

第 9 回(1/15)コンテストの出展する男子回路の制作

自動的に動く装置を作るには自動的に変化することを続ける発振器が必要です。マルチバイブレータで発生した信号を次の電子回路に転送します。そこで、マルチバイブレータが発生するパルス数を数えて、時間の進行を知るのが計数器です。計数器で動作のタイミングを制御します。引き金となる信号が来た時に、一回だけ動作する回路が単安定マルチバイブレータです。

出力で配線をつなげる簡単な方法は接続する入力出力の配線を同じ熱収縮に入れて、ドライヤーで暖めて収縮させて固定します。

4.1 マルチバイブレータ

4.2 データを移動する方法

4.3 フリップフロップの計数動作

4.4 単安定マルチバイブレータ

4.5 3 段に直列した単安定マルチバイブレータの実験

4.6 CR 結合回路によるパルス転送の実験

4.7 実験の課題と研究

4.1 非安定マルチバイブレータ

プログラム内蔵システムは時間の進行に沿って動作するために時計（クロック）が必要です。発振器で発生したクロックを用いて転送のタイミングの信号やゲート信号を作ります。

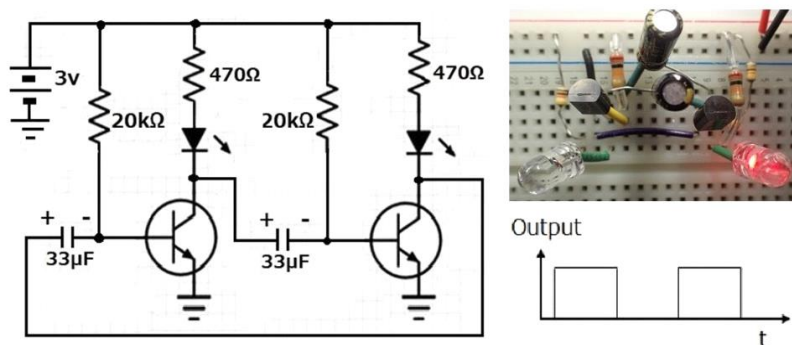


図 21 マルチバイブレータ(非安定マルチバイブレータ, 無安定マルチバイブレータ)

図 21 に矩形波の発振器である無安定マルチバイブレータあるいは非安定マルチバイブレータあるいは単にマルチバイブレータといわれる回路を示します。

この回路は一方のトランジスタのコレクタが OFF 状態から電流が流れると電圧が下がります。そこに接続されたコンデンサ(33 μ F)に充電された電荷による電圧が残っており、他方のトランジスタのベース電圧が低下し、正の再生作用により二つのトランジスタが反転します。そこで、跳躍的に負になったベース端子に R=20k Ω を通して電源から充電することにより、OFF 状態を脱出して ON 状態に復帰します。こうして、マルチバイブレータの状態は、OFF 状態から ON 状態に、ON 状態から OFF 状態へと自動的に入れ替わります。出力はトランジスタのコレクタ端子から取り出します。

この発振の周期は、結合コンデンサ(Cc)およびベース抵抗(Rb)の値によって与えられます。その周期は $T=1.4CR_b$ で与えられ、ここでの値は約 1 秒です。

4.2 データを移動する方法

図 22 に示す CR 結合回路の実験回路で、最初にコンデンサの両端を短絡して、コンデンサの電荷をゼロにします。次に、3V の電池につながると、3V が発光ダイオードに加わり、電流が流れて発光ダイオードが発光します。しかし、コンデンサに電荷が溜まると、発光ダイオードに電流が流れなくなります。コンデンサに電荷が残っていると、発光ダイオードに電流は流れません。コンデンサは入力の変化を次の段に伝えますが直流は伝えません。このようにしてコンデンサによって変化の成分を伝える回路を CR 結合路といいます。

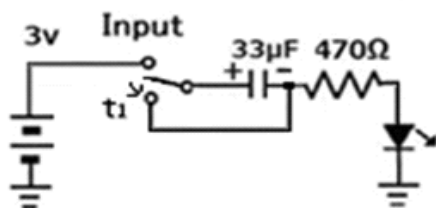


図 22 CR 結合回路の実験回路

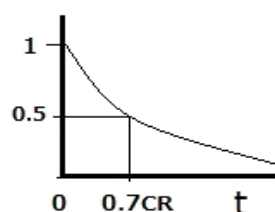


図 23 CR 結合回路の充電電流の半値幅

図 23 は CR 結合回路の充電電流の時間変化を示します。コンデンサは電圧が加えられた時に電荷を蓄えますが、時間がかかります。半分の値まで変化するまでに要する時間を半値幅 (Th) といいます。その大きさは $Th=0.7CR$ で与えられます。

(c)=33 μ F、R=470 Ω の場合、(3)式で与えられます。結合コンデンサには変化を取り込むスピードアップ作用と電荷を保持するメモリ作用があります。

$$Th=0.7CR=0.7 \times 33 \times 10^{-6} \times 470 = 1,086 \times 10^{-3} \quad (\text{秒}) \quad (3)$$

4.3 フリップフロップの計数動作



コンデンサ(33 μ F)にはメモリー作用があるので、短時間の電源の遮断で ON-OFFの状態が入れ替わります。
 Since the capacity (33 μ F) has a function of memory, the state of ON-OFF is exchanged at short time break off of the source voltage.

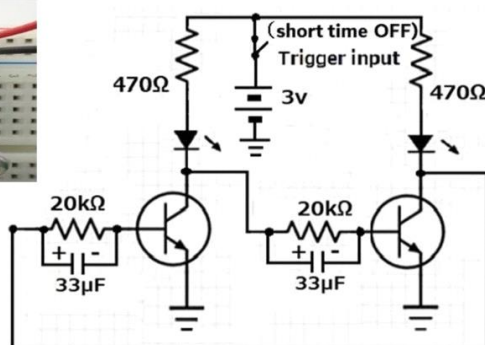


図 24 フリップフロップの計数動作 Fig.22 Counting operation of a Flip-Flip

図 24 のフリップフロップにおいて、ベース抵抗と並列にコンデンサ(C)を接続することで短時間だけ電源を OFF すると、直前の状態が切り替わり、一回毎に反転するので二進の計数の動作を確認できます。

OFF のトランジスタのコレクタと ON のトランジスタのベースの間の電位差は $V_{CC}-V_{LED}-V_{BE}=3-1.8-0.7=0.5(V)$ です。他方、ON のトランジスタのコレクタと OFF のトランジスタのベースの間の電位差はほぼ 0 です。そこで、電源を短時間切断した直後にトランジスタに電流が流れ始める際に、充電されているコンデンサが ON となっていたトランジスタのベース電流を抑制するので、OFF となっていたトランジスタのベース電流が先に流れて、状態が反転します。なお、ここで使用した電解コンデンサには極性があります。

4.4 単安定マルチバイブレータ

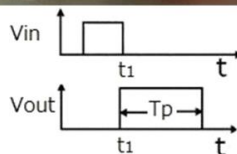
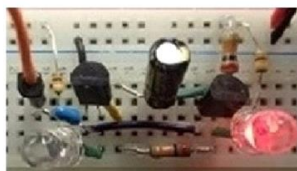
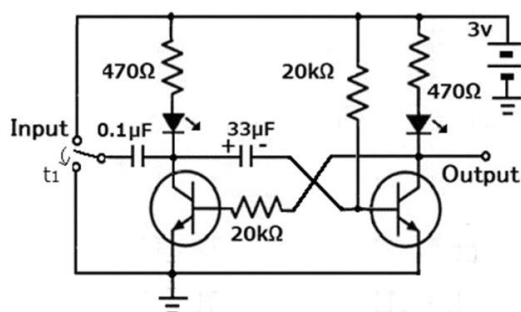


図 25 単安定マルチバイブレータ

図 25 に単安定マルチバイブレータの回路図を示します。この回路は右下の図のように入力電圧が低レベルに変化すると回路で決まるパルス幅の正のパルスを発生するのでワンショットマルチとも言われます。

単安定マルチバイブレータの動作を段階に分けて以下に説明します。

- ① 待機している状態では出力側のトランジスタが $20\text{k}\Omega$ のベース抵抗で [ON] 状態になっています。[ON] 状態になった出力側のトランジスタのコレクタ電圧が殆ど接地された状態になっているので $20\text{k}\Omega$ のベース抵抗で入力側のトランジスタは [OFF] 状態にしています。信号が来ない限りこの状態を保ちます。
- ② 次に、単安定マルチバイブレータの入力にマイナスの電圧が加わるとその変化がぐるぐる回って、出力側のトランジスタが [OFF] の状態になり、入力側のトランジスタが [ON] に反転します。最初にマイナスの入力の変化を 2 つのコンデンサが伝えて、[ON] 状態になっていた出力側のトランジスタの電流が減少します。その電流の減少はコレクタ電圧をプラスに増加させるので、入力側のベース抵抗を通して入力側のトランジスタに電流を流します。その入力側のトランジスタの電流の増加はコレクタの電圧をマイナスに下げます。こうして、その変化がぐるぐる回って、出力側のトランジスタが [OFF] の状態になり、入力側のトランジスタが [ON] に反転します。
- ③ 反転した状態は一定の時間だけ維持されます。反転した瞬間に入力側のトランジスタのコレクタ端子が電源電圧から接地電圧まで下げられます。そこで、 $33\mu\text{F}$ のコンデンサの端子電圧を保ったままコレクタ端子が電源電圧から接地電圧まで下げられるので、出力側のトランジスタが [OFF] の状態になったのです。マイナスの電源電圧に下げられます。そこで、出力側のトランジスタが [OFF] の状態になったのです。ところが、電源電圧につながれた出力側のトランジスタのベース抵抗から出力側のトランジスタのベース端子をプラスの電源電圧に充電します。そこで、出力側のトランジスタのベース端子がプラスになると、[OFF] のトランジスタに電流が流れます。
- ④ 反転した状態から待機状態に戻ります。出力側のトランジスタのベース端子がプラスになり [OFF] のトランジスタに電流が流れると、出力側のトランジスタのコレクタ電圧が下がります、その変化が入力側のベース抵抗を通して入力側のトランジスタの電流を減少します。その入力側のトランジスタの電流の減少は入力トランジスタのコレクタの電圧をプラスに上げます。その変化が出力側のトランジスタのベース端子をプラスにして、[ON] 状態にします。[ON] 状態になった出力側のトランジスタのコレクタ電圧が殆ど接地された待機状態になります。

つまり、単安定マルチバイブレータはパルスを遅延して転送します。

4.5 3段に直列した単安定マルチバイブレータの実験

単安定マルチバイブレータを直列につなぎ単発のパルスを転送させることができます。

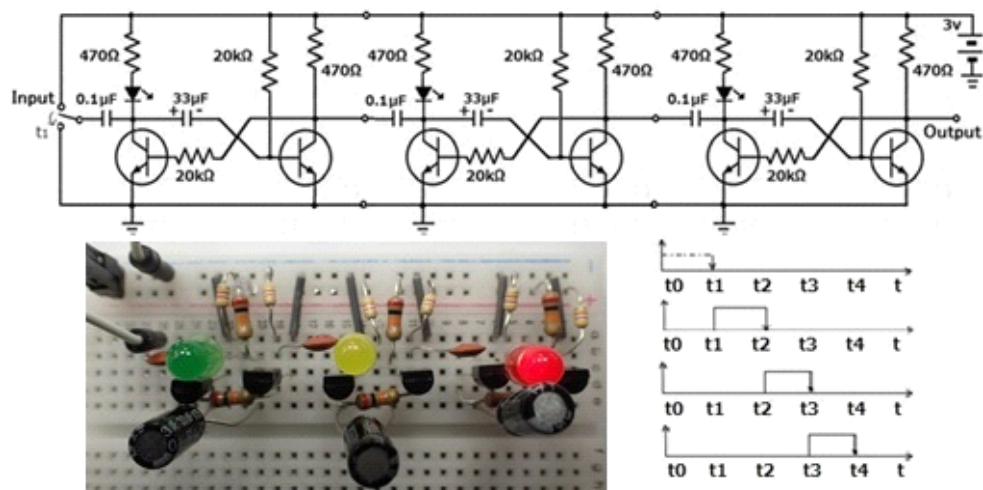


図 26 3段に直列した単安定マルチバイブレータの実験回路

4.6 CR 結合回路によるパルス転送の実験

単安定マルチバイブレータの出力の反転増幅器の部分だけを CR 結合で接続して単発のパルスを転送させることができます。発光ダイオードの立ち上がり電圧が 1.8V 程度ですので、コレクタに接続した端子電圧が[ON] から[OFF]になった時に、次の段のトランジスタを[ON]にすることができます。

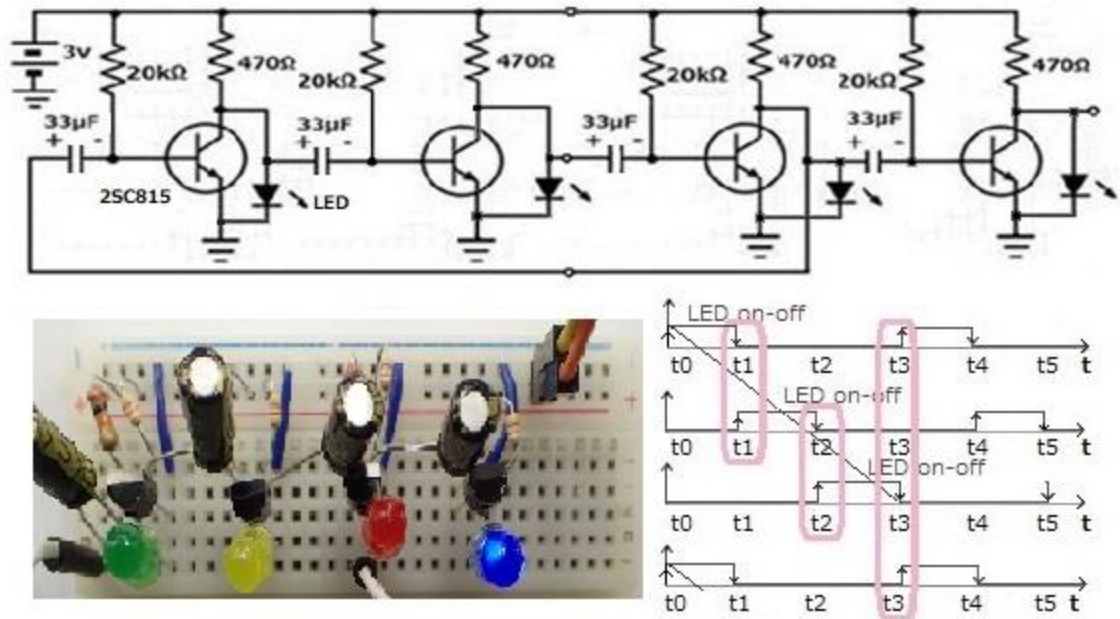


図 27 CR 結合回路によるパルス転送の実験

図 27 に示すように 3 段つないで入力に戻すとパルスが巡回して自動的に発信します。しかし、このパルス を 3 段以上に転送するラインの出力を入力に戻して、自動的な発振をさせようとする と遷移する瞬間における変化が連結して正常に動作しません。

図 27 に示す回路で入力がない待機状態ではすべてのトランジスタが導通状態で発光ダイオードは点灯していません。

t_0 の瞬間に 1 段目の結合コンデンサに負の電位をかけると、ベース端子電圧が下がり、トランジスタを流れる電流が減少してコレクタ端子の電圧が高くなり発光ダイオードが点灯します。この瞬間には 2 段目のトランジスタが導通状態でしたので変化はありません。1 段目のトランジスタのベース電圧が $20k\Omega$ の抵抗を流れる電流により上昇して導通を始める瞬間 (t_1) に 1 段目のトランジスタが導通状態帯に跳躍復帰します。この時 (t_1)、2 段目のトランジスタのベース端子は結合コンデンサにより電圧が低くなるので、トランジスタが遮断されて 2 番目の LED が発光します。

やがて 2 段目のトランジスタのベース電圧が $20k\Omega$ の抵抗を流れる電流により上昇して導通を始める瞬間 (t_2) に 2 段目のトランジスタが導通状態帯に跳躍復帰します。せ、 t_2 の瞬間に導通状態でコレクタ電圧が低い電圧になるので、2 番目の LED が消弧します。2 回反転して入力に戻すと非安定マルチバイブレータになります。

t_2 の瞬間に 3 段目の発光ダイオードが発光します。3 段目の出力を 1 段目に入力する帰還回路を加えると 2 回目の反転で正反転となりその反転が入力に戻されますのでマルチバイブレータと同じように発振が繰り返されます。1 段目と 4 段目は同時に点灯します。

更に、3 段目の出力を 4 段目に入力すると 1 段目と同様に LED の発光している状態を OFF

にするパルスが転送されます。しかし、4 段目の出力を 1 段目に入力する帰還回路にする
と変化を瞬間的に偶数回反転して正反転を巡回することになり、コンデンサにより変化が
次々と伝わるので 1 段目と 3 段目および 2 段目と 4 段目が対になって点灯するようになり
消弧期間を長くとることはできません。

4.7 実験の課題と研究

- ・ マルチバイブレータの結合コンデンサの値を変えて発振周波数を変えてみよう。
- ・ マルチバイブレータによって単安定マルチバイブレータを駆動して、単安定マルチバイブレータの動作を確認してみよう。
- ・ マルチバイブレータによってフリップフロップ回路を使った 2 進数の計数回路を作ってみよう。
- ・ 単安定マルチバイブレータを 3 段連結して、出力を入力に戻して、パルスを発生する動作を確認してみよう。
- ・ 遅延を含む CR 結合反転増幅器(単安定マルチバイブレータの出力部)を連結して、出力を入力に戻して、パルスを転送する動作を確認してみよう。連結した回路列の連結部の出力を入力に戻して、パルスを発生する動作を調べてみよう。