

電気電子回路学習のための拍手スイッチ回路

藪 哲郎

(奈良教育大学 技術教育講座 (電気))

Clap switch circuit for a study of electric and electronic circuits

Tetsuro YABU

(Department of Technology Education, Nara University of Education)

要旨：拍手スイッチは、手を叩く音でon/offするスイッチである。本稿ではシンプルで分かりやすい拍手スイッチ回路を提案する。分圧用ICによって電源構成を±電源とすることにより、単純で明快な回路を実現している。本提案回路は電気電子回路の基本的な回路を多数含むので、電気学習用の学生実験のテーマとして使用すると、これまでより教育的効果が高められると考える。

キーワード：拍手スイッチ sound activated switch
学生実験 student experiments
電気電子回路の学習 study of electric and electronic circuits

1. はじめに

拍手スイッチ (clap switchあるいはsound activated switch) は手を叩く音でスイッチをon/offする電子回路である。電子工作としてはかなりポピュラーなテーマなようで、Web上に多数の回路図が公開されている⁽¹⁻⁵⁾。キット^(6,7)や完成品⁽⁸⁾も販売されている。

しかしながら、公開されている回路図は、いずれも平易なものとは言い難い。多くの回路図ではオペアンプを単電源で使用しているが、単電源のオペアンプ増幅回路は電圧をシフトさせるための機構が必要なため、回路は複雑になる。またオペアンプは元々アナログ計算機用の素子として開発されたため、その基本的な使い方は両電源で駆動する方法であり、単電源のオペアンプ回路は電子回路の教科書にはあまり載っていない。

筆者はシンプルで理解が容易な拍手スイッチ回路を設計した⁽⁹⁾。筆者が設計した回路は電気回路や電子回路の教科書に登場する基本的な回路が多数含まれている。具体的には、トランス、全波整流回路、平滑化回路、直流を阻止する回路、RCフィルタ、オペアンプによる非反転増幅回路、RC放電回路、トランジスタによるスイッチ回路、還流ダイオードである。教科書に掲載されている基本回路を変形することなくそのまま使っているのが特長である。

またマイコンを使用しているので、プログラミングの学習も可能である。

本稿で提案する拍手スイッチ回路に対して、(1)理論に基づいて回路定数を決定し、(2)ブレッドボード上に組んで動作を確認し、(3)ユニバーサル基板上に製作することで、電気電子回路の総復習をすることが可能である。学生実験のテーマとして実施すると、教育的効果が非常に高いと思われる。さらに、完成した作品が実用品として末長く使えるという特長もある。

本稿では設計した拍手スイッチ回路について述べ、本学での実践結果についても報告する。

2. 回路の説明

2. 1. 全体の構成

電源部の回路図を図1に示す。コンセントからのAC100Vを2分岐させ、片方をリレーでon/offし、もう片方は拍手音を検知してリレーを駆動する回路に電源を供給する。本提案回路がシンプルに構成できる要因は、分圧用ICを用いてオペアンプを±電源で駆動することにある。図1の電源回路は±電源用の±4.5Vとリレー駆動用の-9.5Vの3つの電圧を供給する。

図2は手を叩く音をマイクで拾ってリレーをon/offする回路である。

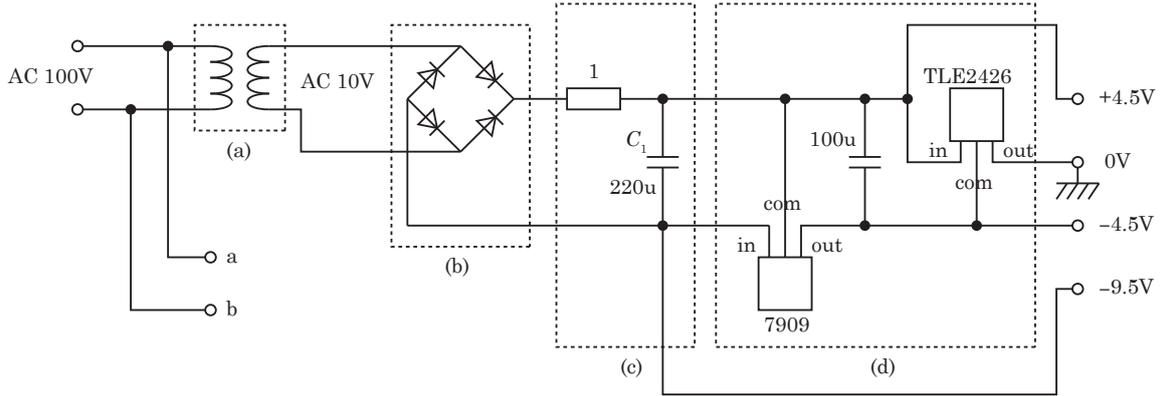


図1 電源回路

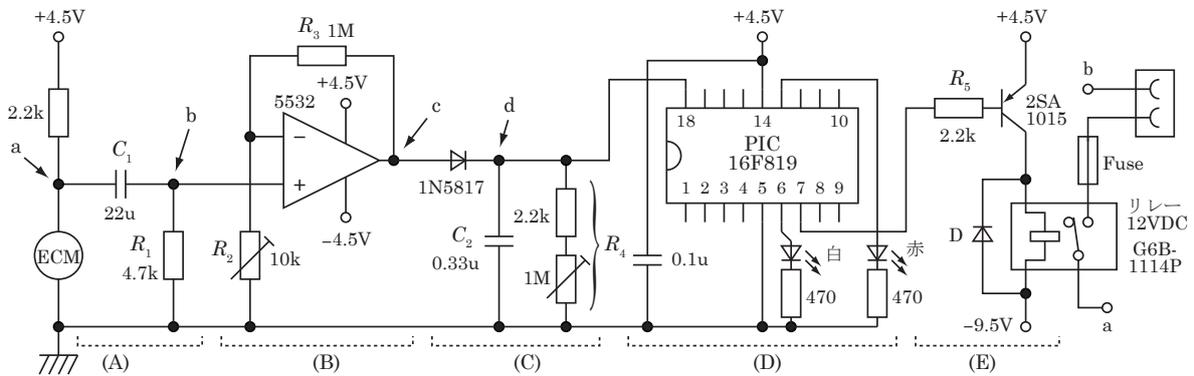


図2 信号処理回路

2. 2. 電源回路

図1の電源回路は (a) ~ (d) の4つのブロックに分かれており、それぞれ以下の項目を学習する。

(a)の部分ではトランスによる交流電圧の変圧を学ぶ。

(b)の部分では全波整流回路による整流を学ぶ。

(c)の部分ではコンデンサC₁による平滑化を学ぶ。1Ωの抵抗は電源on時の突入電流を制限するためである。

(d)の部分では電源用ICの使い方を学習する。負電源用の3端子レギュレータ7909で9Vを取り出し、分圧用ICであるTLE2426を用いて±4.5Vの両電源を得る。TLE2426の出力電流の最大値は±80mAである。これとは別に、リレーを駆動する電源用に-9.5Vの端子を引き出す。

交流10Vを整流すると直流14Vが得られることから、実効値についても学ぶ。

2. 3. 信号処理回路

図2の信号処理回路について説明する。コンデンサマイクは直流電圧をかけて使用する。マイクと直列に入っている2.2kΩの抵抗の値は、製品ごとに値が指定されている。今回利用したマイクの場合2.2kΩであっ

た。マイクからの出力である図2中のa点の電圧波形は「直流」と「微小な交流信号」が重畳された形をしている。増幅する前に、直流成分をカットする必要がある。

図2中 (A)の部分ではコンデンサC₁により直流をカットする回路である。コンデンサに電荷を蓄積するには電流が流れる必要があるので、R₁はC₁を充電するための抵抗である。電源on時にC₁は充電されていないことを仮定すると、充電が完了するまでの時間の目安である時定数はC₁ × (R₁ + 2.2k) である。

また、R₁とC₁はハイパスフィルタを構成している。その入出力特性は複素記号法を用いた回路計算で得られ、a点とb点の複素電圧をそれぞれV_a、V_bで表すと、

$$V_b = \frac{j\omega C_1 R_1}{1 + j\omega C_1 R_1} V_a$$

である。本回路は拍手音を検知すればよいので、ハイパスフィルタの遮断周波数を厳密に設定する必要はないが、一般にマイクの音声を扱う場合、できるだけ低域までフラットな特性が望ましい。ハイパスフィルタの遮断周波数 1/(2πR₁C₁) は可聴周波数の下限である20Hz以下に設定する。

図2中 (B)の部分ではオペアンプによる非反転増幅回路であり、増幅率は(R₂+R₃)/R₂である。必要な増幅率はマイクによって異なる。今回用いたマイクの場合

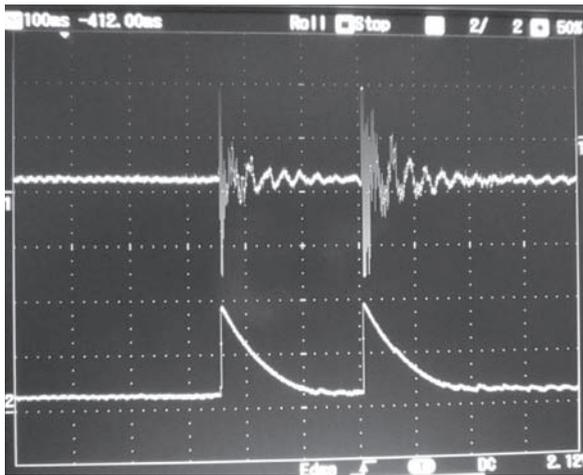


図3 c点とd点の波形

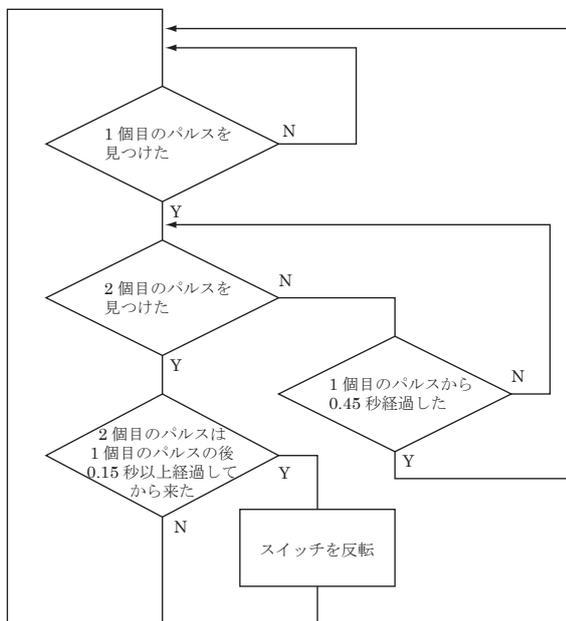


図4 プログラムのアルゴリズム

合、約1000倍程度の増幅率が必要であった。

図2中(C)の部分は増幅した音声波形をPICマイコンが検出しやすい波形にするため、「ダイオードによる半波整流回路」と「 C_2 と R_4 による放電回路」を組み合わせて、1回の拍手から1個の指数関数的に減衰する三角形のパルスを生成する回路である。

図2中のc点とd点の波形をオシロスコープで観測した例を図3に示す。上がc点の電圧、下がd点の電圧であり、横軸は1目盛り100ms、縦軸は1目盛り2Vである。拍手1回につきパルスが1個生成されている。

ダイオードによる電圧降下は少ない方がよいので、順方向電圧が0.7V～0.8V程度である普通のシリコンダイオードではなく、0.2V～0.3V程度であるショットキーバリアダイオード1N5817を用いる。

指数関数的に減衰する三角形のパルスは、CR放電回路の過渡現象の理論によると、

$$\exp\left(-\frac{1}{C_2 R_4} t\right)$$

の関数形で表される。パルスの半値幅は時定数 $C_2 R_4$ の約半分である。

図2中(D)の部分はPICマイコンの回路である。三角形のパルスをPICマイコン16F819の18番端子でAD変換して検出する。プログラムはソースブースト社製のCコンパイラで開発した。物を落とした音などで誤動作しないように、拍手が2回鳴り、その間隔が0.15秒～0.45秒のときのみスイッチが切り替わるようプログラムした。アルゴリズムを図4に示す。

PICマイコンの13番端子はパルスを検出したことを示す赤色LEDの駆動用である。赤色LEDはパルスを1個検出すると1回光る。6番端子と7番端子はスイッチの状態を出力する端子である。6番端子はスイッチがonのとき+4.5Vを出力し、白色LEDを点灯させる。

図2中(E)の部分はトランジスタのスイッチ作用でリレーをon/offする回路である。PICマイコンの出力電流は1端子あたり最大25mAで、リレーを駆動するには不足しているため、トランジスタによるスイッチ回路が必要である。7番端子が0Vを出力するとトランジスタがonになり、4.5Vを出力するとoffになる。

リレーは-9.5V～+4.5Vの間の14Vで駆動するので、on電圧が12Vの製品を選ぶ。

機械式リレーはon→offに移行する瞬間にインパルス状の高電圧が発生する。今回使用したリレーの場合、デジタルオシロで観測したところ、80V程度のインパルスが観測された。高電圧からトランジスタを守るために還流ダイオードDを用いる。

3. 本教材の使用法

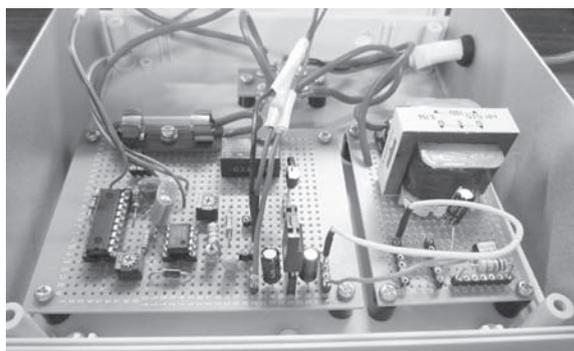
生徒に図1、図2の回路図から回路定数(抵抗値やコンデンサの容量)を除いたものを与え、各ブロックの動作原理を説明する。生徒は以下の作業を行う。

- (手順1) 回路定数(個々のCとRの値)を決定する。
理論に基づいて数値の見当をつけ、ブレッドボード上で回路を組み、実験によって確認する。実験時に発振器やオシロスコープなどを使うので、測定器の使い方も併せて習得させる。
- (手順2) 回路定数が決まったなら、ユニバーサル基板上に製作し、ケースの中に納め、自分の作品として完成させる。

(手順1)で述べたブレッドボード上の実験では、以下の検討を行う。



(a) 外観



(b) 内部

図5 試作品

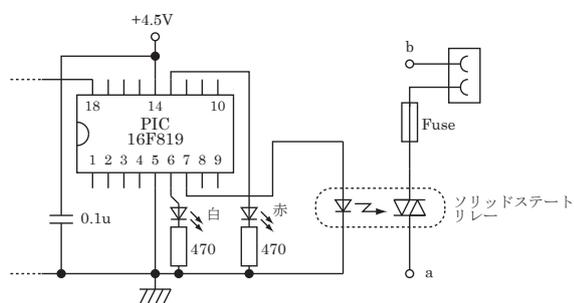


図6 ソリッドステートリレーを用いる場合の回路図

図1の電源回路においては、(c)の平滑化回路におけるリップル幅が0.5V以内になるよう、コンデンサ C_1 の数値を決定する。このとき+4.5Vと-9.5Vの端子間にリレーを接続しておく。

図2の信号処理回路における検討事項をブロック別に列挙する。

(A)のCRハイパスフィルタにおいては、ハイパスフィルタの遮断周波数が20Hz以下になり、時定数が1秒以下になるよう C_1 と R_1 の値を決定する。ハイパスフィルタの測定は、正弦波を入力して行い、時定数の測定は方形波を入力して行う。測定結果と理論計算を比較する。

(B)のオペアンプの増幅回路においては拍手音をマイクで拾ったときの波形をオシロスコープで観測し

ながら、 R_2 を調節することで、増幅率を適切な値に決定する。

(C)のCR放電回路は1回の拍手音に対してパルスの半値幅が0.1秒程度になるよう C_2 と R_4 の値を決定する。

(D)のマイコンは原則として教員があらかじめプログラムを書きこんだPICマイコンを生徒に渡す。ただし、可能であれば生徒にプログラミングをさせる。

(E)のトランジスタのスイッチ回路ではリレーの駆動電流とトランジスタの増幅率から、最低限必要なベース電流を計算し、それ以上のベース電流が流れるよう R_5 の値を決定する。

以上の検討に基づいて決定した回路定数の例が図1と図2の中に書き込まれている値である。筆者が製作した試作品の外観を図5(a)、内部を同図(b)に示す。外観の図ではマイク、確認用LED 2個、on/offするコンセントが見える。内部の図では、右側の基板が電源回路、左側の基板が信号処理用の回路である。

4. 本学の授業における利用

本学の技術教育専修で開講している「電気設計製作」という科目で2011年度に拍手スイッチの製作を行った。受講生は1名なので、統計的な処理をするには人数が不足しているが、ここでは2011年度の実施結果について述べる。

技術教育専修では4年間で木工・金工・機械・電気・情報・栽培の6分野を幅広く学習する。本専修で学ぶ電気回路の知識では前節の(手順1)で述べた検討を自力で行うのは難しい。そこでこの検討は、教員が補助して学生と共に作業をした。所要時間は2.5時間程度であった。工学部の電気系学科で本教材を用いる場合は、(手順1)は学生が自力で行うことが可能であると思われる。

(手順2)における製作は、労力をより小さくするため、図1と図2の回路図に対して以下のような簡略化を行った。簡略化により製作は楽になったが、学習する項目は減少した。

(電源回路の簡略化)

図1の電源回路において、(a)~(c)の部分をDC12Vを出力する市販のACアダプタで代用した。

(信号処理回路の簡略化)

図2の信号処理回路において、リレーとしてソリッドステートリレーを用いた。ソリッドステートリレーは5V、10mAで駆動可能なため、リレー付近の回路図は図6となった。リレーをonするとき7番端子は4.5Vを出力し、offのときに0Vを出力する必要があるため、トランジスタをスイッチとして使うときに対して、7番端子の出力は逆にする。-9.5Vの電源端子は不要となるため、電源回路で使用する

3端子レギュレータは正電源用の7809でもよい。

学生の増田康平氏に感謝する。

信号処理部分の回路図よりユニバーサル基板上にレイアウトをするためのレイアウト図の作成に2～3時間程度を要した。

ユニバーサル基板上に部品を取り付けて錫メッキ線で配線する作業と、ケースに穴をあけコンセントやユニバーサル基盤をケースに取り付ける作業は、合計で17時間程度を要した。この時間の中には「回路が動作しない」ことの原因究明のためのトラブルシューティングの時間が含まれている。トラブルシューティングを本学の技術科の学生が自力で行うのは難しいので、教員が主体となって行った。

電気設計製作では毎年受講生が希望するものを製作しているので、これまでのところ、拍手スイッチを製作したのは2011年度のみである。

本テーマに関する情報は 回路図、試作品の写真、PIC マイコンのプログラムのソースファイル、実行型ファイルなど全ての資料を筆者のWebサイト<http://denki.nara-edu.ac.jp/~yabu/kousaku/> 以下で公開している。興味がある人はこのサイトを見て製作に挑戦することができる。

5. おわりに

学生実験用の拍手スイッチ回路を提案した。この回路のパラメータを決定し、製作することで、電気回路・電子回路の基礎的な回路の多くを学習することができることが分かった。

本教材の問題点はAC100Vを扱うので感電の危険を伴うことである。AC100Vを扱わないようにするには、以下の2点の変更が必要である。

1. AC100Vから直流を得る部分（図1で(a)～(c)に該当する部分）に市販のACアダプタを使用する。
2. 図1中の端子abを引き出す部分をAC100VではなくACアダプタの出力端子（DC12V程度）に変更する。その結果、on/offする対象としてDC12V程度で動作するものを自作する必要がある。例えばDC12Vで動作するナツメ球が考えられる。

以上の変更を行うと、AC100Vを扱わないので安全は確保できるが、AC100Vで動作する通常の電気製品は使用できなくなる。

今後の課題としては、多人数で実施するときのノウハウの蓄積などが考えられる。

謝辞

拍手スイッチを作る動機を提供していただいた本学

参考文献

- (1) http://homepage3.nifty.com/mitt/pic/pic6_03-1.html
- (2) <http://www8.plala.or.jp/InHisTime/page076.html>
- (3) <http://homepage3.nifty.com/kanasho/epro40.htm>
- (4) <http://electroschematics.com/840/clap-switch/>
- (5) <http://noelectronics.blogspot.com/2011/01/clap-switch.html>
- (6) <http://www.velleman.eu/products/view/?id=348017>
- (7) http://www.elenco.com/product/productdetails/soldering_kits=MTY=/sound_activated_switch=MjQw
- (8) <http://www.chia.com/index.php/the-clapper>
- (9) 藪哲郎, "学生実験のための拍手スイッチ回路", 平成24年電気学会全国大会講演論文集, 1-001, March 2012.