



دانشگاه نجف

دانشکده مهندسی

گروه برق

## پایان نامه کارشناسی

گرایش:

قدرت

عنوان:

بررسی کویل تسلا و شبیه‌سازی عملکرد آن

استاد راهنما:

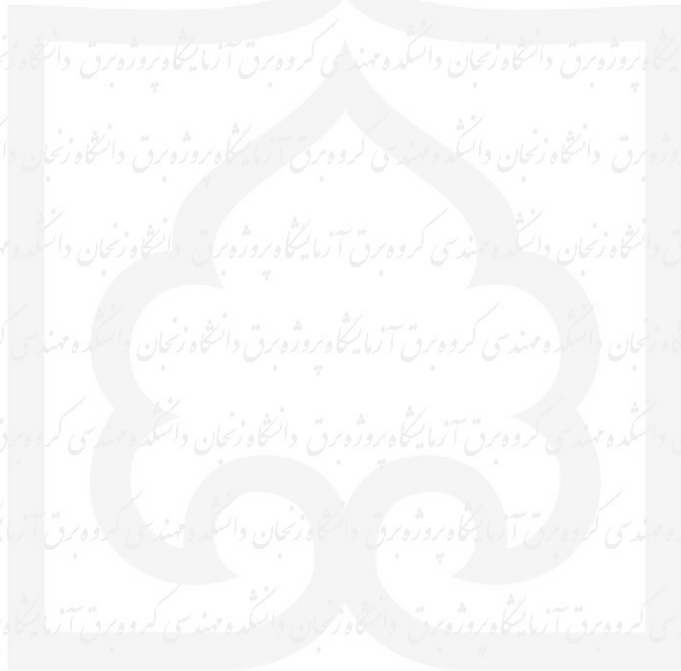
دکتر مرتضی اسلامیان

نگارش: عاطفه اسلامیه

شهریور ۹۶

## تقدیم به

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نسبیم ساخته تا در سایه درخت پر بار  
وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش  
نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو  
وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از  
فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند و زیبایی حضور  
خواهرم در کنارم، که خستگیهای این راه را به امید و روشنی راه تبدیل کرد.



## چکیده

سیم پیچ تسلا یک ترانسفورماتور رزونانس الکتریکی است که برای تولید ولتاژ متناوب بالا و فرکانس بالا

مورد استفاده قرار می‌گیرد که در زمینه‌های الکتریکی، فوسفرسانس، تولید اشعه ایکس، الکتروتراپی و انتقال انرژی الکتریکی بدون سیم استفاده می‌شود. همچنین در تجهیزات پزشکی مانند دستگاه‌های الکترودرمانی و اشعه‌های بنفش، به‌طور تجاری در فرستنده‌های رادیویی برای تلگراف بی‌سیم استفاده

می‌شود. امروزه استفاده اصلی آن‌ها برای نمایش‌های سرگرمی و آموزشی است. با توجه به ساختار ترانس آنالایگاه پروژه تسلا ولتاژ در سمت ثانویه تا چندین برابر می‌رسد که اهمیت خاصی در زمینه طراحی و ساخت دارد. با در نظر گرفتن این مهم در این تحقیق سعی بر آن شده است که ترانس تسلا مورد مطالعه و بررسی قرار

بگیرد. در فصل اول به تاریخچه و روند اختراع ترانس تسلا پرداخته شده است. سپس انواع ترانس تسلا معرفی شده و در پایان کاربردهای مختلف این ترانس مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

در فصل دوم نحوه عملکرد ترانس به‌طور کلی و در یک سیکل تشریح شده و در راستای تشریح عملکرد توضیحی مختصر درباره‌ی ترانسفورماتور رزونانسی داده شده است و در پایان به بررسی روابط

"فرکانس نوسانی" و "ولتاژ خروجی" نیز اشاره گردیده است. پس از اشاره به مفاهیم اصلی، در فصل سوم به شبیه‌سازی ساده‌ای از ترانس تسلا پرداخته شده است و در حالت‌های مختلف با تغییر المان‌های مربوط نتیجه مطلوب از شبیه‌سازی ثبت و بررسی شده است.

در فصل چهارم نحوه ساخت و طراحی ترانس تسلا و تولید ولتاژ بالا مورد مطالعه قرار گرفته است و همچنین ترانس‌های تسلا مدرن تشریح شده و در نهایت آثار مخرب و خطرات این ترانس بررسی شده

است. همچنین ترانس آنالایگاه پروژه تسلا ولتاژ در سمت ثانویه تا چندین برابر می‌رسد که اهمیت خاصی در زمینه طراحی و ساخت دارد. با در نظر گرفتن این مهم در این تحقیق سعی بر آن شده است که ترانس تسلا مورد مطالعه و بررسی قرار

بگیرد. در فصل اول به تاریخچه و روند اختراع ترانس تسلا پرداخته شده است. سپس انواع ترانس تسلا معرفی شده و در پایان کاربردهای مختلف این ترانس مورد مطالعه قرار گرفته شده است.









## ۱-۱- مقدمه

نیکولا تسلا، مخترع و مهندس برق و مبدع سیستم نوین برق رسانی AC در سال ۱۸۹۱ میلادی در صدد ساخت یک سیستم انتقال انرژی الکتریکی به صورت بی سیم یا وایرلس بود که موفق به ساخت کوپل تسلا (Tesla Coil) شد. سیم پیچ تسلا یک مبدل رزونانس است که با تولید ولتاژ بسیار بالا منجر به فروشکست مولکول های هوا و ایجاد جرقه می شود. از تسلا کوپل برای تولید ولتاژهای بالا، جریان های نسبتاً زیاد و الکتریسیته متناوب با فرکانس های بالا استفاده می شود که در تلویزیون و رادیوهای قدیمی و تولید اشعه ایکس X-ray کاربرد دارد.

در ساختمان کوپل تسلا داریم : ترانسفورماتور افزایشنده ، سیم پیچ اولیه، سیم پیچ ثانویه، بانک خازنی، فاصله هوایی<sup>۱</sup>، کلاهک<sup>۲</sup>

می توان عملکرد ترانسفورماتور را بر اساس القای متقابل به این صورت توضیح داد که با عبور جریان از سیم پیچ اولیه میدان الکترومغناطیسی در هسته ایجاد شده که متقابلاً در سیم پیچ ثانویه نیرو محرکه الکتریکی ایجاد (القاء) می کند.

بسته به ویژگی های ساختاری و محاسباتی اختلاف پتانسیل ظاهر شده در دو سر سیم پیچ ثانویه نسبتی بیشتر یا کمتر با اختلاف پتانسیل اعمال شده بر دو سر سیم پیچ اولیه دارد، در صورتی که تعداد دورهای سیم پیچ ثانویه (سیم پیچی که در آن القا صورت می گیرد) از تعداد دورهای سیم پیچ اولیه (سیم پیچی که به منبع متصل است و میدان را القا می کند) بیشتر باشد ولتاژ (نیرو محرکه) ظاهر شده در آن هم مقدار بیشتری از ولتاژ منبع خواهد داشت.

<sup>۱</sup> Spark gap  
<sup>۲</sup> tours

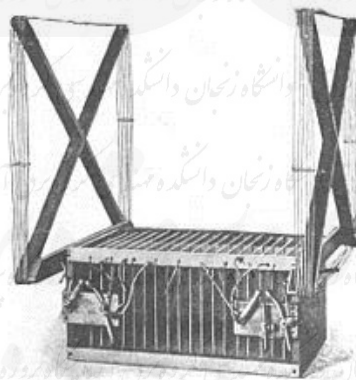


همچنین نحوه عملکرد این ترانس به این صورت است که: با راه اندازی جریان مجموعه، جریان برق از مسیر خازن و سیم پیچ عبور می کند اما در این زمان، مسیر شامل فاصله هوایی است و به دلیل مقاومت بالای فاصله هوایی جریان الکتریکی برقرار نیست. با انتخاب صحیح مقدار خازن می توان زمان پر شدن آن را درست انتخاب کرد.

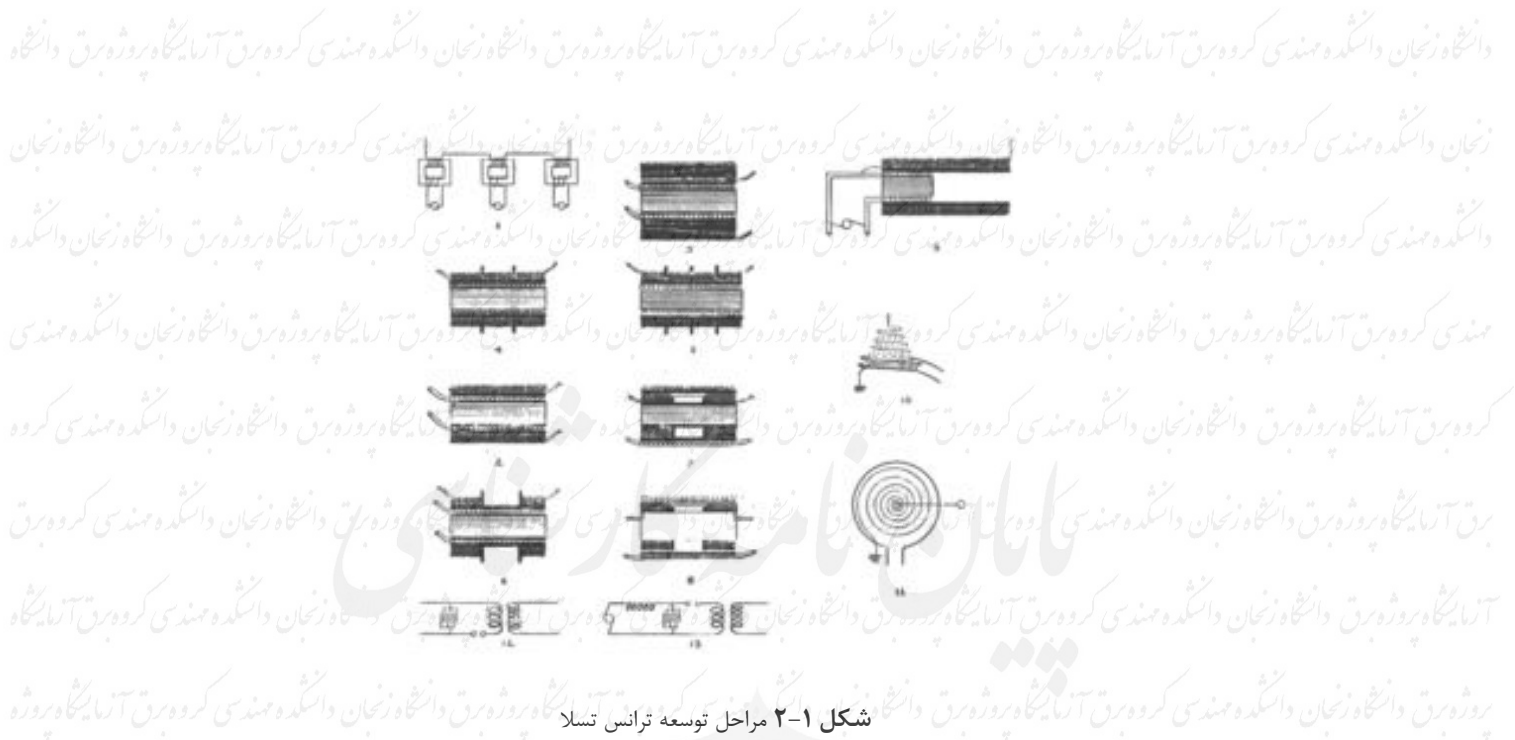
پس از پر شدن، مقاومت خازن بی نهایت می شود و مسیر هوایی برای عبور جریان مستعد می شود (یعنی مقاومت این مسیر هر چند بالاست اما کمتر از مقاومت خازن می شود) یک جرقه کوتاه این مسیر را برای عبور جریان باز کرده و خازن به صورت ضربه ای از مسیر سیم پیچ اولیه تخلیه می شوند. شدت بالای میدان ایجاد شده در سیم پیچ ثانویه ولتاژی بسیار بالا ایجاد می کند که به صورت جرقه از محل کلاهک تخلیه بروز می کند.

## ۱-۲- تاریخچه

نیکولا تسلا، سیم پیچ تسلا را در تاریخ ۲۵ آوریل ۱۸۹۱ اختراع کرد و در ابتدا به طور عمومی در ۲۰ مه ۱۸۹۱ در سخنرانی خود، "آزمایشات با جریان های جایگزین از فرکانس های بسیار بالا و کاربرد آنها در روش های نورپردازی مصنوعی" به نمایش گذاشت. اگرچه تسلا در طول این دوره چندین مدار مشابه را اختراع کرد، اما این اولین باری بود که تمام عناصر ترانس تسلا: ترانسفورماتور اولیه و ولتاژ بالا، خازن، فاصله هوایی و ترانسفورماتور نوسان با هسته هوایی را دارا بود. [۲][۳]



شکل ۱-۱ ترانسفورماتور رزونانس تحریک کننده جرقه



شکل ۱-۲ مراحل توسعه ترانس تسلا

شکل ۱-۲ مراحل توسعه ترانسفورماتور تسلا در سال ۱۸۹۱ نشان می‌دهد که: (تصویر شماره ۱) ترانسفورماتورهایی با هسته‌ای نزدیک در فرکانس‌های پایین، (تصویر شماره ۲ تا ۷) سیم‌پیچ مجدد برای کاهش تلفات، (تصویر شماره ۸) هسته آهنی حذف‌شده، (تصویر شماره ۹) هسته جزئی، (تصویر شماره ۱۰ تا ۱۱) ترانسفورماتور تسلائی نهایی مخروطی (تصویر شماره ۱۲ تا ۱۳).

### ۱-۲-۱- روند اختراع

در طول انقلاب صنعتی، صنعت برق از جریان مستقیم (DC) و جریان متناوب با فرکانس پایین (AC) بهره می‌گرفت، اما فرکانس‌های بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز، آنچه که در حال حاضر به نام فرکانس‌های رادیویی نامیده می‌شود، زیاد شناخته‌شده نبودند. در سال ۱۸۸۷، چهار سال قبل، هانریش هرتز، (امواج رادیویی)، امواج الکترومغناطیسی را که در فرکانس‌های بسیار زیاد نوسان داشت، کشف کرده بود. این امر توجه زیادی را به خود جلب کرد و تعدادی از محققان با آزمایش جریان با فرکانس بالا شروع به کار کردند. [۴][۵]

## نتیجه گیری

همان طور که در طول این تحقیق بررسی شد: تغذیه تسلا کوپل از طریق یک ترانسفورماتور افزاینده

صورت می گیرد که از برق شهر تغذیه می شود و سطح ولتاژ را تا مقدار مناسب برای کوپل تسلا بالا

می برد.

سیم پیچ اولیه باید از سیم ضخیم تهیه شود زیرا جریان عبوری از این سیم پیچ بالاست و با اثر پوستی

نیز مواجه هستیم .

برای سیم پیچ ثانویه باید از سیم نازک استفاده شود تا ضریب خودالقایی سیم پیچ بالا باشد. با برقراری

جریان متناوب از سیم پیچ اولیه میدان مغناطیسی متناوبی ایجاد می شود که متناظرا در سیم پیچ ثانویه

نیروی محرک متناوبی با مقدار بالا ایجاد می کند. میزان ولتاژ القاشده در دو سر سیم پیچ ثانویه به نرخ

تغییرات شار عبوری از آن بستگی دارد. اگر نرخ تغییرات شار بسیار سریع یا در سریع ترین حالت

به صورت ضربه باشد ولتاژ القائی فوق العاده بالا خواهد بود. در کوپل تسلا از این موضوع به نحو احسن

استفاده شده و بانک خازنی و فاصله هوایی پالس های جریان به صورت ضربه ای برای سیم پیچ اولیه فراهم

می کنند . نتیجه نهایی هم تولید ولتاژهای بسیار بالا در سیم پیچ ثانویه این دستگاه است.

باید توجه داشت که ظرفیت خازن به گونه ای انتخاب شود که بتواند ولتاژ اعمال شده به دو سرش را

تحمل کند و در شرایط اتصال به منبع با ولتاژ بالا دچار فروشکست نشود. همچنین ظرفیت خازن باید به

مقدار بهینه ای باشد که در زمان مناسب حین نوسان ولتاژ تغذیه بتواند به طور کامل شارژ شود و در

زمان مناسب با بروز جرقه در فاصله هوایی خالی شود و از این طریق بتواند حداکثر انرژی را به سیم پیچ

اولیه انتقال دهد.

درواقع فاصله هوایی مانند یک سوئیچ رفتار می کند که در موقع پر شدن خازن بسته شده و اجازه

می دهد جریان خازن به داخل سیم پیچ اولیه حرکت کند.

نقش کره یا کلاهک تکمیل مدار سلفی - خازنی است . زیرا این کلاهک موجب تشکیل یک خازن با آن

ظرفیت بسیار کم را می دهد.







## مراجع

[۱] uth, Robert, "Tesla coil", Tesla: Master of Lightning, PBS.org, ۲۰۰۸-۰۵-۲۰.

[۲] U.S., "Nikola tesla", SYSTEM OF ELECTRIC LIGHTING, Patent No. ۴۵۴,۶۲۲, ۲۵ April ۱۸۹۱.

[۳] Denicolai, Tesla Transformer for Experimentation and Research, Ch. ۱, p. ۱-۶, ۲۰۰۱.

[۴] Aitken, Hugh G.J, Syntony and Spark: The Origins of Radio, Princeton Univ, Press. pp. ۲۳-۲۵, ۳۱-۳۶. ISBN ۱۴۰۰۸۵۷۸۸۰, ۲۰۱۴.

[۵] Carlson, W. Bernard, Tesla: Inventor of the Electrical Age, Princeton University Press. pp. ۱۱۹-۱۲۵. ISBN ۱۴۰۰۸۴۶۵۵۲, ۲۰۱۳.

[۶] Sarkar, T. K.; Mailloux, Robert; Oliner, Arthur A, History of Wireless. John Wiley and Sons, pp. ۲۶۸-۲۷۰. ISBN ۰۴۷۱۷۸۳۰۱۳, ۲۰۰۶.

[۷] Fleming, John Ambrose, The Principles of Electric Wave Telegraphy and Telephony, ۲nd Ed. London: Longmans, Green and Co. pp. ۵۸۱-۵۸۲, ۱۹۱۰.

[۸] Pierce, George Washington, Principles of Wireless Telegraphy, New York: McGraw-Hill Book Co. pp. ۹۳-۹۵, ۱۹۱۰.

[۹] Strong, Frederick Finch, High Frequency Currents, New York: Rebman Co. pp. ۴۱-۴۲, ۱۹۰۸.

[۱۰] W. Bernard Carlson, Tesla: Inventor of the Electrical Age, Princeton University Press, page ۱۲۲, ۲۰۱۳.

[۱۱] W. Bernard Carlson, Tesla: Inventor of the Electrical Age, Princeton University Press, page ۱۲۴, ۲۰۱۳.

[۱۲] H. Alabaster, Gatehouse and Co, "Tesla's system of electric power transmission through natural media", The Electrical Review, New York, ۲۰۱۵.

[۱۳] Thomson, Elihu, "High Frequency Electric Induction", Technology Quarterly and Proceedings of Society of Arts, Boston: Massachusetts Inst. of Technology, ۲۰۱۵.

[۱۴] Oberbeck, A, "Ueber den Verlauf der elektrischen Schwingungen bei den Tesla'schen Versuchen (On the electrical oscillations in Tesla's experiments)", Annalen der Physik, Berlin: Wiedemann, Retrieved May ۱, ۲۰۱۵.

[۱۵] Haddad, A.; Warne, D.F, Advances in High Voltage Engineering, IET. p. ۶۰۵. ISBN ۰۸۵۲۹۶۱۵۸۸, ۲۰۰۸.

[۱۶] Denicolai, Tesla Transformer for Experimentation and Research, Ch. ۲, p. ۱۰, ۲۰۰۱.

[۱۷] Rhees, David J, "Electricity - "The greatest of all doctors": An introduction to "High Frequency Oscillators for Electro-therapeutic and Other Purposes"" (PDF), Proceedings of the IEEE, Inst. of Electrical and Electronic Engineers, ۸۷ (۷): ۱۲۷۷-۱۲۸۱, ۲۰۱۰.

[۱۸] Gilliams, E. Leslie, "Tesla's Plan Of Electrically Treating School Children", Popular Electricity, New York: The Popular Electricity Publishing Co.: ۸۱۳-۸۱۴, ۲۰۱۶.

[۱۹] Haddad, A.; Warne, D.F, Advances in High Voltage Engineering, IET, p. ۶۰۰. ISBN ۰۸۵۲۹۶۱۵۸۸, ۲۰۰۴.

[۲۰] Naidu, M. S.; Kamaraju, V, High Voltage Engineering, Tata McGraw-Hill Education. p. ۱۶۷. ISBN ۱۲۵۹۰۶۲۸۹۹, ۲۰۱۳.

[۲۱] Sprott, Julien C, Physics Demonstrations: A Sourcebook for Teachers of Physics, Univ. of Wisconsin Press. pp. ۱۹۲-۱۹۰. ISBN ۰۲۹۹۲۱۵۸۰۶, ۲۰۰۶.

[۲۲] Gerekos, Christopher , "The Tesla Coil" (PDF), Thesis. Physics Dept., Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium: ۲۰-۲۲, ۲۰۱۲.

[۲۳] Burnett, Richie , "Operation of the Tesla Coil", Richie's Tesla Coil Web Page, Richard Burnett private website, ۲۰۰۸.

[۲۴] Atkinson, Chip; Phillips, Ed; Rzeszotarski, Mark S.; Stephens, R.W, "Tesla Coil Safety Information", Classic Tesla. Bart Anderson personal website, ۲۰۱۷.

[۲۵] Mieny, C. J, Principles of Surgical Patient Care ,New Africa Books. p. ۱۳۶. ISBN ۹۷۸۱۸۱۶۹۲۸۰۰۵۵, ۲۰۰۳.

[۲۶] Kalsi, Aman; Balani, Nikhail, Physics for the Anaesthetic Viva, Cambridge Univ. Press. pp. ۴۵-۴۶. ISBN ۱۱۰۷۴۹۸۳۳۳, ۲۰۱۶.

[۲۷] Robberson, Elbert , "How to build a Tesla coil", Popular Science, New York: The Popular Science Publishing Co. ۱۶۰ (۲): ۱۹۲, ۱۹۵۴.

[۲۸] Sarwate, V. V, Electromagnetic Fields and Waves, New Age International, Ltd, p. ۳۰۰. ISBN ۸۱۲۲۴۰۴۶۸۵, ۱۹۹۳.

[۲۹] Cheney, Margaret, "Tesla", Man Out of Time. Simon and Schuster. p. ۸۷. ISBN ۱-۴۵۱۶-۷۴۸۶-۴, ۲۰۱۱.

[۳۰] Plesch, P. H, High Vacuum Techniques for Chemical Syntheses and Measurements, Cambridge University Press. p. ۲۱. ISBN ۰-۵۲۱-۶۷۵۴۷-۲, ۲۰۰۵.



[۳۱] Tilbury, Mitch , The Ultimate Tesla Coil Design and Construction Guide, New York:

McGraw-Hill Professional. p. ۱. ISBN ۰-۰۷-۱۴۹۷۳۷-۴, ۲۰۰۷.

[۳۲] Anderson, Barton B, "The Classic Tesla Coil: A dual-tuned resonant transformer" (PDF), Tesla Coils, Terry Blake, July ۲۶, ۲۰۱۰.

[۳۳] Reed, John Randolph , "Designing high-gain triple resonant Tesla transformers" (PDF). Dept. of Engineering and Computer Science, Univ. of Central Florida, ۲۰۱۰.

[۳۴] Jolka, Robert K., "Project Tesla - In Search of an Answer to Our Energy Needs". Radio-Electronics. New York: Gernsback Publications, Inc. ۵۲ (۲): ۴۷-۴۹. Retrieved September ۴, ۲۰۱۰.

[۳۵] Klipstein, Don , "Tesla Coil Hazards and Safety", Don's Tesla Coil Page. Don Klipstein's personal website, September ۱۰, ۲۰۱۷.