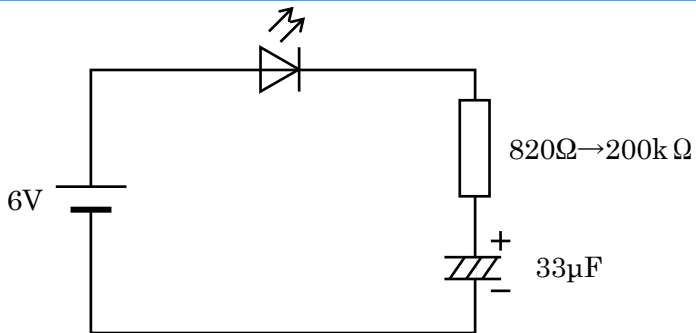


電子工作基礎 Part4

トランジスタ

Let's try!

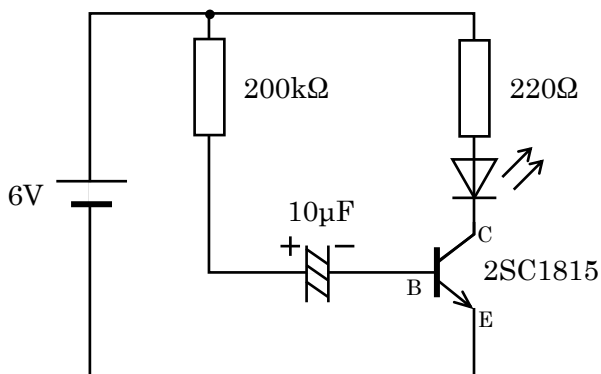


Part3の「CR回路」と同じ回路です。光らせる時間をもっと長くしたい場合、コンデンサの静電容量や抵抗値を大きくすればよいのですが、本当にそうでしょうか。試しに 820Ω の抵抗を $200k\Omega$ に変えてみましょう。

解説

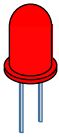
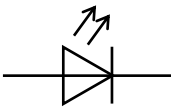

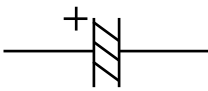

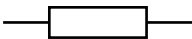
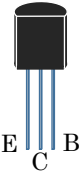
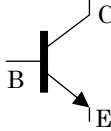


回路に流れる電流を少なくしたので LED は以前より長く点灯していると考えられますが、実際はどうなったでしょう。LED は点灯しなかったと思います。さて、それは何故なのでしょう。LED に流れる電流を確認してみましょう。電源を入れた直後、コンデンサにはまだ電荷がたまっていないので両端にかかる電圧は $0V$ です。また、LED の順方向電圧 (V_F) は $1.9V$ ほどですから、抵抗の両端にかかる電圧は $6V - 1.9V = 4.1V$ となります。よって、流れる電流は $4.1V / 200k\Omega = 20.5\mu A$ となります。それに加え、この電流が最大で、徐々に減少します。通常 LED は $10\sim 20mA$ で使用しますから、これでは明らかに電流不足だと分かります。そこで使用するのがトランジスタです。

Let's try!



右図の回路において、2SC1815 と書いてあるのがトランジスタです。LED はきちんと点灯し、その後消灯したたでしょうか。

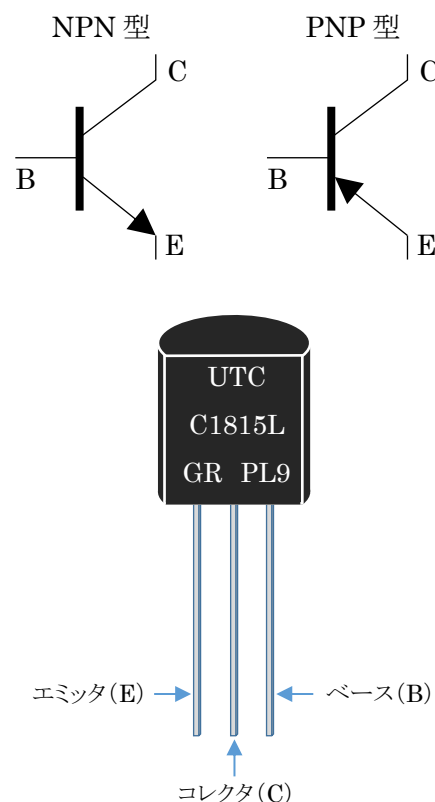
部品紹介

名称	外観	電気記号	名称	外観	電気記号
LED			電解コンデンサ		
抵抗			トランジスタ ※外観と電気記号が一致していないため注意		
電池(電源)					

トランジスタ

トランジスタ (transistor) は、**transfer** (伝える) と **resistor** (抵抗) を組み合わせたかばん語*8です。トランジスタは**電流を増幅**し、**エミッタ** (E, emitter), **コレクタ** (C, collector), **ベース** (B, base) の3本の足を持っています。トランジスタはN型半導体とP型半導体を3段に結合したもので、nはネガティブ、pはポジティブを表しています。これらは接合の順番によってNPN型とPNP型の2つに分けられ、NPN型はN型半導体の間に極めて薄いP型半導体を、PNP型はP型半導体の間に極めて薄いN型半導体を接合したものです。電気記号が左図のように矢印の向きが違うので注意してください。NPN型トランジスタは2SC1815、PNP型トランジスタは2SA1015を電子工作ではとてもよく使うので、覚えておいて損はないでしょう。

今回使用するのは、東芝の純正品2SC1815は生産終了になってしまったため、そのセカンドソース品であるユニソニック社の2SC1815L-GR-T92-Kです。このトランジスタは左図のような型番が印字されている面を手前に向けた時、左からエミッタ(E)、コレクタ(C)、ベース(B)となります。この順番は型番ごとに違うため、データシートを見て確認するのが望ましいでしょう。電気記号からすると、真ん中がベースのように見えますが、**電気記号のとおりではない**ので、注意しましょう。



*8 かばん語(portmanteau word)とは、**Breakfast** (朝食) と **Lunch** (昼食) を組み合わせて **Brunch** (朝食兼用の遅い食事) など、2つ以上の言葉の一部を組み合わせて作った語のこと。

トランジスタは電流を増幅するといいましたが、具体的にどういうことなのでしょう。

左図で、NPN 型の場合を例にトランジスタの電流増幅の説明をします。ベース電流 I_B の電流増幅率 h_{FE} 倍の電流がコレクタ電流 I_C として流れます。式にすると

$I_B \times h_{FE} = I_C$ になります。ここで、電流増幅率 h_{FE} は、同じ形式のトランジスタでも

作る際にばらつきが出てしまうため、**O**:70~140, **Y**:120~240, **GR**:200~400,

BL:350~700 の 4 つの階級に分けています。今回使う 2SC1815 の階級は GR

なので、 $h_{FE}=200\sim400$ です。例えば、ベース電流 (I_B) に 0.2mA 流して電流増

幅率 (h_{FE}) は 200~400 の場合、コレクタ電流 (I_C) には $h_{FE} \times I_B = (200\sim400) \times$

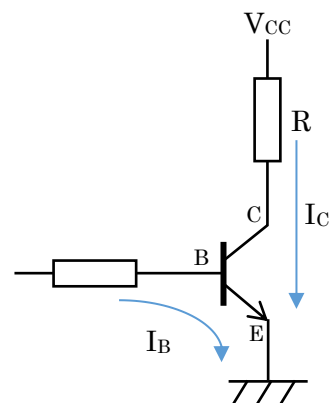
0.2 = 40mA~80mA の電流が流れます。しかし、この 4 つの分類ではかなり計算結果に幅が生じてしまいました。

そこで、より正確な電流増幅率を知りたい場合はテスターを使います。テスターのレンジを h_{FE} に合わせて、向き

を間違えないよう注意しながらトランジスタを差し込むと電流増幅率が表示されます。以上のことから、電流増幅と

は **小さな入力信号電流をベースに流して、出力側であるコレクタに h_{FE} 倍の電流を流す** ということです。ベース-

エミッタ間に流れる電流の数十倍から数百倍の電流をコレクタ-エミッタ間に流します。



解説

では、順を追って見ていきましょう。左図は、電流の大きさを赤線の太さ

で模式的に表しています。まず、電源から 200kΩ の抵抗を通して、

10μF のコンデンサを充電する電流は、トランジスタのベースへ流れ込

んでエミッタへ出てきます。トランジスタのベース-エミッタ間は、ダイオード

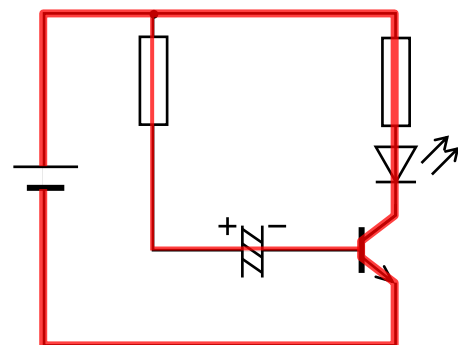
のように矢印の方向にしか電流を流しません。電源を入れると、トラン

ジスタのベース-エミッタ間に電流が流れ、コレクタ-エミッタ間にも電流

が流れます。コレクタ-エミッタ間に電流が流れたことで、LED が点灯し

ます。一方、200kΩ を通して、コンデンサに電荷が貯まっていきます。コンデンサの電荷がいっぱいになると、トラン

ジスタのベース-エミッタ間に電流が流れなくなり、コレクタ-エミッタ間の電流も流れなくなります。



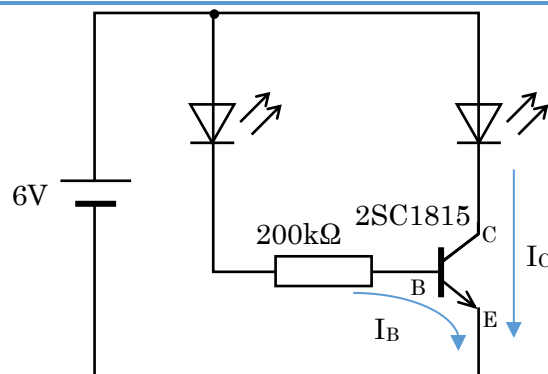
Let's try!

左図は、最も単純な電流増幅回路の一例です。2 つの LED

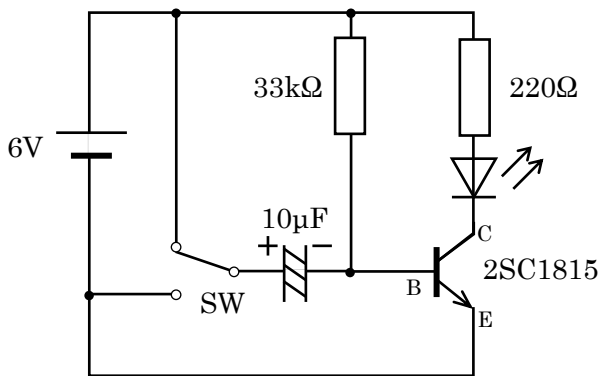
の光り具合を比較してみてください。また、ベース電流とコレ

クタ電流を測定し、 $h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$ から電流増幅率を計算してみ

てください。電流増幅率は、いくらになっているのでしょうか。



Let's try!



この状態で、LED は点灯状態でしょうか。また、スイッチを下に切り替えた直後はどうなるでしょうか。よく考えてから実験してください。

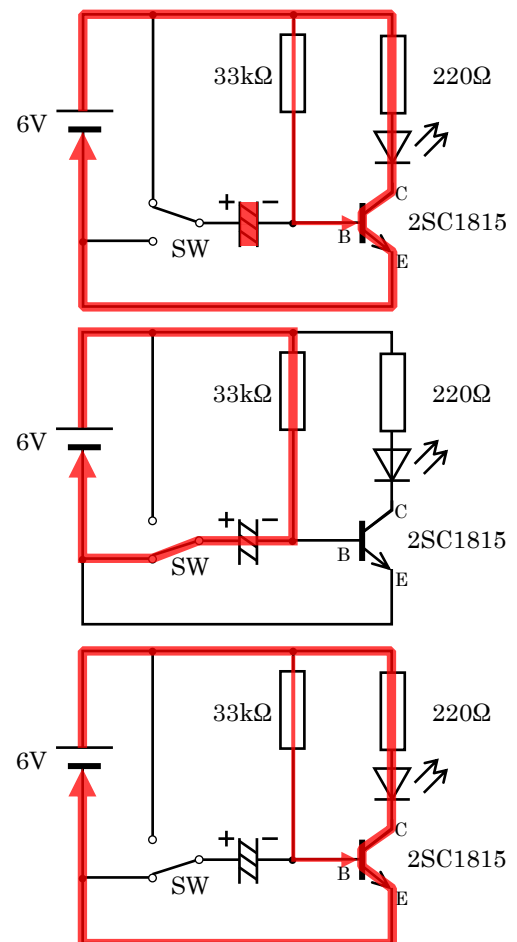
解説

まずは、トランジスタが作動しているかどうかを考えてみましょう。

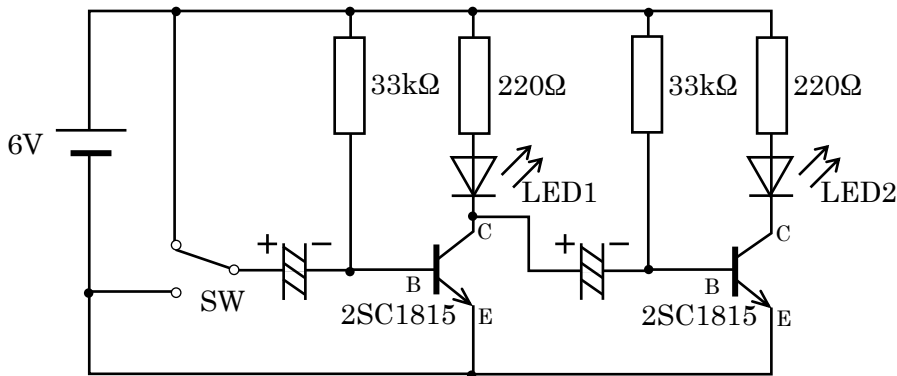
左図のように、 $33\text{k}\Omega$ の抵抗を経由してベース電流が流れますので、**トランジスタは ON** になります。それによってコレクタ電流が流れ、LED は点灯します。それでは、コンデンサの方はどうなっているのでしょうか。コンデンサの左側は電源の+に直結されているので 6V だとわかります。一方右側は、トランジスタが ON なので、ベース-エミッタ間電圧はおよそ 0.6V です。よってコンデンサには電荷がたまった状態となります。

その状態でスイッチを切り替えると、その瞬間コンデンサの左側は GND に接続されるため、誰が何と言おうと 0V になります。したがって、コンデンサには電荷がたまっており、左は 0V と決められてしまいましたので、右側の電位がマイナスになります。そのため、トランジスタのベース電圧はマイナスとなり、**トランジスタは OFF** になります。そして**コンデンサの放電が進み**、コンデンサの両端にかかる電圧が下がっていきます。その結果、ベース電圧が徐々に上がっていき**トランジスタは ON** になります。

以上のことをまとめると、スイッチを下に倒すと、ベース電圧がマイナスになって **LED が消灯** し、コンデンサの放電が進んでベース電圧がプラスに転じると LED が**再度点灯** するということです。



Let's try!



先ほど行った実験の回路にもう1つ同じ回路を付け加えました。この状態で、LED1、LED2は点灯状態でしょうか。また、スイッチを下に切り替えた直後はどうなるでしょうか。よく考えてから実験してください。

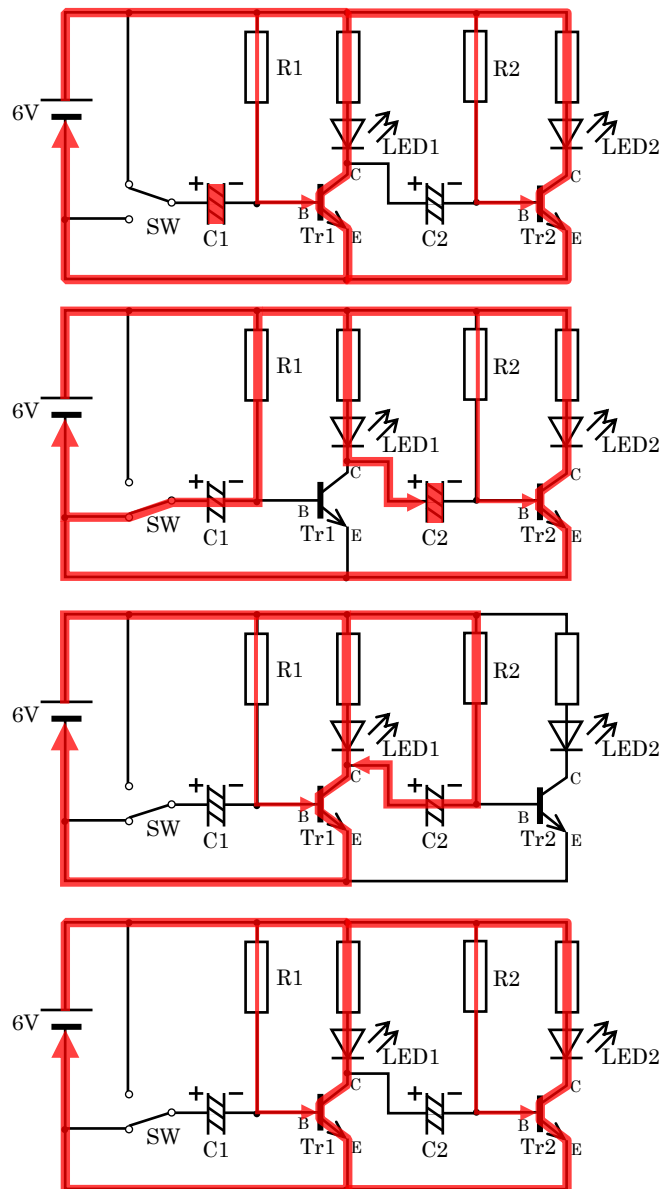
解説

先ほどと同様に、R1を通してベース電流が流れるためTr1がONとなりLED1が点灯します。また、R2を通してベース電流が流れるためTr2もONとなりLED2も点灯します。したがって、**両方のLEDが点灯**します。

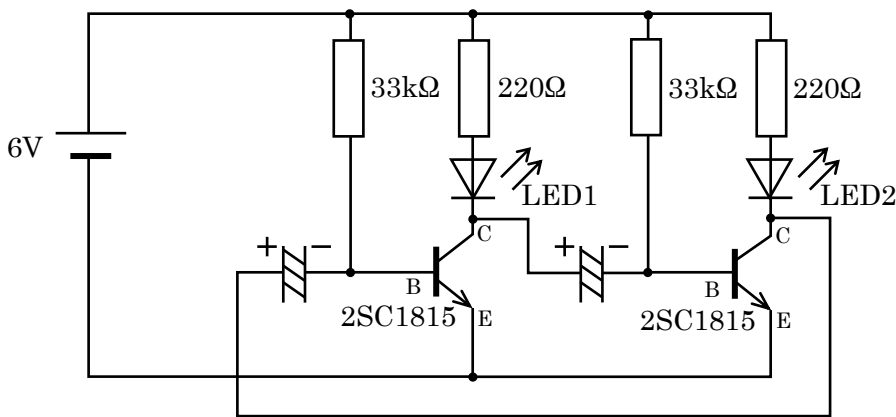
スイッチを切り替えると、Tr1は先ほどと同様に短時間OFFになります。OFFになった瞬間からC2に左側から電流が流れ込み、電荷が蓄積されていきます。C2に電荷がたまりきると、電流は流れなくなり、**LED1は消灯**します。

C1の電位が徐々に上がり、**Tr1がON**になった瞬間、Tr2のベース電圧が一気にマイナスになります。これで、**Tr2がOFF**になります。Tr2のベース電圧もTr1と同様に徐々に上がり**Tr2はON**になり、LED2は点灯します。

つまり、スイッチを下に倒すと、LED1が短時間消灯し点灯、その後LED2が短時間消灯し点灯となります。その後はどちらのLEDも点灯したままになります。



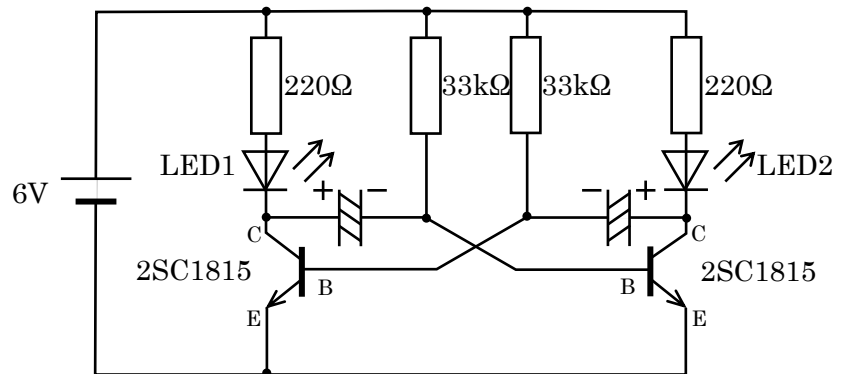
Let's try!



さて、ここで左図のように Tr2 のコレクタと C1 の左側を接続し、SW1 を取り去るとどうなるでしょうか。やってみましょう。

解説

Tr1 が ON になったとき、Tr2 を OFF にしたように、Tr2 が ON になったとき、Tr1 を OFF にすることで、Tr1 と Tr2 は交互に ON と OFF を繰り返します。つまり、LED1 と LED2 が交互に点灯します。これは、**マルチバイブレータ**



(multivibrator)と呼ばれるもので、方形波のパルスを連続的に発生します。ちなみに、上図は上の回路を整理して、分かりやすい形にしたものです。

以上で基礎編は終わりになりますが、より発展的な内容のデジタル回路編もあります。お疲れ様でした！

回路参考:キットで遊ぼう電子回路シリーズ, 作成:駒場東邦物理部電子工作班