

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТЕСЛА

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація.

В даній роботі проводиться дослідження винаходу Ніколи Тесла - Трансформатор Тесла. Було проаналізовано, які види трансформатора Тесла існують. Визначено переваги та недоліки при використанні трансформатора Тесла для передачі енергії на великі відстані без дротів. Була розглянута SSTC схема на польовому n-каналному транзисторі з живленням від мережі 220 вольт змінного струму. Було реалізовано дане рішення та підтверджено результати теоретичних досліджень. Було визначено сфери діяльності, в яких зараз використовується трансформатор Тесла.

Ключові слова: трансформатор Тесла, котушка Тесла, розряд, частота.

Abstract.

In this work, research is conducted on Nikola Tesla's invention - the Tesla Transformer. It was analyzed what types of Tesla transformer exist. The advantages and disadvantages of using a Tesla transformer to transmit energy over long distances without wires have been determined. The SSTC circuit on a field-effect n-channel transistor powered by a 220 volt alternating current network was considered. This decision was implemented and the results of theoretical studies were confirmed. The spheres of activity in which the Tesla transformer is currently used have been identified.

Keywords: Tesla Transformer, Tesla coil, discharge, frequency.

Вступ

Наприкінці XIX ст. з винайденням лампи розжарювання, науковці почали поглиблено вивчати електричний струм, так як знали, що за ним майбутнє. Винятком не став і молодий сербський вчений, фізик та інженер - Нікола Тесла. Ним було запатентовано близько 800 винаходів. Він був один з перших, хто почав досліджувати струми високої частоти, створивши тим самим передумови для розвитку нової галузі електротехніки - ВЧ-техніки. Одним з його найвідоміших досягнень був трансформатор високої напруги та частоти - названий на його честь - трансформатор Тесла (ТТ). [1]

ТТ - перший пристрій, що міг здійснювати бездротове електропостачання. Револьюційний винахід для сучасників. Він став у пригоді в телеграфії та при створенні перших радіоантен. На початку 20 століття, апарат активно використовували в медицині: через пацієнтів пропускали високочастотний струм, який не робив шкоди (так думали на той момент), проте мав оздоровчий вплив. ТТ заснований на використанні резонансних стоячих електромагнітних хвиль в котушках. [2]

Таким чином, незважаючи на великий період з моменту винаходу ТТ, багато науковців працюють щоб вдосконалити його та використовувати в різних сферах. Тому дослідження ТТ є актуальним в наш час.

Дослідження трансформатора Тесла

Трансформатор Тесла (ТТ) - це пристрій, винайдений Ніколою Тесла, який виконаний у вигляді трансформатора, ввімкнутого обмотки в коливальні контури, які працюють в резонансному режимі та служить для утворення високої електричної напруги (десятки кіловольтів) високої частоти (зазвичай, 20...100 кГц). Прилад було запатентовано 22 вересня 1896 року, як «Апарат для генерації електричних струмів високої частоти і потенціалу» [2].

ТТ може спричиняти 4 види розрядів [3] :

- Стрімери (від англ. Streamer) — тьмяно світяться тонкі розгалужені канали, що містять іонізовані атоми газу й відщеплені від них вільні електрони. Протікає від терміналу котушки прямо в повітря, не йдучи в землю, так як заряд рівномірно стікає з поверхні розряду через повітря в землю. Стріммер - це видима іонізація повітря (свічення іонів), що створюється високовольтним полем трансформатора.

- Спарк (від англ. Spark) - це іскровий розряд. Йде з терміналу безпосередньо в землю або в заземлений предмет. Являє собою пучок яскравих, які швидко зникають або змінюють одна одну, сильно розгалужених смужок - іскрових каналів. Також має місце особливий вид іскрового розряду -

ковзний іскровий розряд.

- Коронний розряд — світіння іонів повітря в електричному полі високої напруги. Створює гарне блакитнувате світіння навколо високовольтних частин конструкції із великою кривизною поверхні.

- Дуговий розряд — утворюється у декількох випадках. Наприклад, при достатній потужності ТТ, якщо до його терміналу близько піднести заземлений предмет, між ним і терміналом може загорітися дуга. Особливо це властиво ламповим конструкціям апаратів. Якщо котушка Тесла (КТ) недостатньо потужна і надійна, то спровокований дуговий розряд може пошкодити її компоненти.

Трансформатори Тесла поділяють на 4 основних види [4]:

1. SGTC (spark-gap Tesla coil) – це класична конструкція ТТ. Котушки з іскровим проміжком використовують повітряний зазор для керування первинним струмом. За допомогою трансформатора (часто трансформатора неоновової вивіски або «NST») первинний конденсатор заряджається до високої напруги. Коли напруга досить висока, іскровий проміжок руйнується, іонізуючи повітря між клемми та утворюючи коротке замикання. Це дозволяє струму протікати між первинним конденсатором і первинним індуктором, замикаючи первинне коло. Потужність втрачається через розсіювання в котушках через їх опір, і іскровий проміжок незабаром гасне. Потім первинна батарея повільно заряджається, і цикл починається знову. [4]

2. VTTC (Vacuum Tube Tesla Coil) — трансформатор Тесла на електровакуумній лампі. У цій конструкції як генератор високочастотних коливань використовуються електронні лампи. Зазвичай це потужні генераторні лампи, такі як ГУ-81, проте зустрічаються і малопотужні конструкції. Одна з особливостей — відсутність потреби у високій напрузі. Для отримання порівняно невеликих розрядів достатньо 300...600 В. Також VTTC практично не видає шуму, який з'являється при роботі котушки Тесла на іскровому розряднику. Такі трансформатори можуть працювати у неперервному режимі і утворювати товсті («жирні») стримери.

3. SSTC (Solid State Tesla Coil) — трансформатор Тесла, у якому як ключовий елемент використовуються напівпровідникові компоненти. Конструкція включає в себе задаючий генератор (з регульованою частотою, формою та тривалістю імпульсів) і силові ключі (потужні польові КМОП - транзистори). Даний вид котушок Тесла є найцікавішим з декількох причин: змінюючи тип сигналу на ключах, можна кардинально змінювати візуальний вигляд розряду. Також, високочастотний сигнал генератора можна модулювати звуковим сигналом, наприклад музикою — звук буде випромінюватись із самого розряду. Втім, аудіомодуляція можлива після незначних допрацювань і в VTTC конструкціях. До інших переваг можна віднести потребу у відносно низькій напрузі живлення і відсутність шуму при роботі.

4. DRSSTC (Dual Resonant Solid State Tesla Coil) — трансформатор з двома резонансними контурами, в якому як ключі використовуються напівпровідникові елементи, у переважній більшості випадків, це IGBT-транзистори. DRSSTC — найскладніший у виготовленні і налаштуванні тип трансформаторів Тесла. Характерна довжина стримерів для трансформатора цього типу трохи менша ніж у SGTC, а керуваність трохи гірша, ніж у SSTC. [4]

У всіх вище перелічених схемах незмінними залишаються – первинна та вторинна обмотка, змінюється – тільки генератор сигналу. Проведемо аналіз класичного варіанту SGTC (іскрової) котушки Тесла, який зображено на рис. 1. [5]

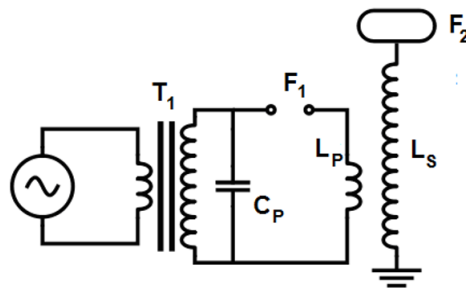


Рис. 1. SGTC котушки Тесла

Трансформатор Тесла розглянутої (найпростішої) конструкції, зображеної на принциповій схемі, працює в імпульсному режимі. Перша фаза - це зарядження конденсатора до напруги проббою розрядника. Друга фаза - генерування високочастотних коливань у первинному контурі. Розрядник, включений паралельно, замикаючи джерело живлення (трансформатор), вимикає його з контуру, інакше джерело живлення вноситиме певні втрати в первинний контур і цим знижуватиме

його добротність. На практиці цей вплив може в рази зменшити довжину розряду, тому у схемі трансформатора Тесла завжди паралельно до джерела живлення ставиться розрядник. [5]

Один із варіантів, який був виготовлений, був реалізований по схемі, яка наведена на рис. 2. Схема рис. 2 представляє SSTC збірку на потужному n-каналному польовому транзисторі. [6]

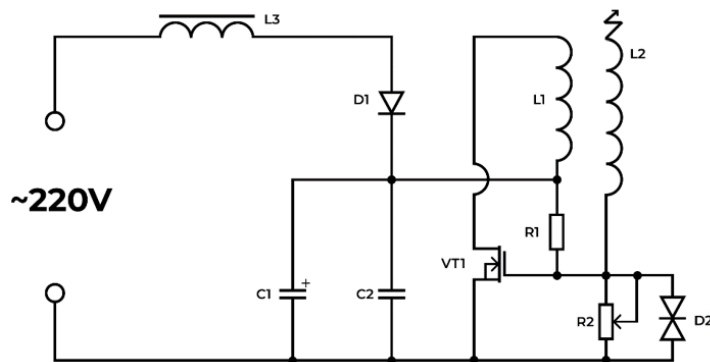


Рис. 2. Схема SSTC трансформатора Тесла

Дуже важливу роль в цій схемі відіграють первина та вторинна обмотки L1 та L2. L1 має містити в собі від 2 до 6 витків, товстим дротом, та може мати форму - пружини, конічну та горизонтальну. L2 повинна складатися з 700 – 1500 витків тонким мідним дротом (зазвичай 0.2 мм), має форму пружини намотаної на діелектричній трубці. Верхній кінець обмотки для кращої роботи – має кріпитися до тору та терміналу. В мене в якості терміналу та тору виступає залізна кришка та саморіз. L3 – дросель, від його опору залежить потужність майбутнього трансформатора Тесла, але чим менший опір тим більше навантаження на транзистор. Діод D1 – має підбиратися в залежності від потужності збірки. D2 – двонаправлений захисний діод (супресор) – розраховується під транзистор. Конденсатори C1 та C2 мають бути розраховані на мережеву напругу. VT1 – n-каналний польовий транзистор який має пропускати через себе мережеву напругу, тому має бути високої потужності та розрахований з запасом по частоті роботи приладу. Резистори R1 та R2 (для підбору частоти роботи трансформатора) – підбираються під транзистор. [6]

Результати роботи такого ТТ показані на рис. 3.

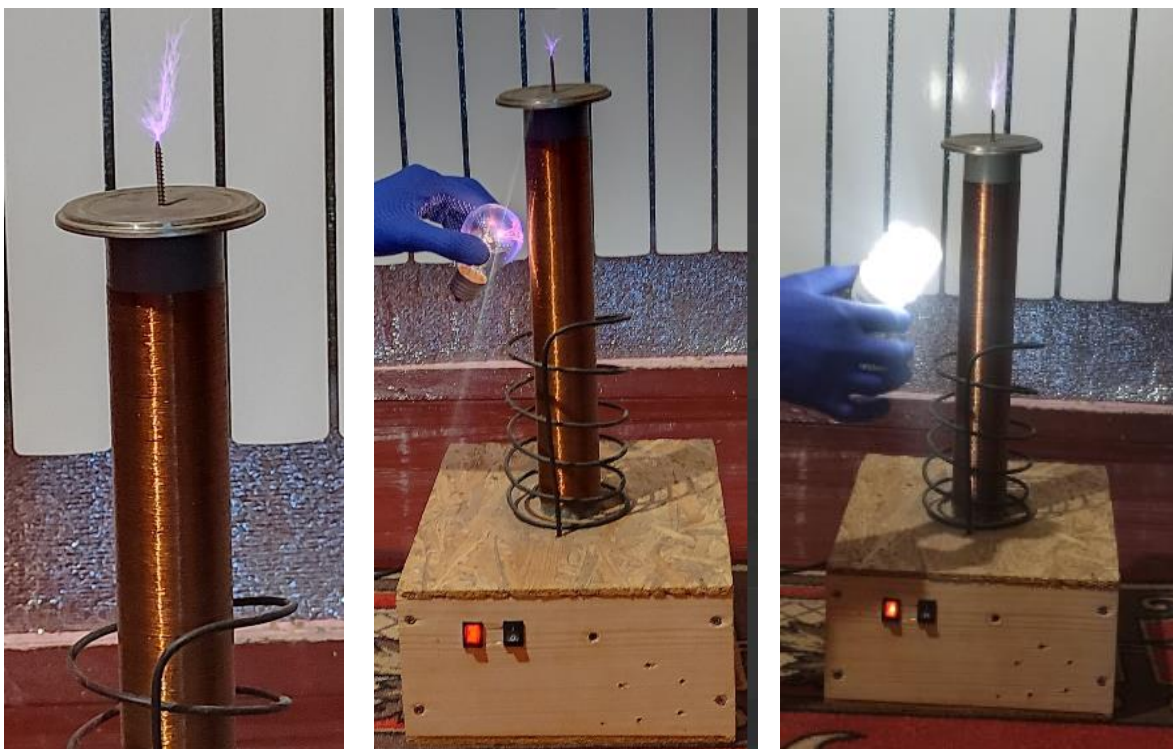


Рис. 3. Результати роботи зібраного ТТ.

Слід зазначити, що трансформатор Tesla має широку сферу практичного застосування. Так, напруга на вторинній обмотці трансформатора може досягати мільйонів вольт, внаслідок чого формується ефективне джерело надвисокої напруги. Tesla розробляв свою систему для передачі електроенергії на значні відстані без проводів, використовуючи провідність верхніх повітряних шарів атмосфери. Також передбачалася наявність приймального трансформатора аналогічної конструкції, який би знижував прийнятну високу напругу до прийнятної для споживача значення, про що свідчить патент Tesla №649621. Крім того, на особливу увагу заслуговує характер взаємодії трансформатора з навколишнім середовищем. Так, вторинний контур є відкритим, система термодинамічна і не є ізольованою (відкрита система). Сучасні дослідження в цьому напрямку проводяться багатьма дослідниками.

Tesla все ж добився деяких успіхів в сфері бездротової передачі енергії – він зміг запалити лампи на відстані, але через багато мінусів конструкції його трансформатор не здобув широкого використання в науці. З головних мінусів конструкції можна виділити такі: низький ККД трансформатора, складна конструкція, висока ціна. Також, існують деякі проблеми з безпекою при використанні трансформатора Tesla, оскільки високовольтні імпульси можуть бути небезпечними для людей та техніки (особливо цифрової).

Висновки

Таким чином, котушки Tesla стали відомими завдяки своїй здатності створювати потужні електричні розряди у вигляді блискавки і часто асоціюються з масштабними демонстраціями наукових експериментів. Однак вони також знайшли сучасні застосування в різних областях.

Наприклад, котушки Tesla використовуються в таких сферах:

1. Освіта та публічні заходи. Котушки Tesla часто використовуються на публічних заходах, фестивалях науки та музеях для привернення уваги до фізики та електрики. Вони створюють вражаючі блискавки, які можуть бути помітні і чути далеко, що робить їх відмінними для шоу та освітніх заходів.

2. Медична діагностика. У медичній діагностиці котушки Tesla можуть використовуватись для створення магнітних полів у магнітно-резонансній томографії (МРТ). Ці поля допомагають створювати детальні зображення внутрішніх органів та тканин пацієнта.

3. Наукові дослідження. Котушки Tesla можуть використовуватись у наукових дослідженнях для вивчення різних аспектів фізики та електромагнетизму. Вони допомагають науковцям проводити експерименти та вимірювання.

4. Розваги та арт-проекти. Багато художників та ентузіастів використовують котушки Tesla у своїх творах та інтерактивних інсталяціях, щоб створювати візуальні ефекти, які надають артистичному та розважальному контенту унікальні особливості.

5. Безпечні тести високої напруги. Котушки Tesla можуть використовуватись для тестування ізоляції та захисту від високої напруги на устаткуванні, такому як ізолятори та провади. Це допомагає виявляти потенційні проблеми у електроенергетичних системах.

6. Формування плазми. Котушки Tesla можна використовувати для створення плазми в лабораторних умовах. Плазма, яка складається з іонізованих частинок, має широке застосування у наукових дослідженнях, включаючи вивчення ядерної фізики та розробку плазмових реакторів.

7. Виробництво озонаторів. Котушки Tesla можуть бути використані в озонаторах, які генерують озон для різних застосувань, таких як очищення води та повітря, а також процеси стерилізації.

8. Електроніка та радіо. Котушки Tesla можуть бути використані в радіоаматорстві та радіоінженерії для тестування та налаштування антен, а також для створення радіоімпульсів.

9. Тестування захисту від блискавок. Котушки Tesla можуть використовуватись для тестування захисту від блискавки на різних об'єктах та спорудах, щоб забезпечити їх надійність.

Але, в той же час, котушки Tesla можуть бути небезпечними, і їх використання вимагає дотримання відповідних запобіжних заходів та знань про безпеку. Важливо враховувати ризики та дотримуватись інструкцій під час роботи з високими напругами та електричними розрядами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Y. V. Batygin, E. O. Chaplygin, S. O. Shynderuk, E. O. Tretinnikov. The Tesla transformer output voltage with an operating frequency deflection from the resonant value. Reporter of the Priazovskiy State Technical University Section Technical sciences. Volume 36, 2018, pp. 187-194. DOI:10.31498/2225-6733.36.2018.142547

2. Ankan Basak, Ankur Patel, Senthil Kalyanasundaram, Amitava Roy. Design Study of a High-Permeability Core-Based Ultra-Compact Tesla Transformer. IEEE Transactions on Plasma Science. Volume 50, 2022, pp. 1-6. DOI:10.1109/TPS.2022.3187754

3. Tesla coil. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.britannica.com/technology/Tesla-coil>. Зарг.з екрану (29.10.2023).

4. M. Sohel Rana, A.K. Pandit. Design and Construction of a Tesla Transformer by using Microwave Oven Transfer for Experimentation. Innovative Systems Design and Engineering. Vol.5, No.12, 2014, pp. 15-23. ISSN 2222-1727 (Paper) ISSN 2222-2871 (Online)

5. B. Plangklang, P. Apiratikul and P. Boonchiam, A Low-Cost High Performance Tesla Transformer for testing 115 kV Line Post Insulator, 2006 International Conference on Power System Technology, Chongqing, China, 2006, pp. 1-5, DOI:10.1109/ICPST.2006.321557.

6. Gideon Nimo Appiah, David Martinez, Fernando Albarracin-Vargas, Chaouki Kasmi, Nicolas Mora. Analytical Design and Simulation of a 9.3-GW Tesla Transformer for HPM Sources. IEEE Transactions on Plasma Science. Volume 99, 2022, pp. 1-8. DOI:10.1109/TPS.2022.3219834

Притула Максим Олександрович – к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: pritulamo@ukr.net

Грицюк Андрій Миколайович – студент групи ТКР-22б, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: andreground135@gmail.com

Prytula Maksym Oleksandrovysh - Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Information Radio Electronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pritulamo@ukr.net

Hrytsiuk Andrii Mykolayovych – student group TKR-22b, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: andreground135@gmail.com