

## 【実験】コンデンサーの充放電（実験書） 2017 新型

【目的】コンデンサーの充放電の際、回路の電流の変化やコンデンサーの電圧の変化の様子を調べる。

【準備】コンデンサー(10 F, 4.7 F), 電池 1.5V (2個直列), 抵抗 (10 Ω, 5.6 Ω), 電池ボックス, 豆電球 (2.5V - 0.3A), 電流計 (2個), 電圧計, スイッチ, ストップウォッチ等

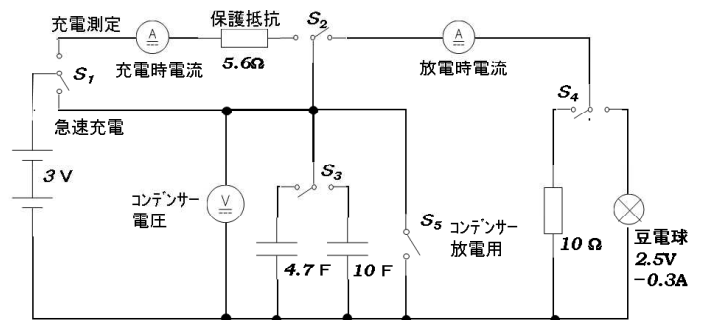
### 【実験方法】

1 実験装置 図のような回路を製作する。スイッチ  $S_2$  は、コンデンサーに充電・放電の切り替え用、スイッチ  $S_3$  は実験の際、異なる電気容量のコンデンサーを選択できるようにするもの、スイッチ  $S_4$  は放電の際、抵抗を使って放電するか、豆電球を使って放電するか選択できるようにするものである。また、スイッチ  $S_1$  は、放電の実験のみを行う際、充電を急速に行えるよう電流計を迂回する。スイッチ  $S_5$  は、リセットしたり装置を保管したりするとき、コンデンサーの電荷を放電させるスイッチである。



(注) コンデンサーの電気容量と抵抗の大きさによって観察できる時間の長さが変わる。

コンデンサーの充放電実験(演示・測定)回路



## 2 実験

### (1) 定性的実験

#### ① 充電時の電流と電圧の様子

電流計は 500mA 端子, 電圧計は 3V 端子をつなぐ。まず, コンデンサーの選択スイッチを 10 F, 4.7 F のどちらかを選択し, 一度スイッチ  $S_5$  をリセット側に倒して電圧計が 0 となっていることを確認し, 接続側に戻す。次に, スイッチ  $S_2$  をニュートラルにし, スイッチ  $S_1$  は充電測定側に入れたのち電源を入れる。最後に, スイッチ  $S_2$  を充電側に入れると同時に, 電流計と電圧計の変化を観察する。

#### ② 放電時の電流と電圧の様子

続いて, スイッチ  $S_2$  をニュートラルにし, 電源スイッチを切る。次に, 抵抗(10Ω)と豆電球の選択スイッチ  $S_5$  を豆電球側に入れる。最後にスイッチ  $S_2$  を放電側に入れて, 電流や電圧の変化とともに豆電球の明るさがどのように変化するかを観察する。

### (2) 定量的実験

スイッチ  $S_5$  は抵抗側に入れ, 抵抗を通して放電させる。

#### ① 充電時の電流と電圧の様子

(1)①の手続きと同じ手順で実験する。その際, スイッチ  $S_2$  を充電側に入れると同時に時間を測定するとともに電流値  $I$ , 電圧値  $V$  を読み取り, 記録する。

#### ② 放電時の電流と電圧の様子

(1)②の手続きと同じ手順で実験する。その際, スイッチ  $S_2$  を放電側に入れると同時に時間を測定するとともに電流値  $I$ , 電圧値  $V$  を読み取り, 記録する。

### 【結果と考察】

- (1) 充電時と放電時の電流や電圧の変化並びに放電時の豆電球の明るさはどう変わったか。
- (2) グラフ  $I-t$ ,  $V-t$  グラフを書け。コンデンサーの電気容量の大きさによって電流や電圧が変化する速さはどう変わったか。
- (3) 電圧の変化  $\Delta V$  は, コンデンサーの電気量  $\Delta Q$  と比例する ( $\Delta Q = C \Delta V$   $C$ ; 電気容量) ことを踏まえ, 電流  $I$  の変化 (曲線の形状) について考察せよ。

講座 ( ) ( ) 年 ( ) 組 ( ) 席 名前	共同実験者
( ) 月 ( ) 日 ( ) 曜 ( ) 限 気温 ( ) °C 気圧 ( ) hPa 湿度 ( ) %	

## 【演示】 コンデンサーの充放電 (データ・レポート)

【目的】コンデンサーの充放電の際、回路の電流の変化やコンデンサーの電圧の変化の様子を調べる。

【準備】コンデンサー(10F, 4.7F), 電池 1.5V (2個直列), 抵抗 (10Ω, 5.6Ω), 電池ボックス, 豆電球 (2.5V - 0.3A), 電流計 (2個), 電圧計, スイッチ, ストップウォッチ等

### 【実験方法】

#### ①充電時の電流と電圧の様子

電流計は 500mA 端子, 電圧計は 3V 端子をつなぐ。まず, コンデンサーの選択スイッチを 10F, 4.7F のどちらかを選択し, スイッチ  $S_1$  は充電測定側に入れたのち電源を入れる。最後に, スイッチ  $S_2$  を充電側に入れると同時にストップウォッチを押し, 電流計と電圧計の時間的变化を記録する。

#### ②放電時の電流と電圧の様子

続いて, スイッチ  $S_2$  をニュートラルにし, 電源スイッチを切る。次に, 抵抗(10Ω)と豆電球の選択スイッチ  $S_3$  を抵抗(10Ω)側に入れる。最後にスイッチ  $S_2$  を放電側に入れて, ストップウォッチを押し, 電流計と電圧計の時間的变化を記録する。

### 【実験結果】 一部省略してある

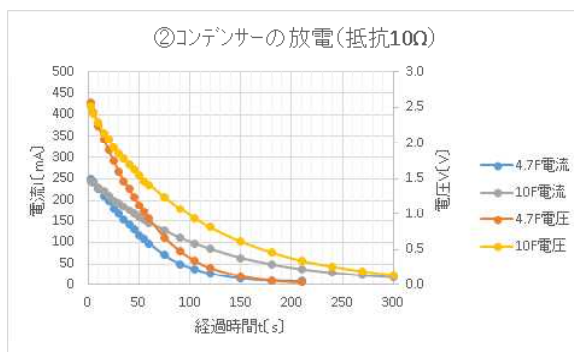
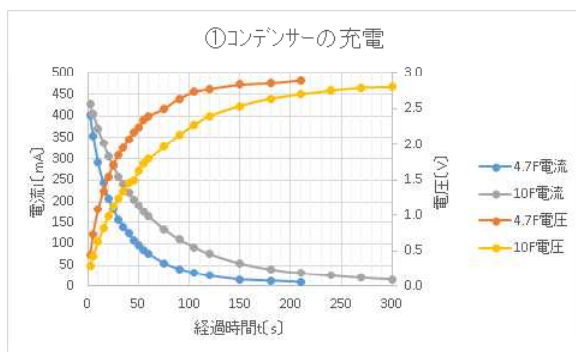
①充電					②放電(10Ω)				
時間t[s]	4.7F		10F		時間t[s]	4.7F		10F	
	電流	電圧	電流	電圧		電流	電圧	電流	電圧
5	354	0.74	404	0.43	5	243	2.43	240	2.42
10	291	1.09	370	0.63	10	228	2.25	230	2.29
15	244	1.34	337	0.81	15	210	2.06	220	2.15
20	208	1.55	307	0.98	20	198	1.90	210	2.05
25	182	1.72	283	1.12	25	180	1.75	200	1.94
30	156	1.86	258	1.25	30	167	1.60	192	1.86
40	124	2.07	220	1.46	40	141	1.36	175	1.70
50	97	2.25	190	1.64	50	118	1.13	160	1.55
60	77	2.40	164	1.80	60	98	0.93	146	1.42
90	41	2.64	110	2.14	90	50	0.48	111	1.08
120	25	2.77	76	2.40	120	27	0.24	85	0.81
150	16	2.83	54	2.54	150	15	0.12	64	0.61
180	13	2.85	40	2.64	180	10	0.06	49	0.46
210	10	2.89	31	2.70	210	8	0.03	37	0.34

### 【結果と考察】

(1)充電時と放電時の電流や電圧の変化並びに放電時の豆電球の明るさはどう変わったか。

充電や放電が進むとともに電流が小さくなる。豆電球はだんだん暗くなる。

(2)グラフ  $I-t$ ,  $V-t$  グラフを書け。コンデンサーの電気容量の大小によって電流や電圧が変化する速さはどう変わったか。



(3)電圧の変化  $\Delta V$  は, コンデンサーの電気量  $\Delta Q$  と比例する ( $\Delta Q = C \Delta V$   $C$ ; 電気容量)ことを踏まえ, 電流  $I$  の変化 (曲線の形状) について考察せよ。

電圧の変化は電気量の変化に比例する。電流は電気量の変化に比例する。電荷の放出や流入は時間がたつにつれて小さくなるので時間がたつにつれて電流が小さくなる。

講座 ( ) ( ) 年 ( ) 組 ( ) 席 名前	共同実験者
( ) 月 ( ) 日 ( ) 曜 ( ) 限 気温 ( ) °C 気圧 ( ) hPa 湿度 ( ) %	

## 【解説】RC回路

### (1)コンデンサーの充電

電気容量  $C$  [F] のコンデンサーを、 $R$  [ $\Omega$ ] の抵抗を通して、 $E$  [V] の直流電源で充電する場合を考える。任意の時間  $t$  における電流を  $i(t)$ 、電気量を  $q(t)$  とすると、キルヒホッフの電圧の法則より、

$$E - Ri - q/C = 0 \dots \textcircled{1}$$

(ただし、 $i = dq/dt$ )

が成立する。すなわち

$$dq/dt = -(1/RC)(q - CE)$$

ここで、 $y = q - CE$  とおくと、 $dy/dt = -(1/RC) \cdot y$  だから

$$\int dy/y = -\int (1/RC) dt$$

$$\log y = -(1/RC)t$$

$$q = A \exp[-(1/RC)t] + B \dots \textcircled{2}$$

( $A, B$  は定数)

$t = 0$  のとき、 $q = 0$  および  $t \rightarrow \infty$  のとき  $q = CE$  であることから、 $-A = B = CE$

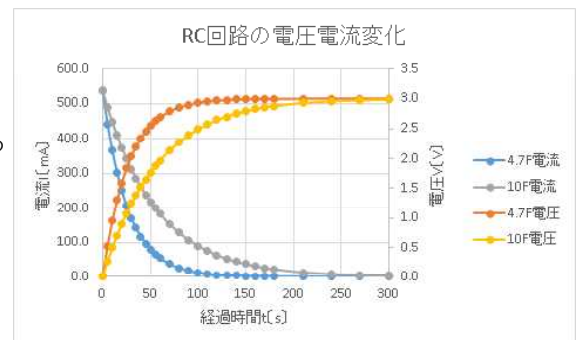
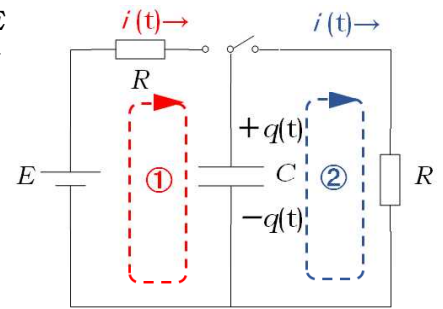
$$q = CE(1 - \exp[-t/RC])$$

$$V = E(1 - \exp[-t/RC])$$

よって電流  $i$  は

$$i = dq/dt = (E/R) \exp[-t/RC]$$

$C = 4.7\text{F}, 10\text{F}, R = 5.6\Omega, E = 3.0\text{V}$  について、シミュレーションしたグラフを書くと、右図のようになる。



### (2)コンデンサーの放電

十分な時間をかけて充電されたコンデンサーが  $R$  [ $\Omega$ ] の抵抗を通して放電する場合、キルヒホッフの電圧の法則より

$$Ri + q/C = 0 \dots \textcircled{3}$$

(ただし、 $i = dq/dt$ )

が成立する。すなわち

$$dq/dt = -(1/RC)q$$

$$\int dq/q = -\int (1/RC) dt$$

$$\log q = -(1/RC)t$$

$$q = A \exp[-t/RC] + B \dots \textcircled{4} \quad (A, B \text{ は定数})$$

$t = 0$  のとき、 $q = CE$  および  $t \rightarrow \infty$  のとき  $q = 0$  であることから、 $A = CE, B = 0$

$$q = -CE \exp[-t/RC]$$

$$V = -E \exp[-t/RC]$$

よって電流  $i$  は

$$i = dq/dt = (E/R) \exp[-t/RC]$$

$C = 4.7\text{F}, 10\text{F}, R = 5.6\Omega, E = 3.0\text{V}$  について、シミュレーションしたグラフを書くと、右上図のようになる。

以上のような抵抗値、電気容量の組み合わせでそれぞれ3分程度の測定時間でコンデンサーの充放電実験が可能である。

### (3)豆電球における放電

豆電球を抵抗の代わりにして放電する場合、電流が減少していくことを視覚的に捉えることができわかりやすいが、フィラメントの赤熱で抵抗が大きく変わるので減衰曲線も遷移部分が現れる (右図)。

