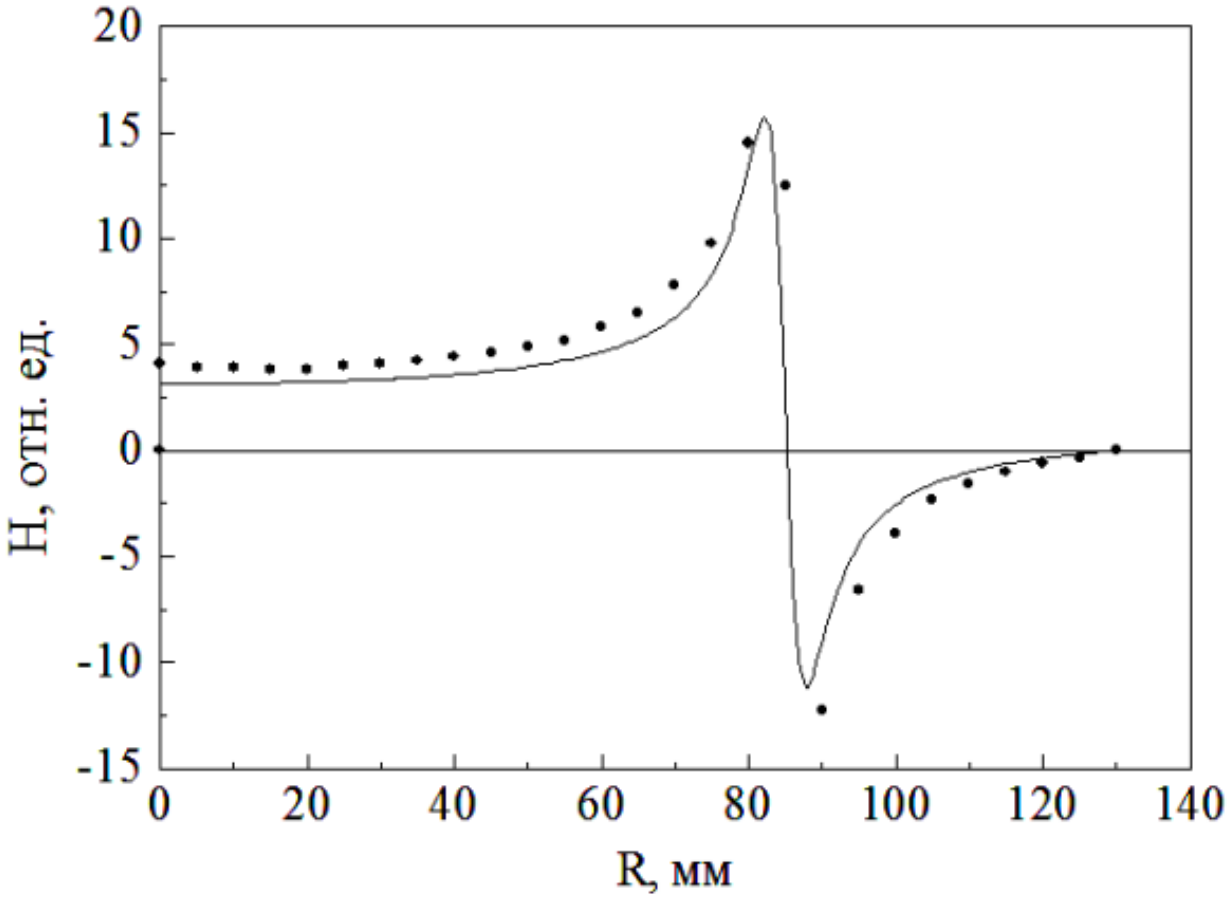


Рис.1.16. Розрахункова і виміряна залежності вектора магнітної індукції в міру віддалення від центру витка

На рис.1.16 наведені виміряна (показано точками) і розрахункова (показано лінією) залежно нормальної компоненти магнітного поля кругового витка зі струмом. Тут нульова координата осі абсцис - центр витка. [1]

Спостерігається збільшення значення вектора магнітної індукції в міру віддалення від центру витка. При виході за межі витка радіусом 85 мм магнітне поле змінює напрямок і при видаленні від провідника слабшає. [1]

Відзначимо, що ця залежність несиметрична щодо радіуса витка, оскільки всередині витка магнітне поле однорідне у напрямку, тоді як поза витка виникає протидія магнітних полів від різних його дискретних ділянок. [1]

Як видно з малюнка, отримані розрахункова і виміряна залежності принципово ідентичні. Незначні відхилення спостережуваних пікових значень обумовлені кінцевими розмірами датчика Холла, внаслідок чого емпірична залежність виглядає більш гладкою. [1]

Дані результати доводять вірність запропонованого і використаного алгоритму розрахунку і можливість його застосування для аналізу інших конфігурацій (струмових конструкцій), складовим елементом яких є виток.[1]

Були проведені дослідження різних плоских спіралей. Зокрема, були досліджені мідні і алюмінієві спіралі різних розмірів, виконані з проводів різного діаметру. [1]

На рис.1.17 наведені результати для спіралі: мідний дріт діаметром 0,4 мм, крок спіралі - 0,45 мм, зовнішній радіус - 235 мм.

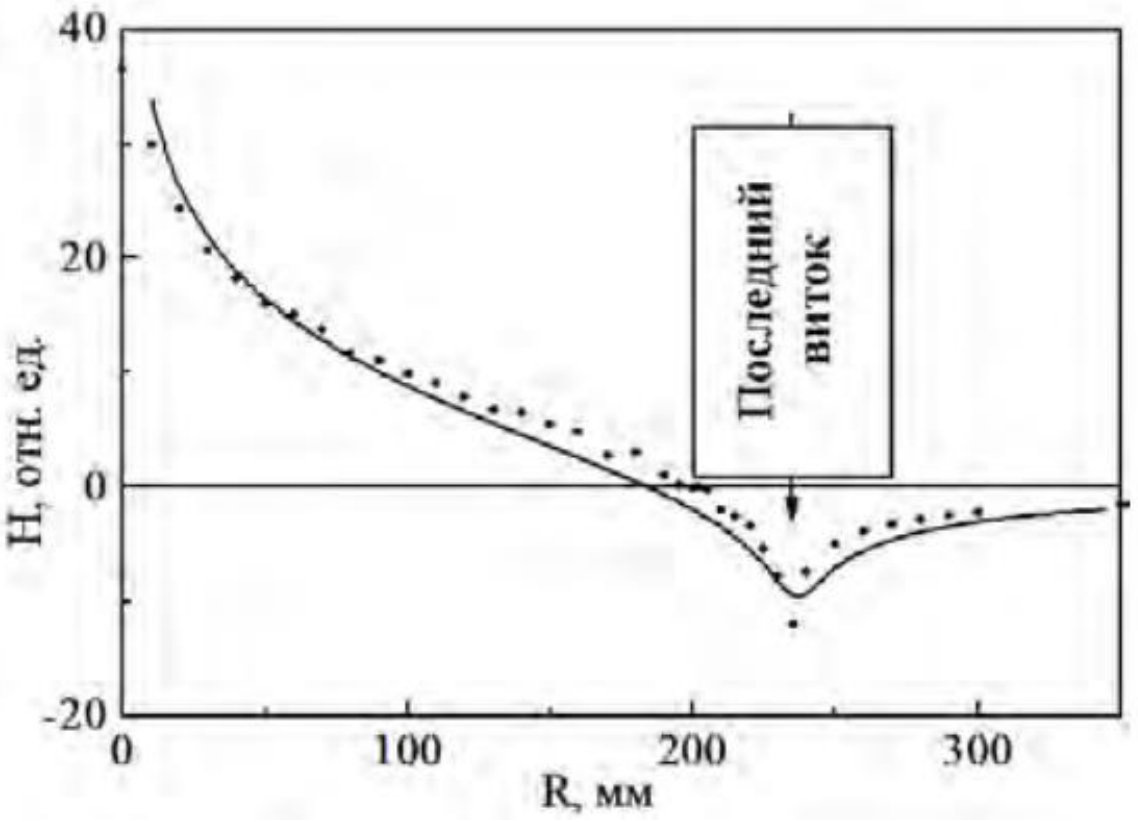


Рис.1.17. Виміряна (точки) і теоретична (лінія) конфігурації магнітного поля плоскої спіралі

Особливий інтерес викликає результат вимірювання і теоретична конфігурація (нормальної компоненти) магнітного поля для спіралеподібного провідника зі струмом. Області значень магнітного поля щодо нульової лінії відповідають протилежним напрямками вектора його напруженості. [1]

В межах поверхні спіралі виявлена зона з нульовою напруженістю магнітного поля. Таким чином, конфігурація магнітного поля в ближній зоні спіралі не є тривіальною. На поверхні спіралі теоретично передбачений і практично виявлена ділянка з нульовою напруженістю, відносна координата якого стабільна і становить близько 0,87 R. *Це значення є певною константою, незмінною для різних радіусів і матеріалів спіралі.* [1]

Згідно з принципом суперпозиції полів і розробленим алгоритмом розрахунку цей несподіваний результат може бути зрозумілим, але він не є очевидним і може бути представлений як новий фізичний ефект. [1]

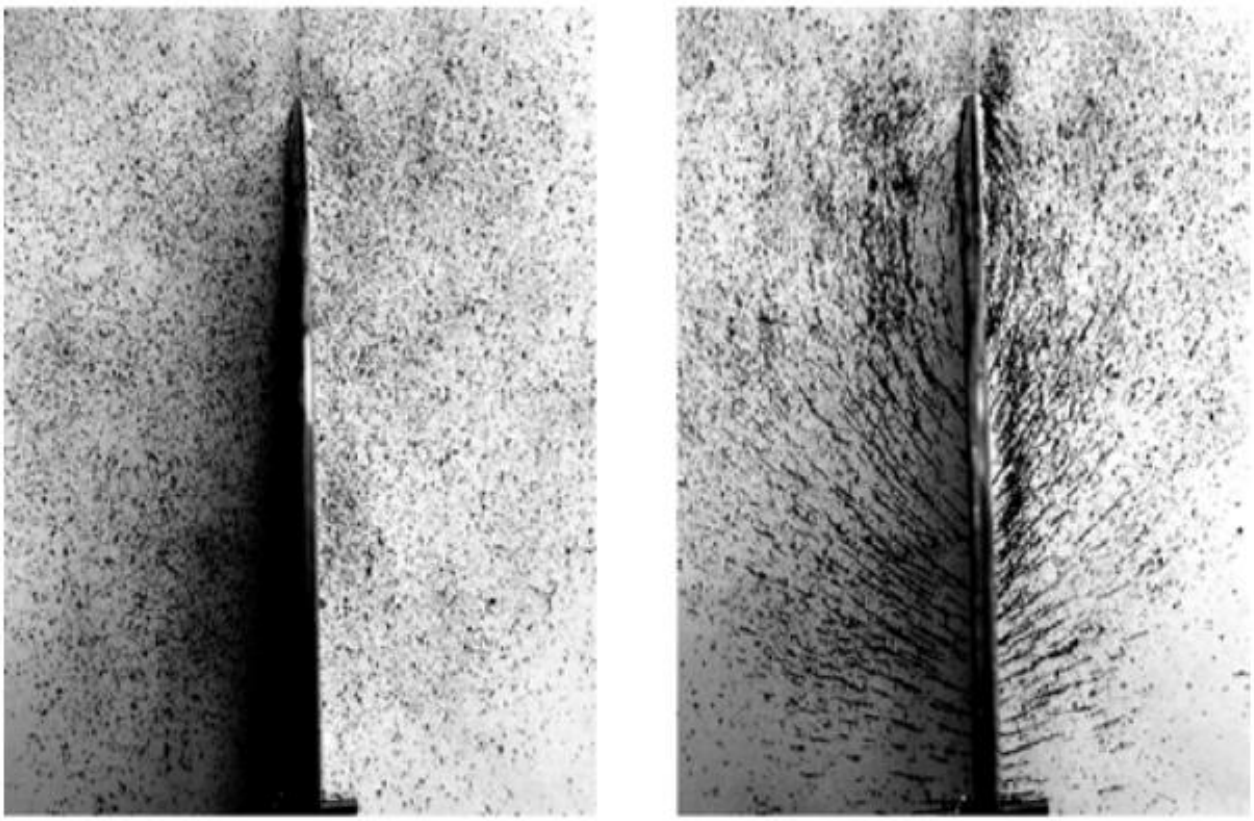


Рис.1.18. Положення феромагнітних тирси при відсутності (зліва) і наявності струму (праворуч) в провіднику плоскою спіралі

Експерименти з «феромагнітним» запиленням наочно підтверджують наявність у поверхні спіралі кругового ділянки, де напруженість нормальної до поверхні складової магнітного поля дорівнює нулю («нульова зона») (рис.1.18). Ближче до краю спіралі і поза її площині рівень напруженості зменшується до мінімальних значень. [1]

Незважаючи на те, що магнітні властивості феромагнітної пилу (дрібних залізних тирси) впливають на конфігурацію магнітного поля, наявність нульової зони не підлягає сумніву (рис.1.19). [1]

Важливо відзначити той факт, що струми протікають по провідниках спіралі в одному і тому ж напрямку, і при цьому навколо витків, розташованих на відстані від центру спіралі, що перевищує 0,87 радіуса, суперпозиція силових ліній магнітного поля призводить до розвороту вектора напруженості на 180 градусів . Таке прояв магнітної аномалії. [1]

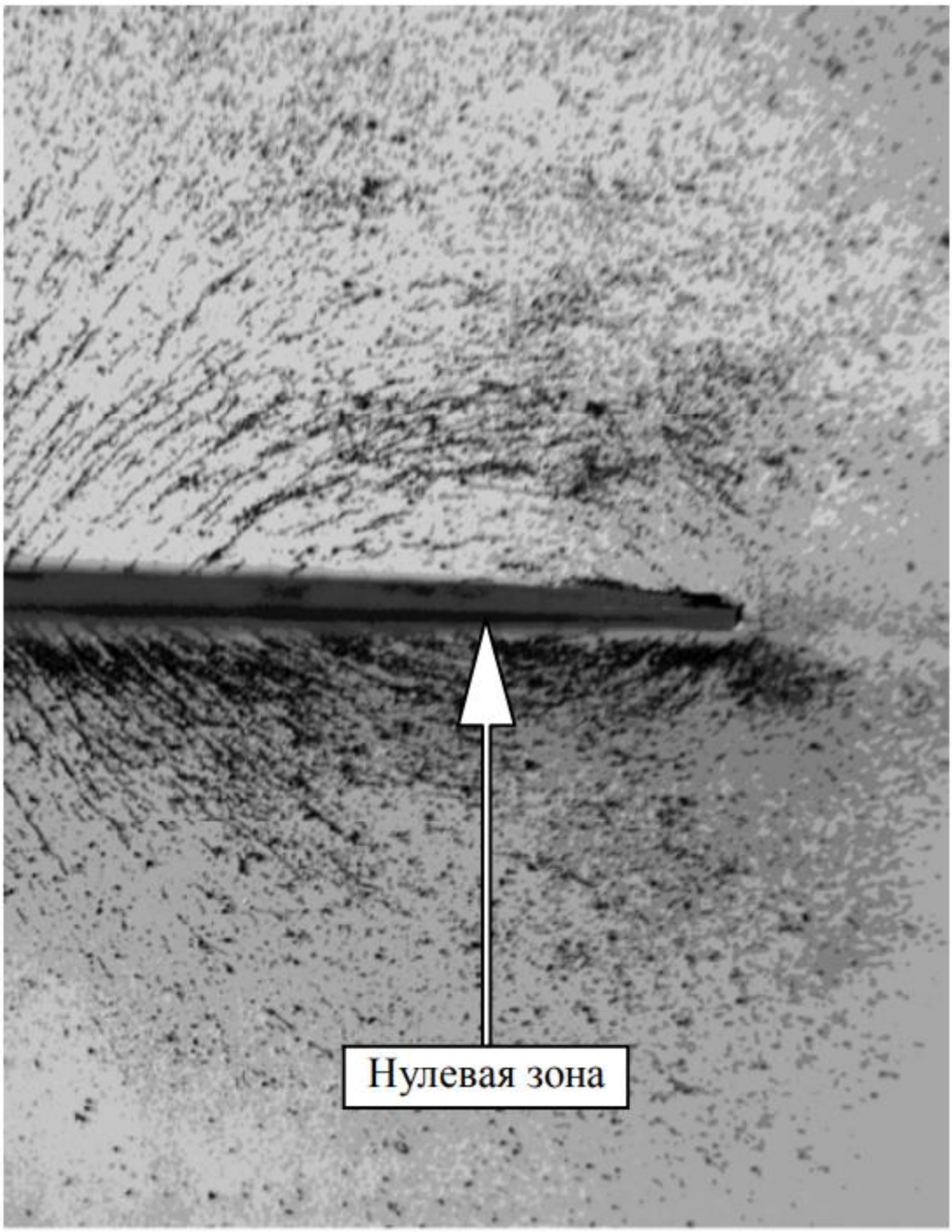


Рис.1.19. Візуалізація нульової зони на площині, перпендикулярній поверхні спіралі з струмом

У «нульовий зоні» повністю відсутня напруженість магнітного поля. Тут створюються умови, що сприяють виникненню різних вихрових магнітних процесів, пов'язаних з суперпозицією магнітних полів системи провідників і магнітного поля зовнішнього середовища. Це вимагає проведення подальших досліджень з метою практичного застосування нового фізичного ефекту. [1]

Фактично, виявлена явна дискретність магнітного поля, що розділяється нульовою зоною - витком з координатою 0,87 радіуса спіралі, поблизу якого магнітне поле відсутнє.

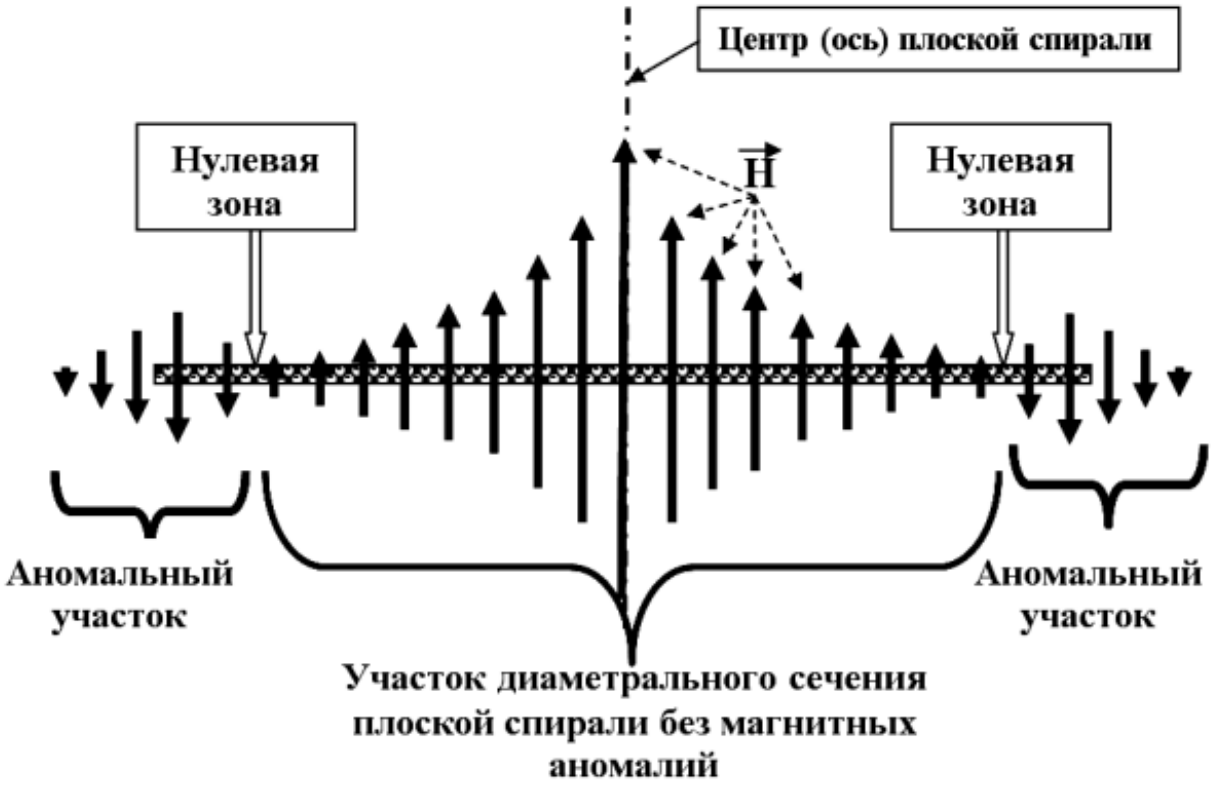


Рис.1.20. Приклад дискретної структури магнітного поля в перерізі плоскою спіралі з струмом

Це явище змінює уявлення про котушку зі струмом як про систему, яка, як раніше вважалося, формує однорідне магнітне поле.

Розподіл силових ліній магнітного поля наведено на Рис.1.20.

Підсумувавши можна сказати, що відрізняється від загальноприйнятого розподіл силових ліній магнітного поля, як фізичне явище «повної компенсації нормальної складової магнітного поля в ближній зоні постійного« спіралеподібного »струму», дозволяє ввести поняття «КПД котушок зі

струмом» і говорити про оптимальне використання енергії магнітного поля в таких конструкціях. [1]

Додаткові дослідження дозволять застосувати новий фізичний ефект при розробці ряду принципово нових вимірювальних приладів, і в тому числі для вдосконалення нанотехнологічних процесів. [1]

Перспективним може виявитися використання «нульової зони» силових ліній магнітного поля плоских спіралеподібних котушок при розробці конструкцій магнітометрів нового покоління. Так, застосування нанотехнологій в даних конструкціях дозволить їх мінімізувати і підвищити стійкість до зовнішніх механічних навантажень. [1]

1.4 Застосування біфілярних котушок в сучасній електроніці

Біфілярного котушки широко застосовуються для виготовлення дротяних резисторів з метою зменшення або навіть повного виключення паразитного індуктивності такого опору.

Залежно від напрямку намотування двох проводів і типу їх з'єднання між собою в біфілярного котушці, можна отримати чотири можливих варіанти реалізації таких котушок:

- Намотування паралельна, з'єднання послідовне;
- Намотування паралельна, з'єднання паралельне;
- Намотування зустрічна, з'єднання послідовне;
- Намотування зустрічна, з'єднання паралельне.

І як би не була намотана біфілярна котушка, при включенні в ланцюг буде реалізований один з двох варіантів взаємодії струмів двох утворюючих її проводів.

Перший варіант - коли струми спрямовані в одну сторону, в цьому випадку магнітні поля струмів обох жив складаються, приводячи до загального магнітного поля, яке буде більше магнітного поля кожної з жил біфіляра окремо.

Другий варіант - коли струми спрямовані в протилежні сторони, в цьому випадку магнітні поля струмів двох жив будуть гасити один одного, в результаті загальне магнітне поле буде нульовим, тобто індуктивність котушки буде близька до нуля.

У сучасній техніці для створення дротяних резисторів використовують біфілярного котушки паралельної намотування послідовного з'єднання (струми рівні і спрямовані в протилежні сторони), щоб звести паразитну індуктивність елемента до мінімуму (сумарне магнітне поле близьке до нуля).

В обмотках деяких трансформаторів і здвоєних дроселів імпульсних джерел живлення, а також в обмотках деяких реле, для придушення небезпечних комутаційних викидів ЕРС самоіндукції застосовують біфілярного обмотки.

Обмотка в два дроти виконує подвійну функцію. Перший провід служить первинної обмоткою трансформатора або дроселя, а другий - захисної, обмежувальної обмоткою, функція якої відпрацювати комутаційний викид ЕРС. У деяких реле другий провід замикається накоротко сам на себе, і розсіює на собі зворотний викид в момент розмикання реле.

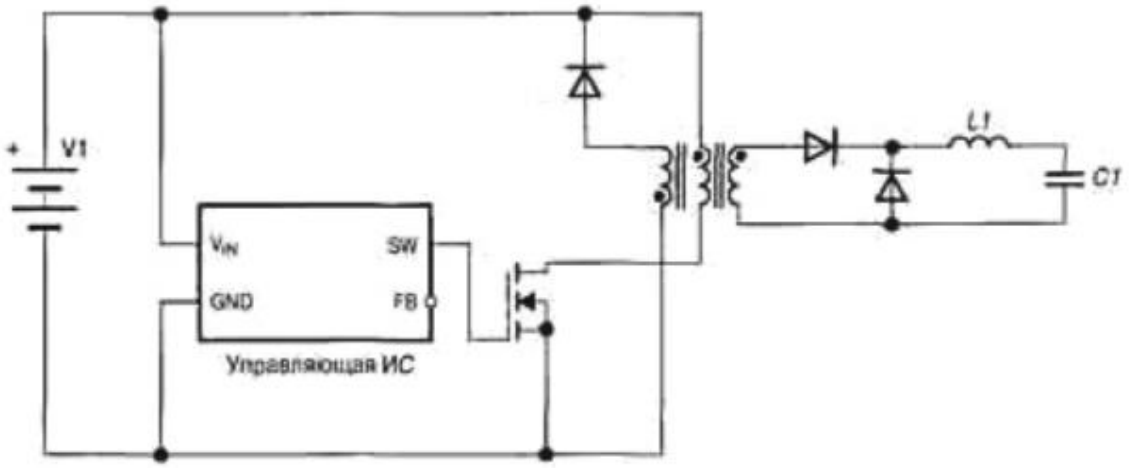


Рис.1.21. Схема трансформатора

В імпульсних джерелах живлення захисна обмотка накоротко не замикається, вона тільки обмежує комутаційний викид ЕРС, направляючи енергію через діод назад в джерело живлення або на снаббер, а ланцюг первинної обмотки виявляється таким чином захищена, напруга на ключ не підскакує вище безпечного, і ключ (транзистор) не перегорають.

Також біфілярного котушки призначені для використання в області електротехніки, радіотехніки, електроакустики, в якій з метою отримання магнітного поля для взаємодії з іншими котушками, полями від інших джерел магнітного поля або передачі інформації або енергії зовнішнім споживачам.

Ще біфілярного обмотка використовується для пусковий намотування в одне - і двофазних двигунах. Щоб уникнути установки резисторів, які повинні бути розраховані на повний пусковий струм, у багатьох однофазних двигунах пускову обмотку виконують з підвищеним опором пускової фази. Для цієї мети пускову обмотку намотують з дроту меншого перетину, ніж робочу, або виконують її з частково біфілярного намотуванням. При цьому довжина проводу зростає, її активний опір збільшується, а індуктивний опір і МДС залишаються такими ж, як і без біфілярного витків.

Щоб утворилися біфілярного витки, котушку пусковий обмотки виконують з двох секцій із зустрічним напрямком намотування (Рис. 22). Одна

секція, напрямок намотування якої збігається з потрібною для пуску машини полярністю, називається основною, а секція із зустрічною намотуванням - біфілярного. Остання має завжди менше витків, ніж основна.

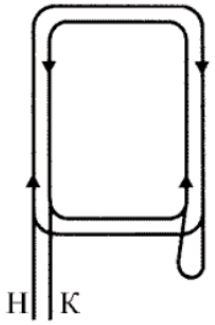


Рис.1.22. Утворення біфілярного витків

На Рис.1.23 показана схема обмотки з пускової фазою, що має частково біфілярного намотування. Головна обмотка виконана концентричними котушками перевальцем. Петлі у котушок пусковий фази вказують на те, що котушки виконані з частково біфілярного намотуванням.

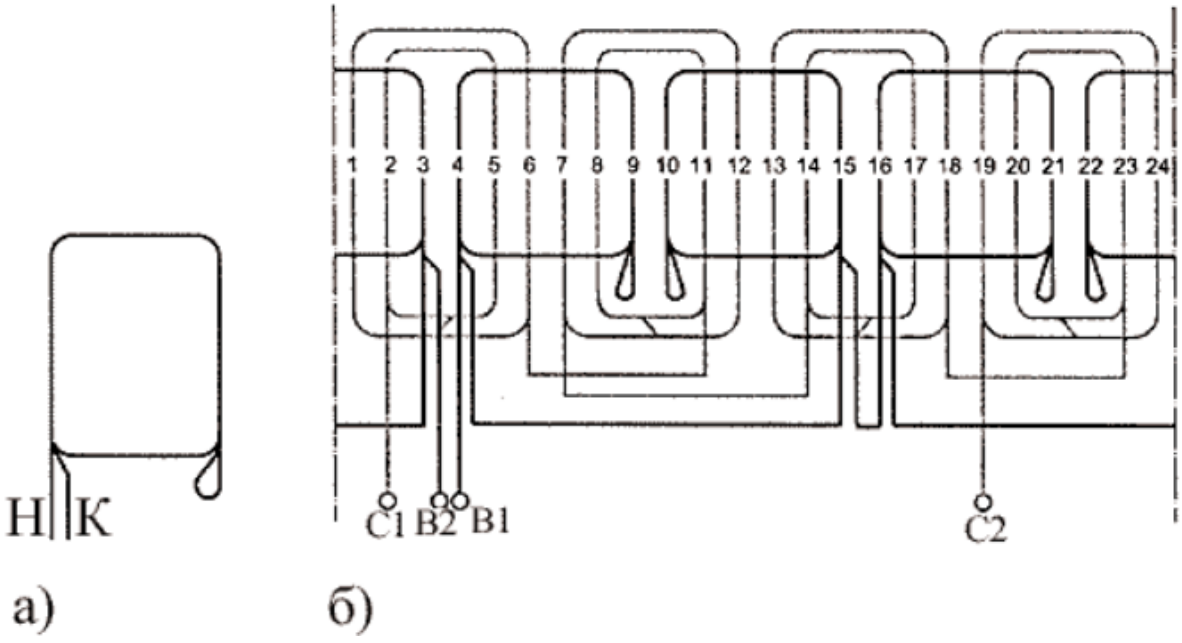


Рис.1.23. Схема обмотки з котушками, що мають біфілярного витки: а - зображення котушок з біфілярного витками на схемі обмотки, б - схема обмотки з z = 24, 2p = 4

Пускова обмотка однофазних двигунів розрахована тільки на короткочасну роботу - на час пуску двигуна. Її необхідно відключати від мережі відразу ж, як тільки двигун розженеться, інакше вона перегріється, і двигун вийде з ладу.

Біфілярного котушки так само з успіхом застосовується для виготовлення обмоток деяких реле, зазвичай використовуються в імпульсних схемах джерел живлення, для того, щоб знизити або повністю придушити зворотний ЕРС. Для цього, дві обмотки намотуються паралельно і конструкційно близько розташовані один до одного, але електрично ізольовані один від одного.

Перша обмотка виконує функцію управління реле, а у другій обмотки початок і кінець замкнуті накоротко між собою. Коли струм, поточний через первинну обмотку переривається, наприклад в разі відключення реле, велика частина магнітної енергії поглинається допоміжної обмоткою і перетворюється в тепло на її внутрішній опір. Головне незручність цього методу полягає в тому, що він сильно збільшує час перемикання реле.

Так само біфілярного котушки застосовуються в понад одиничних пристроях. Типовим представником ПЄ пристроїв, із застосуванням біфілярного котушок є наприклад генератор Кромрі, який був відтворений і значно вдосконалений Джоном Бедина. У генераторі Кромрі біфілярного, а точніше навіть тріфілярні котушки з паралельної намоткой застосовуються для зменшення їх активного опору і в результаті більш точної підстроювання до внутрішнього опору акумуляторів, що заряджаються. Ефективність генератора Кромрі тим вище, чим точніше збігається внутрішній опір підключеного акумулятора з опором застосованих чотирьох котушок з'єднаних в ньому послідовно.

2. Експериментальні дослідження

2.1 Основні завдання і методи виконання проекту

Основною метою дипломної роботи є розробка і виготовлення стенду по дослідженню нелінійних магнітних полів біфілярних котушок індуктивності, розрахунок та аналіз отриманих даних.

Основними завданнями при виконанні даної дипломної роботи є:

- розробка принципової схеми експериментального стенду для дослідження нелінійних магнітних полів біфілярного котушок індуктивності;
- підбір необхідних електронних комплектуючих і контрольно-вимірювальної апаратури, комплектуючих матеріалів;
- складання стенду з урахуванням можливості гнучкої перебудови робочої схеми і навантажувального пристрою;
- випробування експериментального стенду і оптимізація конструктивної схеми;
- дослідження магнітного поля різних видів біфілярних котушок індуктивності.

2.2 Розробка експериментальної установки

Схема розробленого в даній роботі експериментального стенду представлена в 3D композиції на рисунку 2.1.

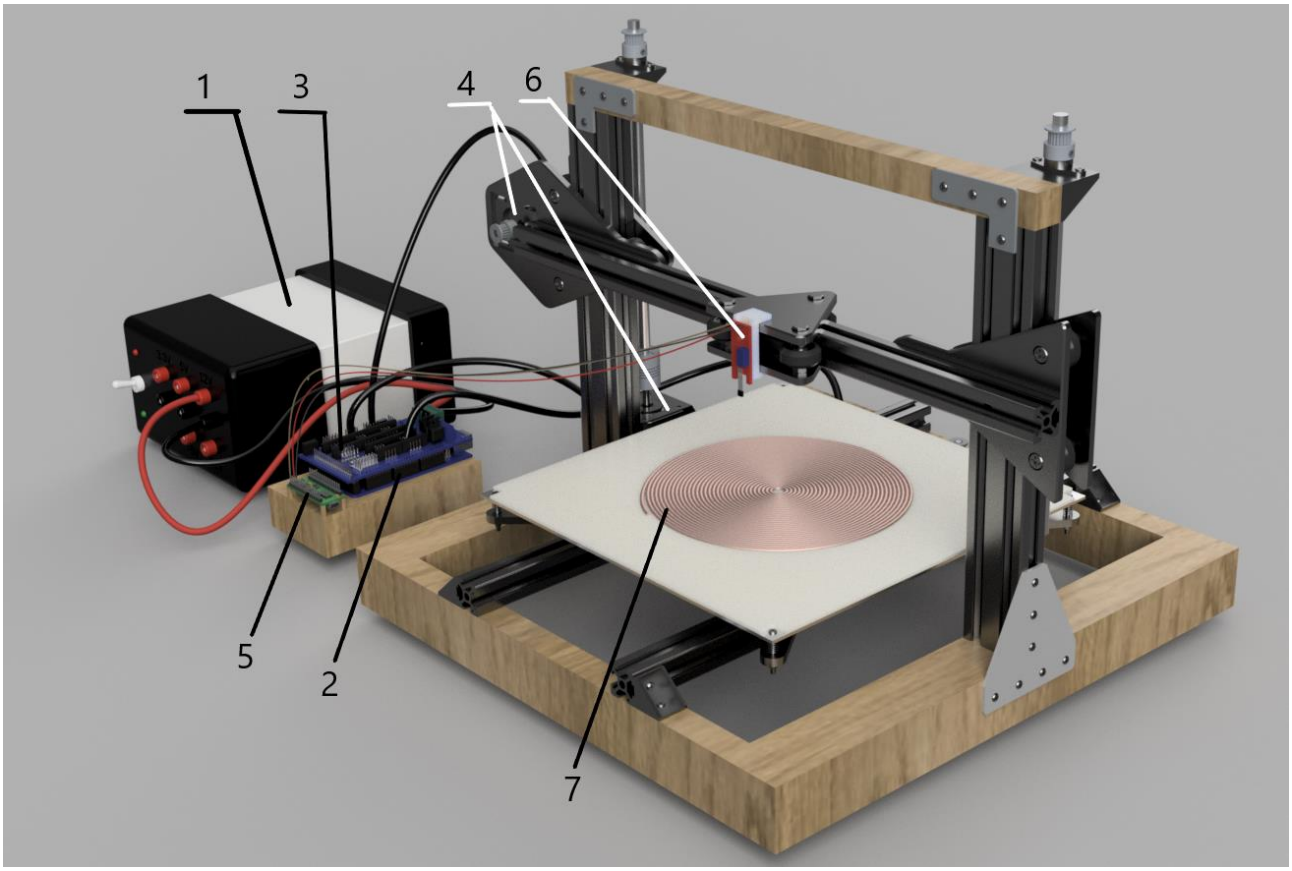


Рис.2.1 Схема експериментального стенду

1- блок живлення;

2- апаратна платформа Arduino Mega 2560;

3- плата розширення RAMPS 1.5;

4- крокові двигуни NEMA 17 17hs4401s;

5- апаратна платформа Arduino nano V3;

6- датчик Холла;

7- плоска біфілярна котушка;

Для реалізації даної роботи були виготовлені каркасні конструкції для розміщення елементів стенду і датчика Холла з можливістю переміщати його

в трьох площинах. В результаті було зібрано експериментальний стенд для досліджень, який представлений на рисунку 2.2.

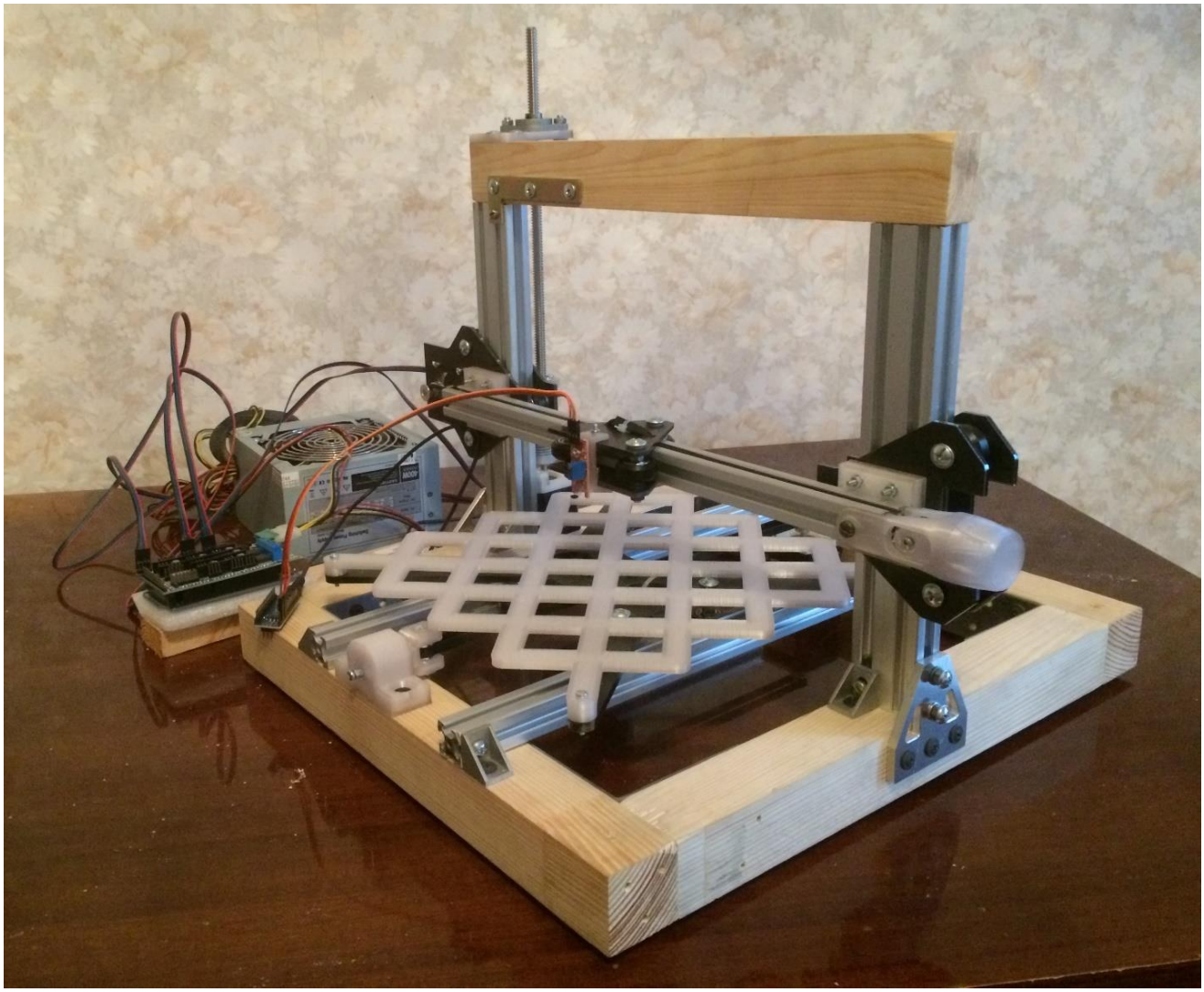


Рис.2.2 - Зібраний експериментальний стенд для дослідження магнітних полів біфілярних котушок індуктивності

Для забезпечення переміщення датчика Холла в трьох площинах для даного експериментально стенду були закуплені три крокових двигуна NEMA 17 17hs4401s. За допомогою даних крокових двигунів вийшло домогтися точного руху датчика і, так як цей варіант крокових двигунів є полегшеним, істотно знизити навантаження на осі даного стенду.

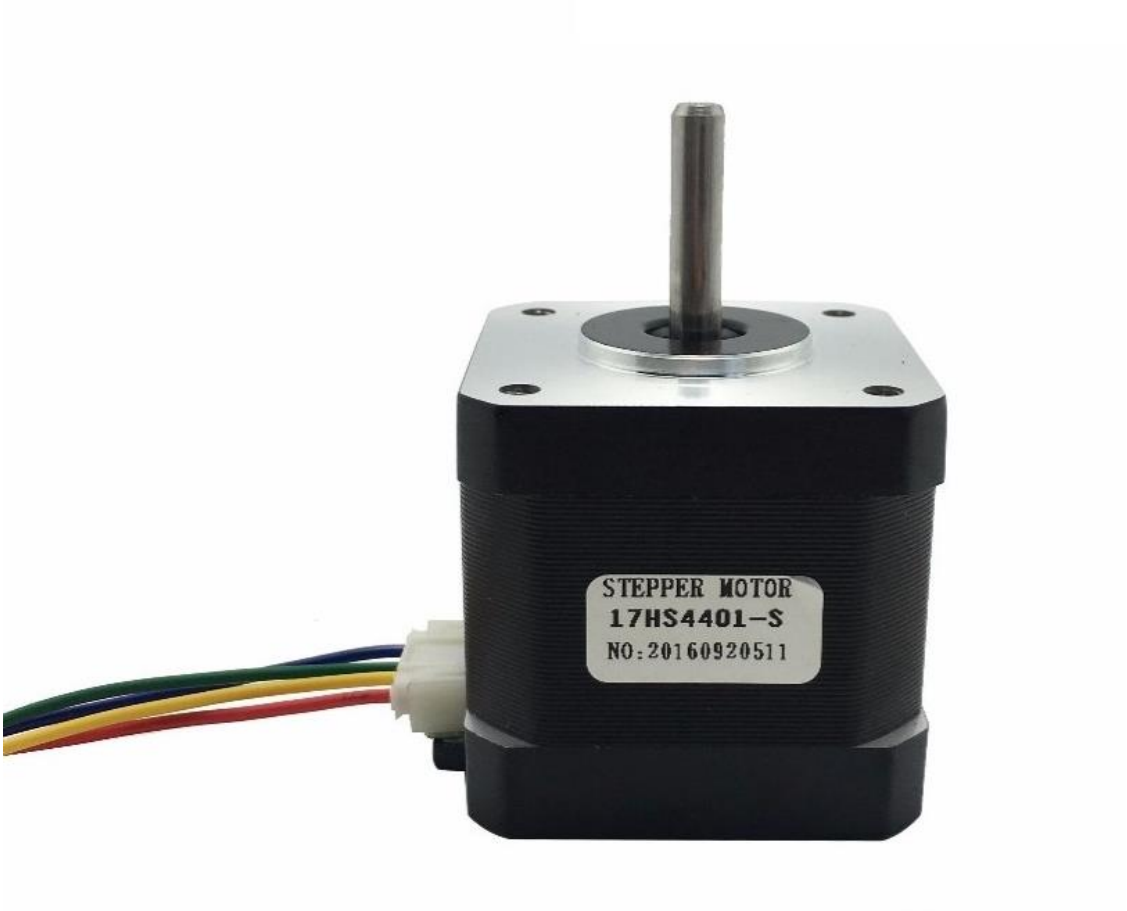


Рис.2.3 Крокoвий двигун NEMA 17 17hs4401s

Опис

Крокoвий електродвигун - це синхронний бесщеточний електродвигун з декількома обмотками, в якому струм, що подається в одну з обмоток статора, викликає фіксацію ротора. Послідовна активація обмоток двигуна викликає дискретні кутові переміщення (кроки) ротора.

Застосовуються крокові електродвигуни Nema 17hs4401s в приводах машин і механізмів, що працюють в старт-стопного режимі, або в приводах безперервного руху, де керуючий вплив задається послідовністю електричних імпульсів, наприклад, в верстатах з ЧПУ, 3D принтерах, лазерних граверів або верстатах плазмового різання.

Характеристики крокового двигуна NEMA 17 17hs4401s:

- Напруга живлення: 12-36 В;
- Кількість фаз: 2;
- Момент утримання: 40Ncm;
- Індуктивність фази: 2.8+-20% мГн;
- Момент інерції ротора: 54гр×см^2;
- Крок: 1.8 ° (200 кроків на оборот);
- Струм: 1.8 А на фазу;
- Рейтинговий струм: 1.68 А;
- Опір: 1.5 Ом на фазу;

Для забезпечення працездатності крокових двигунів даного проекту був підключений мікроконтролер іменований Arduino Mega 2560. З завантаженої на нього прошивкою Marlin і відкориговану під потрібну для ходу датчика довжину шляху.

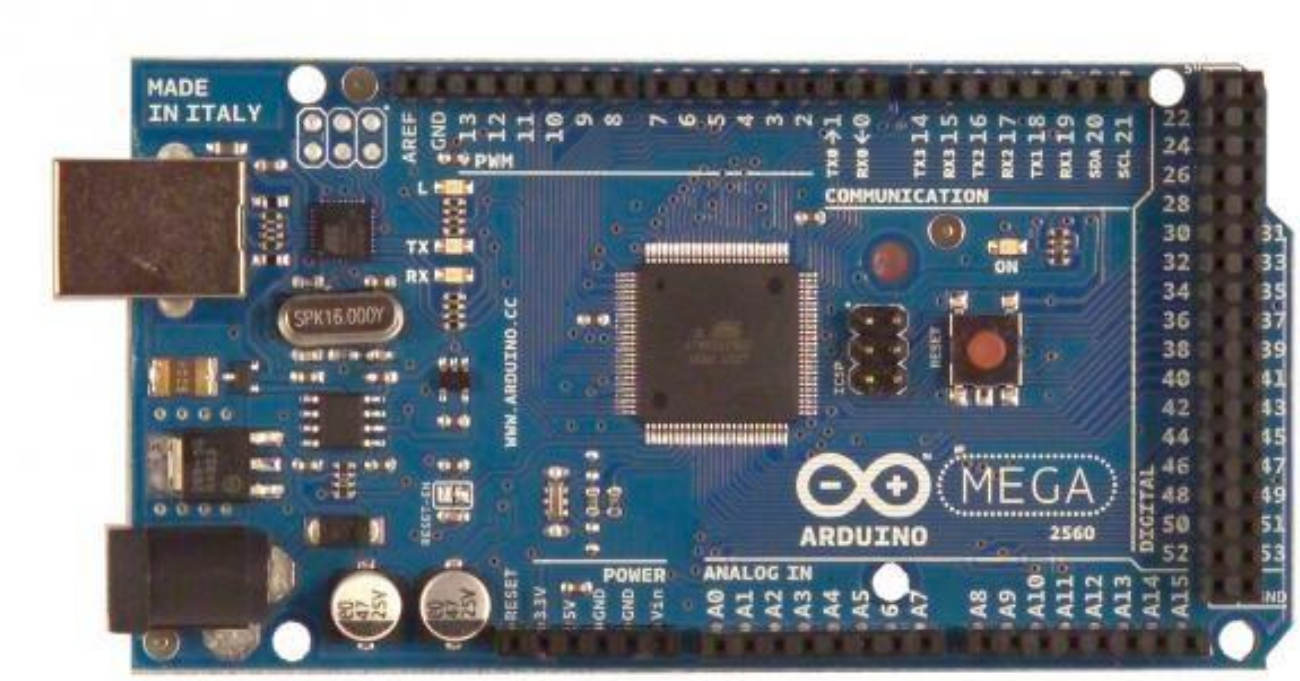


Рис.2.4 Апаратна платформа Arduino Mega 2560

Arduino Mega побудована на мікроконтролері ATmega2560. Плата має 54 цифрових входу / виходів (14 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 16 аналогових входів, 4 послідовних порту UART, кварцовий генератор 16 МГц, USB коннектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопка перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера AC / DC, або акумуляторною батареєю.

Технічні характеристики Arduino Mega 2560:

- Робоча напруга – 5 В;
- Вхідна напруга (рекомендований) – 7-12 В;
- Вхідна напруга (граничне)– 6-20 В;
- Постійний струм через вхід / вихід – 40 mA;
- Постійний струм для виведення 3.3 В – 50 mA;
- Флеш-пам'ять - 256 КВ (з яких 8 КВ використовується для завантажувача;
- ОЗУ – 8 КВ;
- Енергозалежна пам'ять – 4 КВ;
- Тактова частота – 16 MHz;

Для підключення крокових двигунів до Arduino Mega 2560, до неї була підключена плата розширення RAMPS 1.5. Що дозволяє не тільки приєднати і живити їх, а ще й підключити до них драйвери (drv8825) для крокових двигунів. RAMPS 1.5 це Шилд (надбудова) для Arduino Mega 2560. Ардуіно перетворює G-коди в сигнали і управляє цим проектом за допомогою силової частини - RAMPS 1.5.

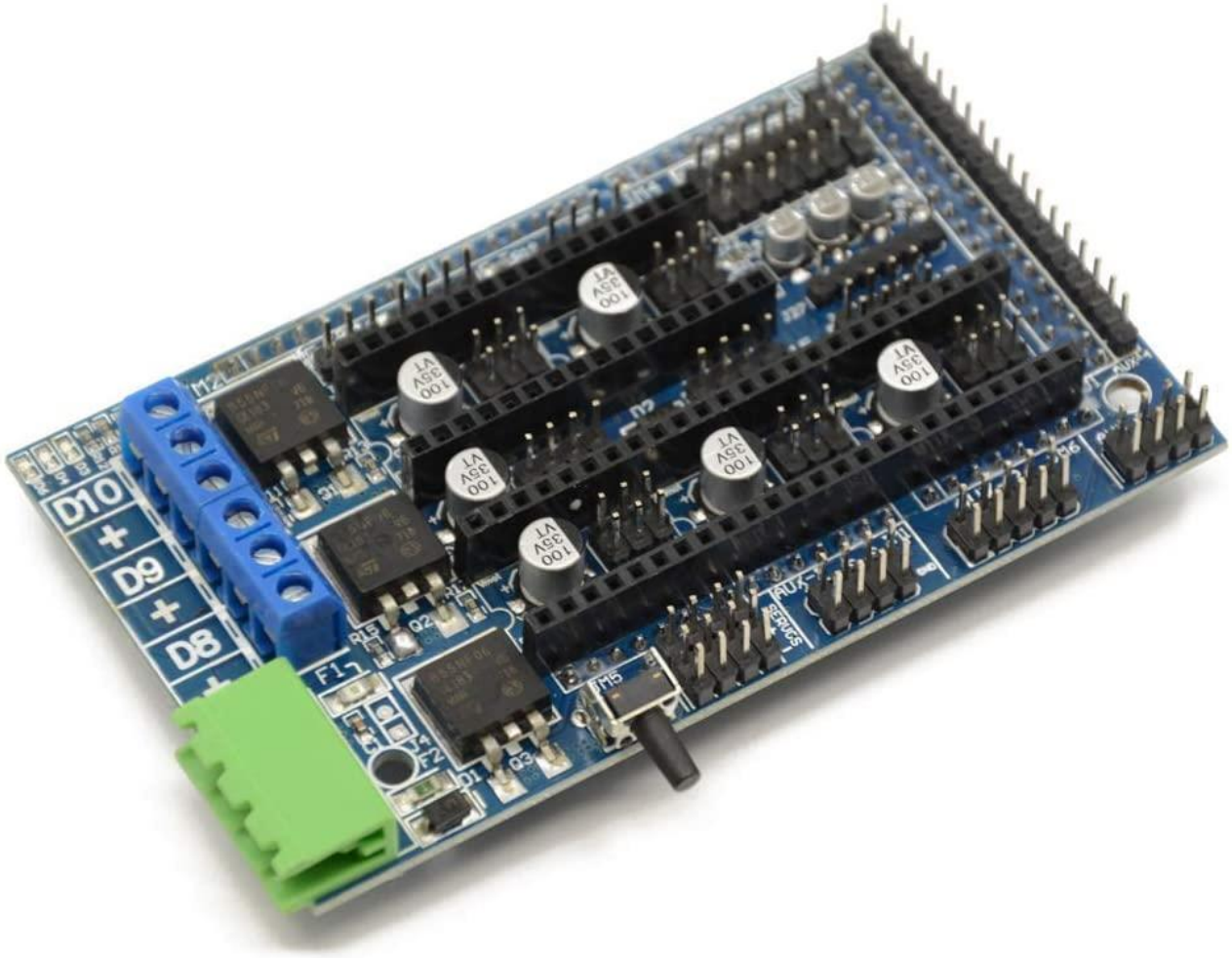


Рис.2.5 Плата розширення RAMPS 1.5

Технічні характеристики плати розширення RAMPS 1.5:

- Робоча напруга – 5 В;
- Вхідна напруга (рекомендований) – 7-12 В;
- Вхідна напруга (граничне)– 6-20 В;
- Постійний струм через вхід / вихід – 40 mA;
- Постійний струм для виведення 3.3 В – 50 mA;
- Флеш-пам'ять - 256 КВ (з яких 8 КВ використовується для завантажувача;
- ОЗУ – 8 КВ;
- Енергозалежна пам'ять – 4 КВ;
- Тактова частота – 16 MHz;

Для настройки більш точного кроку двигуна в плату розширення RAMPS 1.5 були підключені драйвери drv8825. У крокових двигунів зазвичай встановлена конкретна величина (наприклад 1,8 ° або 200 кроків на оборот), при якій досягається повний оборот в 360 °. Мікрошаговий драйвер, такий як DRV8825 дозволяє збільшити дозвіл за рахунок можливості управління проміжними кроками. Це досягається шляхом порушення обмоток середньої величини струму. Наприклад, управління мотором в режимі чверті кроку дасть двигуну з величиною 200-кроків через-оборот вже 800 мікрошагов при використанні різних рівнів струму.

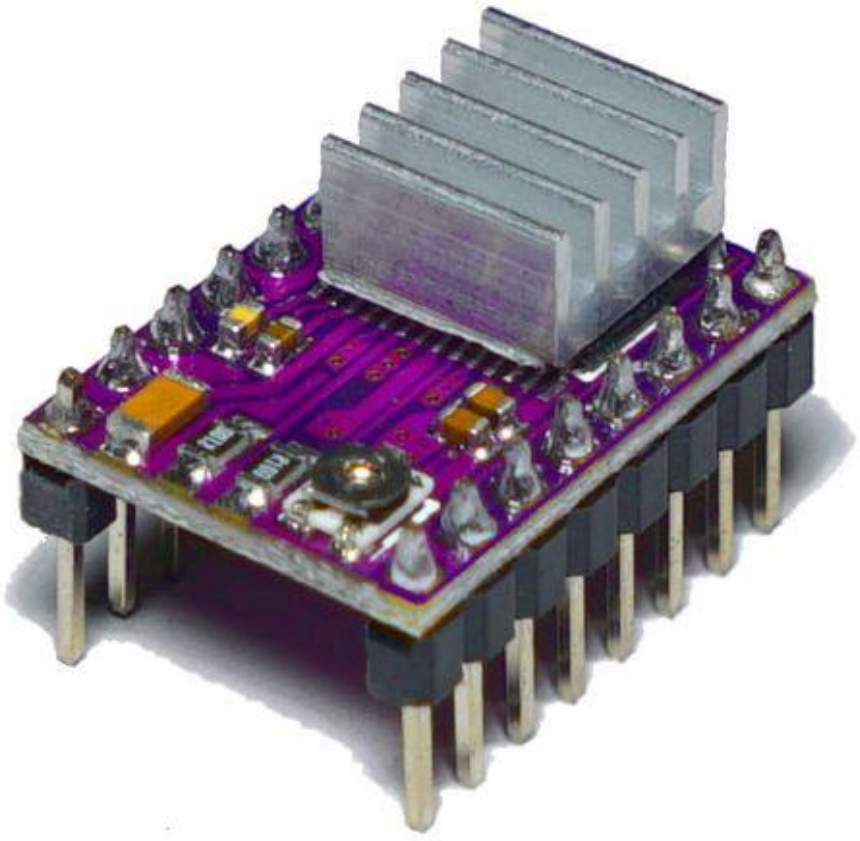


Рис.2.6 Драйвер крокового двигуна drv8825

Технічні характеристики драйвера крокового двигуна drv8825

- Напруга живлення: от 8,2 до 45 В
- Установка кроку: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32

- Напруга: 3.3 В
- Максимальний струм на фазу: 1.5 А без радіатора, 2.5 А з радіатором.
- Поточний чіп: drv8825

На рисунке 2.7 представлена схема підключення крокових двигунів і драйверів до плати розширення RAMPS 1.5.

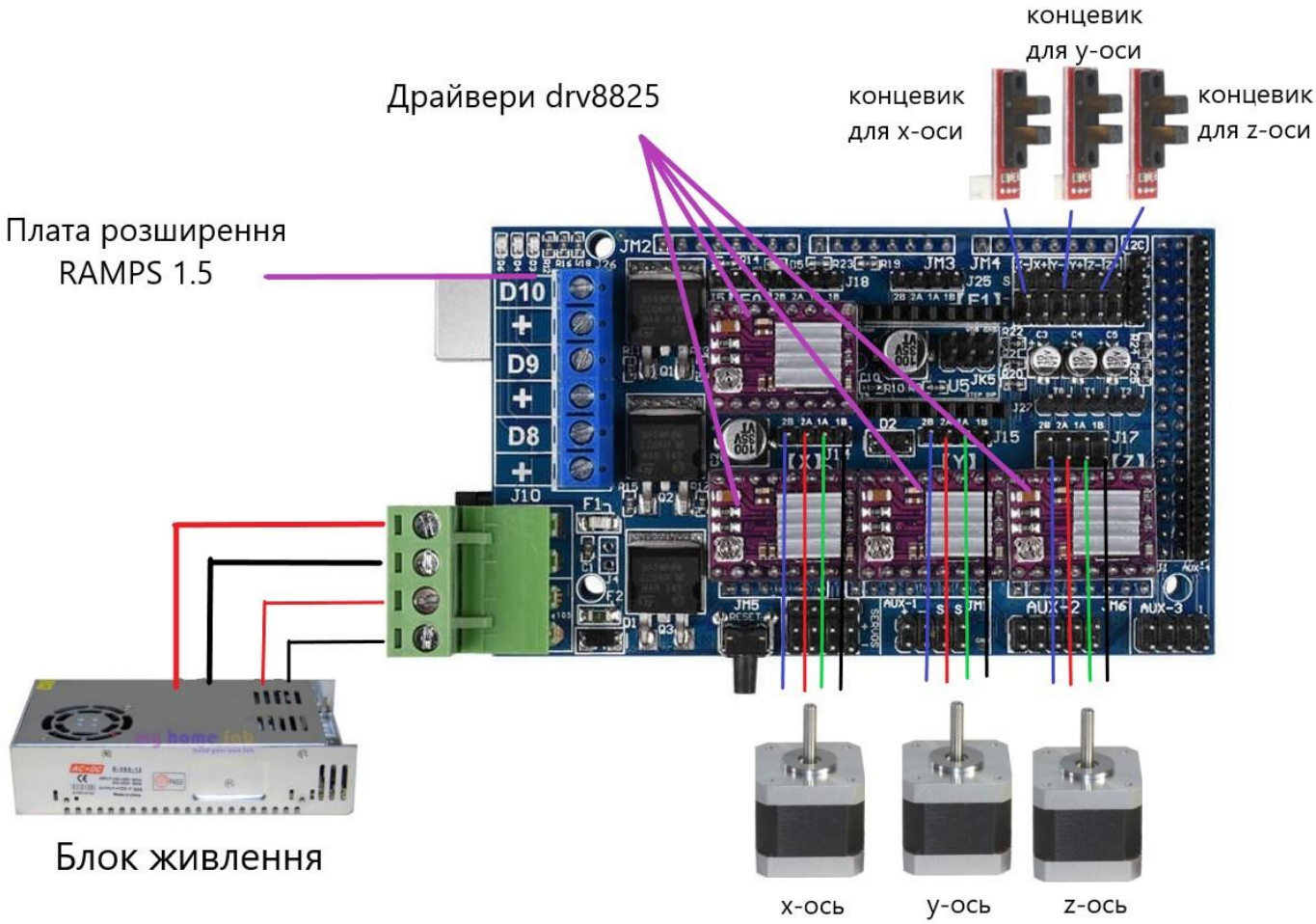


Рис.2.7 Схема підключення RAMPS 1.5

Для підключення датчика Холла використовувалася апаратна платформа Arduino nano V3, побудована на мікроконтролері ATmega328 (Arduino Nano 3.0) адаптоване для використання з макетної платі, має невеликі розміри і може використовуватися в лабораторних роботах. Вона має схожу з

Arduino Duemilanove функціональність, проте відрізняється складанням. Відмінність полягає у відсутності силового роз'єму постійного струму і роботі через кабель Mini-B USB.

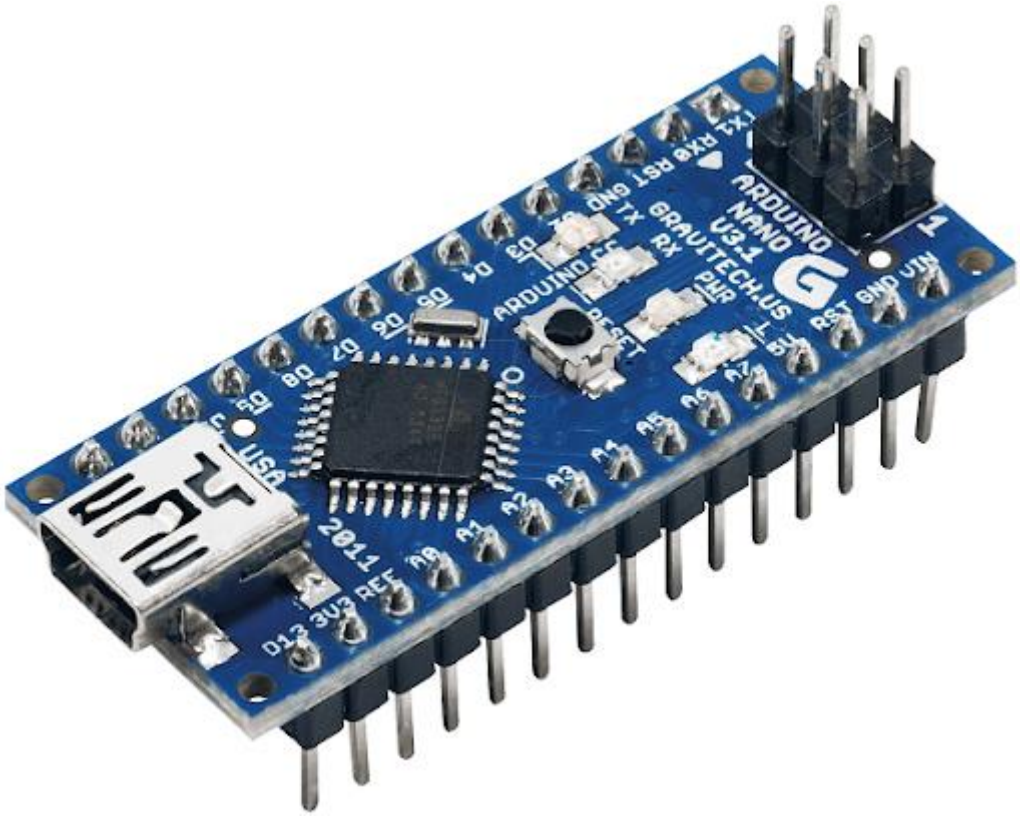


Рис.2.8 Апаратна платформа Arduino nano V3

Технічні характеристики апаратної платформи Arduino nano V3

- Робоча напруга – 5 В;
- Вхідна напруга (рекомендований)– 7-12 В;
- Вхідна напруга (граничне)– 6-20 В;
- • Постійний струм через вхід / вихід – 40 мА;
- Цифрові Входи / Виходи – 14 (6 як виходи ШИМ);
- Флеш пам `ять – 32 Кб (ATmega328);
- ОЗУ – 2 Кб (ATmega328);
- EEPROM – 1 Кб (ATmega328);
- Тактова частота – 16 МГц;

Для вимірювання магнітного поля котушки використовувався лінійний аналоговий датчик Холла SS49E. Датчики Холла вдають із себе твердотільні радіоелементи, які стають все більш популярними в радіоаматорського середовищі і розробці радіоелектронних пристроїв. Вони застосовуються в датчиках вимірювання положення, швидкості або спрямованого руху. Тобто по суті датчик Холла простими словами - це радіоелемент, який реагує на зовнішнє магнітне поле.

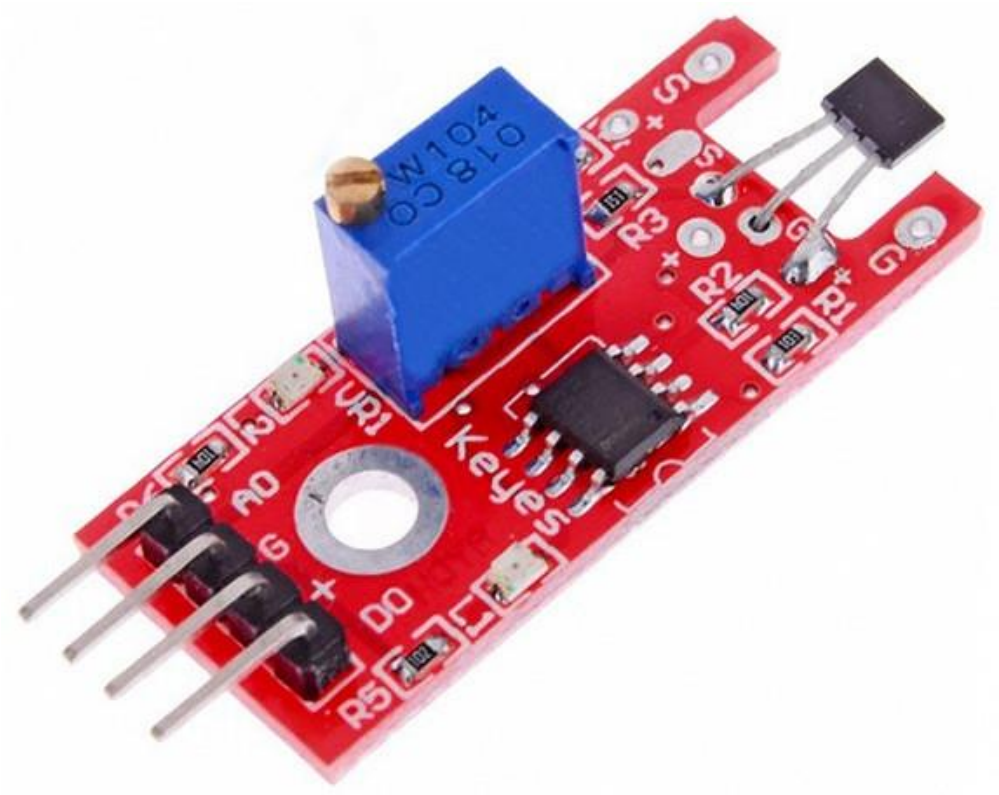


Рис.2.9 Лінійний аналоговий датчик Холла SS49E

Технічні характеристики лінійного аналогового датчик Холла SS49E:

- Напруга живлення – 3-6.5 В;
- Струм – от 4.2...8 мА;
- Чутливість – 1.8 мВ/Гаусс;
- Діапазон вимірів – -1500...1500 Гаусс;

На рисунке 2.10 показана схема підключення апаратної платформи Arduino nano V3 і лінійного аналогового датчика Холла SS49E.

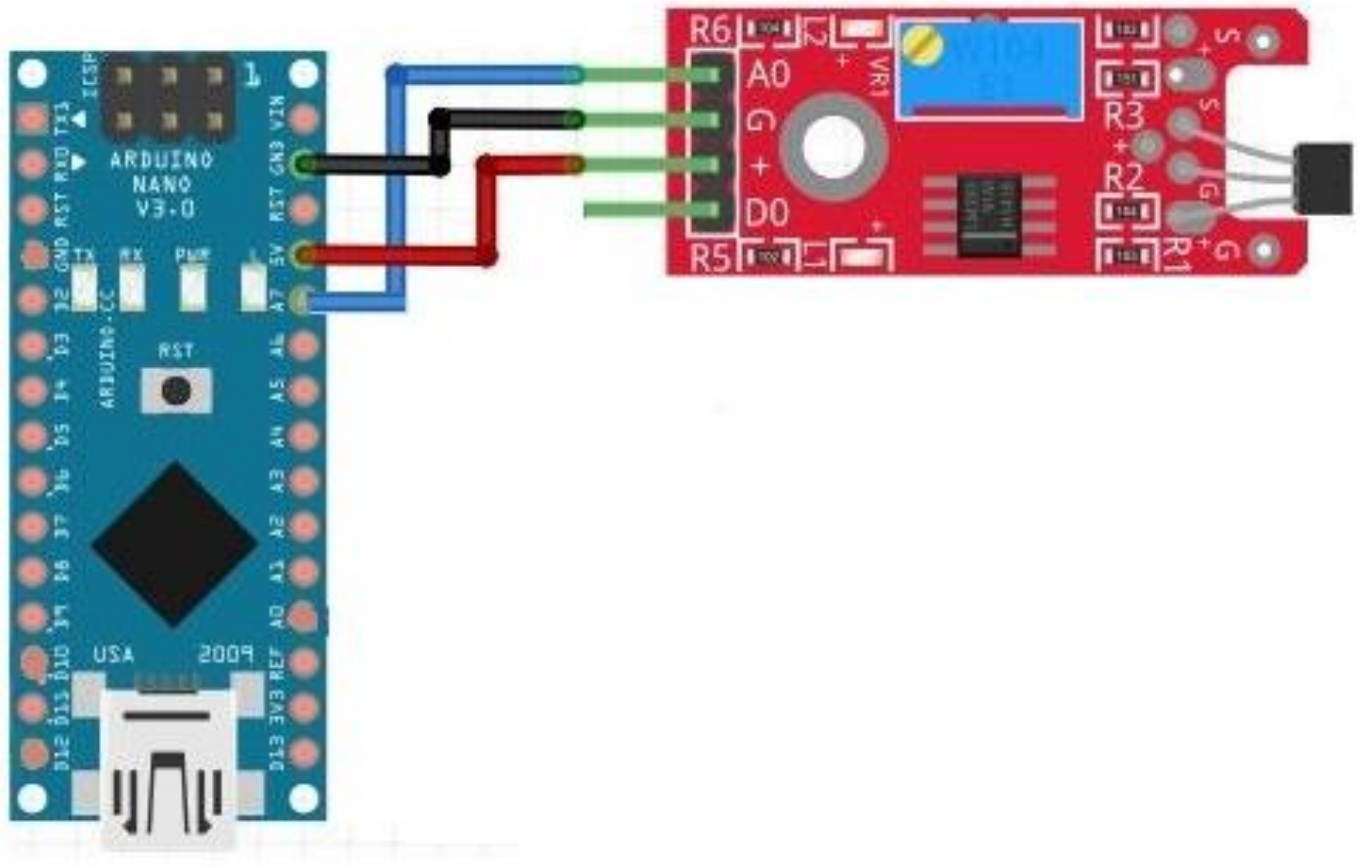


Рис.2.10 Схема підключення Arduino nano і датчика Холла.

Також для виведення значень з датчика був написаний код для Arduino:

```
const int HALL_SENSOR = A7;
int inputVal = 0;
String print_out;
void setup() {
  pinMode(HALL_SENSOR, INPUT);
  Serial.begin(115200);
}

void loop() {
  inputVal = analogRead(HALL_SENSOR);
  print_out = ((inputVal/204.6)-0.86)/0.0011-1546.44;
  Serial.println(print_out);
    delay(100);
}
     }
```

Висновки

При виконанні даної роботи були отримані наступні результати:

- розроблений, зібраний і успішно випробуваний діючий експериментальний стенд для дослідження нелінійних магнітних полів біфілярного котушок індуктивності;
- виконана комп'ютерна 3D модель досліджуваного стенду;
- був написаний код для виведення даних з датчика Холла на персональний комп'ютер;

Результати даної роботи можуть знайти, практичне застосування як в галузі новітніх електричних альтернативних силових установок, так і щодо вдосконалення сучасних фундаментальних знать з електромагнітної теорії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. І.О. Громико «Плоска спіральна котушка в якості елемента та нових конструкцій приладів» 2016 г.

2. Nikola Tesla Publication of US512340A, 1894.

3. William J. Hooper Publication of US3610971A, 1971.