

## パルス回路からの電波の可聴化と GM 管計数器への応用

Auralization of electromagnetic wave from pulse circuit and the application to a GM tube counter

森 千鶴夫†

Chizuo Mori

**Abstract**

Radio-electromagnetic wave emitted from electric pulse circuit was made it possible to be heard with a radio through the modulation with the pulses having sound frequency. The method is simple, so that anyone interested in this matter can fabricate the pulse circuit and go on the radio-electromagnetic wave experiment. The method was applied to a hand-made GM counter pulse counting equipment. It is therefore possible to do the experiments with the equipment from gamma-rays with very short wave length, ultra violet rays, and radio-electromagnetic wave with long wave length.

**1. はじめに**

電気パルス回路からは電波が発生している。通信のデジタル化に伴って通信信号はほとんどパルス化されているが、パルス集積回路素子から発生する電波は相互の信号に影響を及ぼす可能性があるため、この電波の発生を極力少なくする努力がなされている。ここでは、逆に電気パルスから電波が発生していることを認識することは教育上有用である、と考え次の工夫をした。パルスの急激な電圧変化に際して電波が発生し、近くに置いたラジオから雑音の中に、プチッ、プチッという音で聞くことができる。しかし、そのままでは聞きにくいので、パルスを音の周波数で変調し、その周波数の音として電波の発生をラジオで認識する簡単な方法である。

また、筆者らは中学校や高等学校の生徒および教員を対象に、放射線教育のためのセミナーを開催しているが、受講者自身がセミナーで手作りできる GM 計数管の開発やパルス計数器の開発<sup>1, 2)</sup>を行ってきた。GM 管の計数器では計数パルスが発生させるので必然的に電波が発生する。この計数パルスに上述の手法を適用して、計数パルスが電波が発生していることをラジオで容易に確認できるようにした。セミナーでは手作りした装置を用いて、ガンマ線の実験や紫外線の実験を行なっている<sup>3)</sup>。この GM 計数器に電波の発生を音で聞く手法を適用すれば、同じ電磁波の仲間であるが、波長が極めて短いガンマ線から、波

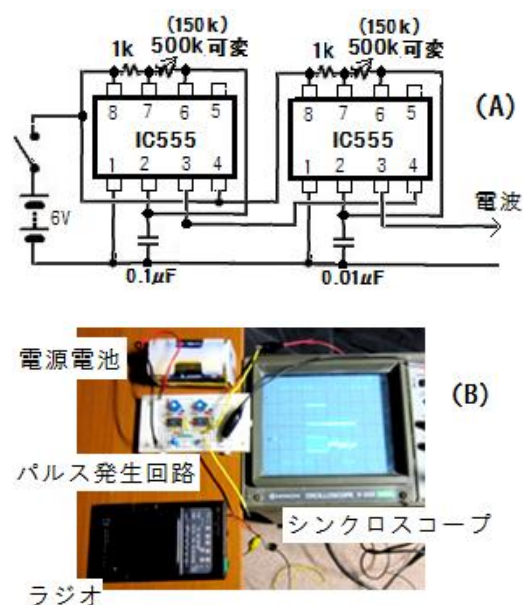


図 1 (A) 10ms 幅のパルス発生回路 (左の IC555) と変調回路 (右の IC555)、(B) 実験装置：電源電池 6V、パルス発生回路、電波を受信するラジオ、パルス波形を観測するシンクロスコープ。

長のより長い紫外線、波長のさらに長い電波に関する一連の実験が可能となり、教育上の効果が期待できると考えられる。

## 2. パルス発生器の作製と電波の可聴化

まず、簡単なパルス発生器を手作りして電波の可聴化を施すこと、およびその効果について述べる。図 1(A)に電気パルスを発生するための回路図を示す。パルスの発生には、トランジスタを用いた非安定マルチバイブレータ回路を用いるのが一般的で、この回路を用いれば電子回路的な教育効果はあるが、入力インピーダンスがあまり小さくなく、可聴化のための 2 段目の出力が小さくなる傾向があり、かつ、周波数の調整がやや煩雑である。従ってここでは、パルスの発生によく用いられる、極めて安価で入手容易なタイマー IC555 を用いた。この IC の場合には、周波数を 1 個の可変抵抗器で変えることができる。2 個の IC を用いたが、左の 1 個は端子 2 が  $0.1\mu\text{F}$  のコンデンサーで接地されていて、数 ms から数十 ms にわたる比較的長い幅のパルスを発生させる。右の 1 個の端子 2 は  $0.01\mu\text{F}$  のコンデンサーで接地されていて、左の IC の長い幅のパルスを可聴周波数の短い周期のパルスで変調して、発生した電波をラジオで受信し、音の周波数で聞きやすいようにしている。表題の聞きなれない「可聴化」とはその意味である。図 1 (B) は実験装置の写真で、電源は単三乾電池 4 個 6V である。ラジオは電氣的に (A) の回路には直接接続されていないが、音波周波数のパルスからの電波がラジオで受信されやすいように、約 10cm の長さの導線を電波の発振アン

テナとしてラジオの近くまで延ばしている。ラジオで受信した電波の出力を観測するために、ラジオのイヤホンの部分から接地の線とイヤホンの出力の線を出して、シンクロスコープにつながれている。ラジオは AM で使用する。AM の周波数範囲のどこでも聞くことができるが、放送電波のない周波数を選ぶ。経験では数 100kHz の低い周波数の領域で比較的大きな電波パルスが得られた。

図 2 は観測したパルス波形で、(A) の上段は図 1 (A) の左側の IC のパルス発生回路の可変抵抗を  $150\text{k}\Omega$  にした場合のこの IC からのパルス波形で、パルス幅 10ms、繰り返し周波数 50Hz、パルス波高は約 5V である。下段はラジオからの電波パルス波形で、上段のパルス幅 10ms のパルスの立上りと立下りの時のパルス波高の急激な変化に際して電波が発生していることが分かる。電波パルスの間の信号はノイズである。パルスの繰り返し周波数は 50Hz であるが、電波パルスの繰り返し周波数は 100Hz である。可変抵抗を変化させれば電波パルスの繰り返し周波数は 15Hz から 15kHz の間で変化させることができる。しかし、筆者の可聴範囲は 200Hz~5kHz であったので、例えば上記の周波数 100Hz の音波は聞くことができない。

図 2 (B) は、図 2 (A) に示す 50Hz のような周波数の低い繰り返しパルスを、電波を通じて音で聞きやすくするために、図 1 (A) の 1 段目の IC555 からの幅 10ms のパルスを 2 段目の IC555 のリセット端子 4 に入れ、図 2 (B) の上段に示すように、10ms の間に 5 個のパルスを重畳させた。

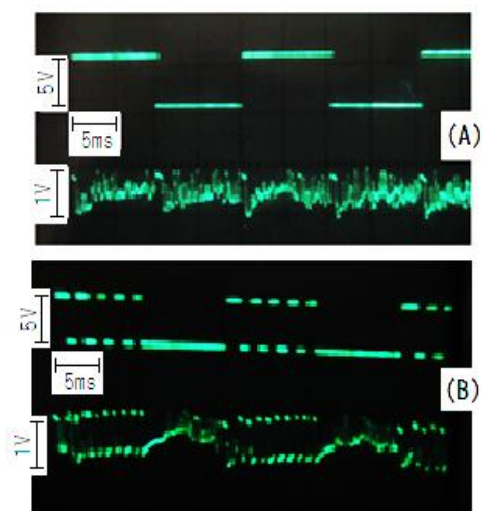


図 2 (A) 10ms 幅のパルス (上段) と受信した電波 (下段)、(B) 変調回路から発生したパルス (上段) と発生した電波 (下段)。

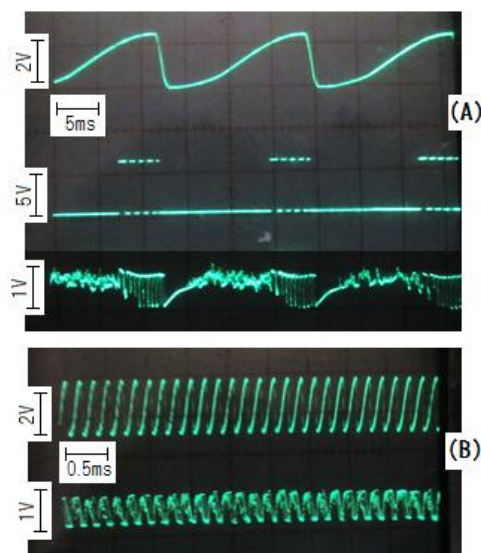


図 3 (A) 急激な時間的変化のない波形信号 (上段) への音波変調 (中段) とその電波信号 (下段)、(B) 約 7kHz の信号波形 (上段) と変調回路からの電波信号

## パルス回路からの電波の可聴化と GM 管計数器への応用

即ち、幅 10ms のパルスを、5 個のパルスで変調した。この出力から発生する電波をラジオで受信すると (B) の下段に示すように、10ms 当り 10 個、すなわち 1000Hz のパルスが発生していて、これが音として聞こえる。ラジオには自動利得制御機能があるため、10 個のパルス列が終わって入力信号が無くなると、5ms 程度で自動的に利得が上昇し、ノイズが大きくなっているのが分かる。

図 2 (A) の上段に示すような鋭い立上りや立下りのエッジを持つパルスの場合には下段に示すようにエッジにおいて電波が発生し、聞きにくいけれどもラジオでそれを雑音の中からキャッチすることが可能である。しかし、図 3 (A) の上段に示すように時間的に緩やかな変化をする波形の場合 (他のパルス発生器で発生させた) には電波は発生しない。図 3 (B)

の上段に示すように、周波数を約 7kHz のように大きくしても電波は発生しない。図 3 (A) の上段の信号を、図 1 (A) の右側の IC555 のリセット端子 4 に入れると、図 3 (A) の中段に示すパルスが発生し、下段に示すような電波信号がラジオから得られる。すなわち、緩やかに変化する信号でもその発生を電波で聞くことができる。このような信号の周波数を図 3 (B) の上段に示すように、例えば 10kHz と高くしても、電波信号は得られないが、右側の IC555 の出力からは、図 3 (B) の下段に示すように電波が聞こえる。

### 3. GM 管計数器のパルスの変調による電波での可聴化

放射線教育セミナー用に開発した手作り GM 管計数器から電波が発生していることを実験的に容易に知ることができれば、セミナー参加者は放射線実験のみならず、ガンマ線のような波長の極めて短い電磁波から、電波のような波長の長い電磁波に対する理解に役立つと思われる。

図 4 に GM 管からのパルスの計数回路、および電波を聞きやすくするための変調回路 (点線内) を示す。また、やはり電波を聞きやすくするために、図では計数パルスの幅を決める時定数の抵抗を  $2\text{M}\Omega$ 、コンデンサーを  $0.01\mu\text{F}$  として波高約 6V の正のパルス幅をやや長く約 10ms にしている。実際の GM 計数器においては 5ms にしている。CD4038B の正の出力端子 10 からの正のパルスは、IC555 の電源端子 8 およびリセット端子 4 に供給される。電源端子 8 は 6V の電源に常時接続しておいてもよいが、計数パルスが入力されたときのみ動作させて、電力消費を抑えた。

図 5 (A) の上段に、GM 計数管の計数に伴う CD4038B の出力パルス波形を示す。このパルスの約 35ms 後に現れているパルスは GM 管からの次の計数パルスである。下段にこれらのパルスによる電波パルスを示す。1 個の計数パル

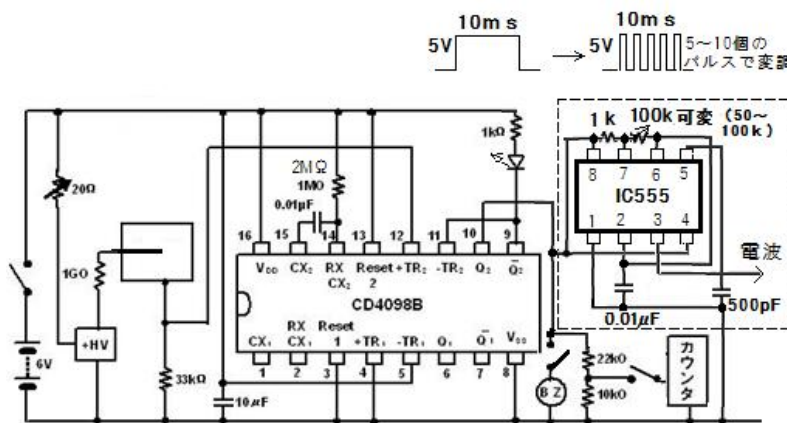


図 4 GM 管計数器のパルスを音の周波数に変調する回路 (点線内)

スによって 2 個の電波パルスがラジオから得られている。しかし、このパルスはラジオのノイズの中では聞きづらい。

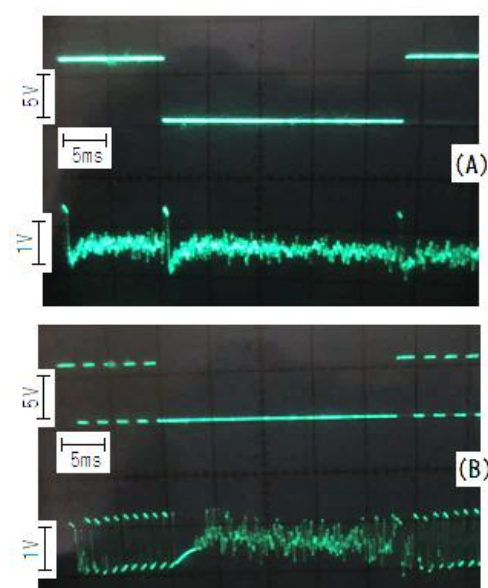


図 5 (A) GM 計数器からの信号 (上段) による幅 10ms のパルス波形。右側に GM 管からの 2 個目の計数パルスが現れている。下段は、上段のパルスによる電波をラジオで受信したラジオからの信号、(B) 上段は、(A) の上段のパルスを音の周波数で変調したパルス。下段はこのパルスによる電波をラジオで受信したラジオからのパルス。

図 5 (B) の上段には、変調のための IC555 の出力パルスを示す。パルス幅 10ms の計数パルスの中に 5 個パルスが入っていて、いわゆる変調が行われている。この出力からの電波信号をラジオで捉え、ラジオの出力として得た信号を (B) の下段に示す。10 個のパルスが現れている。これは 1000Hz の音として聞こえる。このパルス列が入力している間は、ラジオの自動利得制御のためにノイズレベルは低くて聞きやすい。このパルス列が終わると、入力信号が無くなるために、約 5ms で利得が大きくなり急にノイズが発生する。こうして、GM 管の計数毎に計数回路から電波が発生していることがラジオを通じて容易に認識できる。

実は、GM 管内の計数放電そのものからも電波が発生していることがラジオで検知できる。図 4 では、GM 管の陰極からの正の出力パルス信号は導線を通じて、CD4038B のトリガー端子 12 に入力されているが、この導線を接地すれば計数回路におけるパルスの発生はない。しかし、ラジオを GM 管に近付ければ、プチ！ プチ！ と音が聞こえる。これは、GM 管内において放射線によって引き起された電子なだれによる急激な電流の発生に伴って出た電波による音である。音波の周波数で変調することはできないが、ラジオの雑音に交じって聞こえる。バイクのエンジンの点火プラグにおいて放電に伴って発生する電波が周囲のラジオに入るのと同じである。

パルス波形をフーリエ変換によって周波数スペクトルに変換すれば、AM 波の領域における周波数分布が得られ、電波周波数との関係が数値的に理解できると思われる。

#### 4. まとめ

我々の身の回りには電波が満ち溢れていることは、携帯電話、スマートフォン、GPS などを実感するところではあるが、自身で手作りした極めて単純なパルス発生器とラジオで電波の発生を実感すると、改めて電波とは何か？との疑問を体感的に持つことになるのではないかと思われる。発生する電波の電力は電気振動の周波数の 4 乗に比例する<sup>4)</sup> という理論が体感的に何となく理解できるように思われる。

本報告では、パルスを音の周波数で変調し、発生した電波を音の周波数で聞くことができたようにしたが、部品を購入して実験をされることをお勧めしたい。

#### 文献

- 1) 青山隆彦、森 千鶴夫、神谷 均、佐合 穰、早川一精、飯田孝夫、五井 忍：縫い針を陽極とし、エタノールクエンチングで安定に動作する手作り空気 GM 管、Isotope News, No. 744, 22-25, 2016.
- 2) 森 千鶴夫、青山隆彦、飯田孝夫、神谷 均、佐合 穰、早川一精、五井 忍：放射線教育実験に有用な針陽極空気 GM 管の特性、Radioisotopes, **66**, No. 6, 2017. to be published.
- 3) 森 千鶴夫：理科教育実験への手作り放射線測定器の応用、愛知工業大学研究報告, 51 号, 143-145, 2016.
- 4) 山田直平：電気磁気学 (第二次改訂版)、p 342、電気学会、1994.

(受理 平成 29 年 3 月 10 日)