

RLC 回路の過渡現象（後半）

1 目的

パルス大電流の取り扱い、及びそれを利用した LCR 回路の過渡現象を理解する。

2 原理

2.1 コンデンサ放電

大電流をソレノイド L に流すことで強い磁場 B を発生させる。このためには大きな電流 I が必要となり、本実験ではコンデンサ放電を用いる。コンデンサ放電では、コンデンサ C を高電圧で充電することにより大電荷 Q を貯めることができ、この Q を急速放電 ($\frac{d}{dt} \gg 1$) させることで、 $\frac{dQ}{dt} = I$ により大きな I を発生させる。

2.2 RLC 回路における過渡現象の原理

キルヒホッフの第 2 法則より RLC 回路では以下の回路方程式が成り立つ。

$$Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = E$$

ここで、 $D = \left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}$, $\alpha = -\frac{R}{2L}$, $\beta = \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$, $\beta' = \sqrt{-\left\{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}\right\}}$ とおくと、電流 i は以下の式で描かれる。

$$D > 0 \text{ のとき } i = \frac{E}{\beta L} e^{\alpha t} \sinh \beta t$$

$$D < 0 \text{ のとき } i = \frac{E}{\beta' L} e^{\alpha t} \sinh \beta' t$$

$$D = 0 \text{ のとき } i = \frac{E}{L} e^{\alpha t}$$

このとき、電流 i は $D > 0$ のとき過減衰、 $D = 0$ のとき臨界減衰、 $D < 0$ のとき不足減衰となる。

3 実験

3.1 実験器具

TEKTRONIX TBS1022 オシロスコープ, ソレノイドコイル, 高電圧パルス大電流発生電源, セメント抵抗 (1Ω), 可変抵抗 ($< 20\Omega$)

3.2 実験方法

3.2.1 セットアップ

1. 図 1 のように回路を作成する.
2. 充電電圧調整ダイヤルがゼロになっていることを確認してから, パルス電源の電源スイッチを ON にする.
3. 電圧調整ダイヤルをゆっくりと回し, 充電電圧を調整する. 本実験では, 50V 以下の電圧で行う.

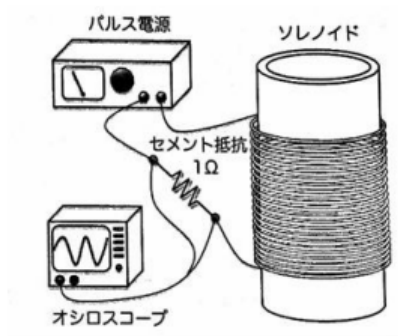


図 1 実験装置

3.2.2 L の測定

図 1 に示す実験配置において, パルス電流を流した際にセメント抵抗 (1Ω) の両端にかかる電圧波形を記録する. ただし, パルス電源内には, $12\mu\text{F}$ のコンデンサが入っており, L の計算を行う際には, セメント抵抗の抵抗値 (1Ω) は無視して良いとする. さらに, 電圧波形から周期 T を測定することで, ソレノイドのインダクタンス L の値を算出する. このときインダクタ L は, 以下の式で算出される.

$$L = \frac{r^2}{4\pi^2 C}$$

3.2.3 R の決定

実験課題 1 から算出したインダクタンス L の値を用いて, 電流波形が臨界制動波形となる際の R の値を計算し, 実際にその抵抗 R を回路に接続することで電流波形が臨界制動波形となることを確認し, 記録する. このとき, 抵抗値 R は以下の式で算出される.

$$R^2 = \frac{4L}{C}$$

4 結果

4.1 実験課題 1

パルス電源を流した際の電圧波形を図 2 に示す．周期 T は $T = 386 [\mu\text{s}]$ と測定される．よって，

$$L = \frac{(400 \times 10^{-6})^2}{4\pi^2 \times 12 \times 10^{-6}} \doteq 405 [\mu\text{H}]$$

と求められる．

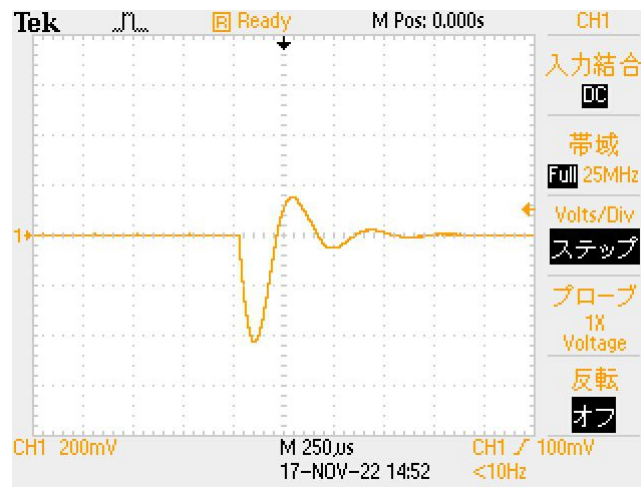


図 2 セメント抵抗 (1Ω) の両端にかかる電圧波形

4.2 実験課題 2

実験課題から算出したインダクタンス L の値を用いると、抵抗値 R は

$$R = \sqrt{\frac{4 \times 405.2 \times 10^{-6}}{12 \times 10^{-6}}} \approx 11.6 [\Omega]$$

と求められる。さらに、可変抵抗を調整し、実際に抵抗 R を回路に接続すると図 3 に示すように電流波形が臨界制動波形となる結果を得られた。

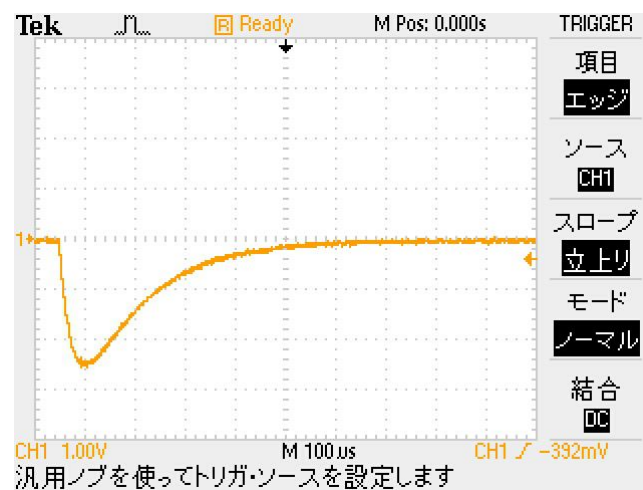


図 3 臨界制動波形