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»

# «Однодротова лінія електропередавання»

Виконав: студент 2 курсу, групи НФ-61
Нестерцова К.С.
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма: Прикладна фізика
енергетичних систем
Керівник: доцент, к. ф-м.н. Кудрявцев І.М.

Рецензент:

Харків – 2018

**Додаток 18**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Факультет фізико-енергетичний
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність 105–Прикладна фізика та наноматеріали

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

_____ **В.І Ткаченко**
підпис ініціали,прізвище

“____” _____20___року

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

_____Нестерцова Катерина Сергіївна_____
(прізвище, ім’я, по батькові студента)

1. Тема роботи Однодротова лінія електропередавання
керівник роботи Кудрявцев І.М., доцент, к. ф-м..н..
( 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
_Вивчення особливостей однодротової передачі електричної енергії, виявлення найбільш ефективних режимів роботи та визначення основних фізико-енергетичних показників функціювання схеми однодротової передачі електроенергії.
_____

4. План роботи

| № з/п | Назви етапів роботи |
|---|---|
| 1. | Вивчення науково-технічної літератури. |
| 2. | Розробка та сбір експериментальної схеми. |
| 3. | Експериментальне визначення ефективних режимів роботи експериментальної схеми. |
| 4. | Експериментальні дослідження по виявленню особливостей передачі електричної енергії та отриманню характеристичних показників функціювання схеми. |
| 5. | Теоретична обробка експериментальних результатів |

5.Дата видачі завдання _____

**Студент** _____ **Нестерцова К.С.**
підпис ініціали, прізвище

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

# РЕФЕРАТ

Автор дипломного проекту: Нестерцова Катерина Сергіївна.

Тема дипломного проекту: «Однодротова лінія електропередавання».

Обсяг дипломного проекту 56 сторінок, він містить 42 рисунка, 5 таблиць, 20 посилань.

Метою роботи було вивчення можливості резонансної передачі електричної енергії по однодротовій лінії та отримання показників роботи даної системи.

В рамках дипломного проекту була вивчена науково-технічна література. Був розроблений і виготовлений діючий експериментальний стенд однодротової передачі електричної енергії, за допомогою якого експериментально виміряні основні фізичні та енергетичні характеристики передавальної системи, встановлений ККД системи.

Результати даної роботи можуть знайти практичне застосування як в галузі альтернативної, так і традиційної енергетики.

***Ключові слова***: електрична енергія, лінія електропередавання, резонансна однодротова лінія, однодротова лінія електропередвання, енергетичні показники однодротової лінії.

# ABSTRACT

The author of the diploma project: Nestertsova Kateryna.

Theme of the graduation project: "Single wire power line".

Graduation of the graduation project 56 pages, winnings 42 drawings, 5 tables, 20 posilan.

By the method of robots, they can be realized in a resonant way of transmission of electric energy by a single company and a number of robots of the system.

Within the framework of the diploma project, the scientific and technical literature was presented. Experimental stand of one mortgage transfer of electric power was designed and manufactured, for additional experimental testing of the basic physical system and power systems of KKD system.

The results of this work can be found practically in every possible alternative, and traditional power engineering.

***Key words***: electric energy, line electric transmission, resonant one-groove line, one-groove pover line, energy indicators of the single wire power line.

# ЗМІСТ

ВСТУП.....7
1. Аналіз науково-технічної літератури.....8
1.1 Основні патенти по однодротовій передачі електричної енергії.....8
1.2 Резонансні трансформатори в системі однодротової ЛЕП .....11
1.3 Резонансні схеми систем однодротової передачі електричної енергії.....16
1.4 «Аномальний струм» в незамкнутому провіднику та його фізичні властивості.....23
1.5 Параметри енергії однодротової ЛЕП .....27
1.6 Практичне застосування однодротової ЛЕП .....30
2. Експериментальні дослідження.....36
2.1 План дослідження .....36
2.2 Вимірювальний комплекс .....36
2.3 Результати проведених експериментальних досліджень .....43
ВИСНОВКИ.....53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....54

# ВСТУП

У зв'язку з технологічним прогресом напруга і потужність електропередач з кожним роком невпинно зростають. Число споживачів електроенергії збільшується, тим самим збільшується навантаження на електричні станції та мережі. Однак лінії електропередач, які на даний час активно використовуються не розраховані на таке зростання потужності, що призводить до ряду проблем, таких як: висока вартість ліній електропередач, висока електрична напруженість, великі омічні втрати і т.д. Крім того, подібні лінії електропередач будуються з використанням металевих дротів великого перерізу та вимагають значних витрат міді й алюмінію. В галузі альтернативної енергетики також існує проблема передачі електроенергії на великі відстані. Одним із можливих напрямків вирішення зазначених питань є резонансна передача електричної енергії за допомогою однодротових ліній електропередач.

Принцип дії однодротових систем базується на резонансному методі передачі електричної енергії, що дозволяє передавати енергію за допомогою протяжних електричних комунікацій з малими втратами.

Метою даної дипломної роботи є вивчення можливості резонансної передачі електричної енергії по однодротовій лінії, визначення найбільш ефективних способів даної передачі, а також отримання основних фізичних й енергетичних характеристик.

По даній тематиці проводяться дослідження в різних дослідницьких центрах, одним з них є Всеросійський науково-дослідний інститут електрифікації сільського господарства. Відомий також ряд патентів на винаходи, отриманих такими вченими як Н. Тесла, С. В. Авраменко, Д. С. Стребков і Л. Ю. Юферев.

# 1. Аналіз науково-технічної літератури

## 1.1 Основні патенти по однодротовій передачі електричної енергії

Перші результати досліджень резонансних методів передачі електричної енергії були отримані і опубліковані понад сто років тому Ніколою Тесла [1]. У його підході передача енергії здійснювалась без повернення (через одиночний провідник). Система однодротової лінії електропередачі (ЛЕП) складалася з джерела імпульсів, підключеного до первинної обмотки трансформатора Тесла. Вихід трансформатора одиночним дротом з'єднувався з входом приймаючого трансформатора [2].

Патент Ніколи Тесла представлений на рисунку 1.1:

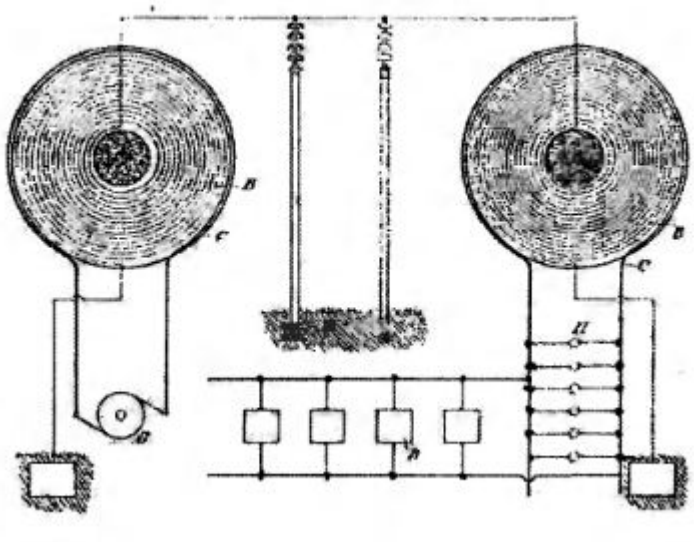


Рис. 1.1 Електрична схема пристрою Н. Тесла для резонансної системи передачі електричної енергії [2].

У 80-хроках XX століття, посилаючись на роботи Ніколи Тесла, були запатентовані електричні системи однодротового типу інженером С. В.

Авраменко, які працювали на потужностях 10 - 100 Вт. У цих системах були використані тиристорні перетворювачі частот 1 - 30кГц, а так само для створення резонансу використані ємності трансформаторів Тесла. Для випрямлення струму та напруги С. В. Авраменко запропонував використовувати діодно - конденсаторний блок (який отримав назву «вилка Авраменко») [3].

«Вилка Авраменко» була основою пристрою для однодротової передачі енергії. Завдяки вилці вдалося накопичувати енергію в деякій ємності та надалі отримувати цю енергію, а так само передавати по незамкненій мережі. При цьому без нагрівання проводу й з мінімальними втратами енергії [4].

Схема, що демонструє реалізацію способу живлення електротехнічних пристроїв, запропонованого С. В. Авраменко, представлена на рисунку 1.2:

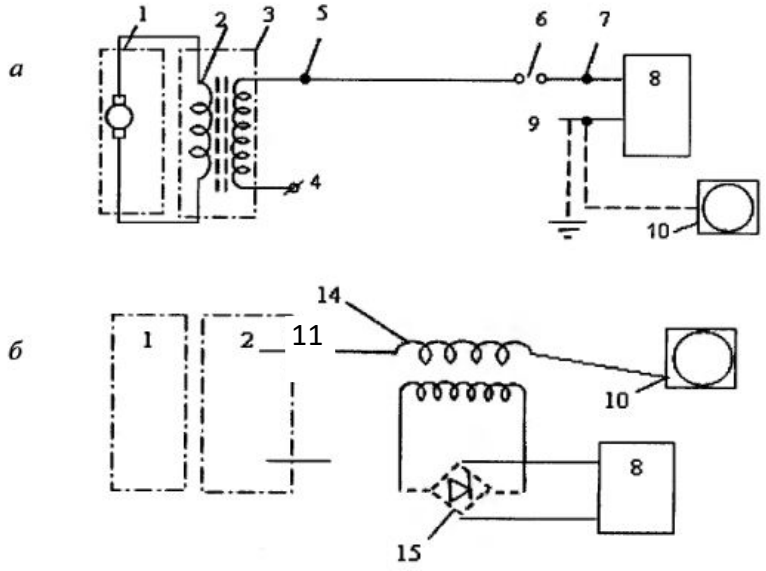



Рис. 1.2 Електрична схема живлення передаючого (а) й приймаючого (б) пристроїв інженера С. В. Авраменко для резонансної передачі електричної енергії [3].

Згідно рисунку 1.2: 1 - генератор змінної напруги; 2 - низьковольтна обмотка трансформатора 3; 4 - ізольований вихід високовольтної обмотки; 5 - другий вихід високовольтної обмотки; 6 - елемент для з'єднання з вхідною клемою 7 споживача 8 електромагнітної енергії; 9 - клема споживача, що заземлена або з'єднана з ємністю 10. Компоненти установки 1.2 (б): 11 - первинна обмотка трансформаторного перетворювача; 12 - випрямний пристрій [3].

Ще один спосіб, який демонструє однодротову передачу електричної енергії, був запатентований Д. С. Стребковим і Л. Ю. Юферевим. Пристрій запатентованої схеми продемонстровано на рисунку 1.3.

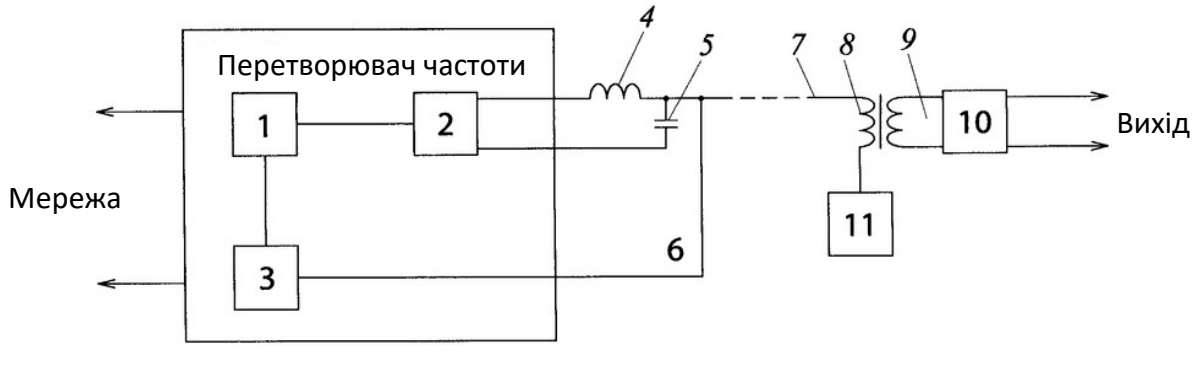



Рис. 1.3 – Схема однодротової передачі електричної енергії з патенту Юферева та Стребкова. 1 - блок управління, 2 - силовий каскад, 3 - блок зворотного зв'язку (для стабілізації напруги та частоти), 4 - резонансна котушка, 5 - конденсатор, 6 - лінія зворотного зв'язку, 7 - лінія електропередачі, 8 - вхідна обмотка приймального трансформатора, 9 - вихідна обмотка приймального трансформатора, 10 - випрямляч, 11 - ізольована ємність [10].

У патенті [10] перетворювач частоти має зворотний зв'язок по вихідній напрузі та частоті, а так само передбачено підключення до приймаючого контуру або заземлення великої електричної ємності.

## 1.2 Резонансні трансформатори в системі однодротової ЛЕП

Резонансний трансформатор - це трансформатор, що складається з обмоток, які включені в коливальні контури з близькими за величиною резонансними частотами.

У 1981 році Н. Тесла винайшов резонансний трансформатор, який носить назву: «трансформатор Тесла». Пристрій застосовується для збудження високовольтних коливань на високих частотах [5].

Трансформатор Тесла включає в себе як мінімум дві обмотки, які розміщені на осерді. Первинна обмотка підключена до джерела енергії, а вторинні - до опорів навантаження. По конструкції класифікують два види трансформаторів: стрижневі (П-подібний сердечник) і броньові (Ш-подібний сердечник) [5].

Магнітопровід трансформатора виготовлений з листів електротехнічної сталі, з малими втратами на вихрові струми, а так само на перемагнічування. Покриття лаком листів сталі зменшує індукування змінним струмом вихрових струмів [5].

В роботі [6] у системі резонансної передачі електроенергії в якості передаючого та приймаючого трансформаторів використовувалися трансформатори Тесла. В результаті експериментальних і теоретичних досліджень була отримана схема резонансного трансформатора, яка зображена на рисунку 1.4.

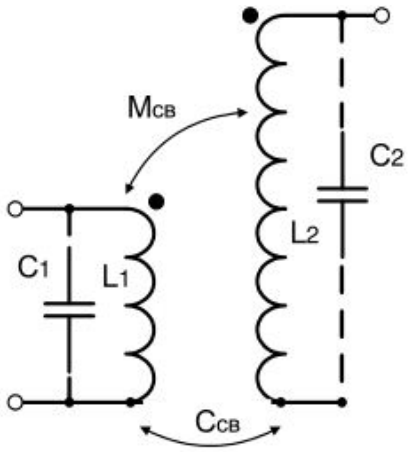



Рис. 1.4 Еквівалентна схема трансформатора Тесла [6].

На рисунку 1.4 зображені наступні параметри: $C_1$ - ємність первинної обмотки, $L_1$ – індуктивність первинної обмотки, $C_2$ - ємність вторинної обмотки, $L_2$ – індуктивність вторинної обмотки, $M_{св}$ – взаємна індуктивність між обмотками, $C_{св}$ – взаємна ємність між обмотками [6].

Для обмоток були визначені резонансні частоти, а так само відповідні цим частотам відношення показників вкладу в сумарний сигнал до гармоніки з максимальною амплітудою [6]:

$$\varepsilon = \frac{A_i}{A_{max}} \tag{1.1}$$

Отримані значення представлені в таблицях 1.1 і 1.2 відповідно [6].

Таблиця 1.1

Резонансні частоти первинної обмотки

| | $C_1$ | | $C_{св}$ | | $(C_1+C_{св})$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | f, (кГц) | ε, (отн. ед.) | f, (кГц) | ε, (отн. ед.) | f, (кГц) | ε, (отн. ед.) |
| $L_1$ | 300 (1) | 32 | 3310 (2) | 18 | 3430 (3) | 19 |
| $M_{св}$ | 240 (4) | 41 | 919 (5) | 62 | 950 (6) | 63 |
| $L_1+M_{св}$ | 230 (7) | 51 | 890 (8) | 63 | 919 (9) | 62 |

Таблиця 1.2

Резонансні частоти вторинної обмотки

| | $C_2$ | | $C_{св}$ | | $(C_2+C_{св})$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | f, (кГц) | ε, (отн. ед.) | f, (кГц) | ε, (отн. ед.) | f, (кГц) | ε, (отн. ед.) |
| $L_2$ | 300 (1) | 33 | < 100 (2) | ≈ 2-3 | 320 (3) | 115 |
| $M_{св}$ | 2740 (4) | 36 | 925 (5) | 12 | 2890 (6) | 37 |
| $L_2+M_{св}$ | 300 (7) | 56 | < 100 (8) | ≈ 4-5 | 318 (9) | 200 |

З отриманих результатів, резонансні частоти трансформатора, з невеликою похибкою кратні розрахунковій резонансній частоті вторинної обмотки (300кГц) [6].

Резонансні явища в обох обмотках трансформатора представлені на рисунках 1.5 і 1.6.

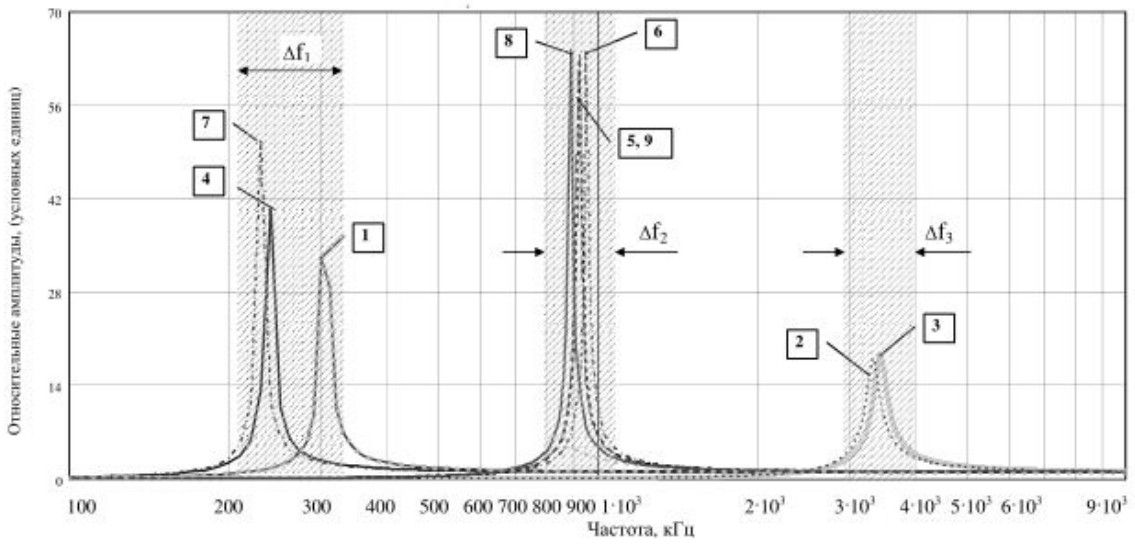



Рис. 1.5 Резонансні явища у первинній обмотці трансформатора Тесла [6].

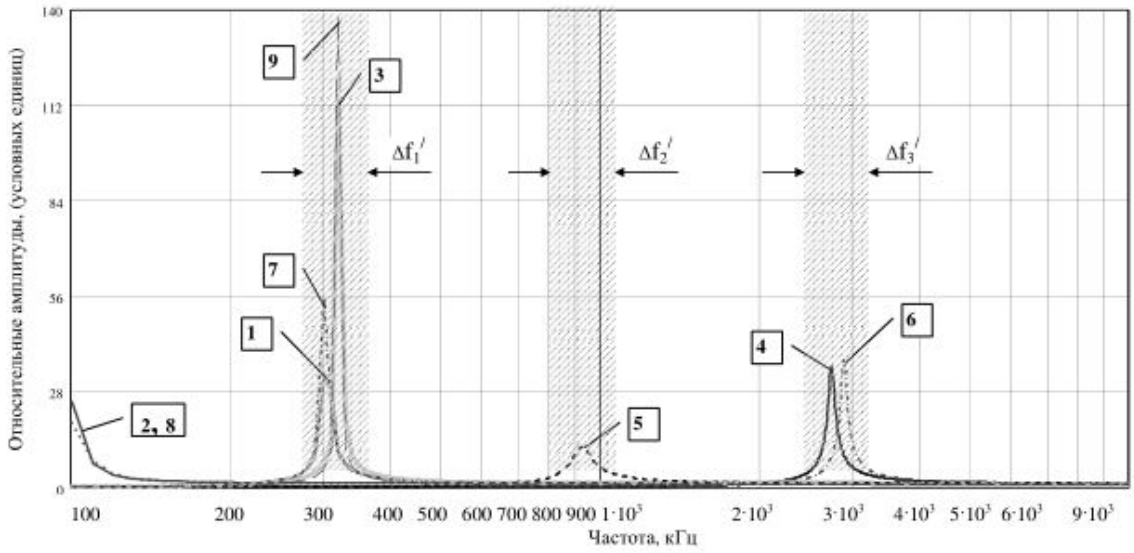



Рис. 1.6 Резонансні явища у вторинній обмотці трансформатора Тесла [6].

З графіків, продемонстрованих на рисунках 1.5 і 1.6 можна зробити висновок, що масив резонансних частот первинної та вторинної обмотки розділений на три частотні діапазони [6].

Також, в ході проведення експериментів була визначена робоча частота установки, що складається з двох трансформаторів Тесла з'єднаних провідником: 260 - 280 кГц [6].

Так само робочі частоти цієї установки, можливо, розрахувати виходячи з геометричних параметрів передаючого й приймаючого трансформаторів Тесла [1].

Геометрична модель трансформатора Тесла продемонстрована на рисунку 1.7. Де $r_1$ і $r_2$ - радіус, $h_1$ і $h_2$ - крок, $l_1$ і $l_2$ –довжина, первинної і вторинної обмоток відповідно [1].

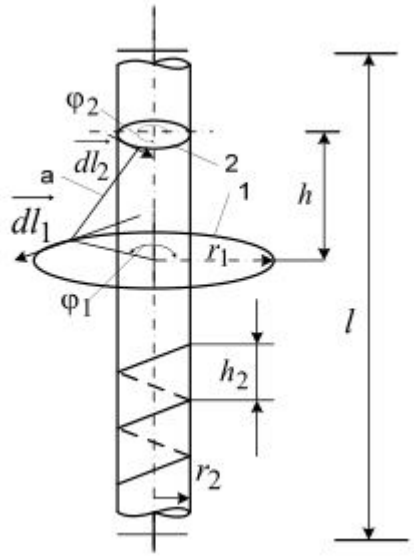



Рис. 1.7 Геометрична модель трансформатора Тесла [1].

Тоді, для взаємної індуктивності первинної та вторинної обмотки справедлива формула [1]:

$$M_{\text{св}} = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot \cos\varphi d\varphi}{\mu_0 \cdot \int_0^{\pi} \sqrt{\left(\frac{l_1 - l_2 + h_{2(1)} - h_{2(2)}}{2} - x - h_{2(1)} \cdot k_1 + h_{2(2)} \cdot k_2\right)^2 + r_1^2 + r_2^2 - 2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot cos\varphi}} \quad (1.2)$$

Загальна ємність утворена первинною та вторинною обмотками дорівнює [1]:

$$c = \frac{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot a_1}{ln\frac{2 \cdot R}{a_2}}, \quad (1.3)$$

де ε – електрична постійна, $\varepsilon_0$ = 1 (для повітря), $a_1$ й $a_2$ - радіуси дротів первинної та вторинної обмоток відповідно, R– активний опір [1].

В роботі [1] трансформатор Тесла представляється у вигляді функцій $W_i(p)$, кожна з цих функцій представлена у вигляді коливальної ланки з резонансною частотою (обчисленої за формулою Томсона), для всіх можливих комбінацій $c_i$и $l_i$.

## 1.3 Резонансні схеми систем однодротової передачі електричної енергії

Починаючи з 1992 року, у Всеросійському науково-дослідному інституті електрифікації сільського господарства, ведуться дослідження по вивченню й розробкам резонансних систем передачі електричної енергії по однопровідниковим кабельним і повітряних лініях на підвищеній частоті для постачання споживачів потужністю 0,1 ... 20 кВт. Електрична схема описаної передачі представлена на рисунку 1.8, на якій показані наступні компоненти: 1 - генератор підвищеної частоти; 2 - резонансний контур трансформатора; 3 - однодротова лінія; 4 - резонансний контур понижуючого трансформатора; 5 - випрямляч; 6 - перетворювач [18].

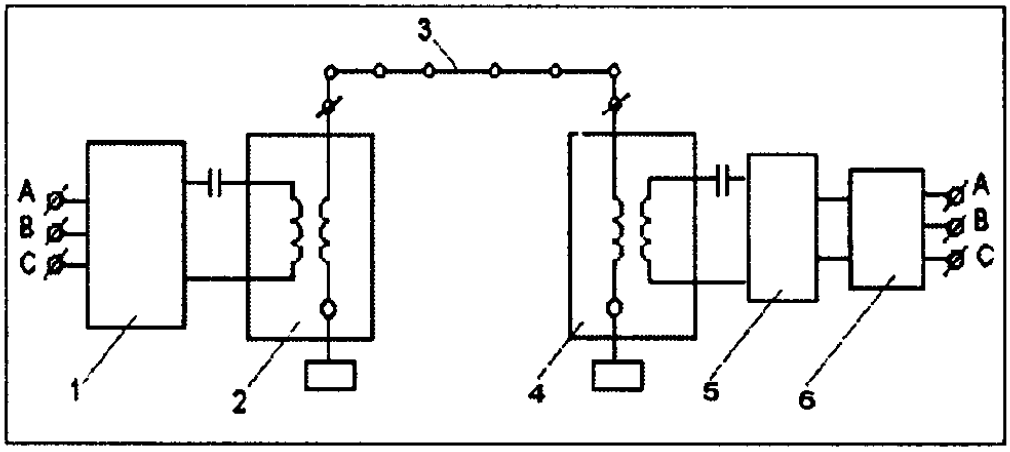



Рис. 1.8 Електрична схема з двома високочастотними трансформаторами [18].

У ВІЕСГ були розроблені методи та схеми установок передачі електричної енергії по високовольтній не замкнутій лінії з використанням резонансного режиму [3].

Одна зі схем передачі електричної енергії проілюстрована на рисунку 1.9 і містить наступні елементи: 1 - генератор високої частоти; 2, 4 - резонансний контур підвищуючого й понижуючого трансформаторів; 3 -

однодротова лінія; 5 - випрямляч; 6 - інвертор (для перетворення постійного струму в змінний); 7 - навантаження; 8 - заземлення підключене до високовольтної обмотки 9 підвищуючого трансформатора 10 і до високовольтної обмотки понижуючого трансформатора 12; 13 - конденсатор; 14, 15 - низьковольтні обмотки; 16 - контурний конденсатор [3].

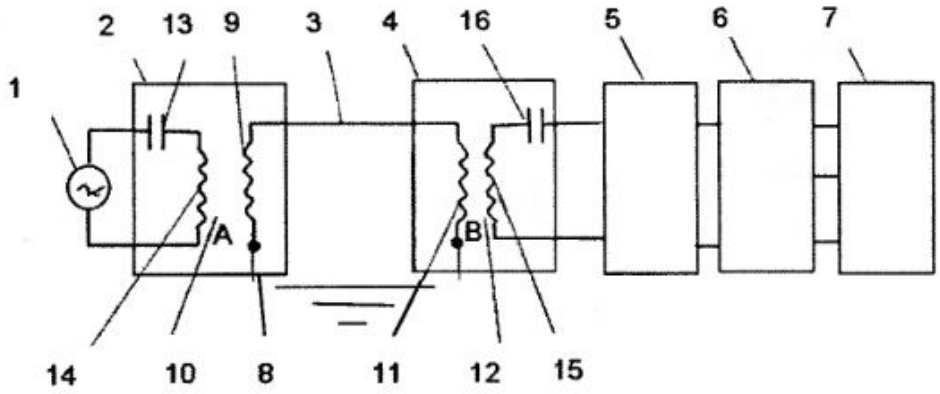



Рис. 1.9 Схема передачі електричної енергії із заземленням виходів високовольтних обмоток [3].

Високочастотний генератор 1 передає електричну енергію в резонансний контур 2 трансформатора 10. Підвищуючий трансформатор працює на частотах генератора $(f_0)$. $L_{AB}$ - довжина електричного кола. Для представленої схеми справедливі такі відношення (с - швидкість світла, n- натуральне число) [3]:

$$\lambda = \frac{2 \cdot L_{\mathrm{AB}}}{\mathrm{n}} \tag{1.4}$$

$$f_0 = \frac{c_n}{2 \cdot L_{AB}} \tag{1.5}$$

За допомогою підвищуючого трансформатора й резонансного контуру зростає потенціал електричної енергії (до 10 - 100кВ) перетвореної з генератора. Контур понижуючого трансформатора працює в резонансному режимі й налаштований на частоту $f_0$. Далі електричний струм з частотою $f_0$

надходить в випрямляч, звідки вже постійний струм надходить в інвертор. У інверторі він перетворюється в трифазний струм промислової частоти (≈ 50 Гц). І нарешті, електрична енергія надходить у навантаження [3].

Наступна схема передачі електричної енергії представлена на рисунку 1.10.

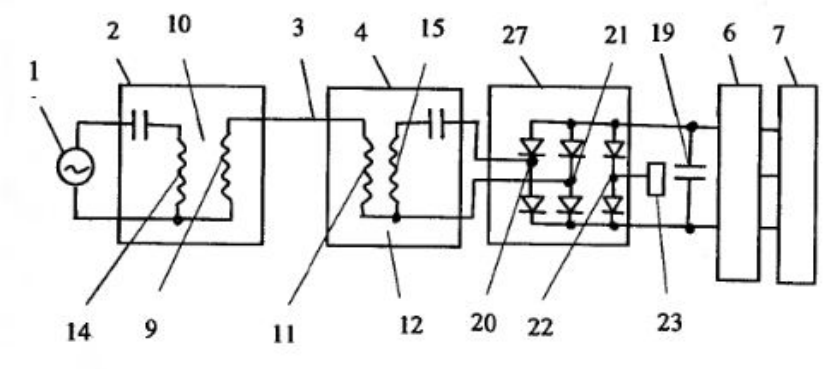



Рис. 1.10 Схема передачі електричної енергії з трифазним мостовим випрямлячем [3].

У підвищуючого (10) і понижуючого (12) трансформаторів з'єднані виходи високовольтної та низьковольтної обмоток (11 і 15, 14 і 9) . В схемі 1.10, 20 і 21 - входи трифазного мостового випрямляча 27, які приєднані до виходів резонансного контуру. 23 - це третій вхід трифазного мостового випрямляча 27, який підключений до природної ємності 23. Виходи мостового випрямляча 27 під’єднанні до інвертору 6 і конденсатору 19 [3].

Для схем, продемонстрованих на рисунках 1.9 і 1.10, показано розподілення струмів і напруг в однопровідниковій лінії на рисунку 1.11.

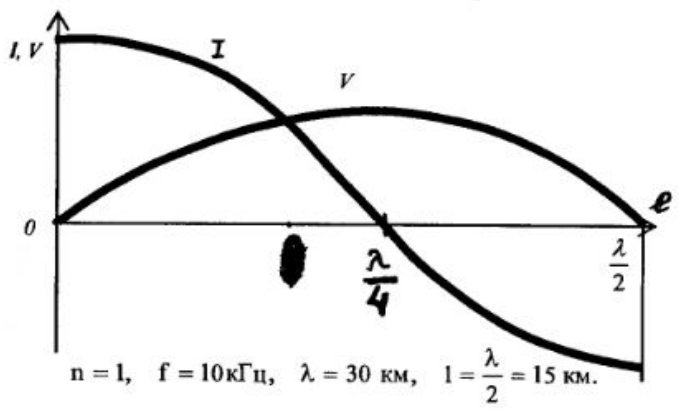



Рис. 1.11 Розподіл струмів і напруг у полухвильовій однопровідниковій лінії [3].

Для описаних вище способів передачі доцільно використовувати дріт діаметром 0,08 - 1,3 мм. Уздовж лінії направляючого каналу потоку електромагнітної енергії (дроту) поширюються електромагнітні хвилі Т, з будь-якою частотою. Розглядаючи поперечну площину, за структурою поля хвилі Т близькі до електростатичного поля й стаціонарного магнітного [3].

Ще однією системою для передачі електричної енергії є система з використанням методу ударного збудження. Цей метод використовується для усунення биття, які виникають при сильному трансформаторному зв'язку двох резонансних контурів. Биття продемонстровані на рисунку 1.12 (а) [3].

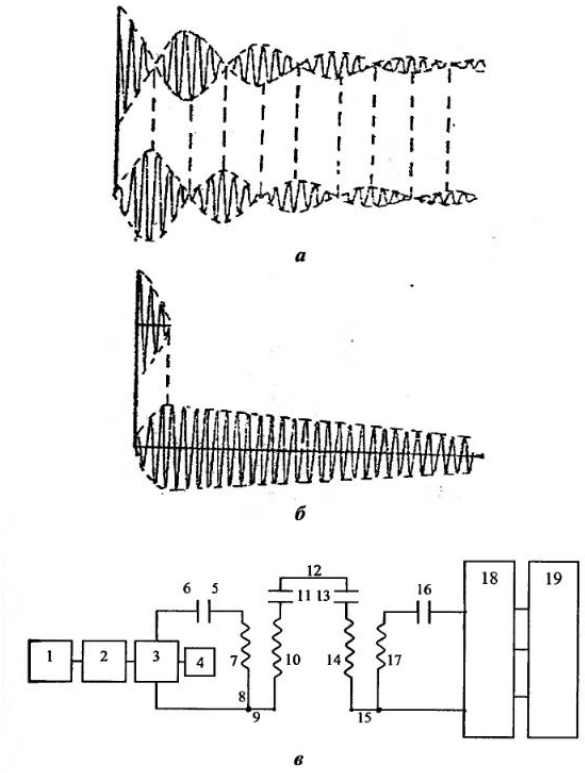



Рис. 1.12 Графік зміни амплітуди коливання двох пов'язаних резонансних контурів при постійному збудженні передавального контуру (а), а так само при ударному збудженні (б), схема однодротової передачі електроенергії з використанням методу ударного збудження (в) [3].

Графік залежності, продемонстрований на рис. 1.12 (а), має такий характер у зв'язку з тим, що електромагнітна енергія по черзі перекачується з одного контуру в інший і при цьому коливання загасають через омічні опори контурів і ліній зв'язку [3].

Для зниження втрат при переході енергії з першого контуру в другий, перший контур розмикається, при цьому другий контур починає коливатися як вільна система рис. 1.12 (б) [3].

На рисунку 1.12 (в) представлена блок-схема для передачі електроенергії з ударним збудженням. Де компоненти відповідають наступним визначенням: 1 - генератор електроенергії; 2 - високовольтний

трансформатор; 3 - комутатор з блоком управління 4; 5 - зарядна ємність послідовного резонансного контуру 6; 7 - індуктивність резонансного контуру, яка є первинною обмоткою 8 резонансного високочастотного підвищувального резонансного трансформатора 9; 10 - вторинна обмотка трансформатора 9; 11 - ємність резонансного контуру вторинної обмотки трансформатора 9; 12 - однопровідникова високовольтна лінія; 13 - ємність резонансного контуру високовольтної обмотки 14 резонансного високочастотного понижуючого трансформатора 15; 16 - ємність резонансного контуру низьковольтної обмотки 17 понижуючого високочастотного трансформатора 15; 18 - інвертор; 19 - навантаження [3].

При ударному збудженні за рахунок зниження втрат у передавальному контурі та лінії ККД передачі збільшується [3].

В роботі [9] була представлена схема, яка зображена на рисунку 1.13 і включає в себе наступні компоненти: джерело живлення, ПЧ1 - перетворювач частоти, С1 і Т1 - резонансний контур, ОЛ - одножильний високовольтний кабель, С2 і Т2 - приймальний резонансний контур, ПЧ2 - перетворювач частоти, приєднаний до трифазного навантаження.

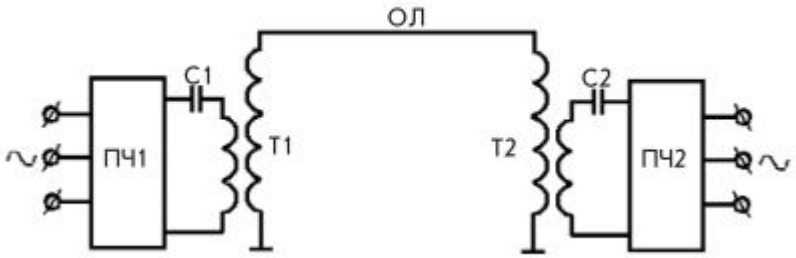



Рис. 1.13 Схема резонансної однодротової ЛЕП із двома трансформаторами [9].

Як джерело живлення виступає трифазна мережа, або генератор змінного струму підвищеної частоти. Для перетворення напруги промислової частоти в напругу підвищеної частоти використовується ПЧ1 [9].

В ході досліджень в роботі [9] було визначено, що в разі резонансної однодротової ЛЕП поздовжні хвилі проходять не по перетину проводу, а вздовж його поверхні. З цього випливає, що активний опір і перетин дроту не мають принципового значення для однодротової ЛЕП [9].

Також встановлено, що інтегральний ККД такої системи може досягати до 94 - 96%. Основні втрати - це електричні втрати в ПЧ1 і ПЧ2 і втрати на випромінювання [9].

У схемі, показаній на рисунку 1.14, використовувалася мостова схема.

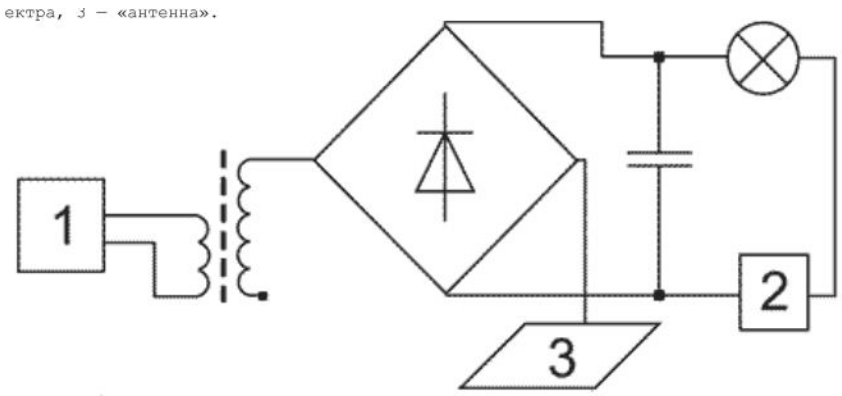



Рис. 1.14 Однодротова передача енергії з використанням мостової схеми. 1 - генератор, 2 - розширювач спектру, 3 - антена [4].

У представленій схемі навантаження не перешкоджає повному заряду конденсатора, за рахунок наявності в схемі розширювача спектру. Так само є два самостійних контури з різними спектрами частот (перший - вузькосмуговий спектр, другий - широкосмуговий) [4].

В роботі [14] було розроблено і створено пристрій для однодротової передачі електроенергії. Схема пристрою продемонстрована на рисунку 1.15 [14].

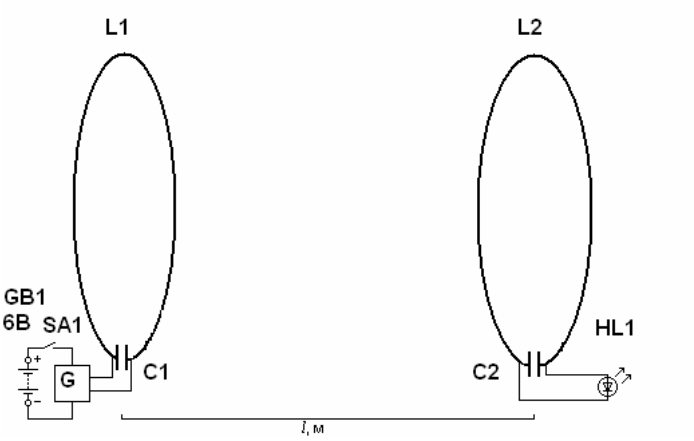



Рис. 1.15 Структурна схема пристрою, який комбінує коливальні контури джерела й приймача [14].

Пристрій дозволяє передавати електромагнітні коливання частотою 1,7 МГц, напругою до 6 В, на відстань одного метра та генерувати прямокутні коливання в діапазоні 1 - 2,5 МГц. Так само пристрій має можливість комбінування декількох коливальних контурів на джерелі та приймачі. Основною складовою пристрою є генератор прямокутних імпульсів.

## 1.4 «Аномальний струм» в незамкнутому провіднику та його фізичні властивості

В роботі [7] був поставлений і описаний експеримент, який підтверджує існування так званого аномального або «тесловського струму». Дослідження проводилися, ґрунтуючись на схемі експерименту показаній на рисунку 1.16.

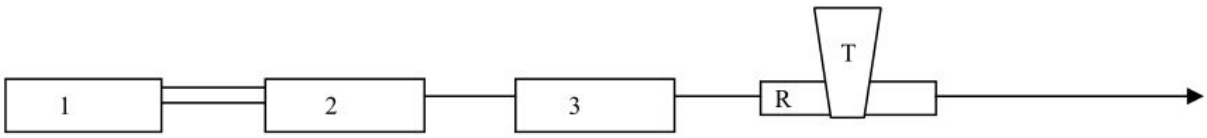



Рис. 1.16 Схема експерименту, яка доводить наявність «тесловського струму», з використанням резистора. 1 - джерело живлення (U = 12,6 В); 2 - блок генератора із підвищуючим трансформатором; 3 - амперметр; R - резистор; T - термометр, що стикається з резистором [7].

Після включення джерела живлення та блоку генератора амперметр реєструє струм (I = 2 А). Через 5 хвилин температура резистора підвищилася на 30 ° С. Тоді, величина струму протікає за схемою:

$$I^2 = \frac{mc\Delta T}{Rt}, \tag{1.6}$$

де $\Delta T = 30℃$, m – маса тіла, що нагрівається, c - теплоємність тіла, R-опір резистора, t = 5 хвилин [7].

Вважаючи, що m = 0,04 кг, c = $0{,}9\frac{кДж}{кг \cdot ℃}$, R = $5 * 10^4$ Ом, отримуємо наступну величину струму: I = 8,5 мА. Однак, така величина струму не здатна нагріти алюмінієвий блок до температури 50°С, що свідчить про те, що «тесловський струм» має іншу природу, яку неможливо описати відомими формулами [7].

Аналогічний експеримент, що демонструє природу «тесловського струму», був проведений в роботі [16]. Експериментальні дослідження показали, що за 92-93 секунди температура поверхні резистора (при включенні генератора однопровідникового сигналу) збільшується на 20 градусів, за 4 хвилини - на 40. Витік тепла йде вже через нагріту коробку. Був зроблений висновок, що в резисторі відбувається взаємодія зустрічно

обертових магнітних полів, в області взаємодії виникає теплова енергія (польовий колайдер) [16].

За допомогою схеми, що представлена на рисунку 1.17, був проведений експеримент, за допомогою якого було показано, що незамкнений струм здатний поширюватися по заземленому з нульовим потенціалом провіднику [15].

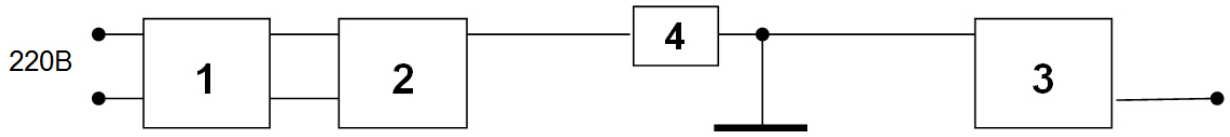



Рис. 1.17 Схема проведення експерименту для вивчення фізичних властивостей «тесловського струму». 1 - випрямляч, 2 - генеруюча схема, 3 - мікроамперметр з детектором, 4 - резистор [15].

В експерименті, проведеному авторами роботи [15], мікроамперметр був з'єднаний проводом трьох метрів з трубою парового опалення і віддалений від генеруючої системи на відстань двох метрів. Для заземлення виходу генератора використовувався резистор величиною 115 кОм, який був прикріплений одним кінцем до місця з'єднання, а іншим - з проводом довжиною двох метрів, що веде до виходу генеруючої системи [15].

В результаті було встановлено, що при включенні генератора мікроамперметр фіксував сигнал величиною 20 мкА. Після відключення генеруючої системи стрілка мікроамперметра показувала відсутність струму [15].

Із описаного експерименту були отримані наступні властивості «тесловського струму»:

- здатність переносити енергію та інформацію по незамкненому колі,
- аномально потужна реакція приладів на незамкнений струм,
- енергія, що транспортується практично не втрачається в зосереджених резистивних системах,
- можливість перенесення енергії з одиночного провідника, який має нульовий електричний потенціал [15].

В роботі [20] проводились дослідження на тему: чи може електричний струм текти по одному незамкненому провіднику? Для цього періодично по черзі заряджалися два тіла від позитивного і негативного полюса е.р.с. Експериментальні дослідження проводилися за допомогою установки (рис. 1.18), яка представляла собою диск D зі встановленими на ній сім'ю герконами Г_1 - Г_7, джерелом е.р.с. E, а також конденсатором ємністю 6,8 мкФ, навколо якого обертався магніт M (який в свою чергу керувався замиканням і розмиканням герконів).

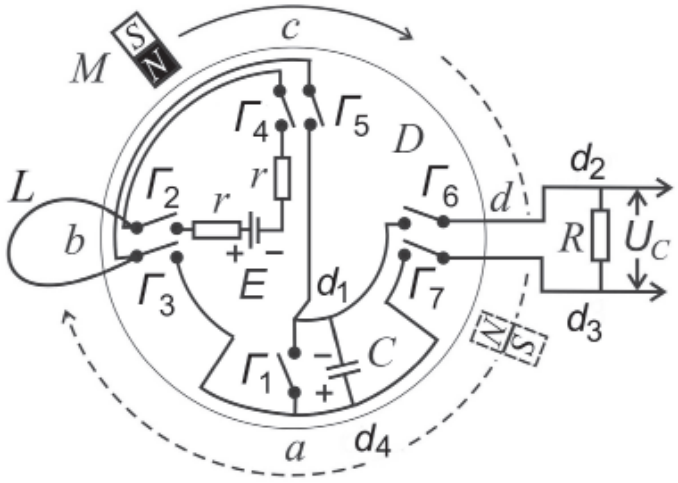



Рис. 1.18 Експериментальна установка [20].

Було встановлено, що перетікання струму через незамкнений провідник є, при цьому падіння напруги на кілька порядків менше ніж у вилки Авраменка.

Коли постійний магніт знаходиться поблизу контуру, при замкнутих геконах, потік вектора магнітної індукції через площу обмежену цим контуром, змінюється з часом (що повинно призводити до виникнення е.р.с.).

## 1.5 Параметри енергії однодротової ЛЕП

В роботі [8] були отримані закони поширення напруги і струму вздовж однодротової лінії електропередач. Для отримання результатів була розглянута схема заміщення однодротової ЛЕП на частоті n - ої гармонійної складової напруги і струму, представлена на рисунку 1.19.

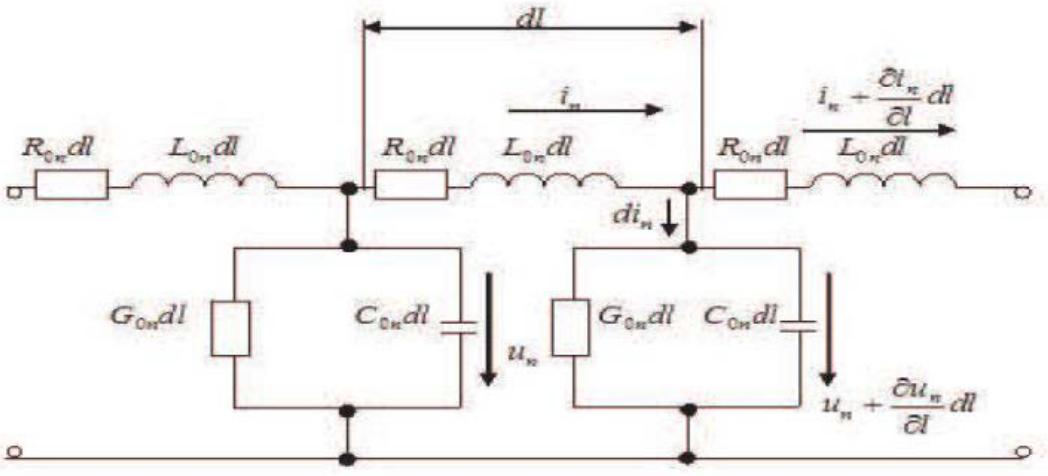



Рис. 1.19 Схема заміщення однодротової ЛЕП. dl – протяжність ділянки ЛЕП, $R_{0n}$– погонний активний опір, $L_{0n}$– погонна власна індуктивність, $G_{0n}$ - погонна активна провідність, $C_{0n}$- погонна ємність [8].

На основі рівнянь Кіргофа складена математична модель однорідної ділянки однодротової ЛЕП. Після ряду перетворень вона має наступний вигляд:

$$\begin{cases} -\frac{d^2\dot{U}_n}{dl^2} = \underline{Z}_{0n}\frac{d\dot{I}_n}{dl}; \\ -\frac{d^2\dot{I}_n}{dl^2} = \underline{Y}_{0n}\frac{d\dot{U}_n}{dl}; \end{cases}, \quad (1.7)$$

де $\dot{I}_n$, $\dot{U}_n$ - діючі значення напруги та струму на комплексній площині на частоті n-ої гармонічної складової, $\underline{Z}_{0n} = R_{0n} + jn\omega L_{0\text{n}}$, $\underline{Y}_{0n} = G_{0n} + jn\omega C_{0\text{n}}$ [8].

Рішення цієї системи рівнянь дозволить визначити закони змін напруги та струму вздовж однорідної ділянки однодротової ЛЕП. Вид рівнянь в системі залежить від початкових умов [8].

В системі резонансної однодротової лінії електропередачі уздовж хвилеводу рухається сукупність змінюваних позитивних і негативних зарядів [11]. Цей процес просторово нагадує вихрові тороїди (продемонстрований на рисунок 1.20).

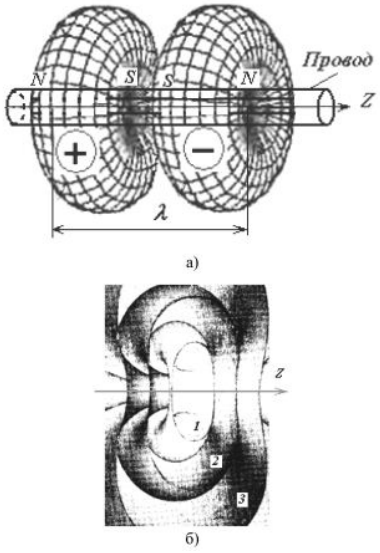



Рис. 1.20 Моделі руху зарядів і магнітних полів навколо провідника РО ЛЕП [11].

На рисунку 1.20 (а) показано, що кожен із рухомих зарядів володіє власним магнітним полем, так що в вузлах струму полюса цих динамічних магнітів однойменні. На 1.20 (б) показані тороїди 1,2 і 3, що свідчить про збільшення пучності струму та збільшення відповідних магнітних полів з ростом реактивного струму та переданої потужності [11].

В роботі [19] проаналізована робота моделі «вилки Авраменко», яка за припущенням повинна забезпечити передачу електричної енергії по незамкненому провіднику (рис. 1.21). У зв'язку з тим, що традиційні методи розрахунку не дозволяють розглядати незамкнуті струми, схема доповнена двома ємностями, які моделюють струми зміщення між корпусом генератора і навантаженням (C, R).

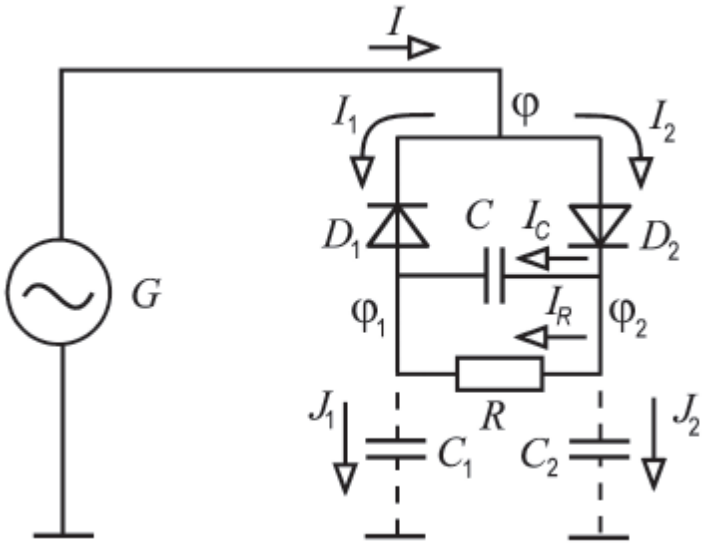



Рис. 1.21 Модель «вилки Авраменко» [19].

В результаті теоретичних досліджень були отримані наступні результати: середнє значення падіння напруги на навантаженні від величин C1 і C2 при фіксованій частоті вхідного сигналу лінійно залежить в дуже широкому діапазоні значень ємностей (рис. 1.22 і рис.1.23) [19].

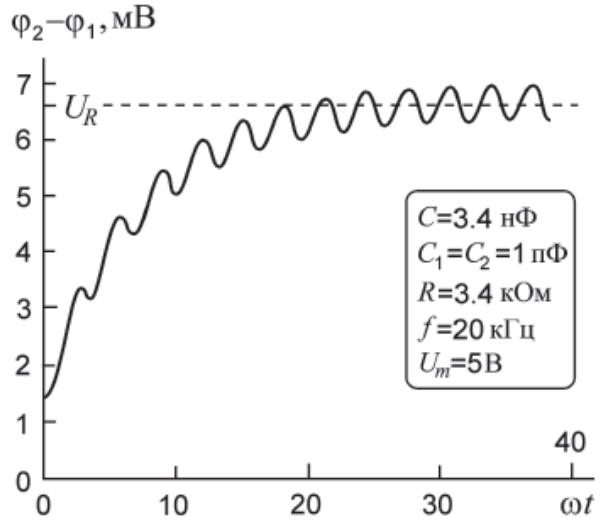



Рис.1.22 Форма вихідного сигналу як функція часу [19].

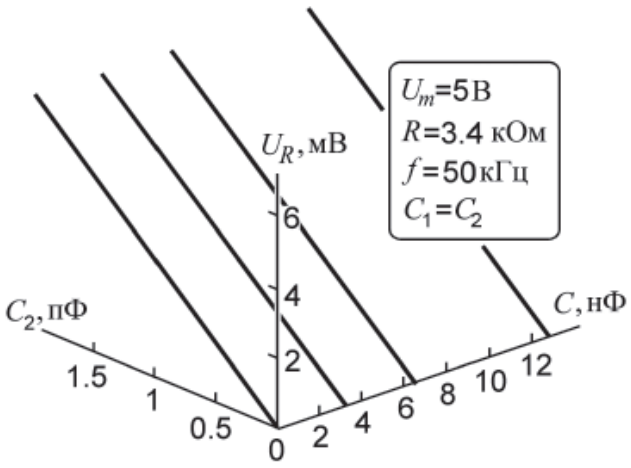



Рис. 1.23 Постійна складова вихідного сигналу як функція ємностей зміщення [19].

## 1.6 Практичне застосування однодротової ЛЕП

Автори в роботі [12] пропонують заряджати акумулятор електромобіля під час його руху, використовуючи безпосередньо однодротову мережу.

Для перевірки принципу однодротової передачі електроенергії використовувалась діюча установка, яка передавала високочастотні струми по одному дроту для приведення автомобіля в рух. Схема установки представлена на рисунку 1.24 [12].

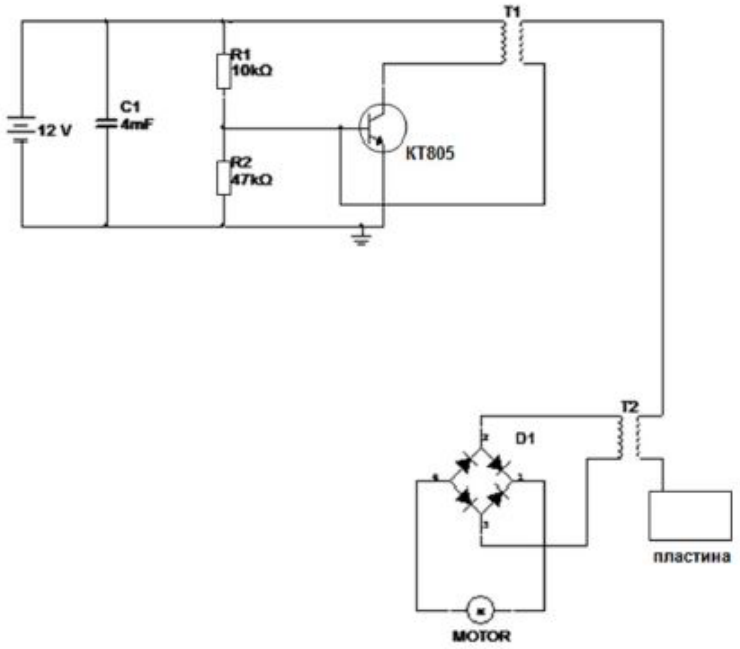



Рис. 1.24 Схема експериментальної установки для приведення автомобіля в рух [12].

Трансформатор Тесла (на одному транзисторі) був використаний в якості генератора. На виході з трансформатора напруга сягала 5 кВ на частоті 1,5 кГц. Модель автомобіля, оснащена знижувальним трансформатором і струмоприймачем типу бугель, виступала в якості приймача. Первинна котушка з'єднувалася з високочастотною лінією через струмознімач, а вихідні контакти трансформатора підключені до діодного мосту на високочастотних діодах (для випрямлення струму), далі до електромотора постійного струму. Електромотор постійного струму приводив модель до руху через редуктор. Передача електроенергії виконувалась по провіднику, перетин якого становив 0,02 мм$^2$ . Зовнішній вигляд описаної експериментальної установки зображений на рисунку 1.25 [12].

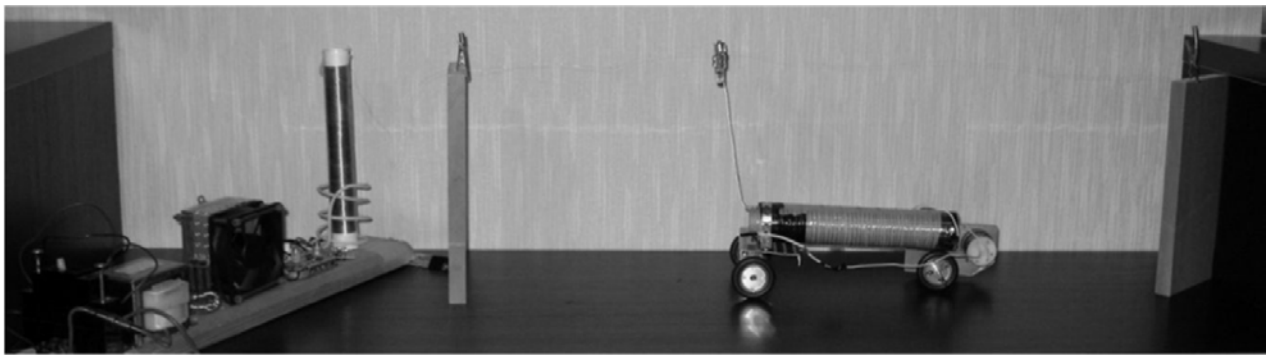


Рис. 1.25 Експериментальна установка одноконтактної мережі [12].

Зазначений спосіб живлення електромобіля дозволяє збільшити запас ходу без традиційної зарядки при цьому зберігати маневреність автомобіля. При цьому в місцях, де розміщення однодротової лінії неможливо, автомобіль якийсь час може продовжувати рух за рахунок акумулятора [12]. Однак, через недостатність вивчення впливу високочастотних коливань на живі організми, на даний момент застосування таких систем неможливе.

Так само автор своєї дисертаційної роботи [13] запропонував використовувати однодротову мережу на напрузі 10 кВ для електропостачання віддалених сільськогосподарських споживачів. Схема такої однодротової мережі представлена на рисунку 1.26.

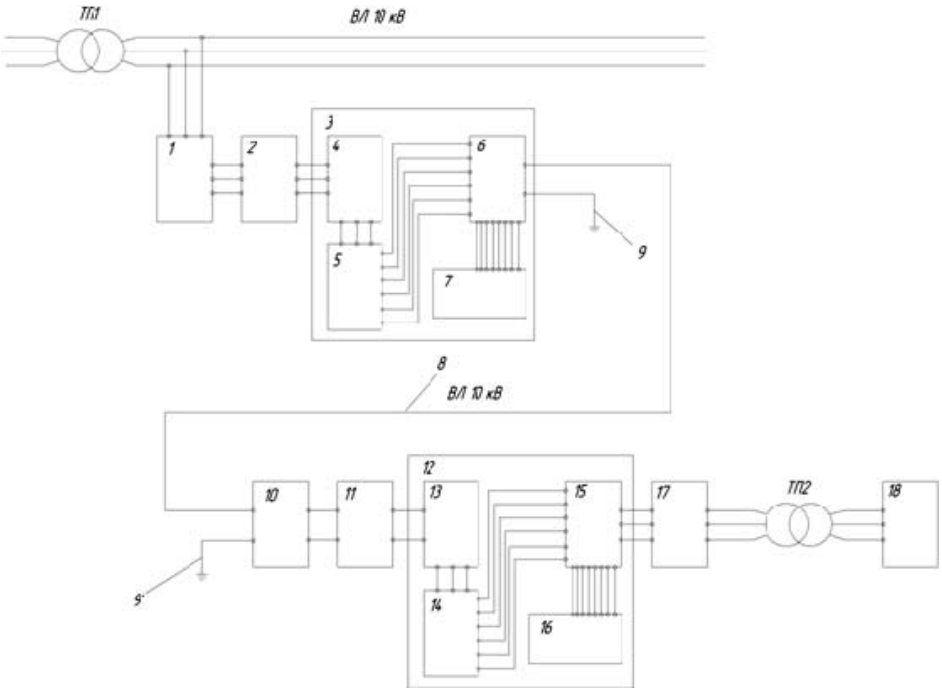



Рис. 1.26 Структурна схема однодротової лінії напругою 10 кВ для віддалених сільськогосподарських споживачів [13]

ТП1 - джерело живлення, з якого подається трифазна напруга. З ТП1 і магістральної лінії трифазна напруга подається на струмообмежувальний реактор (1) і розрядники (2), які служать для захисту перетворювача трифазної напруги в однофазну від кидків струмів і напруги (3) [13].

Перетворювач трифазної напруги включає в себе: силовий трифазний випрямляч (4), ємнісний дільник напруги (5), семирівневий інвертор напруги (6) і блок управління ключами інвертора (7). Після проходження через перетворювач, струм напругою 10 кВ промислової частоти 50 Гц, проходить через заземлювачі (9 и 9′ ), однодротову лінію (8), струмообмежувальні реактори та розрядники (10 і 11). Далі струм надходить на вхід перетворювача однофазної напруги в трифазну (12), який включає ті ж компоненти, що і перетворювач (3). Напруга, що надійшла на семирівневий інвертор (15), формується в трифазну, напругою 10 кВ, промислової частоти 50 Гц, яка в

подальшому надходить через фільтр (17) на понижуючий трансформатор ТП2 до споживача (18) [13].

В результаті проведених досліджень і техніко-економічних розрахунків було виявлено, що схема, представлена на рисунку 1.26, є економічно вигідніше в порівнянні з існуючими схемами електропостачання [13].

Розроблено схему передачі електроенергії по підводному або підземному кабелю в резонансному режимі, на частоті 50 Гц - 50 кГц, на напрузі 1 - 1000 кВ, щільністю струму 1 – 50 $А/мм^2$. Передача енергії здійснюється по однопровідниковому електроізольованому кабелю-хвилеводу, прокладеному під водою або під землею. Спосіб передачі ілюструється на рисунку 1.27 [3].

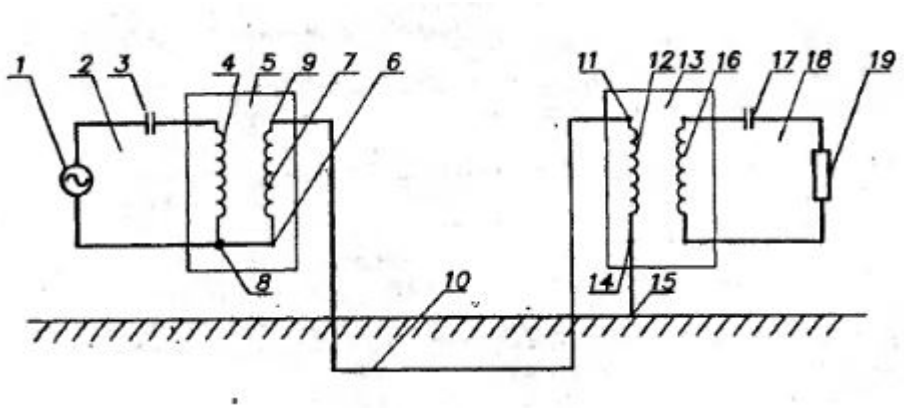



Рис. 1.27 Схема передачі електроенергії по підводному або підземному кабелю [3].

Позначення блок-схеми представленої на рисунку 1.27: 1 - електричний високочастотний генератор, який з'єднаний з послідовним резонансним контуром 2; 3 - ємність; 4 - низьковольтна обмотка високовольтного трансформатора Тесла 5; 6 -1-й вихід високовольтної обмотки 7 прилеглої до низьковольтної обмотки з'єднаний з вихідом 8 низьковольтної обмотки 4; 9 - 2-й вихід високовольтної обмотки приєднаний до підземного

однопровідникового електроізольованого хвилеводу 10; 11 - 1-й вихід високовольтної обмотки 12 понижуючого високовольтного трансформатора Тесла 13; 14 - 2-й вихід високовольтної обмотки 12 з'єднаний з землею 15; 16 - низьковольтна обмотка трансформатора 13 з'єднана з навантаженням 19 [3].

# 2. Експериментальні дослідження

## 2.1 План дослідження

План дослідницької роботи з вивчення особливостей однодротової передачі електричної енергії включав в себе наступні пункти:

1. Розробка та сбір експериментального стенду, підбір вимірювального обладнання.
2. Випробування експериментального стенду в різних режимах роботи й оптимізація конструктивної схеми.
2. Дослідження основних фізико-енергетичних показників при функціонуванні розробленої схеми однодротової передачі електричної енергії.
3. Теоретична обробка експериментальних результатів.

## 2.2 Вимірювальний комплекс

Схеми розробленого експериментального стенду з двома трансформаторами і використанням пониженної змінної напруги в приймальному пристрої представлені на рисунках 2.1, 2.2.

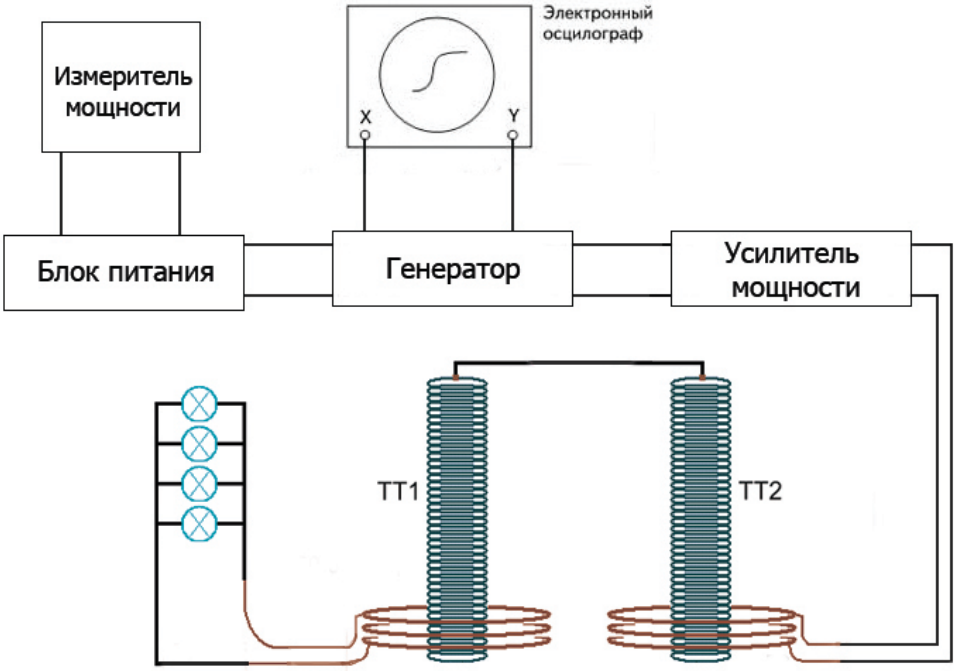



Рисунок 2.1- Принципова схема експериментального стенду з однодротової передачі електроенергії з двома трансформаторами.

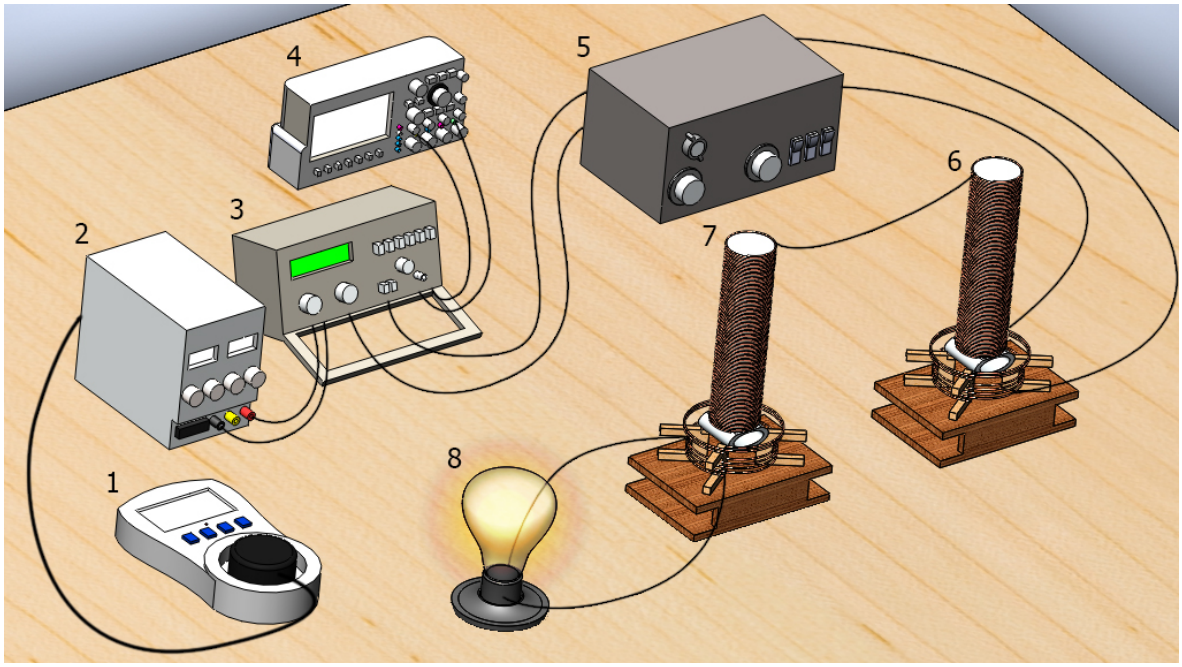



Рисунок 2.2- 3D схема розробленого експериментального стенду з однодротової передачі електроенергії з двома трансформаторами.

Комплектація стенду представленого на рисунку 2.2 включає в себе: 1- вимірювач потужності, 2 - лабораторний блок живлення, 3 - генератор електромагнітних хвиль, 4 - цифровий осцилограф, 5 - підсилювач потужності, 7, 6 - високовольтні трансформатори, 8 - електричне навантаження.

Установка включає в себе лабораторний блок живлення MASTERAMHPS3030D, який продемонстрований на рисунку 2.3 і має технічні характеристики, представлені в таблиці 2.1.




Рис. 2.3 Лабораторний блок живлення MASTERAMHPS3030D.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики блоку живлення MASTERAMHPS3030D.

| | |
|---|---|
| Вхідна напруга | AC 110 В / 220 В, 50/60 Гц |
| Вихідна напруга | 0 ~ 30 В |
| Вихідний струм | 0 ~ 30 А |
| Дозвіл по напрузі | 10 / 100 мВ |
| Дозвіл по струму | 1 / 10 мА |
| Пульсація і шум | Впік-пік ≤ 1% |
| Точність індикації напруги | ±1% +1 символ |
| Точність індикації струму | ±1% +2 символи |
| Розміри , Ш × В × Д | 81 × 165 × 220 мм |
| Вага нетто / брутто | 1.4 кг / 1.7 кг |

На рисунку 2.4 представлений цифровий генератор сигналів RIGOLDG1022, який використовувався в установці. Деякі технічні характеристики цього цифрового генератора описані в таблиці 2.2.




Рис. 2.4 Цифровий генератор сигналів RIGOLDG1022.

Таблиця 2.2

Технічні характеристики генератора сигналів RIGOLDG1022.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Стандартні форми сигналів | Sine, Square, Ramp, Pulse, Noise и 48 збережених довільних форм сигналу | | |
| Синусоїдальна (Sine) | от 1 мкГц до 20 МГц | | |
| Прямокутна (Square) | от 1 мкГц до 5 МГц | | |
| Імпульсна (Pulse) | от 500 мкГц до 3 МГц | | |
| Пилкоподібня (Ramp) | от 1 мкГц до 150 кГц | | |
| Сигнал довільної форми (Arb) | от 1 мкГц до 5 МГц | | |
| Білий шум | 5 МГц (-3 дБ) | | |
| Дозвіл | 1 мкГц | | |
| Нелінійне (гармонійне) спотворення | від піка до піка | <1 В | >1 В |
| | пост.струм до 20 кГц | -70 дБ нижче несучої | -70 дБ ничже несучої |
| | від 20 кГц до 100 кГц | -70 дБ нижче несучої | -60 дБ нижче несучої |
| | від 100 кГц до 1 МГц | -55 дБ нижче | -50 дБ нижче |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | несучої | несучої |
| | від 1 МГц до 10 МГц | -40 дБ нижче несучої | -35 дБ нижче несучої |
| Сумарне гармонійне спотворення | постійний струм до 20 кГц при розмаху сигналу 1 В>0,2% | | |
| Помилковий (негармоніческое) сигнал | постійний струм до 1 МГц < -70 дБ нижче несучої<br>від 1 МГц до 10 МГц < -70 дБ нижче несучої + 6 дБ на октаву | | |
| Фазовий шум | 10 кГц зміщення –108 дБ нижче несучої / Гц в нормі | | |
| **Характеристики лічильника** | | | |
| Функції | Частота, період, тривалість позитивного / негативного імпульсу, робочий цикл | | |
| Частотний діапазон | один канал: 100 мГц~ 200 МГц | | |
| дозвіл частоти | 6 біт в сек. | | |
| режим синхронізації | рівень синхронізації : ± 3 В (0.1% ~ 100%) | | |
| | дозвіл: 6 мВ | | |
| дисплей | 256 по горизонталі × 64 по вертикали | | |
| харчування | от 100 до 240 В змінного струму RMS,<br>от 45 до 440 Гц, категорія безпечності CAT II, менше 40 вольт-ампер | | |
| Габарити, мм | 232 × 108 × 288 | | |
| Вага, кг | 2,7 | | |

Цифровий осцилограф RIGOLDS2072A, який використовувався в установці, зображений на рисунку 2.5.

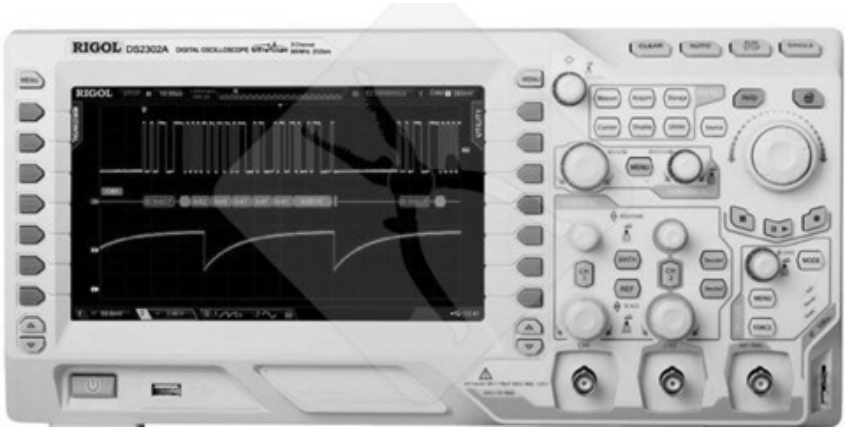



Рис. 2.5 Цифровий осцилограф RIGOLDS2072A.

Технічні характеристики осцилографа продемонстровані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Технічні характеристики осцилографа RIGOLDS2072A.

| | |
|---|---|
| Смуга пропуску | 70 МГц |
| канали | 2 |
| Частота дискретизації в реальному часі | 2 Гвиб/с (один канал), 1 Гвиб/с (два канали) |
| глибина пам'яті | 14 МБ (станд.), 56 МБ (функц.) |
| запис осциллограмм | 50 000 осциллограмм/сек |
| Діапазон вертикальної чутливості | 500 мкВ/діл – 10 В/діл |
| Вертикальна роздільна здатність | 8 біт |
| математичні функції | додавання, віднімання, множення, швидке перетворення Фур'є, можливість настройки користувачем |
| Вихідна напруга | ~ 3 В, пік-пік |
| Частота | 1 кГц |
| **Загальні характеристики** | |
| Потужність | 50 Вт (макс.) |
| Напруга | 100-240 В, 45-440 Гц |
| Метод охолодження | Вентилятор |
| Стандартні інтерфейси | USB хост (підтримка USB-GPIB), USB пристрій, LAN, Aux (TrigOut/PassFail) |

| | |
|---|---|
| Дисплей | 8-дюймовый WVGA кольоровий ЖК (800×480) |
| Вага | 3,9 кг (± 0,2 кг) |
| Розміри | 361.6 × 179.6 × 130.8 мм |

Для реалізації даного проекту були виготовлені високовольтні трансформатори та підсилювач потужності електромагнітних сигналів на польовому транзисторі MOSFET. В результаті було зібрано експериментальний стенд з однодротової передачі електричної енергії, який представлений на рисунку 2.6.

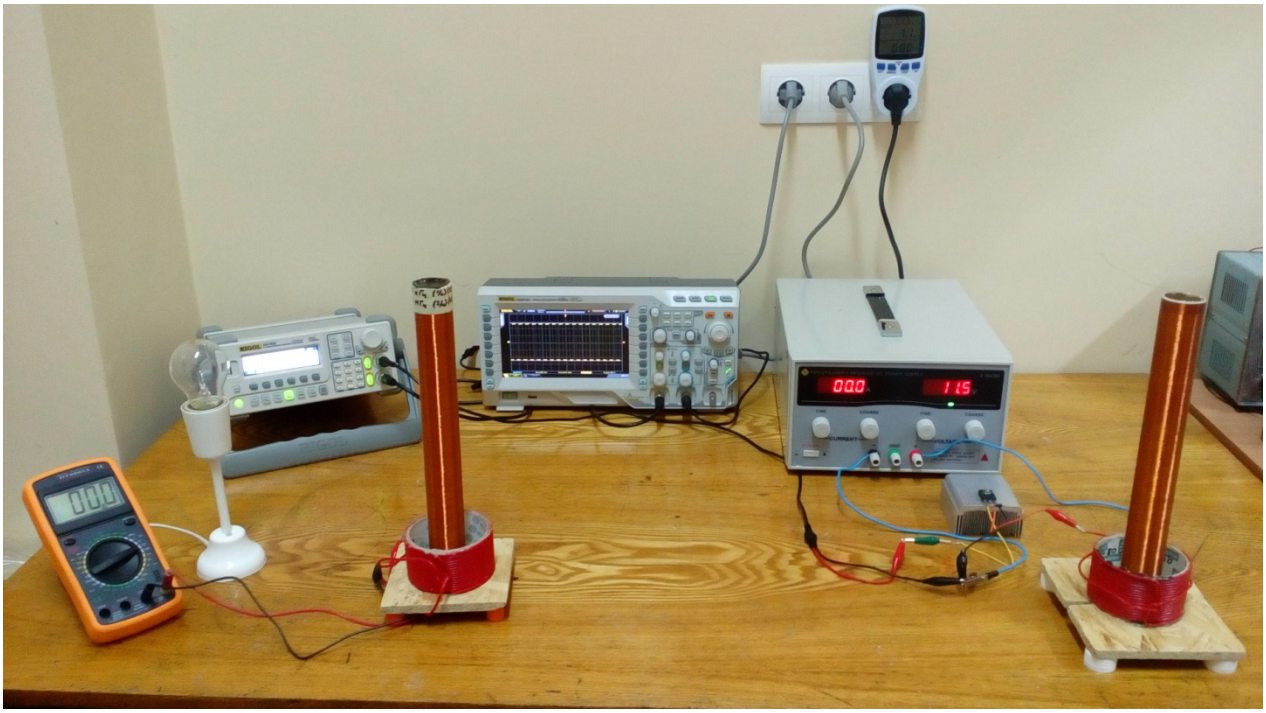


Рисунок 2.6- Зібраний експериментальний стенд для вивчення способів та особливостей однодротової передачі електричної енергії.

В роботі використовувалися також промислові цифрові мультиметри й аналогові вимірювальні прилади - вольтметри та амперметри. В якості вимірювача вхідної потужності застосовувався промисловий цифровий лічильник витрати електричної енергії.

## 2.3 Результати проведених експериментальних досліджень

При вивченні впливу форми сигналів виявилося, що найбільшу ефективність передачі забезпечують прямокутні імпульси з різким переднім фронтом сигналу, які вживалися в подальшому.

В якості високовольтних трансформаторів досліджувалася робота повітряних трансформаторів Тесла та промислових телевізійних трансформаторів типу ТВС-110ПЦ15 на феритових сердечниках. При цьому було встановлено, що застосування трансформаторів ТВС-110ПЦ15 в діапазоні частот 15-80 кГц має істотні переваги, тому подальші експериментальні вимірювання були проведені із застосуванням даних трансформаторів (рисунок 2.7).

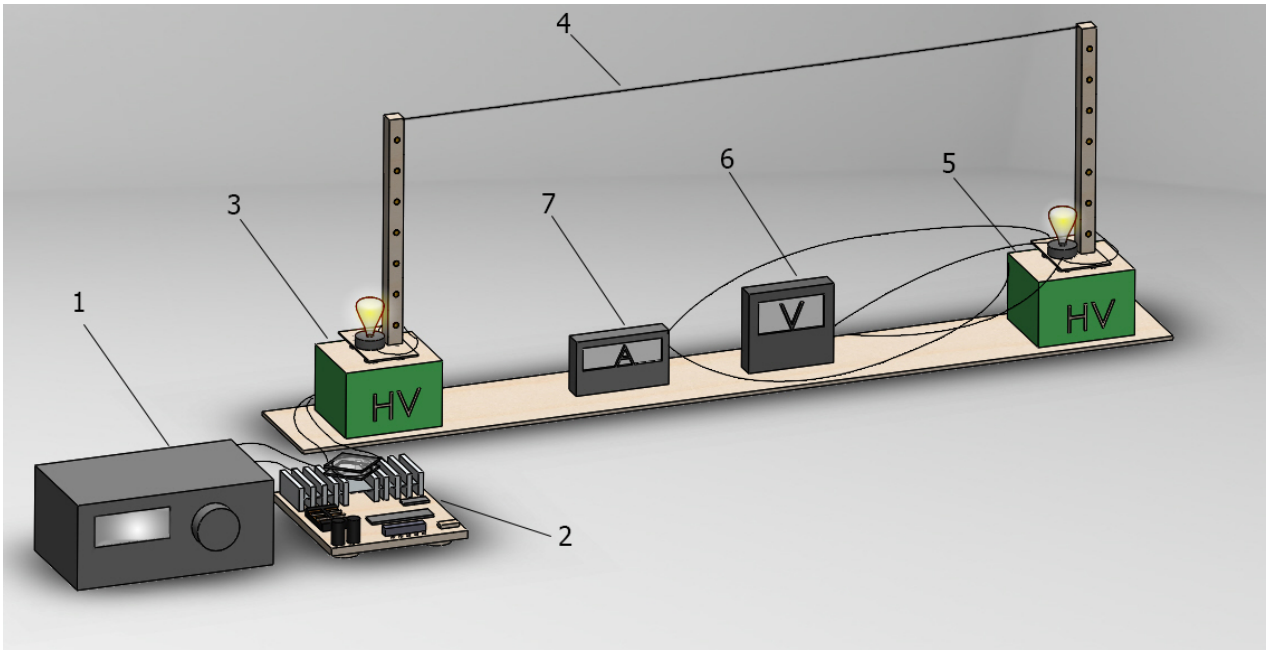



Рис. 2.7 Схема експериментального стенду із застосуванням трансформаторів ТВС-110ПЦ15. 1 – блок живлення, 2 – генератор електромагнітних хвиль, 3, 5 - трансформаторі ТВС-110ПЦ15, 4 – однодротова лінія, 6 – аналоговий вольтметр, 7 – аналоговий амперметр.

В експериментах по вимірюванню максимальної потужності, що передається, використовувалася однодротова лінія довжиною 1 м з дротом поперечним перерізом 2,5 мм$^2$.

У першому циклі експериментів в якості джерела живлення використовувався лабораторний блок живлення з напругою 12 В, а в якості навантаження - лампа розжарювання напругою 12 В і потужністю 5 Вт, з паралельно підключеними конденсаторами загальною ємністю 2 мкФ для стабілізації вихідної напруги.

В результаті проведення експериментальних досліджень була отримана залежність споживаної потужності передавальною системою від частоти переданих електромагнітних сигналів, яка представлена на рисунку 2.8. Як видно з графіка ця залежність має нелінійний характер, а також спостерігаються три локальних максимуму на частотах: 19-22 кГц, 29-30 кГц и 54-60 кГц.

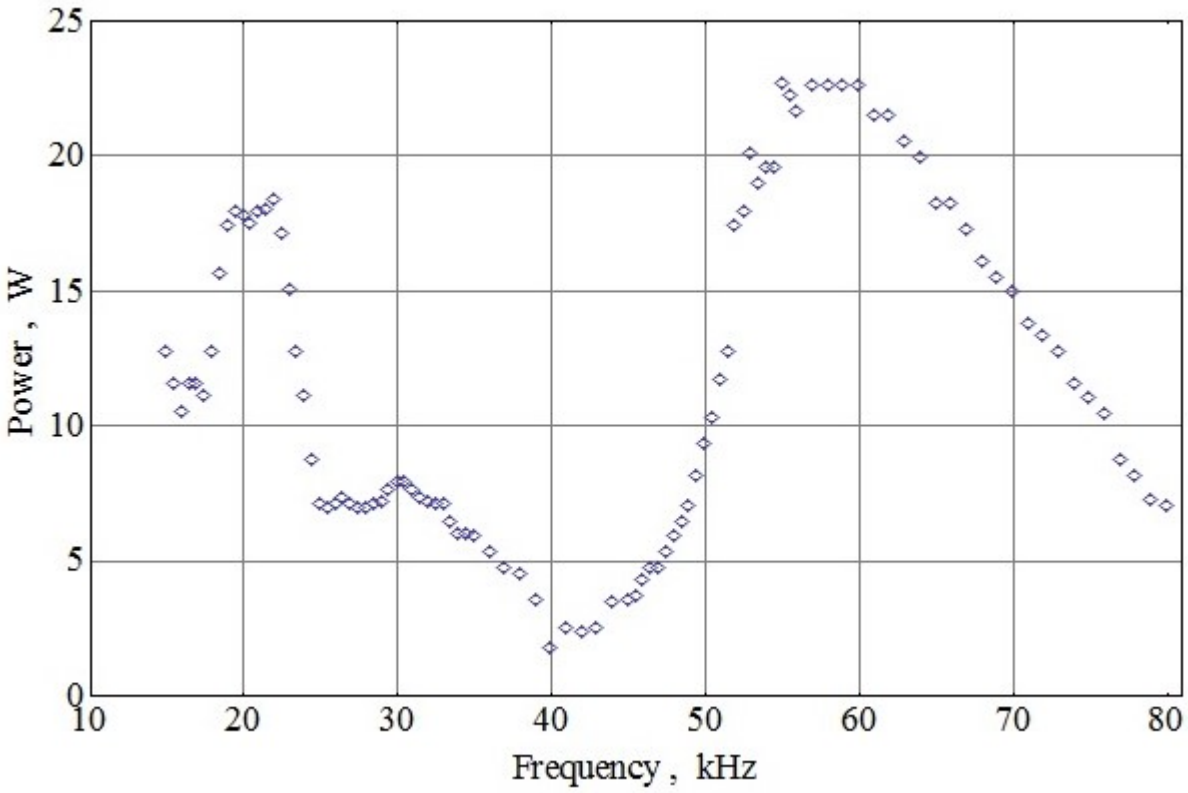



Рис. 2.8 Графік залежності споживаної потужності передавальною системою від частоти переданого електромагнітного сигналу для першого циклу експериментальних досліджень (лампа розжарювання, 5 Вт).

На рисунку 2.9 показаний відповідний графік залежності вихідної напруги на навантаженні в залежності від частоти електромагнітного сигналу. Проаналізувавши залежність, продемонстровану на рисунку 2.9, був зроблений висновок, що однодротова передача електричної енергії має резонансний характер, при цьому максимум припадає на частоту 53 кГц. Слід зазначити, що при цьому на частоті 53 кГц навантажувальна лампа розжарювання світить максимально яскраво, що свідчить про принципову можливість передачі електромагнітної енергії по однодротовій лінії.

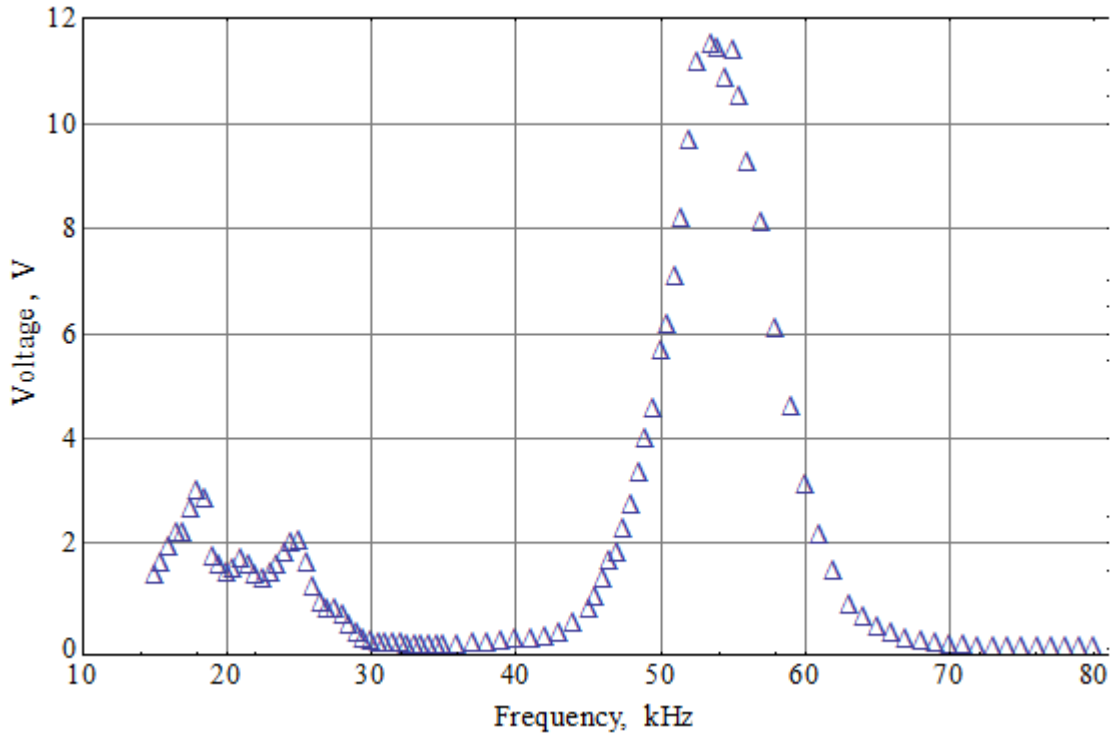



Рис. 2.9 Графік залежності вихідної напруги від частоти електромагнітного сигналу для першого циклу експериментальних досліджень (лампа розжарювання, 5 Вт).

У другому циклі експериментів в якості навантаження застосовувалася лампа розжарювання напругою 12 В і потужністю 10 Вт, підключена через аналоговий амперметр до вихідної обмотки трансформатора без додаткових конденсаторів.

На рисунку 2.10 показана залежність споживаної потужності передавальної системи для даного циклу експериментів. Виходячи з графіка, залежність так само має локальні максимуми, які в цьому випадку припадають на частоти: 16-17 кГц и 46-48 кГц.

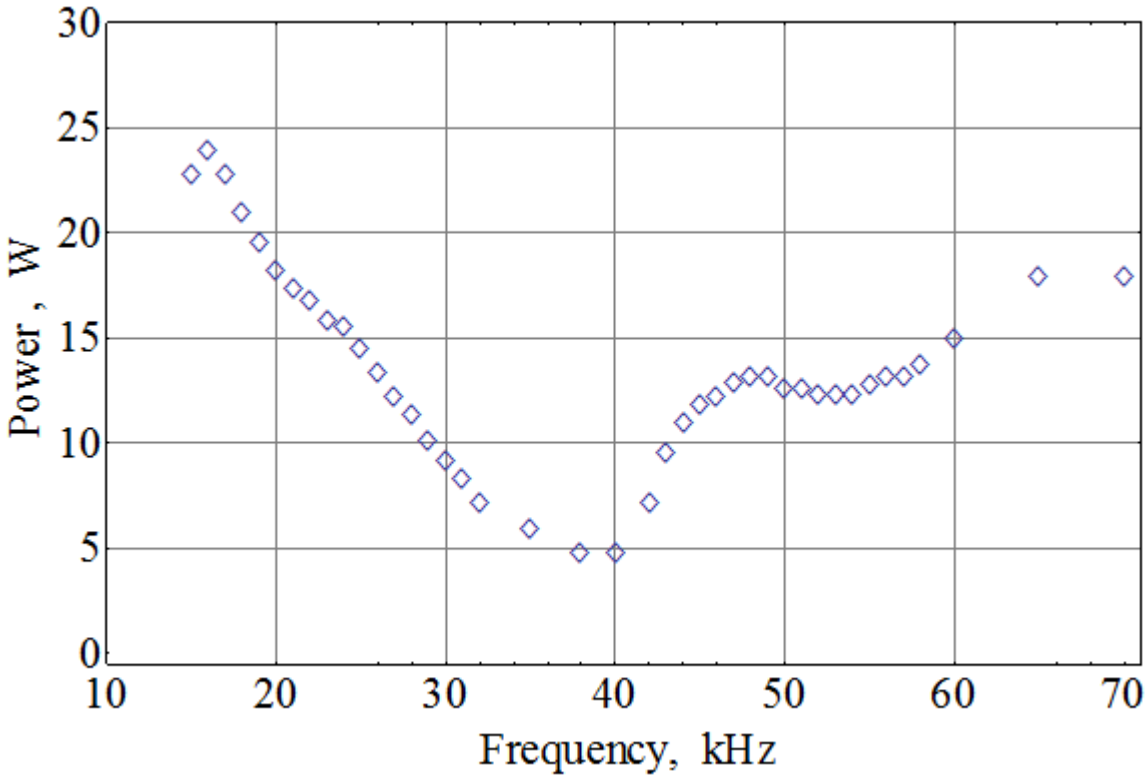



Рис. 2.10 Графік залежності споживаної потужності від частоти переданого сигналу для другого циклу експериментальних досліджень (лампа розжарювання, 10 Вт).

Так само була експериментально отримана вихідна потужність передавальної системи на активному навантаженні (рис. 2.11), яка, так само як і в минулому циклі експериментів, носить резонансний характер. Основний максимум припадає на частоту 45 кГц. На рисунку 2.12 показаний графік залежності відношення вихідної потужності на навантаженні до споживаної потужності системою від частоти переданого електромагнітного сигналу. Залежність на рисунку 2.12 має резонансний характер, максимум припадає на частоту 44 кГц.

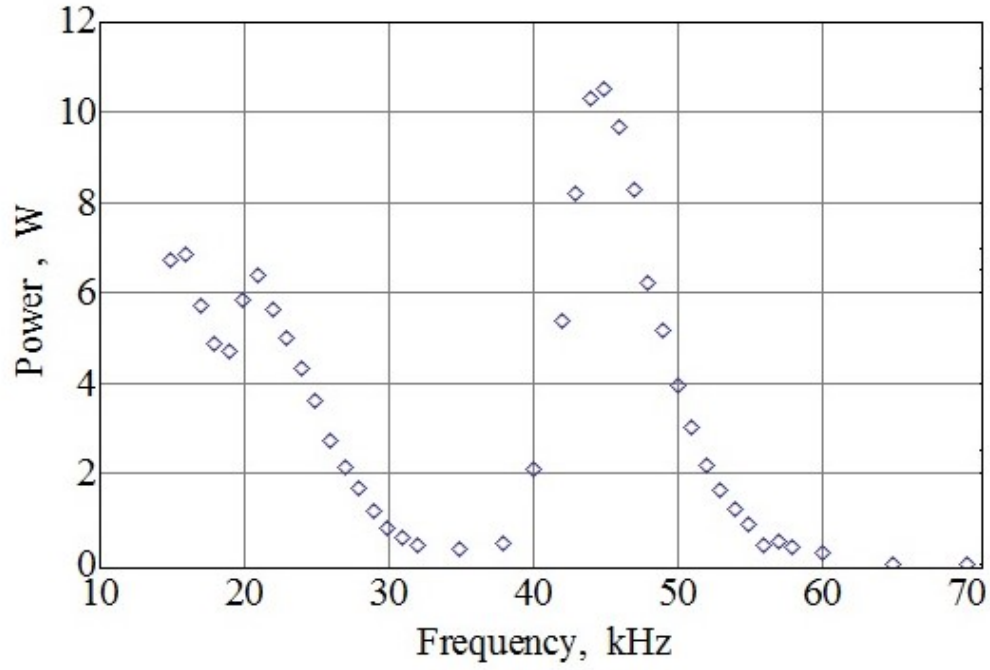



Рис. 2.11 Залежність вихідної потужності від частоти переданого сигналу (другий цикл експериментальних досліджень лампа розжарювання, 10 Вт).

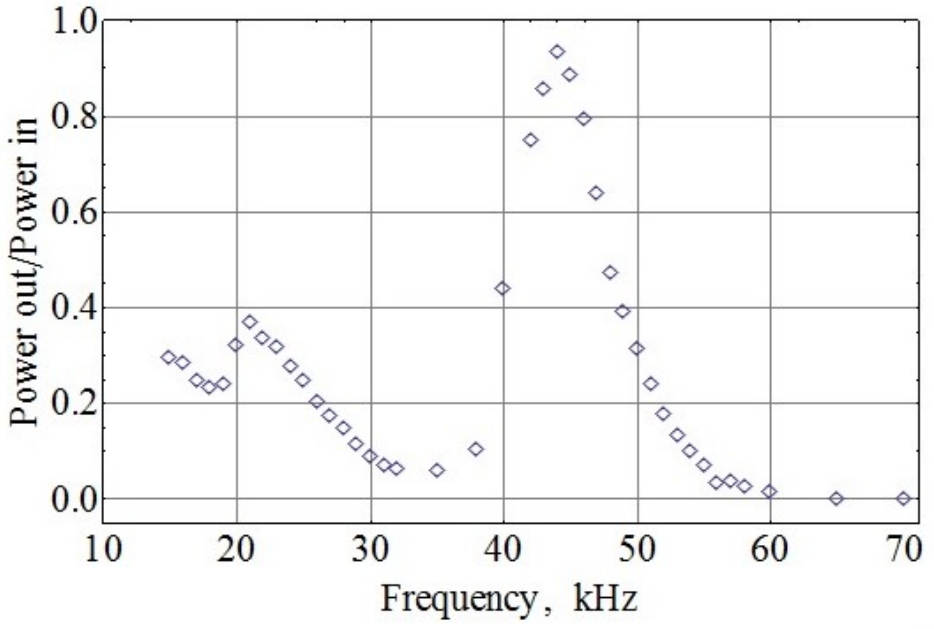



Рис. 2.12 Залежність відношення вихідної потужності на навантаженні до споживаної потужності системою від частоти сигналу (лампа розжарювання, 10 Вт).

Порівнюючи виміряні експериментально потужності на вході і виході системи в умовах резонансної передачі електричної енергії (див. рисунки 2.10 і 2.11), можна розрахувати ККД установки, який досягає 85%.

У третьому циклі експериментів в якості навантаження застосовувалася лампа розжарювання потужністю 21 Вт, яка була підключена в аналогії з другим циклом експериментів, через аналоговий амперметр до вихідної обмотки трансформатора.

В результаті проведених досліджень в третьому циклі експериментів, були отримані залежності споживаної потужності системою і вихідної потужності на навантаженні від частоти переданого електромагнітного сигналу (рис. 2.13 і рис. 2.14 відповідно). Проаналізувавши графіки, варто відзначити, що в третьому циклі експериментальних досліджень характер залежностей аналогічний попереднім циклам.

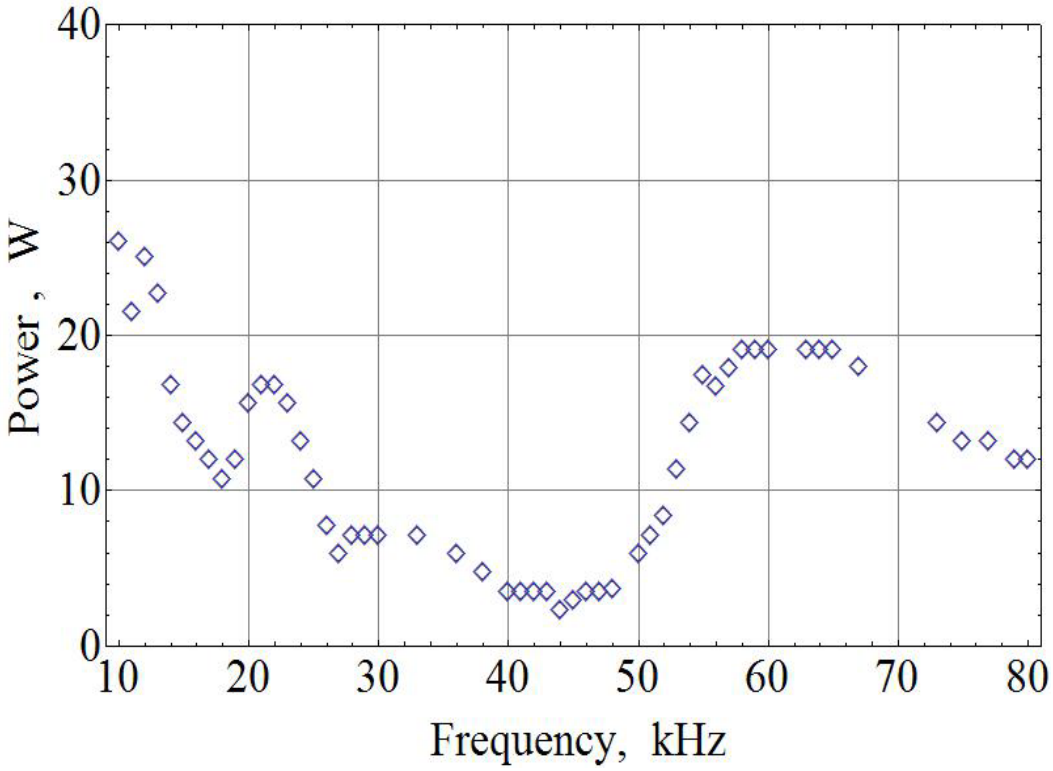



Рис. 2.13 Графік залежності споживаної потужності від частоти переданого сигналу (третій цикл експериментальних досліджень, лампа розжарювання 21 Вт).

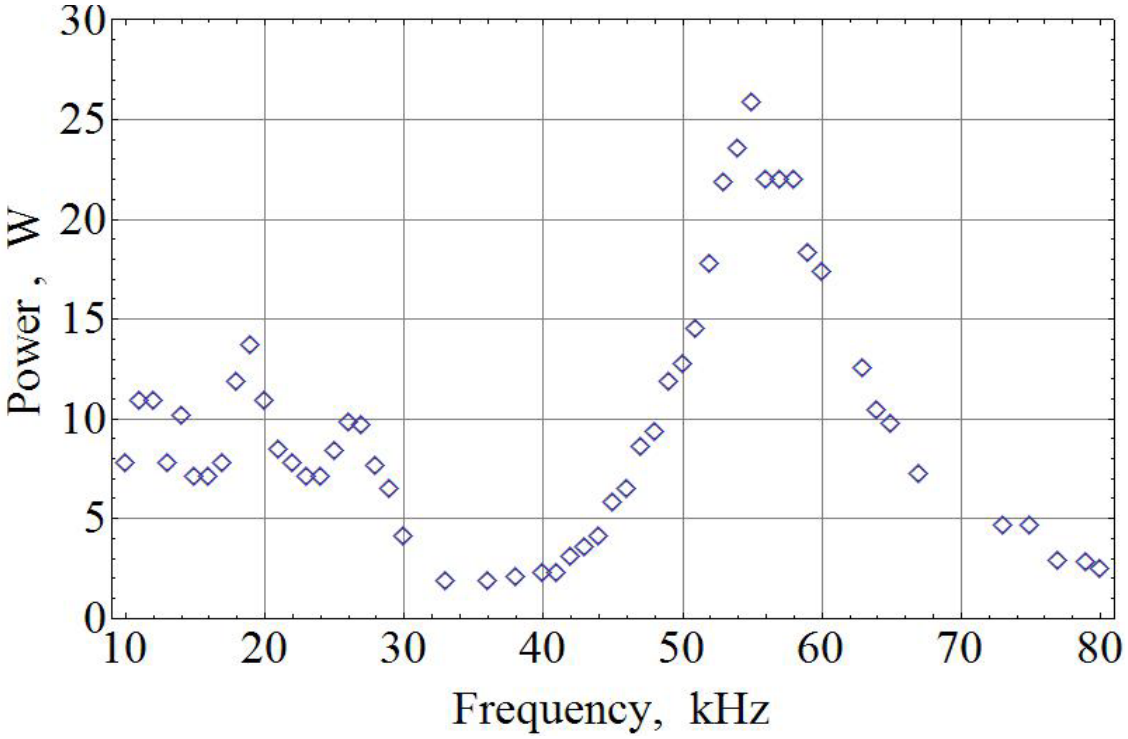



Рис. 2.14 Графік залежності вихідної потужності від частоти переданого сигналу (третій цикл експериментальних досліджень, лампа розжарювання 21 Вт).

Локальні максимуми споживаної потужності відповідають частотам 10 кГц, 21-22 кГц і 58-65 кГц. Максимальна вихідна потужність спостерігається при частоті сигналу 55кГц.

Так само було проведено експериментальне дослідження, в ході якого в лінію підключалися металокерамічні резистори різним номіналом. В результаті були отримані зміни вхідної та вихідної потужності системи в залежності від опору, підключеного в лінію (рис. 2.15, рис. 2.16 відповідно).

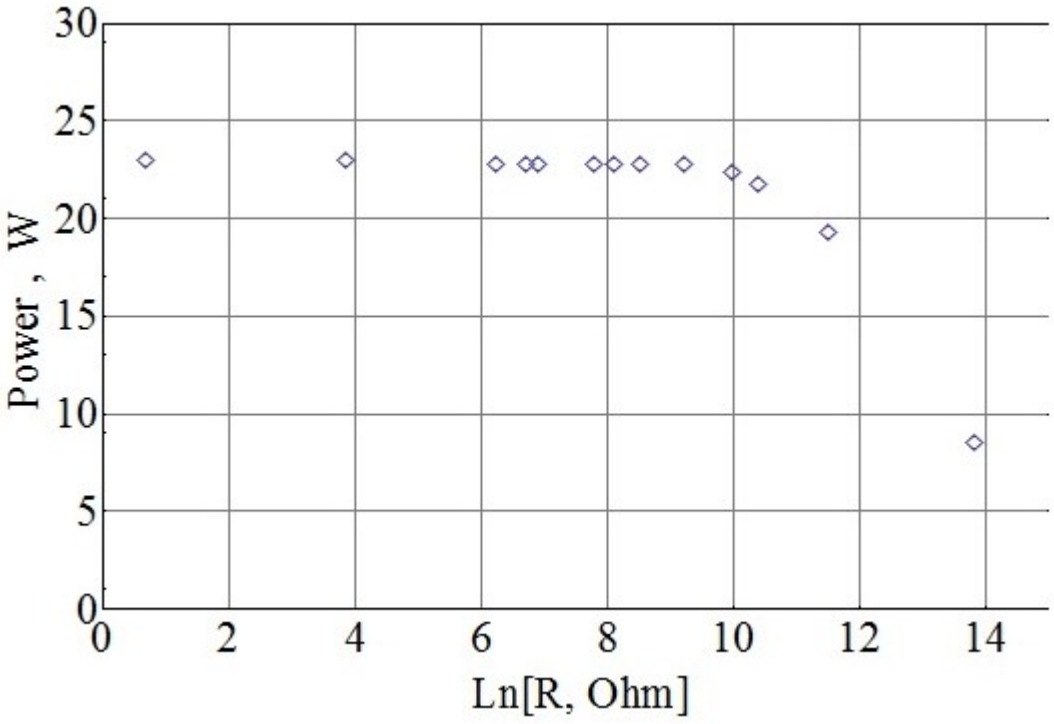



Рис. 2.15 Графік залежності споживаної потужності передаючою системою від величини підключеного в лінію опору.

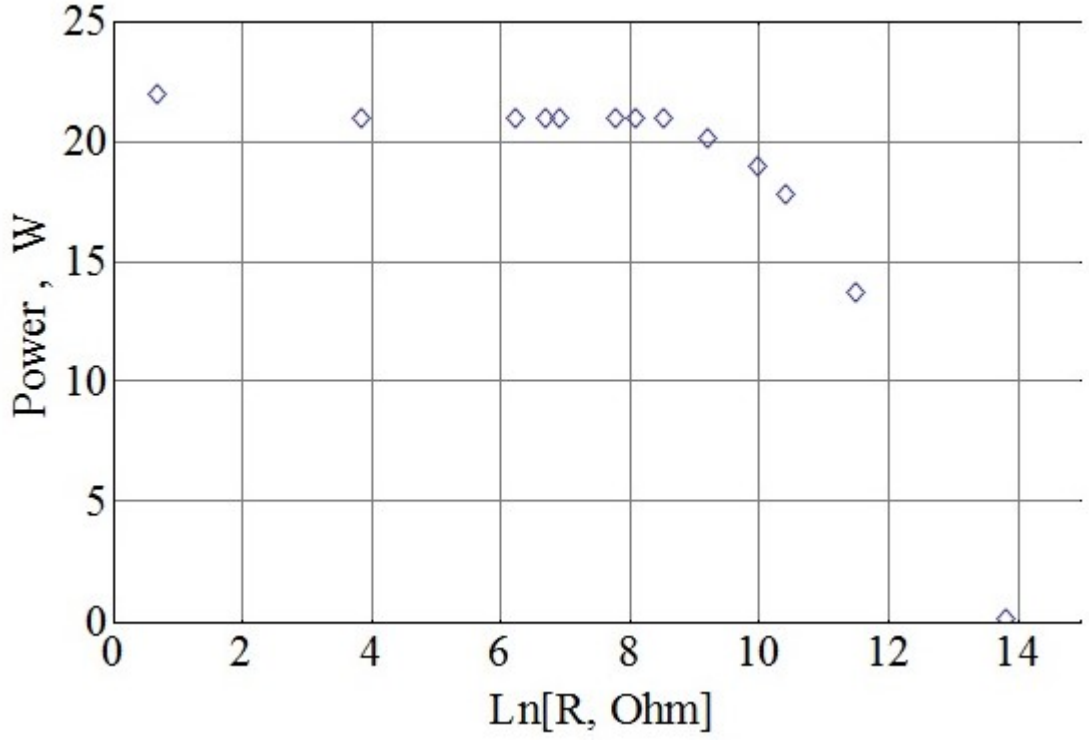



Рис. 2.16 Графік залежності вихідної потужності від величини підключеного в лінію опору.

Як видно з графіка 2.15 підключення опору номіналом до 10 кОм практично не позначається на роботі передавальної системи.

Крім того, було встановлено, що при підключенні заземлення на виході низьковольтного трансформатора ККД системи знижується на 24%, однак, при підключенні заземлення на вході ККД зростає на 27%. Так само величина потужності на виході не залежить від матеріалу дроту.

# ВИСНОВКИ

При виконанні даного дипломного проекту були отримані наступні результати:

- розроблений, зібраний і успішно випробуваний діючий експериментальний стенд з однодротової передачі електричної енергії;
- проведено порівняльне вивчення різних конструктивних рішень і визначена конфігурація найбільш ефективної передавальної системи;
- експериментально виміряні основні фізичні та енергетичні характеристики передавальної системи;
- встановлено, що максимальний ККД в розглянутій схемі становить не менше 85%;
- вивчена залежність переданої потужності від підключення в систему заземлення;
- встановлено, що додаткові металокерамічні опори до 10 кОм практично не знижують передавальну здатність однодротової лінії, що свідчить про присутність значного скін-ефекту.

Результати даної роботи можуть знайти практичне застосування як в галузі альтернативної, так і традиційної енергетики, наприклад, для електризації віддалених і важкодоступних регіонів, в використанні провідних каналів, сформованих лазерним випромінюванням, створенні глобальних і локальних інформаційно-комунікаційних систем зв'язку по однодротовим лініях і т.д .

# СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ


1. Садовой А. В. Алексеев И. А. Экспериментальные исследования параметров резонансных трансформаторов в системе однопроводной передачи электрической энергии // Электротехнические и компьютерные системы – 2014 - №15(91) – С.367-369.
2. Tesla N. World System of wireless Transmission of Energy. Telegraph and Telephone Age, Oct, 16. 927. Published in a book: Nikola Tesla. Selected works. Articles. Beograd, 1999, p. 280
3. Стребков Д.С., Некрасов А.И. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 584 с.
4. Скляров Н. Е., Назиров Р. Р. Однопроводная передача электроэнергии // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», Пенза, 2006, Т.2, С.
5. Алексеев В. С., Гаманюк Д. Н., Гордиенко М. Д., Жагрин С. Г., Зотов В. В., Иванова Т. В., Кагис Н. Я., Карлыганова Н. В., Лиманский С. Н., Липатова Г. А., Матвеенко Г. В., Матлахова М. С., Микульская Д. Г., Палагин Е. В., Рахно М. О., Сергеев А. В., Тихонова Е. О., Федотов А. А., Шнайдер Д. Д. Большая энциклопедия техники – Научная книга, 2009. – 2540 с.
6. Садовой А. В., Алексеев И. А., Трикило А. И. Исследование параметров в системе однопроводной передачи электрической энергии// Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Сер. :Технічні науки. - 2011. - Вип. 2. - С. 181-185.
7. Сторожко А. В. Передача энергии в однопроводной незамкнутой схеме // Энергетика – 2010 - №7(47) – С.204-206.
8. Большанин Г.А., Большанина Л.Ю. Основные зависимости параметров электрической энергии в однопроводной линии электропередач // Системы. Методы. Технологии. – 2012 - № 2(14) – С.54-59.

9. Алиев И. И. Энергосберегающая резонансная однопроводная ЛЭП // Энергоресурсосбережение и эффективность – 2011 - №6(42) – С.27-30.
10. Юферев Л.Ю., Стребков Д.С. Способ и устройство передачи электрической энергии (варианты). Патент РФ № 2423772, 2011.
11. Бадер М. П. Передача электрической энергии электромагнитными полями и их воздействие на окружающую среду // Електрифікація транспорту – 2016 - № 11 – С.108-115.
12. Лебедев В.А. Микрюков А.А. Инновационный способ питания электромобиля по однопроводной сети // Международный студенческий научный вестник. – 2015 - № 3 – С.55-56.
13. Корчагин П.Т. Название работы: дис. Электроснабжение удаленных сельскохозяйственных потребителей по однопроводной сети 10 кВ канд. техн. наук. Азово-черноморский инженерный институт филиал ФГБОУ «Донской государственный аграрный университет», Зерноград, 2016.
14. Страхатов Д. О. Устройство для передачи электроэнергии // Ползуновский альманах – 2011 - №1 – С.130-131.
15. Касьянов Г.Т. Тесловский однопроводной ток, его физические свойства и способы использования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – 2010 - №5 – С.35-40.
16. Касьянов Г.Т. Генерация тепловой энергии в однопроводной электросхеме// Современные наукоемкие технологии – 2011 - №2 – С.36-39.
17. Касьянов Г.Т. Однопроводная линия и однопроводной ток// Современные наукоемкие технологии. – 2015 - № 4 – С.47-51.
18. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Верютин В.И., Рощин О.А., Юферев Л.Ю. Исследования однопроводниковой резонансной системы электроснабжения// Достижения науки и техники АПК – 2007 - №6 – С.6-8.
19. Герасимов С.А. Однопроводная передача электрической энергии: расчет и эксперимент// Modern high technologies – 2011 - №4 – С.28-31.

20. Герасимов С.А., Сивоконь Д.Н. Об электрическом токе в уединённом незамкнутом проводнике // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013 - № 6 – С.11-15.