

1 石アンプ製作を通じた電子回路工学教材に関する一検討

Consideration of Electronics Circuit Engineering Training Tools

for A Transistor Amplifier

五十嵐 智彦*¹

IGARASHI Tomohiko

要約 制御に関する分野では、設備の自動化と相まってセンサ活用技術の重要度が増している。そのため、アナログ信号処理に関する訓練も今まで以上に確実に実施する必要があると思われる。一方で、アナログ電子回路の分野は、実習課題と実際の応用との関連が認知されにくく、一般に学生からは興味もたれにくい分野でもある。本稿では、学生のアナログ電子回路分野への興味を喚起するため、簡単かつ直感的に信号増幅が体感できる 1 石アンプの製作課題を通じた実習課題について検討したので報告する。

1 はじめに

電気エネルギー制御科では、電気工学や制御技術を中心に幅広い分野の訓練を実施している。中でも、制御に関する分野では、センシング技術の進展が目覚ましく、アナログ電子回路に関する訓練もその重要性を増してきている。一方、アナログ電子回路の分野は、能動素子を扱うことから難易度が高く、その教科書も初学者にとっては理論と応用の結びつきが理解されにくいことが多い。小信号増幅回路の設計に関する教材は極めて数多くのものが存在するが、一般的には、正弦波の入出力の波形を測定することによって、設計した利得が得られているかという評価にとどまっているものが多い。そのため、初学者にとっては、そもそも増幅回路が現実にもどのように応用されているかが分からず、増幅回路の意義が十分に理解されないまま、座学の授業や実験が進行してしまう例も散見される。そこで筆者は、専門課程 1 年生の初学者を対象に、バイポーラトランジスタによる信号増幅回路の動作を、具体的な応用回路の題材を通して、ステップバイステップで体感的な理解を伴いながら学ぶことができるように工夫した実習課題について検討した。さらに、実習の進め方には、アブダクティブ（仮説形成的）な手法を取り入れ、実験を一つ行うたびに新たな事実（気づき）や問題点が生じ、それを解決していくというア

プローチによって実習が進んでいくという構成をとることができるようにした。本稿では、実際に組んだ回路が目や耳で分かる形で動作することによって、電子回路設計の面白さが受講者に伝わるように最大限留意し、バイポーラトランジスタによるスイッチング回路と信号増幅回路の教材として、CdS センサを使用した LED のスイッチング回路 (ON/OFF 回路) と、マイク・スピーカを使用した 1 石アンプを題材とした教材について検討したので報告する。

2 CdS センサを使用したスイッチング回路

バイポーラトランジスタのもっとも単純な応用回路は、トランジスタの飽和領域と遮断領域の 2 つの領域を使用したスイッチング回路である。図 1 に CdS センサを使用した応用回路を示す。この回路に使用した CdS センサは、明抵抗が $1\text{ k}\Omega$ 、暗抵抗が $50\text{ k}\Omega$ のものである。この回路は、CdS センサに光が当たっているときはベース電流が流れないために負荷側の LED は消灯し、光が当たっていないときはベース電流が流れ、

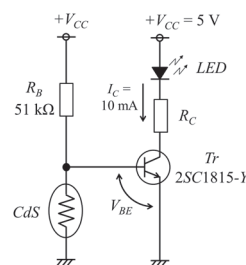


図 1 CdS センサを用いたスイッチング回路

*1 電気エネルギー制御科
and Energy Control

Department of Electrical

LEDが点灯する。これは、電気工事分野では自動点滅器に相当するものであり、第二種電気工事士試験の勉強をした学生にもなじみが深いものである。学生がこの回路を作製すると、CdSセンサに当てる光の量を微妙に調整するによりLEDの明るさも変化させられることに気がつく。この実習を通して、バイポーラトランジスタは有接点リレーなどとは異なり、線形領域を有するということを体感的に理解することができる。

3 イヤホン出力とした1石アンプ

バイポーラトランジスタの線形領域を使用すると信号増幅回路を作製することができるが、各種の参考書では、実際にスピーカ等の負荷を接続して信号増幅しているものは存外に少ない。ここでは、トランジスタ1石のみを使用した、最も簡易的な信号増幅回路を題材とした。一般に、バイポーラトランジスタは温度特性が悪いので、その安定性を向上させる目的でフィードバック機構を有する回路を構成するが、フィードバックをかけると利得が下がるため、ここではフィードバックをかけない固定バイアス法により回路を構成した。図2に回路図を示す。イヤホンには、ハイインピーダンスであるセラミックイヤホンを使用した。また、イヤホンがハイインピーダンスであるとき、出力側結合コンデンサ C_o の充放電が行われなため、負荷側に出力抵抗 R_o を設けた。 R_o の値はアンプの出力抵抗 R_c と整合をとるために R_o と同じ $1\text{ k}\Omega$ とした。図2に示す回路の入力信号はファンクションジェネレータにより発生させるが、入出力信号の測定後には、図3に示すようにマイク ($8\ \Omega$ スピーカをマイクとして使用する) を接続すると、マイクに向かって発声した音

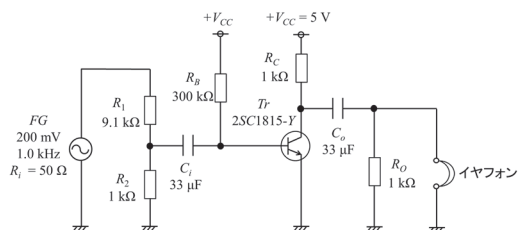


図2 信号増幅回路 (高Zイヤホン出力)

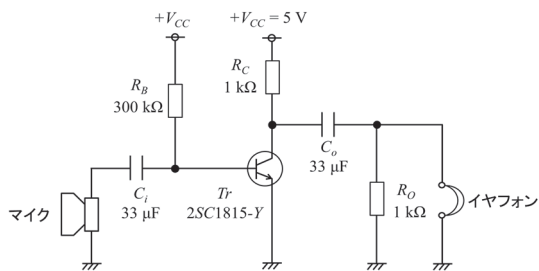


図3 信号増幅回路 (マイク入力)

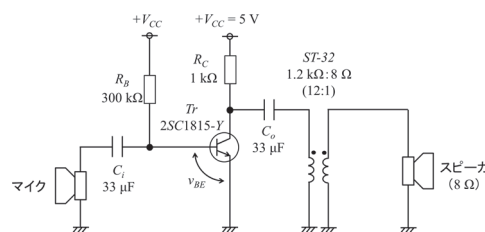


図4 信号増幅回路 (変成器整合)

声そのままイヤホンから聞こえてくるようになり、信号増幅が体感的に習得することができる。しかしこの回路では、出力のセラミックイヤホンをインピーダンスが $8\ \Omega$ のスピーカにつなぎかえると、たちまち出力電圧が下がり音声が聞こえなくなってしまうことが確認できる。これは、出力側のインピーダンス整合が取れていないことが原因である。

4 スピーカ出力とした1石アンプ

アナログ電子回路の分野で特に重要である「インピーダンス整合」の概念を習得させるため、図4に示す変成器結合による回路を次の題材とした。本来の変成器結合型増幅回路では、結合コンデンサを設けずに変成器をトランジスタのコレクタ側に接続するのが一般的であるが、ここでは、図2や図3の回路との比較を容易にするため、あえて結合コンデンサ C_o を設け、その出力側に変成器を接続する構成とした。変成器には、ST-32 (巻線比 12:1) を使用した。このようにすると負荷側の一次側換算インピーダンスが 12^2 倍 (144 倍) に大きくなり、概ね $1\text{ k}\Omega$ 程度となることから、整合をとることができ、変成器を使用しない場合と比較すると出力側の電圧は大きくなる。学生は、変成比が 12:1 であるので、変成器を取り付けることによって2次側電圧が12分の1に下がるはずであると誤認していることが多い。本実験回路を作製することによって整合による電圧上昇の様子が確認できる。これらのことは、実際に回路を作製することによって入出力インピーダンスに関する理解を促進させることができる。

5 まとめ

アナログ電子回路に関する理論をアブダクティブに学習できるよう、いくつかの応用回路を基に構成し、教材開発を試みた。今後は、電流帰還バイアス回路など、より応用的な回路についても検討していく。

参考文献

- 1) 雨宮好文、「基礎電子回路演習 (1)」、オーム社、平成元年