

令和6年 3月 30日

令和5年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	テスラコイル製作	
研究課題名	テスラコイル製作の簡易化における考察と テスラコイルの利用に関する研究	
研究代表者（学生）	学籍番号	B24N047
	氏 名	長谷山直飛
指導教員	学 科	知能メカトロニクス学科
	氏 名	高山 正和

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

テスラコイル製作の簡易化における考察とテスラコイルの利用に関する研究

システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科

2年 長谷山 直飛

指導教員 システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科

准教授 高山 正和

1. 目的

テスラコイルは、ニコラ・テスラによって考案された、高周波・高電圧を発生させる共振変圧器である。テスラコイルの放電を制御することで、放電の繰り返し周波数を操ることができ、これを用いて音楽の演奏を行うことなどが可能である。テスラコイルを用いて音楽の演奏を行うアーティストを見て、自身もテスラコイルを使用してみたいと感じた。しかし、テスラコイルは、一般的に市販されているものではないため、これを自作しようと考えたが、一人で作るには、スケールの大きい機器であり放電も伴い危険であるため、学生自主研究で行うことにした。

テスラコイルの駆動回路を作成することは、高周波高電圧の電流を理解すること、回路の仕組みや電子部品などの素子の役割や特性を知ることによって効果的である。

また、テスラコイルは、浮遊容量や浮遊インダクタンスによる影響が大きく強力な放電をさせようとした場合の再現性が悪いため、不明な点も多いとされる。これを再現することは基礎研究に繋がる意味を持つと考えられる。

2. 作成したテスラコイル

2-1 テスラコイルの概要

作成したテスラコイルは、SSTC(Solid State Tesla Coil)と呼ばれるテスラコイルであり、半導体駆動回路を使用した回路で動作するものである。

SSTCを作るときには一次回路から作る方法と二次コイルから作る方法があるが、今回は二次コイルから作る方法を選択した。

図1にテスラコイルの概形を示す。

以下に部分ごとの説明を行う。

- ・電極(スパークギャップ):ここから放電する。放電を促すための金属針。
- ・トロイド(容量球):高電圧が発生した際、意図しない箇所から放電が行われないようにするため、電気を貯めておくための金属部分。尖った部分から電子が放出されやすいため、そのような部分がなくなるように球の形に近いものになる。(電極の金属針はあえてこの尖った部分を作っている。)今回はアルミダクトを用いて作成した。
- ・二次コイル:細い導線を何度も巻いた長いコイル。

共振周波数から導かれる必要な導線の巻き長さと共に伴う巻き回数、コイルの高さ(円筒の縦の長さ)を導出する方法について次に示す。

二次コイルの巻き線長

二次コイルの共振周波数は巻き線長の1/4になる電磁波の周波数であることが文献調査により分かった。

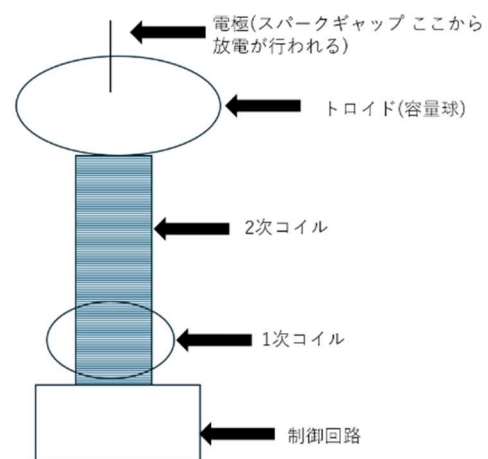


図1 テスラコイルの装置の概形[1]

共振周波数 f は、

$$f = \text{光速}(3 \times 10^8[\text{m/s}]) \div (\text{巻き線長}[\text{m}] \times 4) [\text{Hz}]$$

で求められる。 $f = 100 \text{ kHz}$ とすると巻き線長は、750m と求められる。

コイルを巻きつける筒として、塩ビパイプを使用した。塩ビパイプは任意の既製品の規格に従う。今回使用した円筒の直径 D は $D=114\text{mm}$ であったため、円筒の周は、1周 357.96mm である。巻き線長 750m を 357.96mm で割ると、 $750 \div (357.96\text{mm} \times 10^{-3})=2095$ (回巻き)が求められる。コイルの高さは、導線の太さ(0.4mm)×巻き回数(2095)で求められ、0.83m(理論値)となる[1]。

このように巻き回数で巻き線長に合わせることは、あくまで理論値であり、誤差が生じる可能性がある。しかし、誤差があると放電しないかというそうではない。今回は二次コイル作成のため、導線を約 2095 回巻いた。約であるのは、コイルの手巻きを行った際には、自作回転数カウンタと自力での回数計測の両方を行ったが、巻き回数がかかり多いため、そのどちらにも計測ミスが含まれているだろうということを前提としたためである。

- ・一次コイル:二次コイルの周囲をめぐるように少なく巻いた、よく絶縁された導線
- ・制御回路:テスラコイルに繋がる回路。電源回路、論理回路、ゲートドライバ、GDT、ブリッジ回路が接続されている[1]。

2-2 制御回路について

制御回路には、H-ブリッジ回路が用いられている。フルブリッジを用いて制御する方法と、ハーフブリッジを用いて制御する方法があるが、今回は、ハーフブリッジを用いた。

制御回路を作成するにあたり、キット付属の説明書とウェブサイトを参考にした。図 2, 3, 4 に参考にした回路のうち、実際に用いた回路を示す。

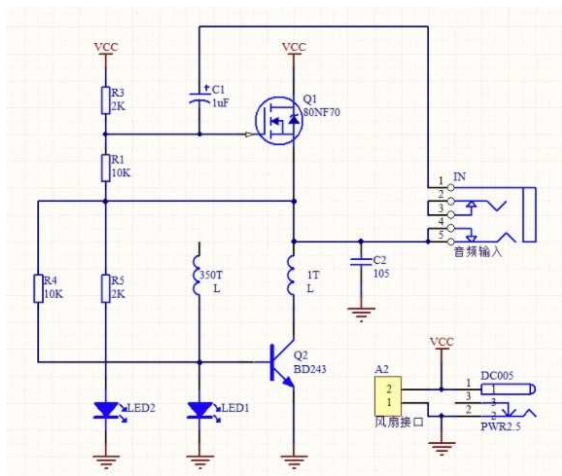


図 2 キットの回路図

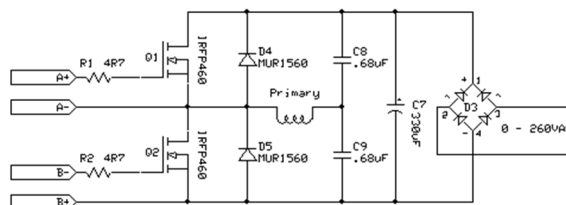


図 3 SSTC H-ブリッジ(ハーフ)回路図[2]

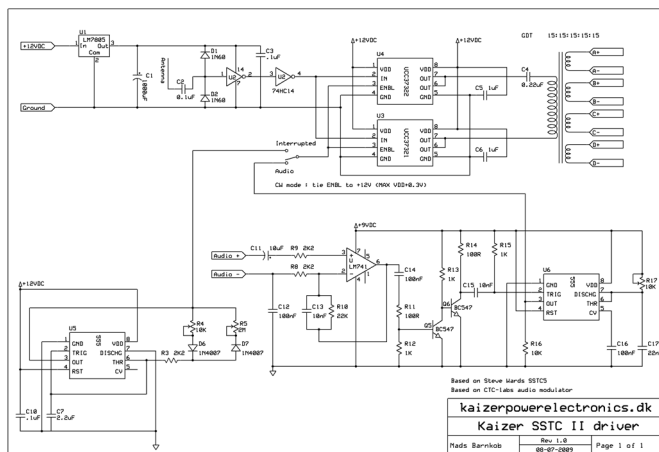


図 4 SSTC(初号機)ドライバー回路図[3]

テスラコイルの製作にあたって、より理解を深めるために市販の手のひらサイズのテスラコイル組み立てキット(中国製)を購入し組み立て完成させた。そのため、組み立てキットと一から作った完全自作機を区別するため、以下より前者をキット、後者を SSTC 初号機と呼ぶ。

2-3 作成したテスラコイル(キット)について

共振周波数から巻き線長を決定した設計ではなく、ランダムな巻き線の仕様で、適当な周波数で共振するような一次コイル、二次コイルの設定である。図 5 に完成したキットの画像を示す。放電と、発音が観測された(図 6)。放電の大きさは 3mm ほどで、指を近づけて触れると程よく痺れるような刺激が感じられた。電球を近づけたところ、通電し、電球が発光した(図 7)。数分使用したところ、キットからは放熱があった。

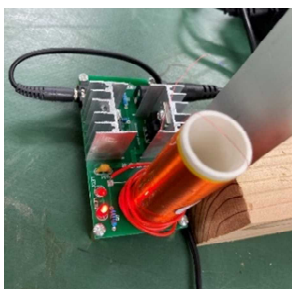


図 5 完成したキット



図 6 キット放電の様子

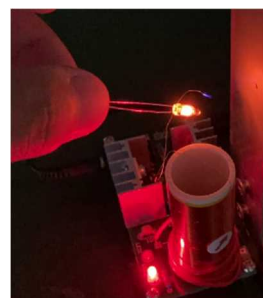


図 7 キットに電球を近づけた時の様子

2-4. 作成したテスラコイル(SSTC 初号機)について

巻き回数約 2095 回の二次コイルと、上記の回路を組み合わせたテスラコイルを作成した。ハーフブリッジ部分も含め、回路はすべてユニバーサル基板で作成した。回路は完成したが、残念ながら自主研究期間内に、GDT(フェライトコアとそれに巻き付ける導線の巻き付け回数”だけ巻いた”導線)と諸部品をすべて組み合わせて、完成および放電を行うところまで到達できなかった(二次コイルは完成)。図 8 が巻き終わり、表面に高周波ワニス塗装を施した二次コイルである。



図 8 完成した二次コイル

3. 音楽が鳴る仕組み

テスラコイルから音楽が鳴る原理に関して、繰り返し周波数が用いられている。これは、テスラコイルを、単位時間あたり特定の回数 on/off させ繰り返し発振し放電させることで、特定の音程を作り出している。我々が普段聞いている音階は、特定の周期を持つ波で表すことができ、ドレミファソラシドの音名はピタゴラス音階で対応する周波数とともに定義されている。任意の音を鳴らすには、その周波数で繰り返し放電を行えばよい[4]。表 1 に各音階に対応する周波数を示す。

表 1 音名とそれに対応する周波数(Hz)

C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B
61.626	277.183	293.665	311.127	329.628	349.228	369.994	391.995	415.305	440	466.164	493.883

※C がド。A3(鍵盤番号 69)の音が 440Hz であるため、その周辺の音を用いた。

放電から音がなる仕組みそのものは、空気が急激に熱せられ爆発的な膨張を行うためである[5]。雷から“その音”がなるメカニズムに関して、テスラコイルを用いることで、空気の膨張や音の発生する様子を解析したり、シミュレートしたりするのを簡易化させる手助けになるのではないかと考えた。

4. 製作の簡易化に関して

今回二次コイルの製作にあたって、木枠とそれにキャスターを取り付けた、円筒回転台と Arduino を用いた回転数カウンターを作成した。これにより巻き作業が効率化した。更なる効率化には、ステップモーターを利用して、円筒を決まった回数回転させる、その際、回転速度を自由に変更できるようにすると良いと考える。

一つのテスラコイルの製作にかかる予算と、時間の規模感が掴め良かった。時間に関し一人で手作りした場合、個人差はあれ(経験による主観とそれぞれのタスクにかかった時間から逆算したおおよその推定であるが)実作業だけでも最低約 60 時間必要であるという感覚を得た。

5. 利用について

テスラコイルの利用についての定性的な考察から利用方法を使用名で挙げる。

- ・オゾンの発生装置
- ・エンジンなどの点火・発火装置
- ・閾値を調節できる放電(医療機器)
- ・共鳴のための函の筐体が要らない、特定条件下で活躍しうる発音体
- ・送電
- ・破壊用機器
- ・電子工作や電気電子回路に関する学習を目的とした活用

6. まとめ

テスラコイルの原理と仕組み、使用される回路、放電現象とその利用方法について学んだ。テスラコイルの製作を行った。

自主研究の期間内には、SSTC の完成・放電まで辿り着かなかった。製作簡易化と利用における実践と考察を行った。

参考文献

[1]薬理凶室, 三オブックス, アリエナイ工作事典, p. 116-123

[2]KaizerSSTCI <https://kaizerpowerelectronics.dk/tesla-coils/kaizer-sstc-i/> (閲覧日: 2023/11/28)

[3]KaizerSSTCII <https://kaizerpowerelectronics.dk/tesla-coils/kaizer-sstc-ii/> (閲覧日: 2023/11/28)

[4]<https://ja.wikipedia.org/wiki/ピタゴラス音階> (閲覧日: 2024/3/27)

[5]監修 大山光晴, 学研キッズネット, 「なぜ、雷はゴロゴロ鳴るの?」, <https://kids.gakken.co.jp/kagaku/kagaku110/science0314/> (閲覧日: 2024/3/27)