

電波を利用したエネルギーハーベスト

龍尾市立龍尾第三中学校 三年 石橋正教

1. 目的

災害時や停電したときは電気を自由に使うことができない。そこで、電源を使わずにゲルマニウムラジオに着目した。

ゲルマニウムラジオは電源を使わずにクリスタルイヤホンでAMラジオを聞くことができるため、クリスタルイヤホンには電圧が加わっていると考えられる。ゲルマニウムラジオの仕組みを利用して身の周りを飛んでいるAMラジオの電波を収穫して、わずかなエネルギーを電力に変換して活用(エネルギーハーベスト)することができる。非常時の一時的な電力確保ができると考えられる。

また、ゲルマニウムラジオは電源を使わずにAMラジオを聞くことができるものの、クリスタルイヤホンの音量では、皆でAMラジオを聞くことができない。すなわち、災害時の避難場所等で情報を全員に送ることが難しい。人数分のゲルマニウムラジオを準備するのは大変であるため、皆で聞くことできるように、電源を使わずにスピーカーからラジオの音を出力できる回路を作製する。

2. 理論

AMラジオはラジオ放送の音の波形を電波の振幅の変化(振幅変調)方式で伝えている。AMラジオは振幅の変化が別れた場合は雑音が発生しやすい。二つ以上のラジオ局の電波が重なったままでは、混信して内容が分からなくなってしまう。そのため、AM放送では、音の品質が多少失われても聞き取れるニュース、トーク番組、スポーツ中継や道路交通情報などが多く放送されている。

ゲルマニウムラジオは、ゲルマニウムダイオードによって検波をするAMラジオ受信機であり、トランジスタや集積回路などによる増幅を行わない無電源のラジオである。ゲルマニウムラジオはアンテナで受信した電波のみの電力を利用するため、検波によって得られる音声信号は非常に微弱である。そのため、イヤホンも微弱な電流を音声に変えられるのが必要になる。そのため、一般的に、クリスタルイヤホンが用いられている。ゲルマニウムラジオは、図1に示すように、まずアンテナで空中を伝わってきたAMラジオの電波を受信する。次に、アンテナで受信した電波の中からインダクタとコンデンサの同調回路で目的のAMラジオ放送の1つを選局する。そして、選局したラジオ放送の電波から検波回路で音声信号を取り出す。最後に、音声信号を出力回路で音に変えていく。

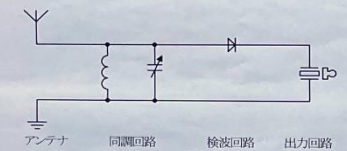


図1 ゲルマニウムラジオの回路図

3. 実験の準備

3-1 ダイオードの選定

ゲルマニウムダイオードを使っている理由を調べたところ、他のダイオードだと順方向電圧が高いため、微弱な電流は流れないためだと分かった。いろいろなダイオードの順方向電圧を調べるとともに、実際に電波暗室で一定の電力の電波を出力しているときに受

信した電力を比べて実験に使うダイオードを選ぶ。図1の回路のダイオードのところに、ゲルマニウムダイオード(1n60)、スイッチングダイオード(4148)、整流用ダイオード(u2010)、ショットキーバリアダイオード(11eq04)、発光ダイオード(赤色)を接続して実験した。

順方向電圧の実験結果を図2に示す。順方向電圧が高い順にショットキーバリアダイオード(11eq04)、ゲルマニウムダイオード(1n60)、整流用ダイオード(u2010)、スイッチングダイオード(4148)、発光ダイオード(赤色)の順になっている。特に順方向電圧が低いショットキーバリアダイオードとゲルマニウムダイオードを使って電波暗室で実験したところ、ゲルマニウムダイオードはよく聞こえたが、ショットキーバリアダイオードは高周波だと音が聞こえにくくなった。オシロスコープを用いて波形を観測したところ、ショットキーバリアダイオードは、1MHz以上の高周波数帯では検波できておらず、波形がひずんでいた。以上の結果から、これ以降の研究では、ゲルマニウムダイオード(1n60)を使用する。

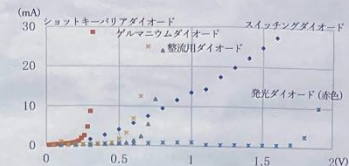


図2 ダイオードに順方向の電圧を加えたときの電流

3-2 インダクタの選定

文献[1]、[2]からゲルマニウムラジオはインダクタの種類で音の大きさや聞きやすさが変わることが分かった。そのため、インダクタの違いによる出力音声の聞き比べ、実験に使うインダクタを選ぶ。図1の実験回路を用いて、インダクタのところに、マイクロインダクタ(330μH)、パーアンテナ 2x59m(590μH)、パーアンテナ pa-63r(360μH)を付け替えて実験した。実際のAMラジオの電波を受信して音を聞き比べてみて音の大きさや雑音の量を比較した。インダクタンスを変えたことで、同調させるために可変容量コンデンサを回す角度(コンデンサの容量)が異なっていた。インダクタンスの違いによる音の違いは感じられなかったため、携帯性を考えて今回の研究では一番小さくて軽いマイクロインダクタを使用する。

4. 実験と結果

4-1 電灯線アンテナを利用した回路での充電

停電時を想定し、家でAMラジオの電波を集めて充電をする。図1のクリスタルイヤホンに電気二重層コンデンサに変えて実験した。実験した家では数mのアンテナを伸ばしてもラジオを受信できなかったため、ラジオを聴けるように空中に張り巡らされている電線をアンテナとする電灯線アンテナを用いた。アンテナ線は直接コンセントにさすと感電して危険なため、アンテナ用の銅線をテーブルタップに30回巻きつけてアンテナとして用いた。アース線は5mの銅線を床に這わせた。充電した後、LEDを接続して光らせる実験した。10日間かけて電解コンデンサを充電したところ、図3のように

3.5mV ためることができた。10日間充電した後、電解コンデンサに赤色LEDと白色LEDをつなげてみたが光らなかった。10日間充電したため、停電時や災害時に使うには難しい。グラフは比例しているように見える。折れ線ががたがたになっている理由は音声の電圧が一定ではないからだと思われる。計測が煩雑いため、次からは送信アンテナの近くで実験を行う。



図3 充電時間と電圧

4-2 AMラジオの送信アンテナの近くでのLEDの点灯

前回の実験ではAMラジオの送信アンテナから離れすぎて電波が微弱だったため、AMラジオの送信アンテナの近く(約200m離れた場所)でLEDが光るかどうかに実験で確認した。図1のクリスタルイヤホンにLEDにして、電圧計で電圧を計測した。赤色LEDは点灯した。思っていたより明るく光った。測定した電圧値は2Vだった。赤色LEDの順方向電圧と一致していた。白色LEDは高速で点滅していた。大きな音の時だけ光っていた。順方向電圧は約3Vなので、3V以上になったときに点灯したと考えられる。

4-3 AMラジオの送信アンテナの近くでの充電

前回の実験ではAMラジオの送信アンテナから離れすぎて電波が微弱だったため、AMラジオの送信アンテナの近く(約200m離れた場所)で充電をした。図4の充電回路のように出力回路を電気二重層コンデンサにして、電圧計で電圧を測定した。

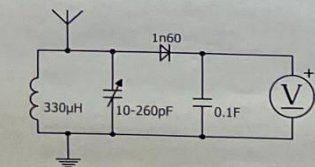


図4 充電回路

図5のグラフのように、1時間かけて電気二重層コンデンサに約1Vの電気をためることができた。グラフから、最初は多く、後からはゆっくり充電されることが分かった。充電を継続しても、1Vを高く超えることはないと考えられる。1時間充電した後、電気二重層コンデンサに赤色LEDと白色LEDをつなげてみたが赤色LEDが光らずに光ったが、白色LEDは光を確認できなかった。複数のコンデンサに充電して、直列接続して利用すれば、LEDの点灯が可能である。

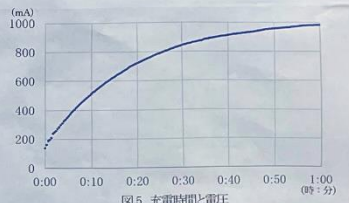


図5 充電時間と電圧

4-4 トランスを利用してスピーカーでラジオを聴く

皆でAMラジオを聴くことができるように、トランスを使ってスピーカーでラジオを聴く。スピーカーを直接つないだ場合と、トランス1個、トランス2個の場合を比較した。トランスを使わずにスピーカーを直接つなげた場合は全く聞こえなかった。トランス1つとスピーカーをつなげた場合はスピーカーを耳に近づけるとわずかに聞こえた。図6のようにトランス2つとスピーカーをつなげた場合は3m位離れたところでも聞こえ、クリスタルイヤホンよりも聞き取りやすくなった。

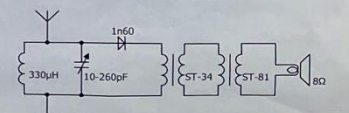


図6 トランス2つとスピーカーをつないだ回路

5. まとめ

ゲルマニウムラジオを用いてAMラジオを開きたいとき、送信アンテナから離れた場所ではアンテナを長く伸ばす必要があるため、電線を利用した電灯線アンテナを使うことでAMラジオを聴くことができることが分かった。電灯線アンテナで3.5mVをためることができた。送信アンテナからの距離が遠いときは、AMラジオを受信できず、充電ははかばかになることが分かった。

送信アンテナに近づいてLEDを光らせてみたところ、赤色LEDが明るく光り、白色LEDは高速で点滅していた。赤色LEDのように順方向電圧が2Vなら、災害時の常夜灯に利用できることが分かった。また、白色LEDは赤色LEDよりも順方向電圧が高く、順方向電圧より高いときだけ光っているため高速で点滅していた。

送信アンテナの近くで一時間充電をしたら、約1V充電できた。充電した後のコンデンサにLEDをつなげると、赤色LEDは光って、白色LEDは光を確認できなかった。複数のコンデンサを直列に接続することや、昇圧回路を使うことで、白色LEDを光らせられる。

また、トランスを2つにつなげることで、3mくらい離れたところでもスピーカーからラジオを聴くことができた。

参考文献

- [1] 井上伸雄、「電波」のキーン、ソフトバンククリエイティブ株式会社、2011年10月25日
- [2] 日本アマチュア無線協会、アマチュア無線教科書、CQ出版株式会社、2016年2月1日