

電気振動・電気共振・電磁波をつなぐ 実験教材の開発

—電荷をゆすれば、電磁波が発生—

愛知県立長久手高等学校 林 照 崇*

(業績分担者)愛知県立蟹江高等学校 伊 藤 昇**

(業績分担者)愛知県立尾西高等学校 林 正 幸***

(業績分担者)愛知県立旭丘高等学校 高 橋 賢 二****



目 的

- I. 電磁波を教師は「生徒に教えにくい素材」の一つにかかげ、生徒は「電気振動・電磁波はわかりにくいもの、とっつきにくいもの」としてきました。
- II. 電磁波が市民生活の中で広く利用されればされるほど、それに反比例するかのように生徒の興味はうすれ、電磁波の発生器はブラックボックス化していく傾向にあります。
- III. 「見えない電磁波を見る。」実験学習に心がけ、簡単なメカニズムで電磁波を発生し、そしてそれを簡単に検出でき、その発生機構から、多くの物体から電磁波が放射されていることが展望できるような視点で実験装置を開発したい。
- IV. 電磁波が電荷の振動によって発生することを理解するためには電荷も LC 回路の中で、バネ振子のおもりと同じように振動することを実験できる装置が必要です。今まで電荷を秒単位で振動させる装置はなかった。これをつくりたい。

概 要

- I. LC 回路で発生する電気振動や電気共振の現象が糸につるされたおもりの振子と同じ感覚で実験できるような装置を開発する。
- II. 秒単位のゆっくりした電気振動に対して 1,000 Hz 前後のオーディオ帯域の振動数の共振装置をつくる。この周波数だとコンデンサーをアルミ板 2 枚を向かい合わせた原理むき出しの形でつくれる。
- III. ヘルツが最初に電磁波を発生させ、また検出をした装置は電磁波の発生メカニズムがよくわかる。しかし、彼はその検出に非常に苦労している。より簡単な形で生徒が個々に測定して楽しめる装置を開発する。

教材・教具の製作方法

- I. 秒単位のゆっくりした、しかも持続する電気振動は可能か

電気振動の周期 T は $T=2\pi\sqrt{LC}$ であるから L と C とが大きければできそうだと最初は考えた。しかし、市販の 1 [F] の容量のコンデンサーを用いても計算上は秒単位の周期で振動するはずが単純に電圧が減衰するだけで全く振動しなかった。それは回路全体の直流抵抗 R が $L \cdot C \cdot R$ で決まるある値以下でないと電荷が振動できないからです。

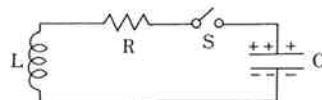


図 1

今、 C に蓄えられた電荷 Q が抵抗 R を通して L を通じて放電すると、電荷の運動方程式は

$$L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = 0$$

となります。

この微分方程式の解は $\frac{4L}{C}$ と R^2 の関係によって大きく異なります。

- ① $R^2 > \frac{4L}{C}$ のとき過減衰となり、電荷は振動しない。

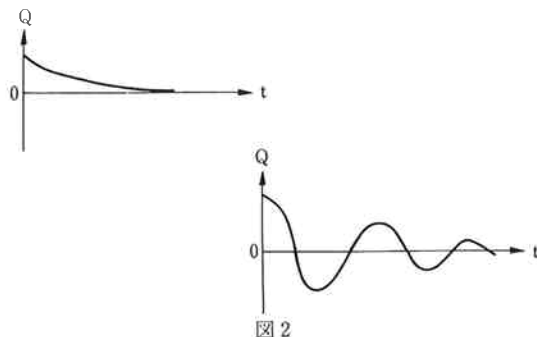


図 2

* はやし ひろたか 愛知県立長久手高等学校 教諭

** いう のぼる 愛知県立蟹江高等学校 教諭

*** はやし まさゆき 愛知県立尾西高等学校 教諭

**** たかはし けんじ 愛知県立旭丘高等学校 教諭

〒480-11 愛知県愛知郡長久手町岩作高山38 TEL(0561)62-0016

〒497 愛知県海部郡蟹江町新千秋後西50 TEL(05679)5-1611

〒494 愛知県尾西市上祖父江小稲葉18 TEL(0586)69-6161

〒461 名古屋市東区出来町3-6-15 TEL(052)721-5351

② $R^2 < \frac{4L}{C}$ のとき

$$Q = Ae^{-\frac{R}{2L}t} \cos\left(\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}t + \varepsilon\right)$$

となり電荷は振動しながら減衰していく。これをつくりたい。さらに振幅が $\frac{1}{e}$ に減衰する間に 2 周期は振動してほしい。という条件を入れると

$e^{-\frac{R}{2L} \cdot 2T} \geq e^{-1}$ となり $\frac{R}{2L} \cdot 2T \leq 1$ という条件ができます。今、周期 2 秒のゆっくりした電気振動をつくるには $R \leq \frac{L}{2}$ という条件を満たさなくてはなりません。

島津製トランスキットのコイルと鉄芯を調べてみると $L \div 1.2[H]$ 、 $R \div 2.5[\Omega]$ 、 $n=500[\text{ターン}]$ であった。これではだめなので $L \div 1.2[H]$ 、 $R \div 0.5[\Omega]$ (2mmφ銅線使用) のコイルを製作した。ゆっくりした周期で長時間振動を持続させるには、L を大きく、R を小さく、C を適当にすることが大切です。コンデンサーは電解コンデンサーを用いました。容量は $1 \times 10^4[\mu F]$ から $22 \times 10^4[\mu F]$ の容量が適当です。

II. 表示方法のくふう

電荷の移動を目で見る方法として最初はコンデンサーの両極に電圧計を入れました。しかし、電圧計の針は電荷の移動と関係なく振動するため、振動する電圧の指示は不可能であった。検流計を図 3 のように LC を結ぶ導線と並列に入れて分流した電流で検流計が作動

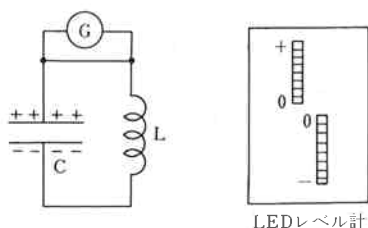


図 3

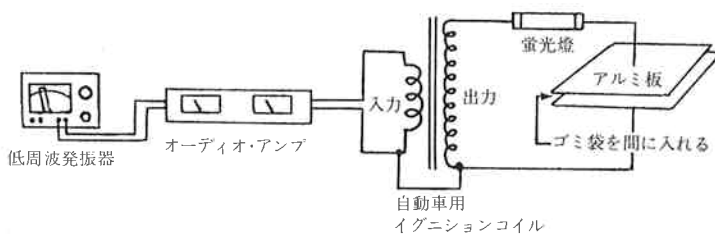


図 5

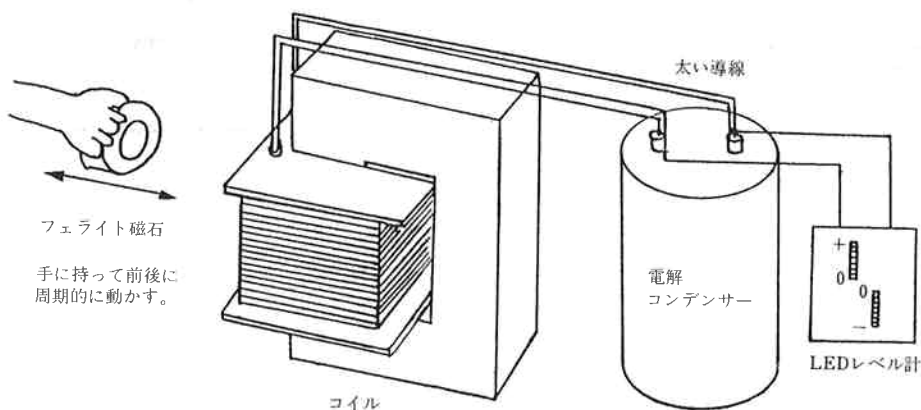


図 4

するようにするとうまくいった。しかし、振動する電流を表示するのに針の指示計器は不適當であった。そこで LED レベル計 (ラジカセ等の音量表示に使用されている。) を自作した。電荷の移動にあわせて LED が上下に点滅しながら移動するため、電荷の振動が一目でわかり、生徒に好評であった。

III. 電気振動を身で体得

LED レベル計は慣性が本質的に無視できるため、外部から電荷をゆすれば電気共振をひきおこすことを簡単に見ることができます。磁石を持った手を動かす周期が LC 回路の固有振動数と一致すると電圧はどんどん大きくなってきて、レベル計いっぱいの表示で振動するようになります (図 4)。(レベル計の感度を上げておくと 1[m] 離れた位置から共振させることができます。) 生徒は共振せようと夢中になって磁石を動かします。

IV. 鳴って、光って、電気共振

アルミ板を向かい合わせただけの原理むき出しのコンデンサーを用いて電気共振ができないのか? 電磁波の発生メカニズムの理解のためにもどうしても開発したい。という思いの中で考えついた装置がアルミ板コンデンサーと自動車のイグニッションコイルを組み合わせた共振回路です (図 5)。

40 cm×40 cm ほどのアルミ板の間にゴミ袋をスペーサーとして入れコンデンサーとします。低周波発振器からの信号をオーディオアンプで振動電流に変え、自動車用イグニッションコイルの一次側に入力します。その電流がコイルの L とコンデンサーの C とで決まる固

有振動数に一致すると、蛍光灯はそれまで暗く光っていたのが急に明るく輝き、さらにアルミ板コンデンサーからは共振音が一段と大きく響きます。(アルミ板コンデンサーはコンデンサースピーカになっていたのです。)そして、スぺーサーのゴミ袋を2倍の厚さにすれば $\sqrt{2}$ 倍の周波数で、スぺーサーを4倍にすれば2倍の周波数で共振します。この装置は目に見えにくいコンデンサーの内部がむき出しのうえ、共振現象を定量的に目と耳の五感でとらえることができます。高い電圧による電気振動が特徴です。

V. ヘルツの発振器は電磁波発生 の原点

前のアルミ板コンデンサーの極板を広げていくと左右に一直線上に極板の開いたコンデンサーができあがります。このコンデンサーに電荷を蓄え、火花放電スイッチで高電圧の電荷を放電させると電磁波が発生します。これはヘルツが初めて電磁波を発生させた装置です。検出はリング状もしくは直線アンテナの中央に入れてあるネオン管で検出します(図6)。

このヘルツの発振器から発生する電磁波は水平偏波になっています。直線アンテナ型検出器を用いると検出器が銅板コンデンサーに対して直角方向の角度を持つ時は光らず、平行の時のみ光ることによってよくわかります。

発振器の長さを適当にすると教室の黒板(最近では鉄板製です。)と後の壁の中の鉄筋との間で定常波ができます。教室の黒板と壁との間で複数個の「腹」と「節」とが観測できます。検出器を持って生徒が教室の各点を移動し、自分の手で電磁波を検出してゆきます。直接電磁波をつかまえている実体感を得ると好評です。

学習指導方法

生徒は直流回路はそれなりにわかるが交流回路になると全く実在感が無く、特に電気振動のところは「電荷がコンデンサーとコイルの間をゆさゆさ振動する。」という概念がどうしてもわからない、と言います。力学で学習してきたばね振子の振動のイメージがわくような装置をつくりたい。という思いの中で本装置ができてきました。

コンデンサーに蓄えた電荷を抵抗Rを通して放電させた時と、コイルLを通して放電させた時の電荷の動きのちがいは一目でわかり、電気振動の考え方を生徒に深く考えさせることができます。また、この装置を用いると外部から磁石を用いて電気共振をおこさせることが簡単にできるため、LC回路が固有振動数を持っていること、そしてその振動数と磁石を動かす振動数とが一致すると共振する。ということも体験的に学習することができます。ヘルツの発振器は生徒はガラクタから電波が出る。という思いを強く持ったようです。

実践効果

- I. わかりにくい電気振動を目で、身で体験できた。
磁石をいろいろな振幅、振動数で動かして結局固有振動数で動かした時が最も大きい振幅で振動することに生徒は気がつきます。
- II. ガラクタが物理の実験装置に変身する。
ガラクタがコンデンサーとなりコイルとなる変身ぶりに電気振動の学習とは異なった感動を与えたようです。
- III. 電磁波の発生メカニズムは単純なことがわかった。
トランジスターやICのかたまりからなる複雑なブラックボックスから電波は出るものだと思っていたのが、すごく簡単なコイル・コンデンサーから出たのでびっくりします。

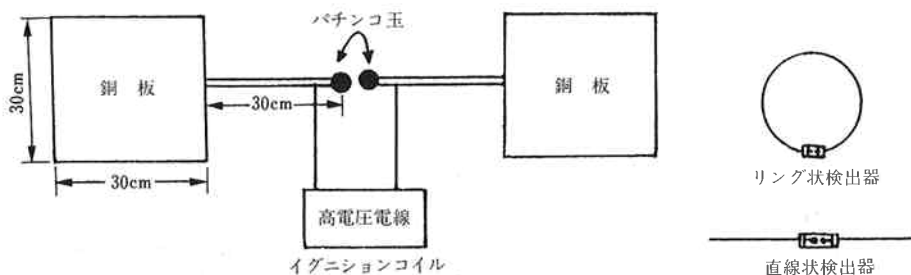


図6