

無線機で使えるワイヤレスヘッドホン

2025 年 SARC 技術発表会

JN3QNG 吉田邦夫

1. はじめに

一昨年には、半導体インダクタを使った CW フィルタの実験の第一報をお伝えしました。今年はその続報を發表しなければならないのですが、その後インターネットで調べていたところ、全く同じ意図で実験とその結果を發表されている OM(JA9TTT)がおられましたⁱ。過渡応答の解析など詳述されていますので、当方の続報は全くの後追いになり新規な成果は得られそうもないのでこのテーマは中止します。申し訳ありません。万一期待しておられた方がおられたら、ぜひ文末に引用している URL をご覧ください。

さて、今回は無線機で使えるワイヤレスヘッドホンについて、設計と実験の報告をします。わざわざ「無線機で使える」と謳ったのは、入手が容易なワイヤレスヘッドホンは無線機には使い難いと常々感じているからです。

ワイヤレスヘッドホンはコードで行動が制限されず、外部の雑音もさえぎられるので便利で、その候補には、

- (1) ブルートゥース用のワイヤレスヘッドホン
- (2) 市販の赤外線を使ったワイヤレスヘッドホン
- (3) FM ワイヤレス Tx を使い、FM ラジオに接続したヘッドホン

などがあります。先に使いにくいといったのは、これらの物には弱点があり、例えば(1)は最近の主流であり入手が容易で音質も確保されるのですが、デジタル通信であるため本質的には遅延が避けられず、送信信号をモニタしていると違和感がひどく、音声送信は不可能になります。

また(2)もソニーをはじめとした大手の製品があり入手は容易ですが、高価な事と RF 変調を使っているので、送信信号の影響が危惧されます。

(3)はオーディオ信号を FM ラジオに送信する、主に自動車車内で使われる市販品が安価に手に入るのですが、FM ラジオで受信できるので他人、例えば隣家の FM ラジオで QSO の内容が聞かれてしまう恐れがあります。

なお、(2)に属する物ではありますがプロ用機器として、赤外線を使うワイヤレスマイクがあり、2MHz~6MHz の副搬送波を音声で FM 変調し、その高周波で赤外線発光素子をドライブするものです。電子情報技術産業協会(JEITA)によって図 1 のように規格が定められています。

記号	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
周波数	2.3MHz	2.8MHz	3.2MHz	3.7MHz	4.3MHz	4.8MHz	5.2MHz	5.7MHz
H3 と H4 の使用を推奨								

- 周波数偏移:最大±150kHz

図 1 赤外線ワイヤレスマイクの規格(JEITA CP-1208 より)

そこで今回、上記の(2)のカテゴリーの物を自作してみましたので、顛末を報告します。

2. なぜ赤外線をつかうのか

最近ネット通販で赤外線リモコンの送信受信ユニットが安価に(100 円台)手に入ります。これを使って送信制御のユニットを作り、トランシーバーの PTT 制御をしています。このユニットは、39 kHz のキャリアでパルス信号伝送をしているので、この 39 kHz で音声信号を変調すれば音声信号が伝送できると思ったのがきっかけで、それならワイヤレスヘッドホンが実用的で面白そうと考えました。しかしながら市販されているリモコンユニットを入手しましたが、これにはリモコンに特化した IC が使われているので、外部からの変復調がほとんど不可能で、これを流用することはできませんでした。

そこですべて自作をすることにしました。当初は前述のプロ用のワイヤレスマイクに準じた方式を考えたのですが、アマチュアの入手できる赤外線発光・受光素子ではこの規格を満たすものが入手困難であるため、アマチュア的に簡易なものを設計してみました。これは市販の安価な赤外線ヘッドホンに使われている方式に近いのではないかと思います。原稿執筆時点での確認はできていません。

3. 送信部の設計と組み立て

赤外線音声送信器の回路構成は図 2 の通りです。



図 2 音声送信器のブロック図

実際の回路は図 3 に示すようになりました。

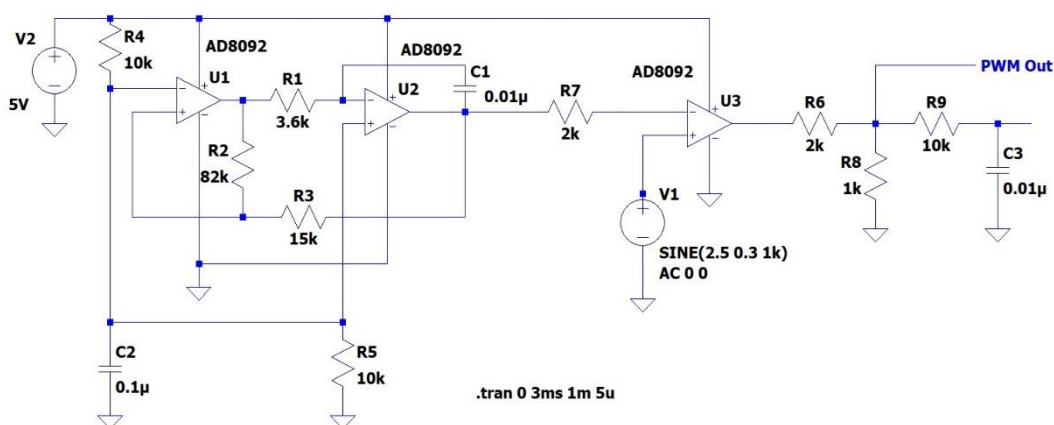


図 3 音声送信器回路図 (LED 駆動回路を除く)

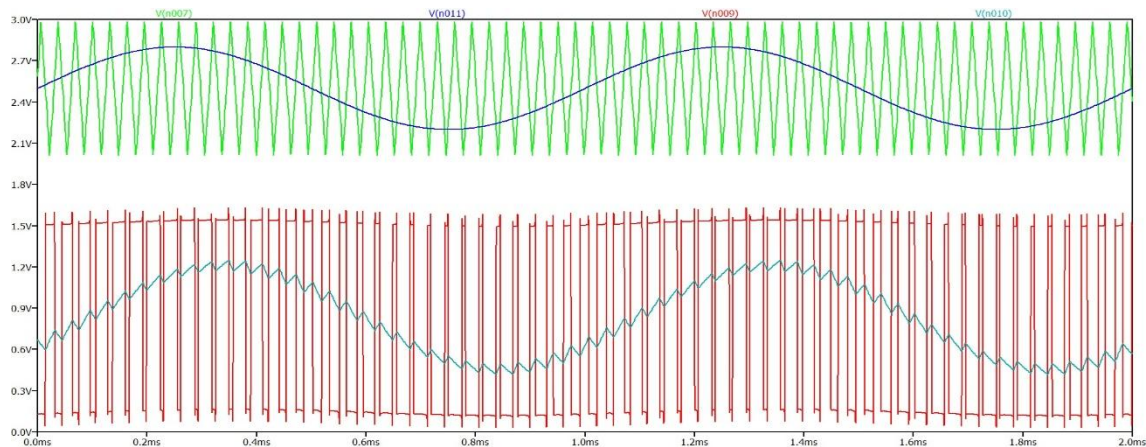


図 4 PWM 変調の波形 (LTSpice による)

この回路の出力をシミュレートしてみると、図4のような波形が得られることが判りました。机上のシミュレーションではうまく行くことが判ったので、実際にこの回路を組んでみました。組み立てた送信部の様子を図5に示します。

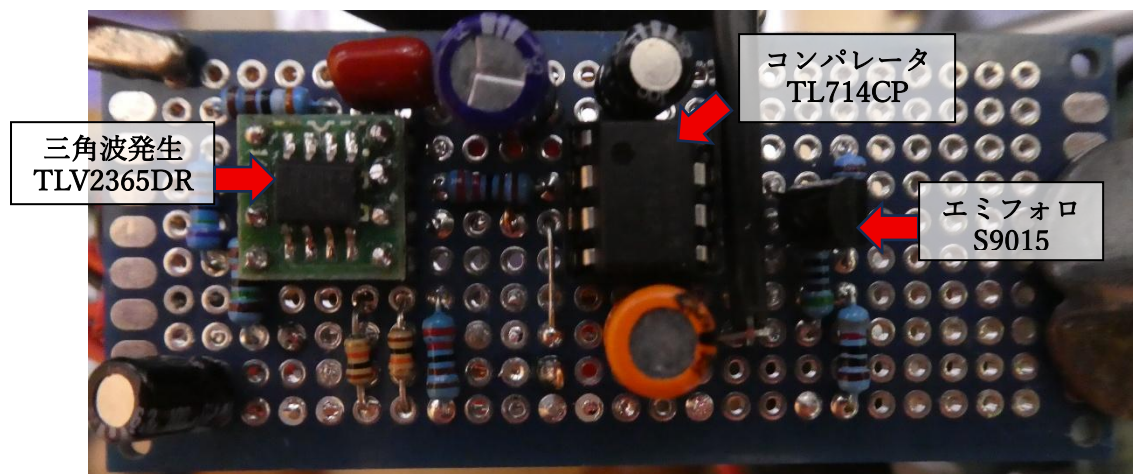


図5
実際の回路

この回路では、部品の入手の関係から三角波発生部には TLV2365DR を、コンパレータには TL714CP をそれぞれ使いました。これらは TI 社の製品で、シミュレートで使った AD 社のものと近い特性のものです。

この回路で得られた変調波形は、図6のようになりました。

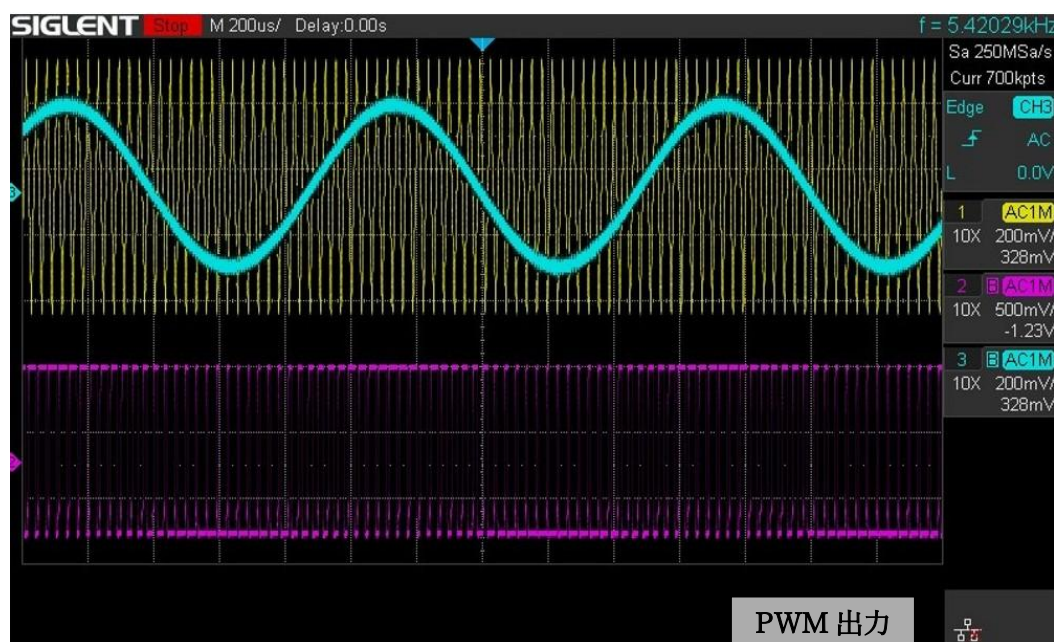


図6
信号波と変調波形
(図4に対応)

黄色の波形が三角波発生部の出力、空色の波形が信号波(1kHz0.5Vp-p 正弦波)、下のマゼンタ色が PWM 出力で、これを PNP トランジスタのエミッタフォロワーで電流増幅し、LED(OSI5LAS1C1A)を2個ドライブしています。

この LED は発光ビームが適当(60度)なのでこの目的には使い易いものです。

4. 受信部の設計と組み立て

受信部のセンサーには、秋月電子で入手できる Vishay Semiconductors 社の高速の PIN フォトダイオード VBPW34FAS を使用します。またセンサアンプには送信部の三角波発生回路で使用したものと同等の TI 社の OPA2863DR を採用しました。まず受光部にどの程度の赤外線が入力されるかを考察します。送信 LED のパターンの詳細は数値化されていないので、電力半値幅の円錐パターンであるとモデル化します。LED の特性では、 $I_F=50\text{mA}$ の時、赤外出力は 10mW と謳われています。頂角が 60 度の円錐形の放射ですので、立体角は公式よりおよそ 0.84sr (エネルギー密度は 11.9mW/SR で、仕様の $I_F=100\text{mA}$ で 20mW/SR とほぼ同じなので、モデル化はほぼ正しい)です。したがって送信機から 1m 離れた場所でエネルギー半値幅が占める表面積は約 8400cm^2 です。LED を 2 個使い、そのビームパターンが重なるようにしてドライブすると、その光出力 100mW によるエネルギー密度は約 0.012mW/cm^2 となります。受光素子の特性からこの時の光電流はおよそ $0.7\mu\text{A}$ と見積れます。受光部のセンサアンプを図 7 のようにすると、その時の 30kHz 矩形波赤外光に対する出力のシミュレーション結果では、図 8 のような波形となります。回路図の電流源と並列のコンデンサが PIN ダイオードセンサの等価回路です。

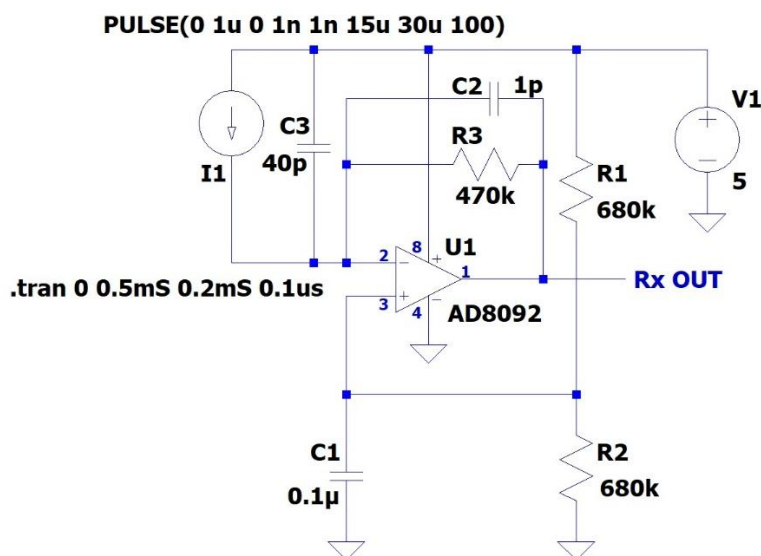


図 7
センサアンプ

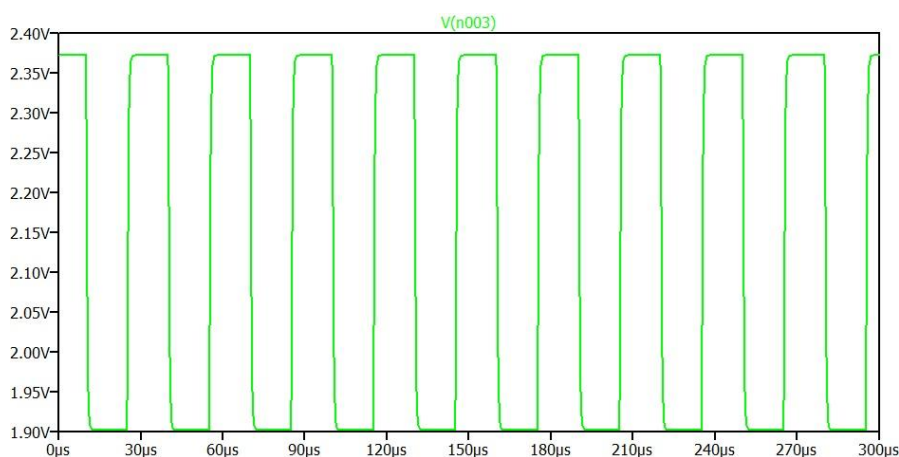


図 8
受信波形
(LTSpice による)

センサアンプはこの回路でよそうですが、このまま平滑したのでは受光する光量によって受光信号のレベルが変化してしまいますから、最終の音声出力も変動してしまいます。そこでそれを避けるためにこのアンプの後にリミッターアンプまたはコンパレータを増設します。

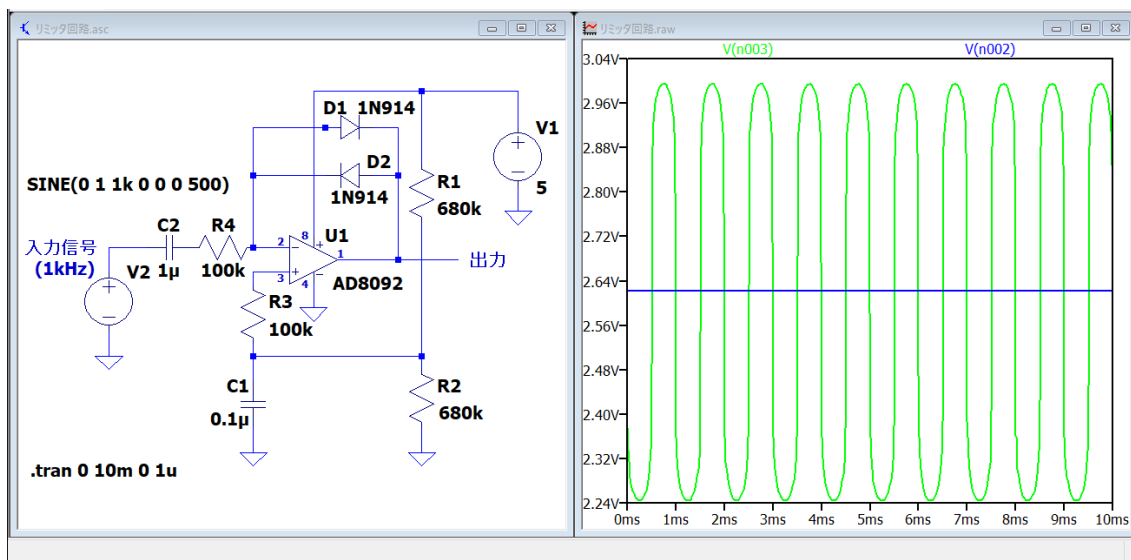


図9 リミッタ回路と出力(LTSpiceによる)

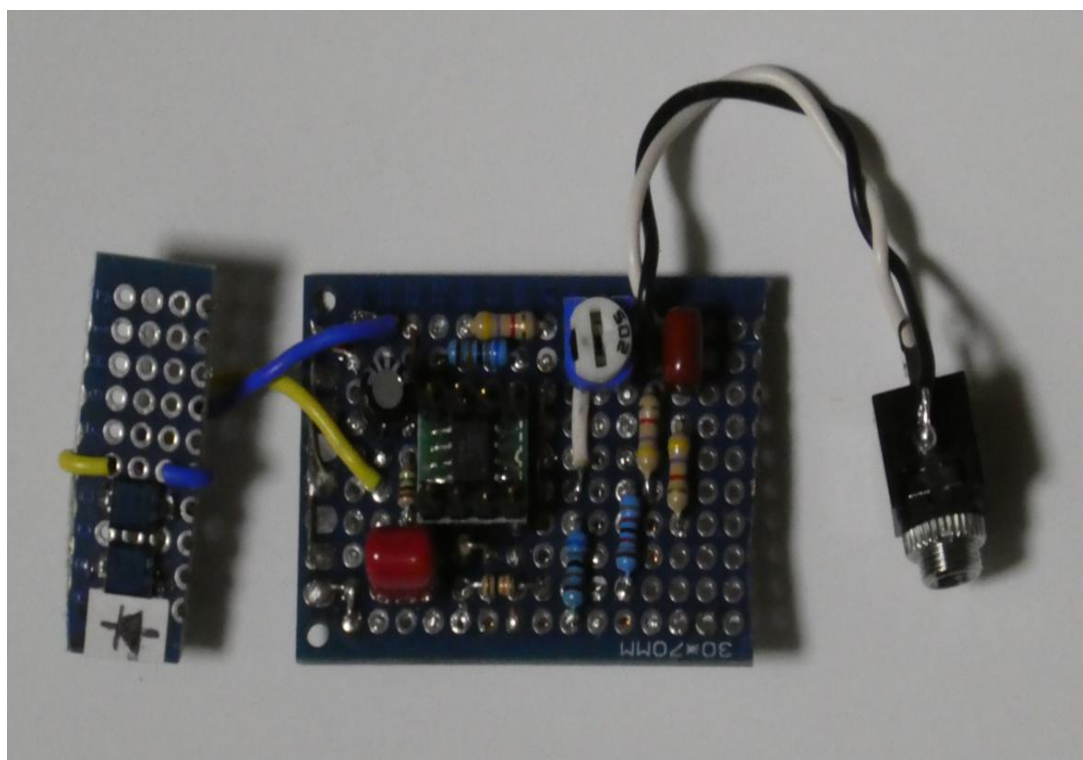


図10 実装した受信部

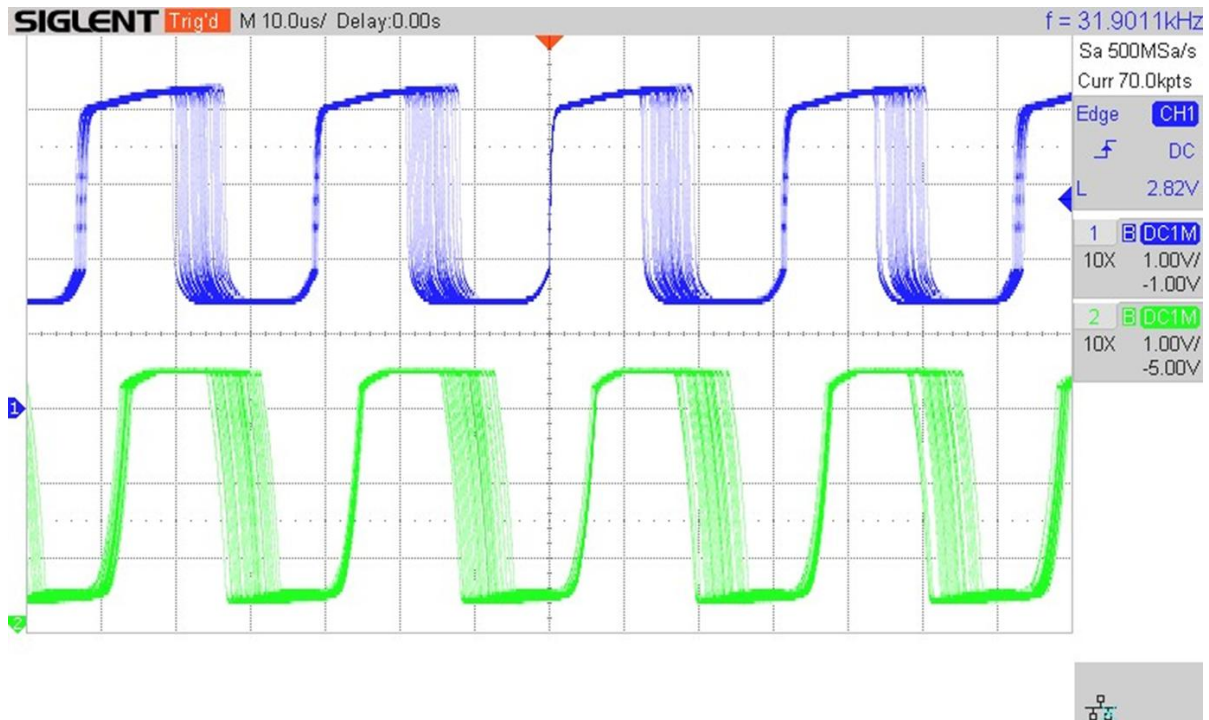


図 11 伝送波形 上：送信 LED 電圧 下：センサアンプ出力
(音声で変調した波形なので、パルスのデューティー
サイクルが変動している)

実際に組んでみた受信部の様子は図 10 の様なもので、センサアンプとリミッタには安定性を重視して、シミュレーションで用いた IC とは別の JRC の NJM4580 を使いました。先の送信部と組み合わせて送受間を 50 cm ほど話して伝送実験をした時の波形は図 11 のような波形となりました。送信波形が受信部で忠実に再生されています。

5. 結果

赤外線 LED と PIN フォトダイオードを使って、トランシーバーのヘッドホンにワイヤレス化できることが判りました。回路の設計に使ったフリーソフトの LTSpice でシミュレーションした結果と、実際の回路との対応は極めて良好で、実回路でのカットアンドトライは最低にすることができました。実際に実用化した回路は、この原稿で示した回路と本質は同じですが、途中で回路の微修正をしたため、少し差異があります。もしも追実験をされる場合は、筆者の JN3QNG までお問い合わせください。

僅少ではあるのですが、使用したセンサは可視光領域の波長にも反応するので対策が必要(例えば 940nm 用光学 BPF)です。

6. まとめ

試行錯誤を重ねて、ようやく実用に耐える程度のワイヤレスヘッドホンが完成しました。経過は省略しますが、当初は送受信部のオペアンプに汎用の物を

使うつもりでしたが、実験をしてみると想定した周波数や波形を得ることができませんでした。オペアンプのスルーレート、パルス応答の遅延などが複雑に影響していたためです。そのため、回路を繰り返し試行製作したので、時間と費用が掛かり、市販の赤外線ヘッドホンを購入できる程度になってしまいました。最初から LTSpice などを使って机上での実験を重ねればその無駄は省けたでしょう。しかし現役の回路設計を離れて 30 年近くになって、久しぶりに楽しく実験を進めることができたのが個人的には大きな成果です。

このような機会を設けていただいたパナソニック松愛会ハムクラブの技術発表ご担当者の三井理事に謝意を呈します。

ⁱ <https://ja9ttt.blogspot.com/2009/08/simulated-inductor-1.html>