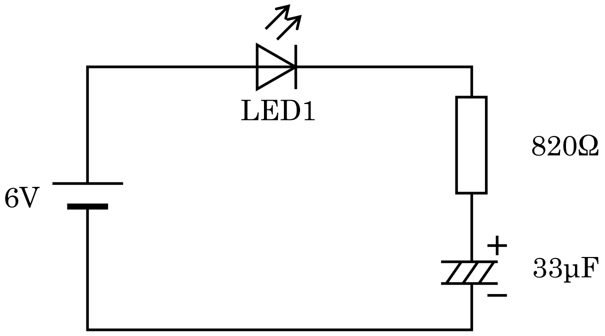
電子工作基礎 Part3

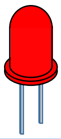
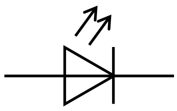
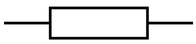
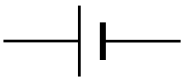
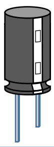
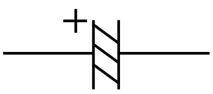
CR 回路

Let's try!



ブレッドボードでこの回路を組み立ててください。LED, 抵抗, コンデンサを直列に接続した回路です。LED はどうなるでしょうか。少し考えてから実験してみてください。

使用部品

名称	外観	電気記号
LED		
抵抗		
電池（電源）		
電解コンデンサ		

コンデンサ

コンデンサ（capacitor，蓄電器）には**電荷を蓄積する**という機能があり、直流を交流に変換する整流回路や電圧を安定させるときに使われます。電荷を蓄積するといいましたが、電荷とは何でしょうか。一言でいうと電気量のことですが、まずは単位を確認しましょう。**電荷の単位は C**（coulomb，クーロン）で表現します。電流は電荷の流れであり、1A の電流が流れるとき 1 秒間に流れる電荷は 1C です。t[s]の間に Q[C]の電荷を流した時の電流を I[A]とすると、

$$Q = It$$

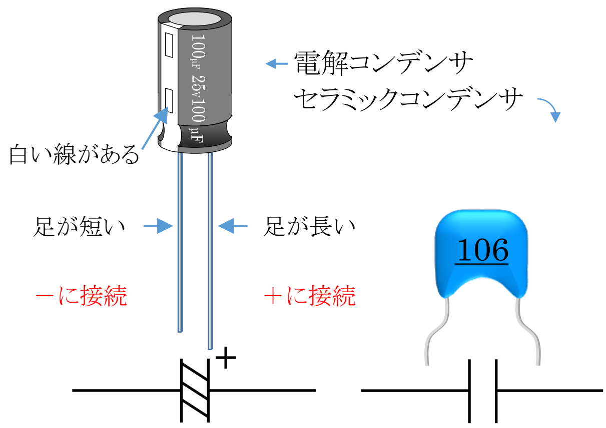
これが成り立ちます。コンデンサが蓄えることのできる電荷の大きさ Q[C]は、両端にかける電圧 V[V]に比例します。しかし、その比例係数はコンデンサによって異なり、この比例係数を**静電容量**（capacitance）といいます。静電容量を C[F（ファラッド）]とし、これを式で表すと、以下の式です。

$$Q = CV$$

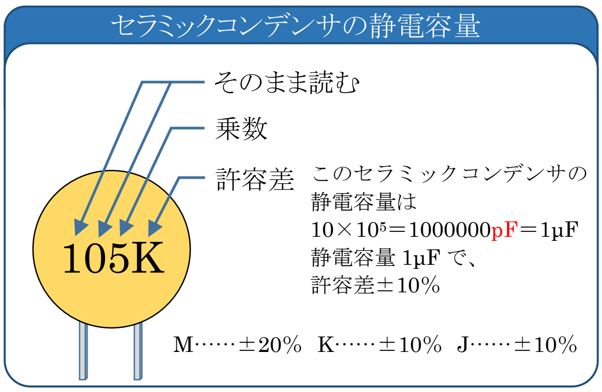
静電容量の単位は **F（farad，ファラッド）**で、イギリスのマイケル・ファラデーに由来しています。同じ電圧であれば、静電容量が大きいほど蓄えられる電荷の量が多くなります。コンデンサの原型は2枚の導体の間に絶縁体を挟んだもので、静電容量 C[F]は、導体の面積 S[m^2]，隙間の大きさ d[m]，誘電率[6]ε[F/m]を用いて、

$$C = \varepsilon\frac{S}{d}$$

と表されます。



電解コンデンサには**極性があり**、その見分け方は右図の通りです。右図の積層セラミックコンデンサに極性はありませんので、どちらの向きで使用しても問題ありません。ただ、電解コンデンサと積層セラミックコンデンサの電気記号は少し違うので注意が必要です。一般的な電子工作で用いるコンデンサの静電容量に対して F（ファラッド）は大きすぎるので、**SI 接頭辞**（次節参照）をつけて μF（マイクロファラッド），nF（ナノファラッド），pF（ピコファラッド）などをよく使います。電解コンデンサの静電容量はそのまま“220μF”などと印字されていますが、セラミックコンデンサは数字とアルファベットで表されます。右図は、セラミックコンデンサの静電容量の読み方を示しています。計算結果が pF であることに注意しましょう。



6 誘電率（dielectric constant，permittivity）は誘電体（電気的絶縁体）の材質に依存し、比例係数です。

SI 接頭辞

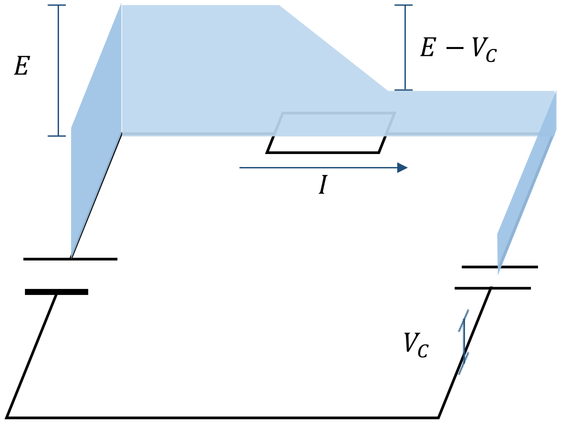
SI 接頭辞(Metric prefix)とは、右図のような、長さ:メートル(m), 質量:キログラム(kg), 時間:秒(s), 電流:アンペア(A), 熱力学温度:ケルビン(K), 物質量:モル(mol), 光度:カンデラ(cd)の 7 つを基本単位にとる国際単位系(SI)[7]の前につけられる接頭辞ですが、非 SI に対しても使用することができます。大きな数字や小さな数字を 0.000000024m などと書いていては、書くほうも読むほうも大変です。そこで、単位の前に接頭語をつけて 24nm と書くことで分かりやすくなります。次ページの表は 20 個の SI 接頭辞を一覧にしました。コンデンサの静電容量の表記でよく使う μ, n, p が 10 の何乗なのかだけでも覚えておきましょう。

©BIPM

接頭辞	記号	10^n	漢数字表記	十進数表記
ヨタ(yotta)	Y	10^{24}	一秭	1 000 000 000 000 000 000 000 000
ゼタ(zetta)	Z	10^{21}	十垓	1 000 000 000 000 000 000 000
エクサ(exa)	E	10^{18}	百京	1 000 000 000 000 000 000
ペタ(peta)	P	10^{15}	千兆	1 000 000 000 000 000
テラ(tera)	T	10^{12}	一兆	1 000 000 000 000
ギガ(giga)	G	10^{9}	十億	1 000 000 000
メガ(mega)	M	10^{6}	百万	1 000 000
キロ(kilo)	k	10^{3}	千	1 000
ヘクト(hecto)	h	10^{2}	百	100
デカ(deca)	da	10^{1}	十	10
なし	なし	10^{0}	一	1
デシ(deci)	d	10^{-1}	一分	0.1
センチ(centi)	c	10^{-2}	一厘	0.01
ミリ(milli)	m	10^{-3}	一毛	0.001
マイクロ(micro)	μ	10^{-6}	一微	0.000 001
ナノ(nano)	n	10^{-9}	一塵	0.000 000 001
ピコ(pico)	p	10^{-12}	一漠	0.000 000 000 001
フェムト(femto)	f	10^{-15}	一須臾	0.000 000 000 000 001
アト(atto)	a	10^{-18}	一刹那	0.000 000 000 000 000 001
ゼプト(zepto)	z	10^{-21}	一清浄	0.000 000 000 000 000 000 001
ヨクト(yocto)	y	10^{-24}	一涅槃寂静	0.000 000 000 000 000 000 000 001

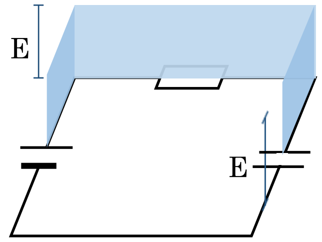
[7] SI というのはフランス語の Système International d'unités からきているとのこと。

解説



「LED が一瞬点灯して、その後消灯する」という動作をしたと思いますが、なぜでしょうか。電源を入れた瞬間、コンデンサの両端の電圧は 0V で、「LED の点灯」のように LED が普通に点灯します。ですが、コンデンサに電荷が徐々に蓄積されていくにつれて、コンデンサの両端にかかる電圧（V_C）が高くなり、見かけの抵抗値が上がります。この様子を図で表すと右図のようになり、この時流れる電流を式で表すと、

$$I = \frac{E - V_C}{R}$$

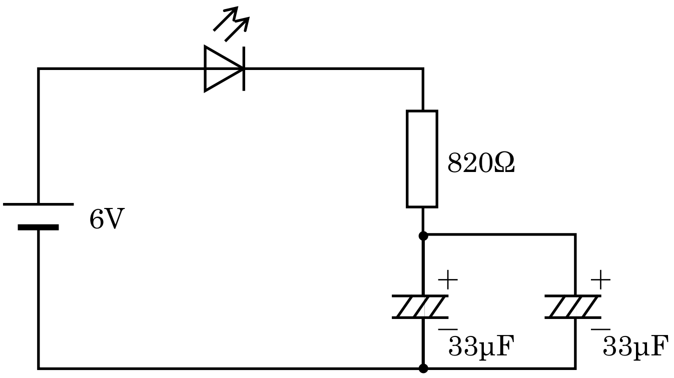


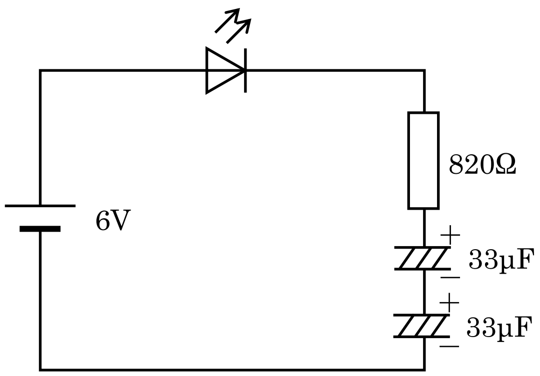
となります。徐々に V_C が高くなっていき右図のように電源電圧と等しくなると、

$$I = \frac{E - E}{R} = \frac{0}{R} = 0$$

となり、電流は流れなくなります。電池というタンクからコンデンサというコップに水がたまっていくことをイメージすると分かりやすいと思います。また、一度電源を入れて LED が点灯し消灯するまではいいのですが、その後再度電源を入れても LED は点灯しません。それは、コンデンサにまだ電荷がたまったままになっているからです。この問題を解決するためには、蓄積している電荷を放電すればいいのです。電荷は自然に放電しますが、それではとても時間がかかってしまいます。しかし、コンデンサの両方の端子を直接接触させることは避けてください。電荷の量や電圧が小さい場合はそれほど大きな問題にはなりませんが、電荷の量が多かったり、電圧が高かったりする場合は人体に危険を伴い、瞬間的な大電流やスパークによりコンデンサの寿命を縮めてしまうといった影響があります。これを避けるため、適当な大きさの抵抗を介して放電させてください。

Let's try!



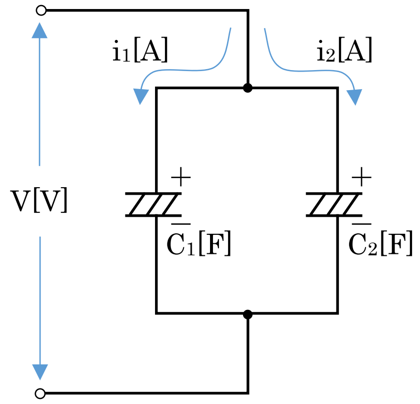


この章の最初に行った実験の回路に、左側の回路では同じ静電容量のコンデンサを並列に接続、右側は直列に接続したものです。この場合も LED が一瞬点灯しその後消灯することが予想できると思いますが、その時間はどうなるでしょうか。

コンデンサの直列・並列接続

実験の結果、並列に接続した場合は2倍の時間点灯し、直列に接続した場合は半分の時間点灯したと思います。よって、同じ静電容量のコンデンサを並列につなぐと、静電容量が2倍になり、直列につなぐと0.5倍になることが分かります。では、本当にそのようになるのか計算で求めてみましょう。

コンデンサの並列接続



右図のように、静電容量が C_1[F]と C_2[F]のコンデンサを並列につなぎ、それを電圧 V[V]の電圧をかけて2つのコンデンサを充電すると考えます。それぞれのコンデンサに蓄えられる電荷を Q_1[C],Q_2[C]とすると、

$Q = CV$から、

$$Q_1 = C_1V,\ Q_2 = C_2V$$

となります。そうすると2つのコンデンサに蓄えられる電荷 Q[C]は、

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1V + C_2V = (C_1 + C_2)V$$

となるため、(C_1+C_2)は2つのコンデンサを1つの大きなコンデンサと考えた時の静電容量とみなすことができます。この静電容量を**合成静電容量**といい、これを C[F]とおくと、

$$C = C_1 + C_2$$

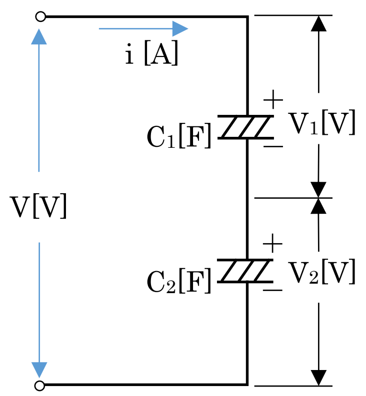
したがってこの式が成り立つことが分かります。

別のみかたをしてみると、$C = \varepsilon\frac{S}{d}$という式がありました。ここから C_1 のコンデンサの極板の面積を S_1、C_2 のコンデンサの極板の面積を S_2 とし、どちらのコンデンサも誘電率が ε、極板間が d で同じとすると、

$$C = C_1 + C_2 = \varepsilon\frac{S_1}{d} + \varepsilon\frac{S_2}{d} = \varepsilon\frac{S_1 + S_2}{d}$$

と表せます。したがって、同じ式$C = C_1 + C_2$を導くことができます。つまり、コンデンサを並列につなぐと、コンデンサの極板の面積を足したのと同等ということになります。以上のことから、33μF と 47μF のコンデンサを並列につなぐと、合成静電容量は 33μF＋47μF＝80μF と分かります。

コンデンサの直列接続



右図のように、静電容量が C_1[F]と C_2[F]のコンデンサを直列につなぎ、それを電圧 V[V]の電圧をかけて2つのコンデンサを充電すると考えます。C_1 と C_2 には同じ電流で電荷が蓄積するわけですから、蓄積された電荷も Q[C]で等しくなります。このときの C_1 のコンデンサの極板間の電圧を V_1[V]、C_2 のコンデンサの極板間の電圧を V_2[V]とすると、電源電圧を2つのコンデンサ C_1 と C_2 で分け合うので

$$V = V_1 + V_2$$

これが成り立ちます。$Q=CV$より、

$$V_1=\frac{Q}{C_1},\ V_2=\frac{Q}{C_2}$$

となります。よって、電源電圧 V は、

$$V=V_1+V_2=\frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}=\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)Q$$

となるため、$\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$は 2 つのコンデンサを 1 つの大きなコンデンサと考えた時の静電容量 C[F]とみなすことができます。したがって、

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$$

これが成り立ちます。並列つなぎの時と同じように、C_1のコンデンサの極板間の大きさをd_1、C_2のコンデンサの極板間の大きさをd_2とし、どちらのコンデンサも誘電率が ε、極板の面積が S で同じだとすると、

$$C_1=\varepsilon\frac{S}{d_1},\ C_1=\varepsilon\frac{S}{d_2}$$

となります。ここから、合成静電容量 C は、

$$C=\varepsilon\frac{S}{(d_1+d_2)}$$

となります。つまり、コンデンサを直列につなぐと、コンデンサの極板の隙間を足したのと同等ということになります。以上のことから、33μF と 47μFのコンデンサを直列につなぐと、合成静電容量 C は

$$C=\frac{1}{\frac{1}{33}+\frac{1}{47}}\fallingdotseq 19.4\mathrm{\mu F}$$

と分かります。