

アナログ回路設計の教材開発と実践（後編）

— アラーム装置の製作 —

辻 正敏

Development and Use of Teaching Materials for Analog Circuit Design

— Fabrication of Alarm System —

Masatoshi TSUJI

This paper describes an alarm system circuit developed as a teaching material on analog circuits, a teaching method of using the teaching material in class, and the results obtained through putting the method into practice. The teaching material proposed in this paper is intended as the next step after the fabrication of a circuit for use in infrared light sensors in a past report. Students can learn a great deal about essential analog circuit technologies and techniques through fabricating the two abovementioned circuits. The teaching material has a degree of difficulty suitable for students, is composed of off-the-shelf components, can be evaluated with general-purpose measuring instruments, operates stably, and can be obtained at low cost—all of these advantages make it ideal for technical college students. In addition, the proposed method of teaching proved effective in the development of the students' problem-solving abilities, cooperativeness, and communication skills in class.

KEYWORDS: analog circuit, education of analog circuit, circuit design, alarm device

1. まえがき

高専教育では、学生の学習意欲を高めるためや創造性を育むために、ものづくり教育が重視され、これまでに多くの実践がなされ、その成果が多数報告されている^{1)~3)}。これらの報告では、デジタル回路や、プログラミングによる学習教材や実践報告は多く報告されているが、アナログ回路によるものは少ない。その理由としてアナログ回路の理解には多くの学習時間を必要とし、回路理論以外にも、各部品の特性、部品レイアウトやパターンの引き回しに至

るまでの難易度の高い知識が多く必要となるからである。そのためアナログ回路は経験が物を言う世界とされ、学生が学校の限られた学習時間内で学ぶのは難しいと考えられている。そのような中、2011年に「アナログ回路設計の教材開発と実践」が報告された⁴⁾。その教材は、赤外線センサの製作を通してアナログ回路を学習するもので、その装置の出力には外部機器を制御するための拡張端子（リレー出力）が設けられていた。

本論文では、昨年報告された赤外線センサの製作に続く新たな教材紹介とその実践結果を報告する。

製作するのはアラーム装置で、「ピッピッピッ」というアラーム音が、ダイナミックスピーカーより鳴る機能と、そのアラーム音をトランスミッタを用いて AM ラジオで聞くことができる機能が備えられている。そして完成したアラーム装置を先に製作した赤外線センサの拡張端子に接続することで、センサが反応した時にアラーム音が鳴る防犯システムが完成できるようにした。これらの教材を学習することでアナログ回路の重要な技術を多く学べ、かつ試作づ

くりに必要な一連の作業（設計、シミュレーション、製作、評価）を体験することができる。

2. 教材の回路説明

図1は完成した学生の作品の写真であり、図2はアラーム装置の回路図である。以下に各ブロックの回路を説明する。

ブロック A 電源回路

ブロック B パルス発振回路

シミュットゲート回路を用いた2つの発振回路から構成されており、3Hzと1.4kHzのパルス波の論理積を取ることで「ピッピッピッ」のアラーム音を作る。

ブロック C 信号切り替え回路

ダイナミックスピーカーと圧電スピーカーの切り替え回路である。

ブロック D 音量ボリュームと緩衝増幅器

アラーム信号は、音量ボリューム VR1 を通った後、エミッタフォロアを用いた緩衝増幅器に入る。緩衝増幅器はパワーアンプの入力インピーダンスを大き

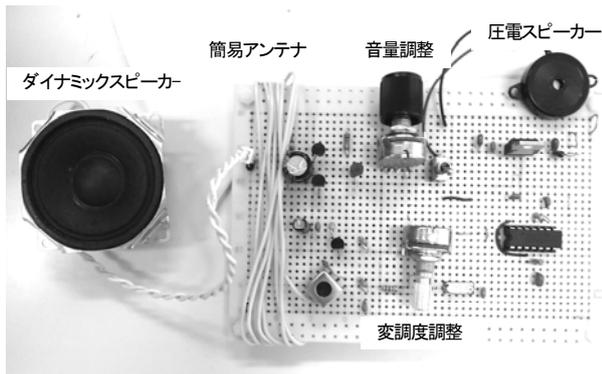


図1 学生が製作したアラーム装置

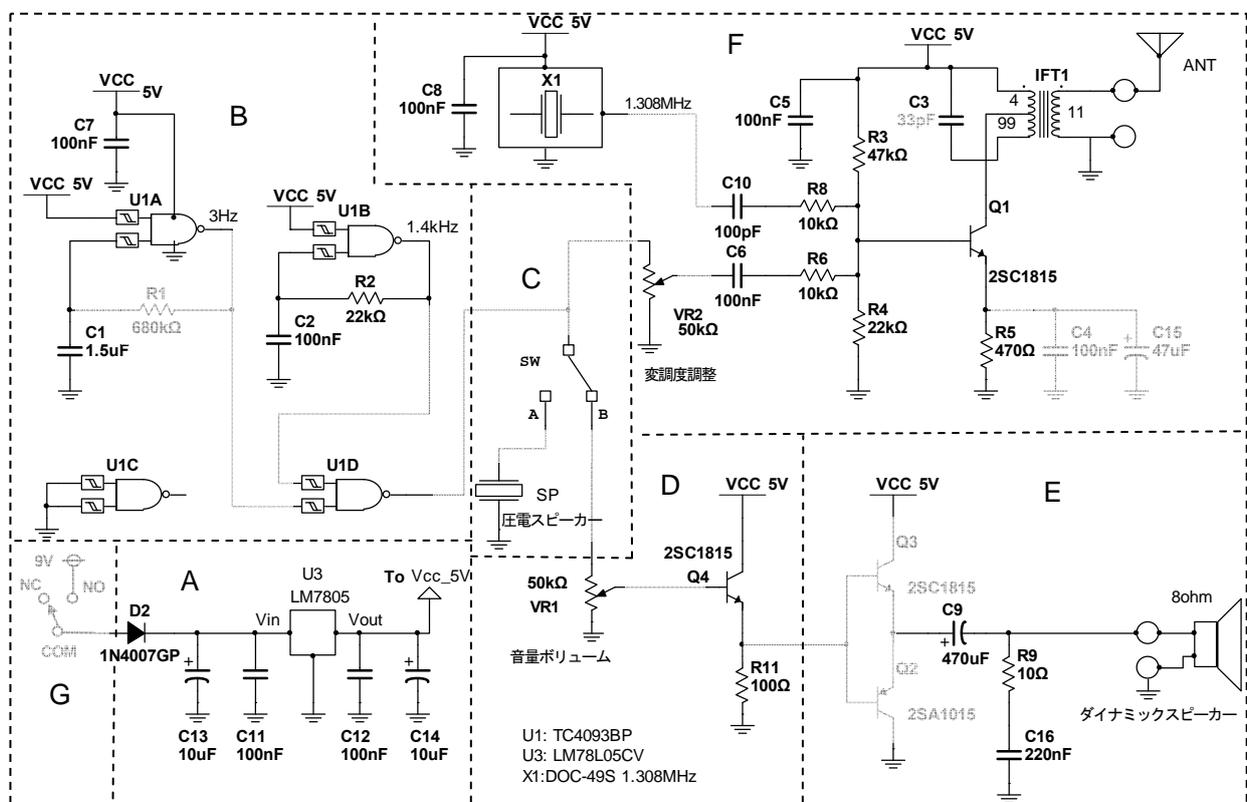


図2 アラーム装置の回路図

くするために挿入されている。

ブロック E B 級プッシュプルパワーアンプ回路とダイナミックスピーカー

Q2, Q3 のトランジスタでプッシュプルパワーアンプが構成され、ダイナミックスピーカーを駆動する。R9, C16 は、スピーカーより出る逆起電力を吸収するための回路である。

ブロック F AM トランスミッタ回路

パルス発振回路で作られたアラーム信号は、VR2 を通って、トランジスタ Q1 で構成される振幅変調回路に入る。また搬送波 1.308MHz は発振モジュール X1 より出力され、振幅変調回路に入る。2 つの信号は合成された後、トランジスタのベースで検波され、中間トランス IFT1 とコンデンサ C3 の共振回路を通して AM 波となり、アンテナに出力される。

□3. 教材のコンセプト

教材は次の点を考慮して開発された。基本事項は、赤外線センサ教材のコンセプトと同じ内容を引き継いでいる⁴⁾。

・電子回路の重要技術を用いる

教材で用いた回路は、パルス発振回路、緩衝増幅器、プッシュプルパワーアンプ、振幅変調回路であり、アナログ回路を学ぶ上で重要な回路を選んだ。また学生に多くの技術を学習させるため、前回製作した赤外線センサで用いた技術内容と重ならないようにした。

・適切な難易度である

基本回路を組み合わせて構成されており、学生が教科書や座学で学習した授業ノートで調べやすい回路にした。

・安定動作する

配線や引き回しが少々荒くても安定して動作するように、トランスミッタは、1MHz の低い周波数を用いた。また、アンプ部は、高ゲインアンプを使わないようにした。

・汎用部品を用いる

学生が回路の動作理解を深めるために、また教員が部品を入手しやすいように、専用 IC を用いず、汎用部品を用いた^{注1)}。

・製作した赤外線センサと連結できる

このアラーム装置は、前期に製作した赤外線センサの後に製作する。それぞれ独立して製作されるが、最後にそれら 2 つを連結することにより、実用的な防犯センサシステムが完成し、これまでの努力が一

体となり大きな達成感を得ることができるようにした。

・安価である

学生の負担を考えなるべく安価にした。本教材の部品価格は 1 セット約 1200 円である。

・改良の余地を残す

学生に提供した回路には、改良したくなるように、あえて使い勝手の悪い箇所が含まれている。

・一般的な測定器で評価できる

評価に使用する測定器は、他の高専でも実施しやすいように、一般的なものとした。必要な測定器は、電源、デジタルマルチメータ、オシロスコープである。

・ブロックごとに完成度を確認できる

圧電スピーカーを用いてブロックごとに完成度を簡単に確認できるようにし、不具合の箇所を分かりやすくした。

□4. 授業概要

この教材は、本校電気情報工学科 5 年生の回路設計（電子）の授業で実施される。5 年生では、電子系と情報系の 2 つのコースに分かれ、回路設計（電子）は、電子系コースの必修得科目である。授業は通年科目で、前期で赤外線センサの製作が行われ、本教材であるアラーム装置は後期で製作される。授業は、前期・後期それぞれ 1 コマ 90 分 15 回である。

1 クラスの人数は約 16 名で、指導員数は、教員 1 人と技術職員 1 人である。作品は個々の製作技能を高めるためと製作意欲を高めるために、一人一作品作らせる。学生の問題解決能力の育成のために、学生より質問されても、なるべく答えは教えず、ヒントのみ与え、文献やネットで調べるように促す。授業の最初の 15 分程度で、製作する上で必要と思われる知識や、座学の電子回路で学んだことのおさらいをする。1 グループはコミュニケーションが取りやすい 3～4 名とする。グループ分けは公平性が出るように、くじで決定する。

□5. 実習の進め方

回路は、図 2 のブロック A より F の順で製作する。初期に学生に渡す回路図は、グレーの部分が隠されており、与えられた仕様より自分で回路設計や配線をする必要がある。

また、初期に渡す回路は、ブロック F は四角で囲

んだブロック図のみの記載となっており、作業の早い者が、次の製作に進めないようにしてある。早くできた者は、グループ内の進行の遅い者を教えるように指導する。これにより、協調性を育むと同時に各個人の進行差を少なくし、全体の進行度を揃えて、指導をしやすくしている。以下に授業の指導手順とポイントをまとめる。()の中の数字は作業に要する概略の授業回数である。

i. 電源部の製作とパルス発振回路 (2)

最初の授業では、学生の誰もが早く作ってみたいとの気持ちを持っている。そこで部品とアラーム音の仕様書を配付後、説明なしですぐにブロック A の電源部とブロック B の 1.4kHz のパルス発振回路を製作させる。回路が示されているため、アドバイスなしで製作できる。ここまで完成したら、U1B のパルス発振回路の出力部に圧電スピーカーを接続させる。これにより、「ピー」という 1.4kHz の音を聞くことができる。学生は、この初期段階で自分の作った回路で音を出す経験をし、教材に強い関心を示す。ここで音が出なければ、回路に不具合箇所があることを早期に確認することができる。

ii. アラーム回路の製作 (1)

パルス発振回路は、座学で学んでいるため、簡単な動作のおさらいをした後、3Hz の発振回路 U1A を設計させ、そして 2 つの周波数を U1D で合成させアラーム回路を完成させる。この時点で、U1D の出力に圧電スピーカーを接続して、「ピッピッピッ」の音が出ることを確認する。最後に各出力をオシロスコープで測定する。

iii. 緩衝増幅器とパワーアンプの製作 (3)

アラーム音をダイナミックスピーカーで鳴らすことを課題として与える。

Q2, Q3 のグレーの部分電子回路の座学で学習した知識より思い出させ、自力で配線させる。自分らで考えた回路が正しいかどうかは回路シミュレーションにて確認する。その後、設計した回路を製作し、ダイナミックスピーカーで音を鳴らして動作確認をする。

音が出ない場合は、ブロック D の緩衝増幅器の出力に圧電スピーカーを接続し、音を確認、不具合箇所が、ブロック D なのか、ブロック E なのかを推定させる。

iv. スピーカーの切り替えと音量調節 (1)

仕上げとして、ブロック C の圧電スピーカーとダイナミックスピーカーの切り替えと、音量調節ができるように課題を与える。ボリュームのピン配置は

学生にテスターで測定させて考えさせる。

v. AM トランスミッタ回路の製作 (4)

振幅変調回路は電子回路の授業で学習済みであるが、難易度がやや高いため、再度動作原理をおさらいする。学生に与えた回路には、抵抗値 R5, R3, R4 とコンデンサ C3 の定数が書かれていない。これは電流帰還バイアス回路と共振回路の計算をさせるためであり、仕様書には、コレクタ電流値 $I_c=2mA$ と搬送波 1.3MHz の条件を与える。回路が完成したら、各バイアス点の電圧を測定し、その後 IFT1 のコアを回してアンテナ端子の振幅が最大になるようにオシロスコープで測定しながら調整する。また、仕様書には変調度 $m=50%$ が指定されており、要求された変調度に VR2 を調節する。その後、簡易アンテナ (リード線 1.5m) を接続し AM ラジオでアラーム音が出ることを確認する。正しく作られていれば受信距離は数 m 程度得られる。最後に送信出力のパワー上げを課題として与える。バイパスコンデンサ C4, C15 を追加することにより、受信距離は、2 倍以上となる。この改良によりバイパスコンデンサの必要性を理解させる。

vi. 赤外線センサとの連結とケースの組込 (1)

前期に製作した赤外線センサの拡張端子を用いて、センサが反応した時にアラーム音が鳴るように課題を与える。図 2 のブロック G のスイッチは、前期に製作した赤外線センサの拡張部のリレー接点部である。アラーム装置の電源+をコモン端子 COM に、電源+9V をノーマリオープン端子 NO に接続する。

動作を確認したらケースに製作したシステムを入れて完成させる。図 3 は、学生が完成させた防犯センサシステムの作品である。

vii. 早く終了した者に対する課題 (2)

改良案は作業終了しそうな 2 週間前に提示する。

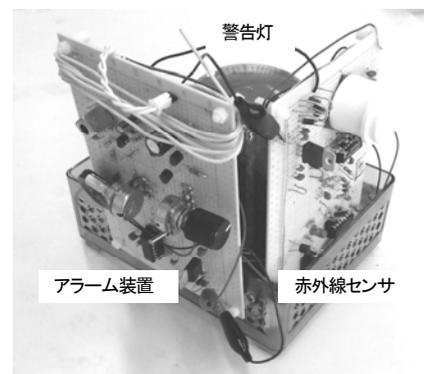


図 3 完成した防犯センサシステム

以下は簡単にできる改良案の一例である。()は改良方法である。

- ・アラーム回路を AND ゲート 2 つで作る。(U1B の 5V をはずし、そこに U1A の出力を接続すると、U1B よりアラーム音出力される。)

- ・音量ボリュームの調整

現状の回路では、音量ボリュームを半分ぐらいまで回転しないと音が出ず、使い勝手が悪い。少しの回転で音が出るように改良する。(ボリュームとグラウンド間に 50k Ω 程度を入れることにより、ボリュームの回転量と音の大きさは適切になる。)

- ・電源を逆に接続しても動作するようにする。(逆接防止ダイオード D2 をダイオードブリッジ回路にする。)

志の有る学生に対しては、自由に好きな作品を製作させる。改良した作品には、加点を与えることを学生に約束する。また作業の遅れている者は、この時間を使って完成させる。

viii. 発表会 (1)

グループ単位でパワーポイントを用いて発表する。発表時間は、1 グループ 10 分、質疑応答 5 分である。発表内容は、作品紹介、理論、測定結果、考察、発見、工夫点、感想を発表させる。

6. 学生の授業の様子

学生は、前期の赤外線センサの製作で多くの失敗を体験している。1 つ間違えると手直しに何倍もの時間が掛る。レイアウトを考えずに作ると裏面ジャンパー線だらけになり、回路の見直しがしづらくなるばかりか、壊れやすい。これらの経験より、学生は新しい基板を前にすると今度は失敗しないようにと慎重に作業をする。製作前にジャンパー線をなるべく少なくなるようにレイアウトを考えるようになった。また問題にぶつかると資料をネットより集め、グループ内で互いに情報を交し合いながら製作する様子がよく見られるようになった。

アラーム回路の製作では、ほとんどの学生がこれまで音の出る物を自作した経験がないため、圧電スピーカーより出る音に感動し、その後の実習の良い動機付けとなった。

パワーアンプの製作で学生は、自分で設計した回路のシミュレーション結果が理論値と一致することに感心すると共に、回路シミュレーターの便利さと必要性を感じていた。

AM トランスミッタの製作では、ほとんどの学生

が無線で信号を飛ばすことを初めて体験する。座学で振幅変調は十分学習したものの、自分が製作した回路によって電波が飛んでいくことが信じられない様子であった。実際に動作させてラジオよりアラーム音が出た瞬間は、誰もが驚きを隠せず、「はっ」とする姿が見られた。

教員のアドバイスなしで動作させることができた学生は 2/3 であり、前期の 1/3 に比較すると 2 倍となり、1 年の授業を経て技術の向上が見られた。また自力で配線の間違ひを見つける学生が多かった。これは、圧電スピーカーによる動作チェックにより、進捗段階ごとに音で簡単に回路動作を確かめることができたからと考えられる。

完成後に学生は、試作品を教員に見せて評価を受ける。そこで多くの学生は、ジャンパー線を使わずきれいに製作できたことや、自力で完成させたことを PR した。前期の失敗から多くを学び、それを後期に活かすことで自身のスキルに自信を得た様子であった。

改良の時間では、提案した改良案に対しては多くの学生がチャレンジしたが、部品を自分で購入してまで行う者は少なく、改良を行うには、時間不足や、知識レベルのハードルの問題があるように感じた。そのような中、学生が考えた改良作品を次に紹介する。

- ・コンデンサマイクを用いて音声を AM トランスミッタで送信できるようにする。
- ・CDS を用いて、夜のみ赤外線センサが反応する。
- ・アラーム音を救急車の「ピーポーピーポー」のサイレン音に替えて鳴らす。

7. アンケート結果

図 5 は本授業に対する学生 16 人に対して行ったアンケート結果である。質問内容は「教材に興味を持ってましたか」、「この授業は何点ですか」の 2 つで、5 段階評価 (5 が最も良い) で行った。

「教材に興味を持ってましたか」の問いに対しては、平均 4.0 であり、多くの学生が教材に興味を持ったといえる。「この授業は全体で何点ですか」の問いに対しては、平均 3.83 であった。どちらの質問にも全員が 3 以上の評価を付けていることから、多くの学生がこの教材に満足して学習しているといえる。

また授業の感想として次のコメントがあった。「座学で学んだ電子回路の知識をどのように活用するか分かった」、「回路設計の授業は貴重な授業だと思

う」,「授業時間をもっと増やして欲しい. 2 倍にしてもその価値は十分にある」,「グループワークのおかげで, みんなで相談し合って完成させることができた」,「授業で学んだ回路が多く出てきたので理解しやすかった」,「さまざまな回路が含まれており勉強になった」と肯定的なコメントが多かった. 否定的なコメントとしては, 次のようなものがあった. 「改良時間が欲しい」,「最後の発表は個人でさせて欲しい」,「アナログ回路は難しい」

8. あとがき

アナログ回路の教育教材として開発されたアラーム装置の回路と, それを用いた授業方法と, その実践結果について述べた. 本論文で提案した教材は, これまでに報告のあった赤外線センサ回路の製作に続く後編にあたるものであり, 学生は, これら2つの回路の製作を通してアナログ回路の重要技術の多くを学ぶことができる. 提案した教材は, 学生に適切な難易度であり, 汎用部品で構成されており, 汎用測定器で評価でき, 安定に動作し, 安価であるという特徴を持っている. また提案した授業方法を実施することで, 学生の問題解決能力や協調性やコミュニケーション能力を育成できることが授業中に確認された. 授業後のアンケートでは, 多くの学生がこの教材に興味を持ち, 授業に満足する結果を得た. 本論文で提案した教材と授業方法は, 高専学生のアナログ回路の教育に大いに役立つものである.

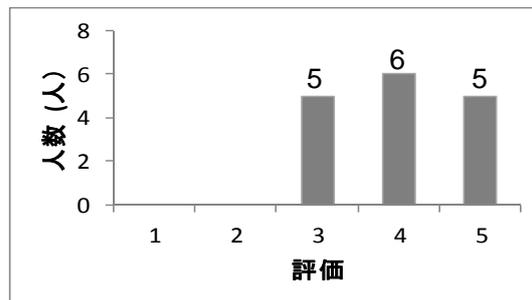
□参考文献

- 1) 雄細川 靖他:組み込みマイコンと電子回路と Windows PC を用いたシステムづくり実験の実践と評価, 高専教育, No. 33, pp.25-30 (2010)
- 2) 塩野計司他:創造性と実践力の発揮を促す実験科目の構成, 高専教育, No. 31, pp.433-438 (2008)
- 3) 辻原治:創造プログラミング演習の実践とその評価, 高専教育, No. 24, pp.229-234 (2001)
- 4) 辻正敏 アナログ回路設計の教材開発と実践(赤外線センサの製作), 高専教育 No. 34, pp.441-446 (2011)

□注記

注1) 特殊部品は次の2つである. トランス OSC(10mm 角赤)は, AM ラジオの発振用部品で, サトー電気または共立電子より購入できる. 発振モジュール DOC-49S1. 308MHZ のメーカーは, 大真空糊である. 入手できない場合は, セラミック発振子 (DECRJ1230A:東光)を用いて発振回路に置き換える.

Q.教材に興味を持てましたか



Q. この授業は全体で何点ですか

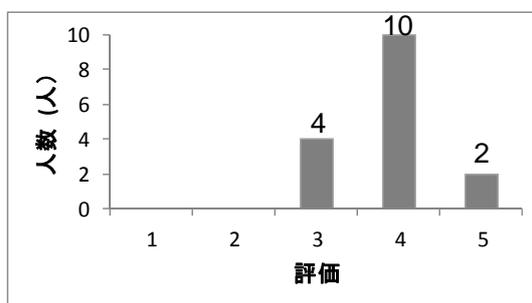


図5 学生アンケート結果