

鉱石ラジオ実験用アンプ回路の製作

加藤 康弘^{*1}

A design of audio amplifier circuit board for experiment of crystal radio

Yasuhiro KATO

This paper reports a design of audio amplifier circuit board for experiment of crystal radio, and evaluates an effect of the ease of experiments when it used. Typical crystal radio (germanium radio) does not amplify the signal. Thus, that output sound is faint. Meanwhile, our building has repaired in recent years. However in that time, my experiment class was too noisy to hear crystal radio. Hence, my students could not experiment smoothly. Therefore, I designed an audio amplifier circuit board that can add to legacy crystal radio experiment equipment. Then uses the amplifier, students are able to experiment smoothly even in noisy classroom. Moreover, the amplifier improved success rate of demodulation in the case of using a natural ore. The successful experiences that listen to the radio with a natural ore gives a good effect to beginner engineer's learning motivation.

KEYWORDS : Experiment equipment, Audio amplifier, Crystal radio, Op-Amp

1. はじめに

電気電子創造工学科 2 学年の実験テーマ「鉱石ラジオ」は、自分たちで組み立てた AM ラジオで放送を受信することを通して、電波通信の仕組みを理解すると共に、共振回路に関する計算手法を習得することを課題としている。この実験で組み立てるラジオにはアンプ回路(増幅回路)が無く、聞こえる放送の音量はとても小さい。一方で、ここ数年は改修工事による騒音が増え、スムーズな実験進行に支障をきたしていた。そこで、既存のラジオに後付けで追加できるアンプ回路を設計・製作した。本稿ではこのアンプ回路の詳細と、アンプ回路を追加したことによる検波成功率の改善について報告する。

2. アンプ回路の製作

2.1 性能要件と設計思想

現在、鉱石ラジオ実験装置は学研 大人の科学シリーズの「磁界探知式鉱石ラジオ」を、コンデンサ部分を変更して使用している。(図 1)

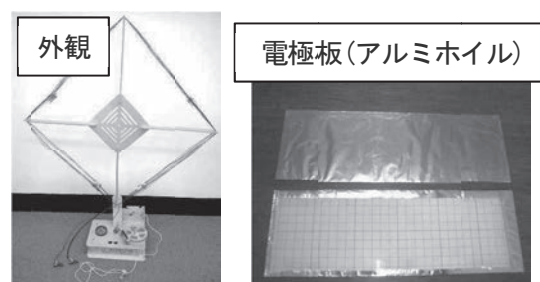


図 1 鉱石ラジオ実験装置

^{*1} 技術室(Technical Office), E-mail: kato@oyama-ct.ac.jp

このラジオの回路図を図2に示す。アルミホイルと厚紙からなる電極板をクリアホルダ（誘電体）に入れて製作する可変コンデンサと、コイルを兼ねたアンテナからなる同調回路の出力信号を、鉱石又はゲルマニウムダイオードとコンデンサで検波し、セラミックイヤホンで音に変換している。そのため、今回製作したアンプ回路は検波回路とセラミックイヤホンの間に挿入し、信号の増幅をすることになる。

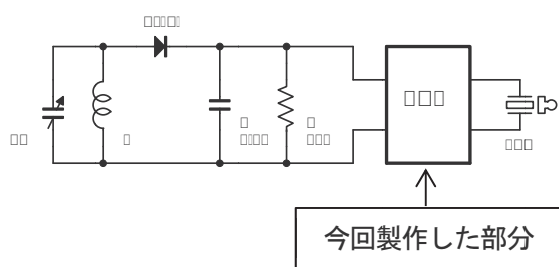


図2 鉱石ラジオ実験装置回路図

この場合の性能要件は大まかに次の通りになる。

- セラミックイヤホンと同等以上の高入力インピーダンス
- イヤホンが高インピーダンスのため、出力電流はあまり流れない
- 音声周波数帯域はAMラジオに準ずる
- 電圧増幅度は、イヤホンの効率が不明なことから、受信環境によって振幅が変化するため、調整して決定する

その後の調べによると、セラミックイヤホンのインピーダンスは1k ~10k 程度である事¹⁾、AMラジオの音声周波数帯域は100Hz~7.5kHzである事²⁾が分かったため、これを考慮した。回路設計においては安価でシンプルな構成を心掛けた。これは限られた予算の中で4個の回路を製作しなければならない事と、運用中の故障を減らし、故障時には原因を特定しやすくするためである。

2.2 設計したアンプ回路

前述の性能要件と設計思想から、単三電池で駆動するオペアンプ回路を考えた。オペアンプを用いた回路は高入力インピーダンスと安定動作が容易に実現できるが、出力電流は小さい。スピーカを駆動する場合はパワートランジスタ等で出力電流を強化するが、セラミックイヤホンはインピー

ダンスが高いため直接駆動できる。そのため、シンプルに構成できると考えた。

設計した回路図を図3に、部品配置図を図4に示す。鉱石ラジオからの入力信号をボリュームで減衰させ、2回路入りオペアンプの1回路目でバッファを形成し、2回路目で増幅する。電源は単三電池を2本直列接続し、中点を仮想グラウンドとすることで、シンプルな±電源を実現し、電源由来のノイズが殆ど無いためバイパスコンデンサを省略している。またラジオ本体、アンプ回路共にアースから完全に浮いた状態であるため、直流分をカットするカップリングコンデンサは不要になる。

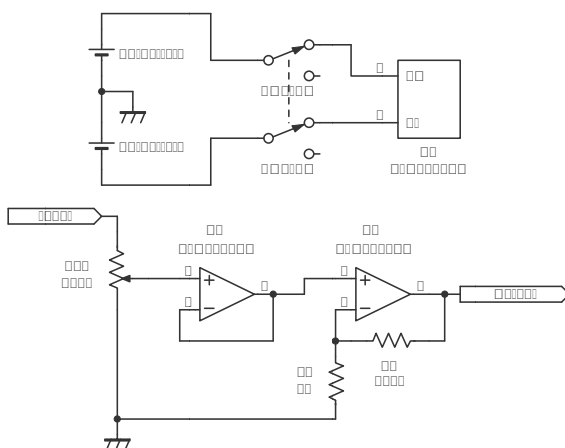


図3 アンプ回路図

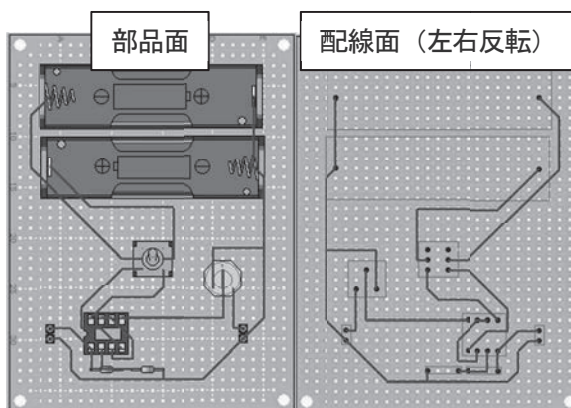


図4 部品配置図

この回路は、使用するオペアンプの選定に注意が必要である。電源は単三電池を用いているため電圧は公称±1.5Vとなるが、この電圧で動作保障のあるオペアンプは超低電圧版となり、高価であることが多い。今回用いたオペアンプは安価な

JRC NJM4580DD であるが、動作保障は $\pm 2V$ 以上であるため定格外で動作させている。オペアンプの選定はデータシートに記載されている等価回路を見比べて、電源間に直列に入るトランジスタが少ない物を選択した。定格外ではあるが、実際の動作において聴感上の音の歪みは感じられない。なお、ボリューム最大時の音量を聞きながら調整した電圧増幅度は20dB（100 倍）となった。

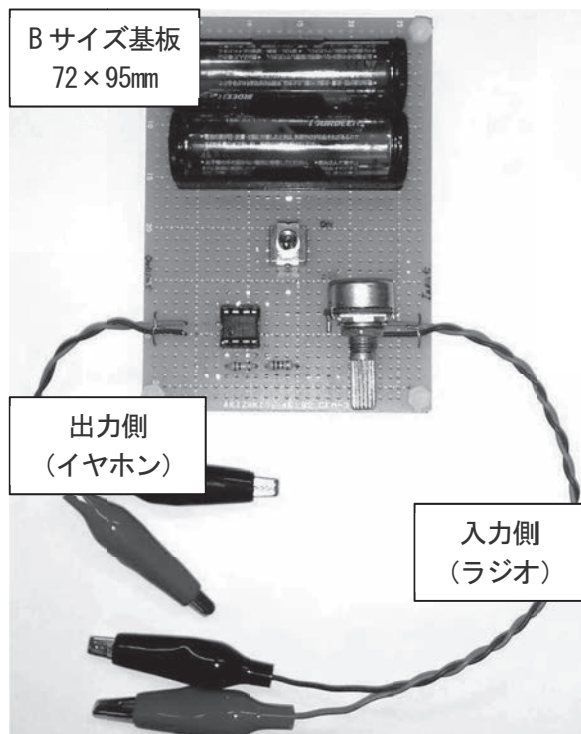


図5 アンプ回路の外観

表1 アンプ回路のパーツリスト

名称	個数	価格[円]
オペアンプ NJM4580DD	1	36
カーボン抵抗 (1k , 100k)	2	2
小型ボリューム A50k	1	40
電池ボックス 単 3×1 本用	2	60
6P トグルスイッチ	1	90
ユニバーサル基板	1	100
みの虫クリップ (赤黒)	4	80
プラスペーサ、ナット	4	50
配線 (AWG24)	若干	-
合計		458

※秋月電子通商 通販 HP H27 年 7 月時の価格

表1 に使用したパーツのリストと価格を示す。価格は 500 円以内と非常に安価に構成できた。実際に使用する際は、消耗品として単三電池が 2 本必要となるため、これよりは若干費用がかかる。

3. 実験での使用と成功率の改善

製作したアンプ回路を、平成 27 年度後期の実験から使用した。この時も改修工事の騒音はあったが、実験は滞りなく行える様になった。また使用開始に際して、アンプ回路の有無で実験の進めやすさに明確な差が生ずるかを確認するため、本実験中最も難易度が高い「鉱石での検波」にて検波が成功するかどうかのデータを取得した。

3.1 データの取得方法

「鉱石での検波」では、ゲルマニウムダイオードを天然鉱石に置き換え、天然鉱石の表面に電極を当てて整流できる位置を探し、放送を受信するという内容である。受信できた場合は鉱石表面への電極の当たり方をスケッチして報告する。天然鉱石はダイオードより整流効率が落ちるため音量はさらに小さくなり、聞こえる位置を探す際は運の要素も大きいため、以前は検波できないまま実験が終了してしまう事も多かった。

この実験項目において、27 年度の電気電子創造工学科 2 年生 (79 名 40 班) を対象に、前期実施分はアンプ回路なし、後期実施分はアンプ回路ありとして、鉱石での検波が成功するかどうかのデータを取得した。なお「検波成功」についてはイヤホンで放送が聞こえたかどうかで判断しているが、学生からの申告後に筆者も確認し、両者が聴感で感じ取れた場合のみ「検波成功」としている。

3.2 実験成功率の改善

表2 に示すとおり、検波成功率はどの鉱石でも 40%～75%上昇した。さらに、少なくとも 1 つの鉱石で受信成功した班は、前期の 25%に対し後期は 100%となり、後期は全ての班が鉱石での検波に成功したことになる。

鉱石で検波したラジオ放送を実際に聞くと、アンプ回路を通してはなお音が小さいことが多い。このことから、今までは鉱石で検波できていたとしても聴感で確認できなかったケースが、アンプ

回路により確認できるようになったことが、検波成功率の上昇に貢献していると推察できる。

3) 鈴木, 田中, 今成, 石原 : 学習意欲の向上を目指した電気情報工学実験の改変, 論文集「高専教育」, 第 30 号 pp305-310 (2007).

表2 「鉱石での検波」受信成功率

鉱石の種類	前期 (アンプなし)	後期 (アンプあり)
黄鉄鉱	0/20 班 (0%)	15/20 班 (75%)
黄銅鉱	2/20 班 (10%)	10/20 班 (50%)
磁鉄鉱	1/20 班 (5%)	9/20 班 (45%)
方鉛鉱	2/20 班 (10%)	13/20 班 (65%)
少なくとも1つ	5/20 班 (25%)	20/20 班 (100%)

【受理年月日 2016年 9月29日】

4. おわりに

今回製作したアンプ回路は、安価でシンプルな回路構成にすることができ、実験に使用したところ、騒音下においても十分に実験を進めることが可能になった。また、今まで成功することが困難であった「鉱石での検波」の成功率を大幅に改善できた。

実の所、本実験において鉱石での検波は必ずしも成功する必要はない。本実験の一番の目的は共振回路に関する計算手法を習得する事である。鉱石での検波は応用実験であり、受信できなかった場合は、鉱石のどのような部位が検波に向いていると考えて実験を行ったか、各自の考えを考察・報告させている。しかし学生達が、天然鉱石でもラジオ放送が受信できる不思議に興味を抱き、実際に受信できた成功体験を得ることは、本実験が平成 18 年度に導入された時のねらい³⁾である「学生の興味を惹く実験テーマ」であることの大切な要素であると考えられる。電気電子創造工学科は 3 年以降に電子回路や半導体物性の科目が開設されているが、この体験がこれらの教科の学習意欲向上に繋がってくれることを期待している。

参考文献

- 1) ゲルマラジオの試作工房：セラミックイヤホンの特性, URL:<http://www.crystal-set.com/report/s100.htm>
- 2) 鈴木陽一：AM放送とFM放送, 総務省 放送ネットワークの強靱化に関する検討会(第 2 回会合)参考資料 3, URL:http://www.soumu.go.jp/main_content/000216453.pdf, p6 (2013).