

理科教材研究 VI

「(1) 学生発表会用予・終鈴タイマーブザーの試作と簡単作動・停止アップ カウントタイマー回路の提案及び、(2) 電子トロンボーンの試作」

恵下 敏

Teaching Materials for Science Education VI
“Test Products of (1) a Timer Buzzer for a Student Presentation with a Proposal
of an Easy Going-ending Up-count Timer Circuit and (2) an Electronic Trombone”

Osamu EGE

要 旨

理科教育あるいは技術科教育の教材として、(1)簡易作動・停止アップカウントタイマーによる学生発表会用の予鈴と終鈴を知らせるブザーと、(2)発振回路にカーボン紙を使って連続的に周波数変化できる、いわゆるトロンボーン回路を試作した。

これらを教材化していくにあたっては、デジタルICなど電子部品を使って工作をしながら、理科あるいは技術科に興味を持つ子供たちを育てていくことを目的として、一度に全体を作るのではなく、取り組みやすい部分から作りはじめ、できた部分々々をつないで、しだいにその規模や機能を広げていくような方法を考えた。

1. はじめに

理科教育あるいは技術科教育において、物作りの楽しさや手作りの大切さを伝えていくことは重要なことと思われる。ここでは中学生から高校生あるいは大学初等あたりを対象にして、(1)あまり複雑でなく少し違ったタイマー回路を持つ発表会用予・終鈴ブザーと、(2)電子トロンボーンの試作について紹介する。また、(3)それらを教材化するにあたって、一度に全体を作るのではなく、わかりやすい簡単どころから作りはじめて、動作を確かめながら次第に作る部分を広げていき、できたものをつないでいって機能性を高めていくような、そういった取り組み方を紹介する。

これまでのタイマー回路の多くは、例えば動作させる時間あるいは回数をカウンターICにストロープしておいて、そこからカウントダウンして、カウンターがゼロとなったときのロー信号を使うか、あるいはたとえば文献[1]に紹介されているように、LS06など(文中ではSN74LS06をLS06などという略記している)オープンコレクターのNOT出力を適当な抵抗でプルアップしておき、出力が全てL(0V)になったときにORとしてタイマー動作するといったものが主流であったと思われる。

ここで紹介しているものは、ワイヤードオアでないのでプルアップ抵抗やファンアウトについて配慮する必要がなく（したがってその桁数に制限がない）、アップカウント動作の途中で時間変更できて、タイマー動作を何回もあるいは何段も重ねることができる利点を持っている。

2. 電子回路の試作

(1) 予・終鈴用タイマー

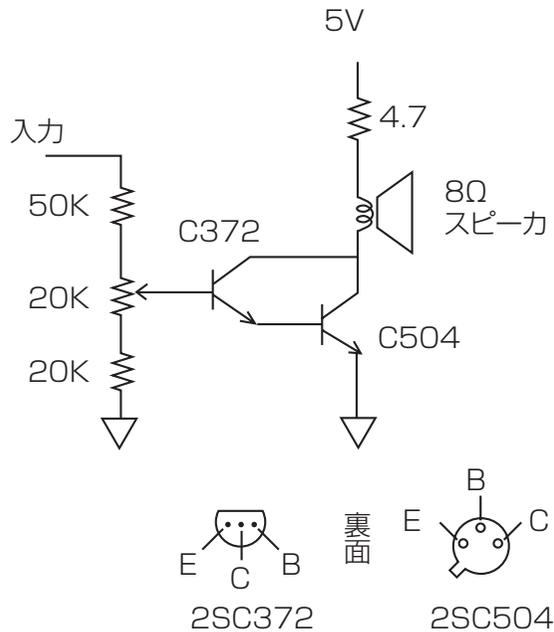
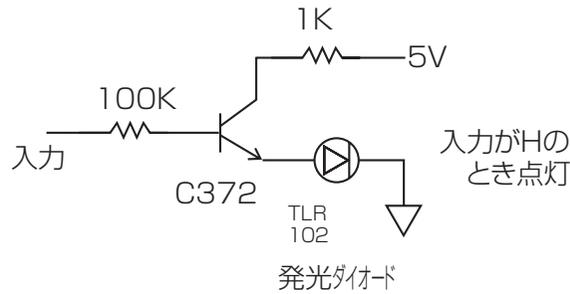
図1に予・終鈴用タイマーの回路図を示す。図中Vとあるのは5V定電圧であり、市販の小型モジュール電源で供給している。Gはグラウンド（アース）で0Vのことである。ハンダ付けの際には基板を裏から見る人が多いので、IC類はすべて裏面図で示している。配線は大部分実線で示したが、少し長い接続や配線が混雑するところは、実線でなくたとえば「→P1」と「P1→」などとしてその2点が接続していることを示した。

以下回路説明になるが、まず基準発振用IC（LQT-100X）からの出力100Hzと200HzをCMOSバッファの4050で受けて、100Hzはタイマー用に使い、200Hzはブザー一用に使っている。100Hz信号はLS90（10分の1分周）を2段重ねて100分の1に分周され、2段目の11ピンから1秒パルスSになって出力される。このSは図2（上）のHL判定回路に入力されてパネル面の動作確認用の発光ダイオード（TLR102）を点灯している。このSはさらにLS90とLS92によって60分の1に分周されてLS92の8ピンから1分パルスMとして出力される。

この1分パルスMがここではタイマー用のクロックパルスとして使われる。最初にこれで予鈴用の10進カウンター（2桁なのでLS192が2連）をアップカウントさせ、サミールSWで設定した時刻（分）になると、200Hzでブザーを鳴らすと同時に終鈴用の10進カウンター（LS192）がアップカウントを始めるようにする。ブザー回路はデジタルで、+側の振動を音声化するので図2（下）のように電力増幅してスピーカを振らせている。トランジスタは規格表を見て、その他の素子も大体同じようなものであればまず大丈夫である。

予鈴動作を先に、終鈴動作をその後にするために、LS74（Dフリップフロップ）を用いて1分パルスMをP1とP3に振り分ける。これらの信号はパルス幅が30秒程度と長いので、それぞれLS123（ワンショット）に送って適当なパルス幅のP2とP4に加工する。

そうして得られたP2とP4を予鈴用のLS192と終鈴用のLS192に振分けて入力する。しかも最初にいつも予鈴用のIC（がカウントを始めるように）に振分けられるように初期設定としてLS74の13ピンを0Vでクリヤしておく。このクリヤ信号はパネル面のスイッチ（以下SW）によって作る。その作り方は、初期設定としてLS90やLS192もクリヤするためにパネル面のクリヤSWにより5Vをそれぞれのクリヤピンに加えているので、そのクリヤ信号をLS04で反転して0Vを作っている。



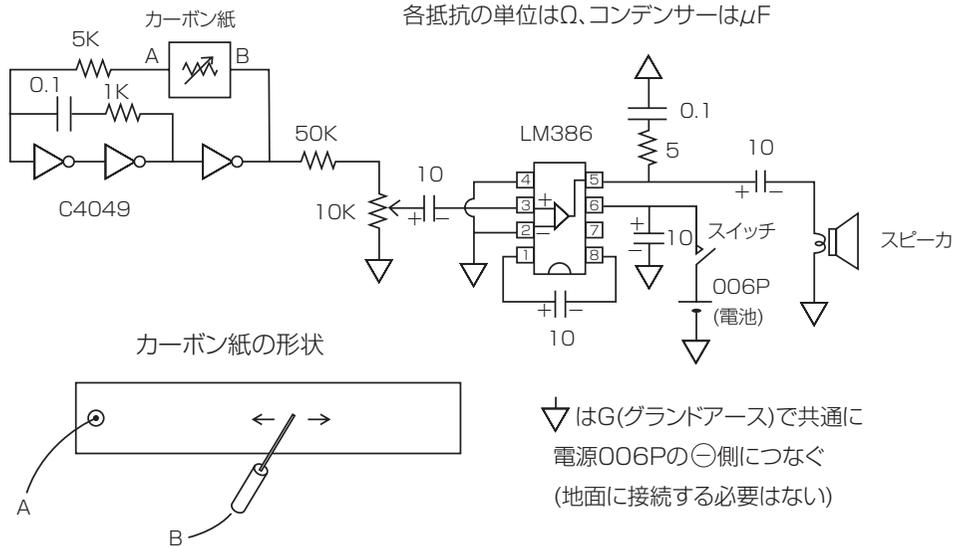
(図2)

はじめの2連のLS192からはLS42を介してBCD出力(図中のABCD出力)がデシマル(10端子)に変換され、2連のサミールSWに接続している。アップカウントがはじまり、サミールSWで設定された数に達するとCM1とCM2から0Vが出力される。これらをLS04で反転してLS74に送り、先ほどのP1とP3の振分信号を反転させて、今度は終鈴カウンターだけに1分信号パルスを送り、終鈴用タイマーが作動することになる。

LS192の出力ABCDは、また同時にLS47によってaからgまでの7セグメントに変換されてアノードタイプLEDのTLR306を点灯している。

(2) 電子トロンボーン

ここで紹介する電子トロンボーン回路は、図3にあるようにデジタル可変周波発振器（左半分）と小型出力アンプとスピーカ（右半分）をくみ合わせた簡単なものであり、図中のIC（LM386）などはやはり裏面図となっている。この回路の特徴は、発振回路の一部が手動式のカーボン紙を使った可変抵抗となっていることである。



(図3)

この回路は電源を006P（9V電池）にしたので、TTLに比べて電圧に幅があるCMOSの4049（NOTゲート）を発振回路に使用し、その発振出力を小出力パワーIC（LM386）で単電源増幅している。スピーカは一応 8Ω の物であれば（廃物を流用しても）よい。

図中A B間の可変抵抗は、古い型のコピー機に使われていたカーボン紙を長方形に切って板上に糊付けしたもので、A端は導線がカーボン紙に固定して接続され、Bの端子はスライドするときひっかからないように先をなめらかにした金属の棒で（不用になったテスターのプローブなどでも）よい。カーボン紙が手にはいらない場合は $20\text{k}\Omega$ 程度のスライド抵抗をつなぐと同じようにできる。

なおここでも使用している抵抗やコンデンサーの大きさについては、大体その程度のもので許される。こういったことも含めて早いうちからエレクトロニクスに親しむことで、興味と同時にそういった常識的なことも身につくと思われる。ここで作られるものは、安価であるがトロンボーンのようなものであり、カーボン紙の上で端子をスライドさせると、音程を変えることができるので、簡単な音楽をかなでて遊ぶことができる。

3. 電子回路の教材化

以上の回路を教材化するにあたっては、はじめから全体を作ろうとしないで、部分から作っていき、できた部分の動作をデジタルテスター等で確かめていくのがよい。部分であっても予

定どおり動作することが確かめられると、一定の達成感があり、それらを組み合わせていくと機能的にも広がるので興味と意欲が増してくると思われる。

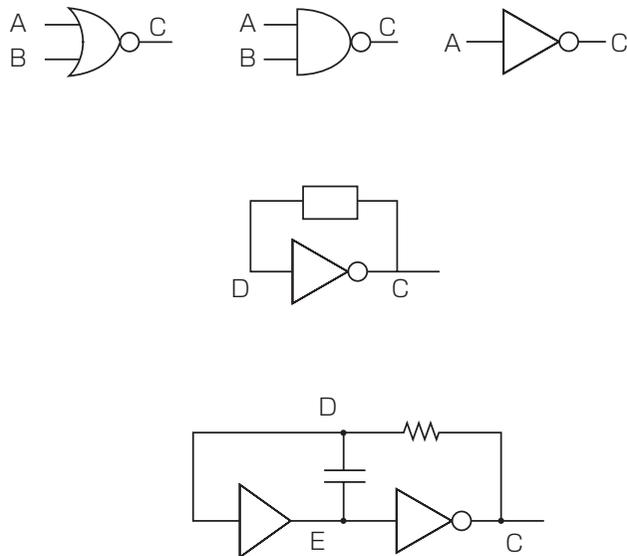
① HL判定回路

図2(上)にあるような発光ダイオード点灯回路(HL判定回路)から作りはじめるのが望ましい。これは(1)のタイマーの一部分であるが、これを独立した基板に組んでおくとデジタルテスターの代わりにもなる。入力がHであれば発光ダイオードが点灯するので、電源や目で追える速さのパルスをチェックすることができる。

② 発振器の周辺

つぎに発振回路を作っていくのであるが、(1)のタイマーのLQT100Xの100Hz出力をC4050に入れて出し、それをLS90(2連)に入れるところまでを作る。この二段目の出力から正確な1秒のパルスが出るので、それをデジタルテスター(あるいは①HL判定回路)で確認することができる。しかし今回(1)のタイマーではファンアウトの問題なのかそのままではTLR102が点灯しなかったので、4050バッファを介して入力し点灯させている。

しかし教材として発振回路を理解するには、少し丁寧にNOTを使ったディスクリート回路で電子トロンボーン図3(左半分)を組んでいくことがまた重要と思われる。



(図4)

図4(上)はNOT(右)、NAND(中)、NOR(左)の三つの基本的なゲートで、普通5VをH(または1)に0VをL(または0)として、入力(A, B, ...)のHとLをそれらの論理にしたがって出力Cに出していく、そういったICであり、NOTの場合入力Aはいつも反転されて(HならLに、LならHになり)Cに出力される。ICはトランジスタで構成されていて、トランジスタは負論理が基本であり、三つとも負論理を示す○印がゲートの出力側

についている。この三つを組み合わせると、これら以外にNOP（バッファ）、AND、OR、Ex-ORなど○印のつかないいわゆる正論理ゲートも作ることができる。たとえばNOTを二つつなぐと反転したものがまた反転して元どおりの正論理NOPとなるし、NANDやNORの前にNOTをつけるとそれぞれANDとORができる。またこういった基本的な負論理ゲートを組み合わせてRSフリップフロップなどの記憶回路や発振回路なども構成することができる。デジタルICで組まれた回路をデジタル論理回路と言うが、デジタル論理回路はコンピュータのハードの基礎を勉強する学生実験などによくとりあげられている。

図4（中）はNOTゲートの出力Cと入力Dを「何か」を介して接続した状態を示している。何も介さず直接つないだ場合を考えると、Cが入力Dに直接伝わりNOTで反転（HとLが逆になる）して出力されてCが反転する。反転したCがDに入り、またCを反転させる。これが速く続いて起こるので、Cのレベルは1秒間に数十万回反転する、つまり高速デジタル発振が起こると言われている。CMOSなどでこの回路を組んだ場合、それをHL判定回路につなぐと運がよければモヤーとしたHとLの中間的な発光を見ることができる。

図4（下）は「何か」のところを抵抗とコンデンサーで構成したもので、出力CがHのとき抵抗を介してコンデンサーを充電し、Dの電圧がHレベルに達したときにバッファを通してEのレベルをHにする。そのHはNOTでLに反転され新しくCに与えられる。今度は抵抗を介して先ほど充電されたコンデンサーを放電する。そしてDのレベルがLになるとそれはEに伝えられ、今度はCをHにする。同様にして次々とCはHLHL...を繰り返す。つまりデジタル発振が起こる。これが図3（左）の電子トロンボーンが発振回路でもある。

このとき抵抗とコンデンサーは充電と放電の時間を遅らせる作用があり、その時間は抵抗とコンデンサーの容量によって決まる。二つの単位を掛けたものが時間の単位となりこれを時定数ということはよく知られている。

③ 増幅回路の周辺

ここで作る電力増幅用アンプは図2（下）と図3（右）の二つの部分があり、それぞれ部分として作製すればどちらも同様の機能を持っているので、この二つは交替して用いることもできる。しかしこれらのアンプは+の単電源で動作するもので、音声や音楽などの±振動を忠実に表現することは困難である。そこで将来的にはやはりコンプリメンタリなトランジスタを組み合わせた波形に忠実なアンプ回路についても一つの部分として組んでいくべきである。

またそれらを動かす電源も例えば97,98シリーズなどの定電圧ICを使って+5V3A及び±1.2V程度で1Aの電源を組んでおけば、デジタル回路だけでなく各種OPアンプについても動作させることができるとも便利である。

4. まとめ

理科や自然科学を好きになるには、自然を観察することと同時に、いろいろな物を手作りすることもまた非常に効果的であると考えられる。タイマーを教材として手作りできる段階としては、中学生くらいから始めて高校生大学生と上限はないが、やればやるだけ上達することは確かと予想される。

現在デジタルIC類は100円程度で入手でき、トランジスタ類はもっと安価であり、こ

れらはまた現代科学が蓄積された貴重な教材でもあるので、もっと積極的に利用していくべきと思われる。そして手作りの場合、部品の再利用も可能で、使われなくなったいろいろな電子機器などから小型スピーカやその他貴重なエレクトロニクス部品を取り出すこともできる。廃材もまた貴重な教材用部品の宝庫であり、板やネジあるいはちょっとしたケースなど利用できる物も少なくない。

正式に教科としてはできないとしても、クラブ活動などでも取り組んでいけば早い段階からこの分野にも親しんでいけるはずであり、こういった分野も重要な一面があるように思われる。

参考文献としては、今回かなりの部分で参考にした文献 [1] と、筆者関連のデジタル回路について記載しているものを [2] 以降に挙げている。その他にたとえば CQ 出版等の IC 及びトランジスタの規格表は特に新しいものでなくてもよいがかならず必要といえる。

参 考 文 献

- [1] 久保大二郎, 一杉勝「デジタル回路設計スタディ」CQ出版(1981年)。
- [2] 「A Signal Averaging Device for Nuclear Quadrupole Resonance」広島大学理学部紀要自然科学A, 第44巻21-40頁(1980年)。
- [3] 「粉末核四極共鳴ゼーマン効果測定用装置と測定例」宮崎大学教育文化学部紀要自然科学, 第2号1-17頁(2000年3月)。
- [4] 「理科教材研究Ⅲ 斜面を転がる円柱の実験」宮崎大学教育文化学部紀要自然科学, 第7号1-10頁(2002年9月)。

(2008年4月25日受理)