

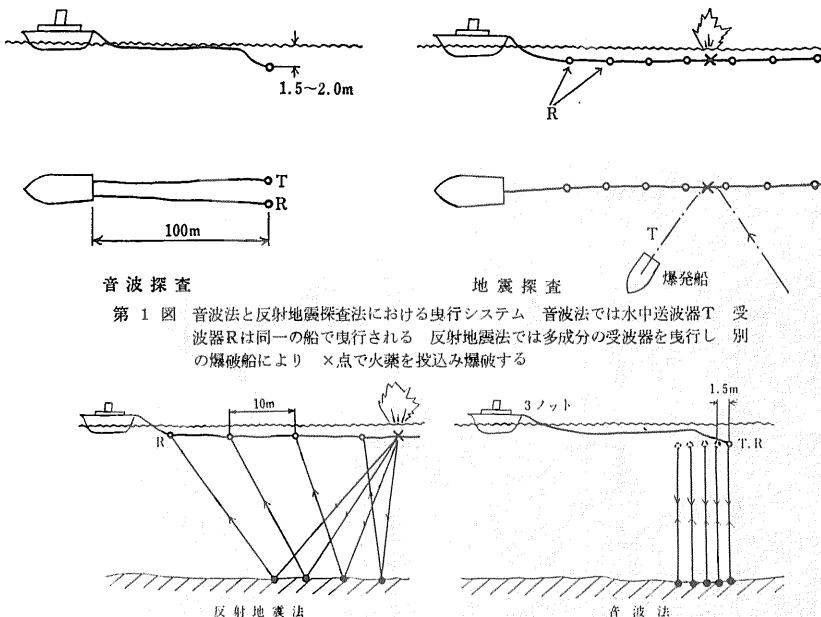
# 音波探査の装置

森 喜 義

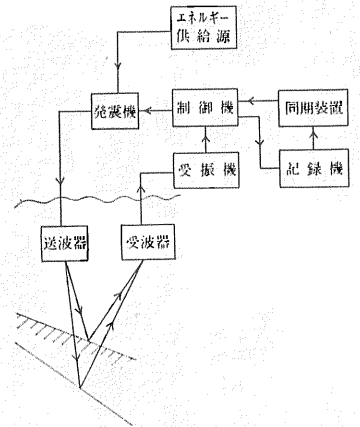
今回は 音波探査に使用される探査装置について  
その概要を紹介する

音波探査装置は その発振法のいかんによらず音波を  
発振するための発振部と この音波の地下からの反響を  
受振するための受振部とに大別される。 音波エネルギーは  
なんらかの方法で地層中に浸透させる必要があり  
これには海面近くの空気中で強大な音波を発生させ 空  
気→水→地層の順でエネルギーを伝達する特殊な方法  
もあるが 普通は海面近くの水中に送・受波器を沈め  
水を介して音波の発振・受振を行なう(第1図)。 この  
水中の送・受波器以外の部分はすべて同一の調査船内に  
設置される。 このように送・受波器を海面近くに配置  
できるのは 水中における波の減衰が比較的少ないため  
であって このため船を移動しながら容易に発振・受振  
を行なうことができる。 また発振の繰り返し時間間隔  
が短いので 地震探査の場合のように多成分の受振器を  
必要とせず 通常は1個の受波器で間に合う。 このた  
め曳行システムはもとより 船内の増幅装置・記録装置  
なども簡単になるので取り扱いが容易であるばかりでな  
く 故障などによるトラブルを少なくすることができる。  
このことは実際の海上作業の点から重要な事であらる。  
また 地震探査における爆発船のような他の補助船を

必要としないことも 音波探査が作業能力のよい要因と  
なっている。 この観測船の速度は毎時2~4ノット程  
度で船の雑音をさけるために普通は送・受波器を100m  
ぐらい後方に流す。 これらと船内装置とを連結するケ  
ーブルには適当な浮力を与える。 ソノプローブやブ  
ーマー等の方式によっては送波器がかなり大型になるの  
でこの場合は舷側に送・受波器を取り付けることもある。  
発振の時間間隔はガス爆発法の場合で3秒前後 その  
他の方法においては1秒前後である。 したがって船速  
3ノットの場合 発振の時間間隔を1秒に選んだとす  
ると測定距離間隔は1.5mとなり これは反射地震探査法  
における測定(受振器)間隔(10~20m)に比べてはる  
かに小さな値である。 この値は小さいほど反射波の検  
出が容易になり 細部の地下構造を記録することができ  
るので地下探査の目的には都合がよい。 音波探査の記  
録が非常に見やすいのは この理由にもよるわけである。  
第3図はもっとも基本的な音波探査の系統図である。  
音響のエネルギー源としては内燃機関により駆動される  
発電機を用いる場合が最も多い。 すなわち 水中送波  
器は水中放電(Sparker Geo-Sonar)や電磁反ばつ力  
(Boomer)などを利用した 電気音響変換器である場  
合が多い。 このほかに深部の探査を目的とする場合に  
爆発性のガスや火薬がエネルギー源として用いられる  
ことは前にも述べた。 一般に電気エネルギーを利用する  
方が音響波形——たとえばパルスの継続時間——の制  
御が容易であり 機械の操作などに

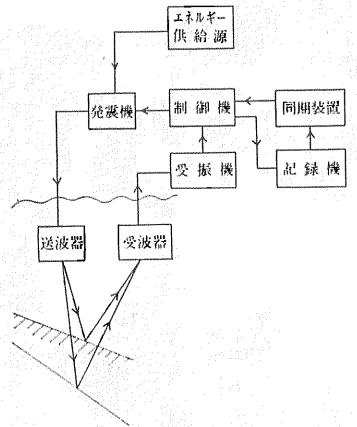


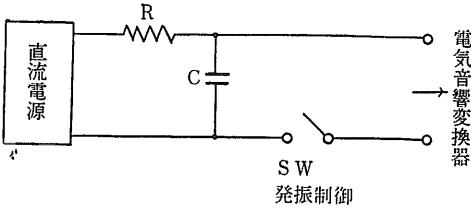
第1図 音波法と反射地震探査法における曳行システム



第2図 反射地震法と音波法の測点間隔の比較

第3図 音波探査装置原理図





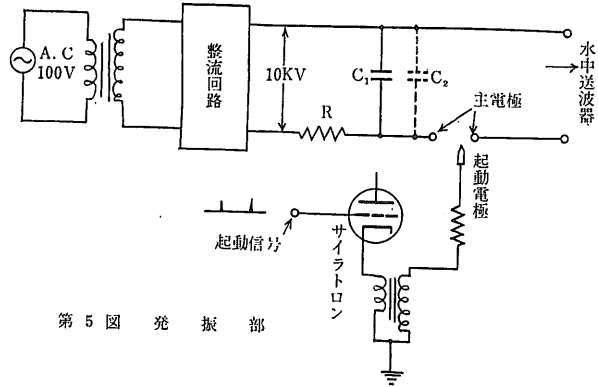
第4図 蓄電器放電回路原理図

ついても取り扱いやすいようである。

水中で発生した音波は地層中に伝わり音響的境界面において反射される。受振された音波は電気信号に変換され増幅整流されて記録機で信号の強さに応じた濃淡図として記録される。一定の時間間隔で繰り返される発振は記録機構と完全な同期が保たれていなければならない。さもないと記録上の反射面が連続せずまったくわけのわからない記録になってしまうからである。同期装置はこのためのものであり記録機から一定間隔の命令(同期信号)を出してこれにより発振を制御する方法と発振側から命令を出して記録機を駆動する方法とがある。音波探査では普通前者の方法が用いられている。

### I 発振部

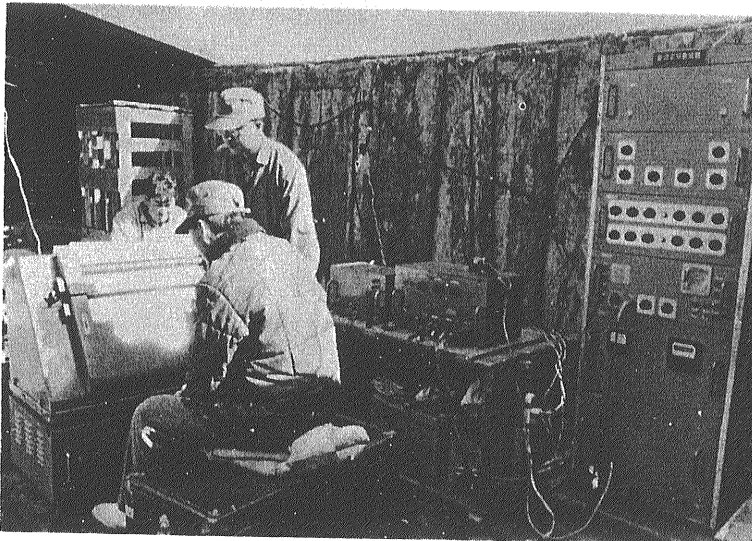
電気エネルギーを音響発生 の供給源とする場合 水中の音響変換器を駆動するためには真空管発振方式または蓄電器放電という方式が利用されている。真空管発振は普通の測深器などで古くから利用されている方式であるが音波探査法の場合は蓄電器放電方式の方が多く利用されている。その原理は第4図に示すようなものである。すなわち直流電源に抵抗Rを通してコンデンサーを接続しこれに電源からエネルギーを蓄積させた後にスイッチを瞬間閉じて一度にこのエネルギーを



第5図 発振部

放出する方法である。このような方法によると瞬時に比較的強力な音響を発生させることが容易になる。

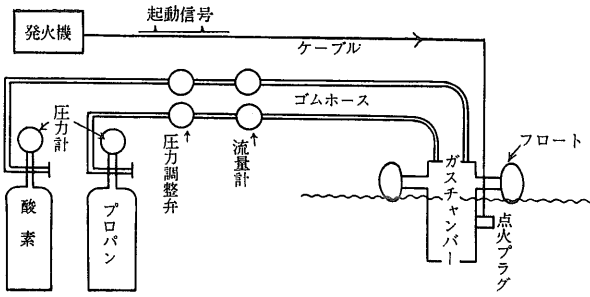
前に述べたようにこの場合蓄積される電気エネルギーは  $\frac{1}{2}CV^2$  で定まる (Vは電源電圧 Cは蓄電器容量)。直流高圧Vは第5図のように100Vの交流を変圧器により昇圧し整流して得られる。絶縁などの関係から電圧は10~15kVが実用の限度である。容量Cを制約するものはほとんど容積であってもし船内のスペースがじゅうぶんならばいくらかでも並列に接続して電気エネルギーを増すことができる。しかし同時に抵抗Rとともに形成される時定数も大きくなるので発振の時間間隔をあまり短くすることが困難になってくる。電圧10kV 容量4μFとして音響変換に火花放電を用いた場合塩水中で瞬時800アンペア程度の電流が流れる。このような大電流回路では普通のスイッチやリレーはもはや用をなさないので実際の発振制御回路としては第5図のような3点ギャップとよばれる一種の気中放電電極が用いられる。これは1対の主電極と起動電極からなり起動電極は片方の主電極に近接して配置されている。今記録機→制御機の経路で送られてきた同期信



調査船に設置した音波探査装置



水中受波器 中央手の所にチタバリ型ハイドロホンおよび結合用トランスが収められている



第 6 図 ガス爆発法系統図

号が図のように加えられると サイラトロンが動作しカソードに接続されたイグニッションコイルの 2 次側に高電圧を発生して 補助電極とこれに近接する主電極間に小さな放電を生ずる。この放電により周囲の空気はイオン化され主電極間の強い放電を誘発する。すなわちこの瞬間に C に蓄積された電荷は 3 点ギャップを通して水中の送波器に大きな放電電流を与えるのである。一度放電すれば 3 点ギャップは絶縁状態になるので C は RC の時定数で再び充電を始める。

以上の動作は起動信号が加えられるごとに繰り返される。起動信号の繰り返しすなわち発振の時間間隔は前記のように船の速度とともに空間的な測定間隔を決めるものであるから 必要以上に長く選ぶことは分解能を低下して音波法本来の特長が失われることになる。またこの繰り返し時間が RC で定まる時定数に比べて短かすぎると C の端子電圧が電源電圧まで上昇しきらないうちに放電することになり 音響エネルギーが低下する結果になる。ガス爆発法におけるガスの点火制御の方法もほとんど同様な回路で行なうことができる。ただこの場合はエネルギーの供給源としてではなく 単に起爆の目的を達すればよいので出力としては ほんの小さなものでよい (第 6 図)。

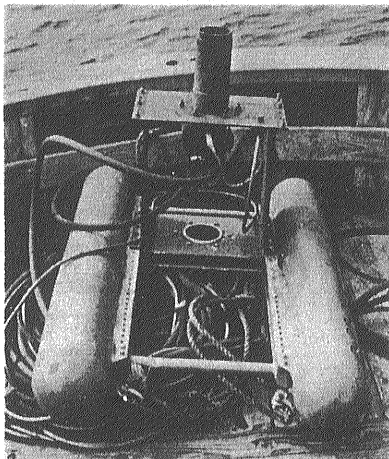
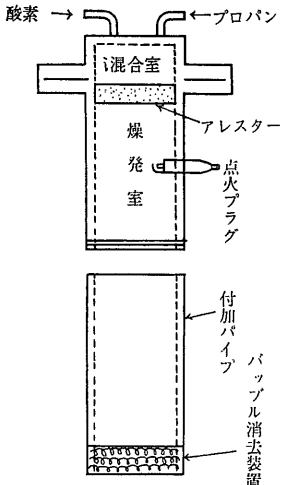
### 1. ガス爆発式送波器

第 7 図は現在地質調査所で用いられているガス式の送波器の構造図である。ガスチャンパーは鉄製パイプの混合室と爆発室とからなり 両室は逆火防止のための多孔質金属フィルターにより仕切られている。爆発室の先端は開放されており その側面には点火プラグが取り付けられている。これはケーブルにより船内の発火機に接続される。船上のポンペからゴムホースにより送られてきた酸素およびプロパンガスは まず混合室で 4 対 1 程度の割合いで混合され フィルターを通して爆発室に導かれる。起動信号が到来すると その都度点火プラグに火花放電を生じて混合ガスを爆発させる。チャンパーの先端には補助パイプを付加することができるのでガス量を変えることができる。ガス量によって音圧もその波形もかなりの範囲に変化する。一般にガス爆発の場合は音響エネルギーが大きいが 反面 気泡振動を生じやすく このため 反射波情報の弁別が非常に困難になる場合がある。これをさけるためにはガスチャンパーを適当な深度に保つことが必要である。また もう一つの対策として 爆発部の先端に金網や特殊の消去装置を付する方法がある。このような装置を用いると爆発によって生じた気泡は細かな気泡群に分割されるので 2 回目以後の音響パルスが発生しにくくなり 波形はかなり単純化される。

### 2. 磁歪送波器

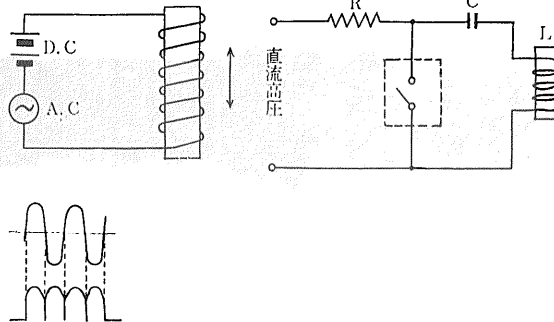
一般に磁性物質を磁化すると 寸法がわずかに伸びるか縮むかする現象があることは 磁歪現象またはジュール効果という名でよく知られている。今第 8 図のように強磁性材料にコイルを巻きつけ これに適当な偏倚磁化を与えて交流電流を重畳すると 磁性体は交流電流の 2 倍の周波数で振動する。これは磁化により磁性体が伸びるか縮まるかは磁性体の材料によって定まり 磁化の方向には関係ないので 図のように正電流で伸びの方向に駆動力が働いた時は 負電流によっても同方向の駆動力を生ずるためである。駆動電源として蓄電器放電を利用する場合 励振電流の周波数

## II 音波探査用水中送波器



第 7 図 ガスチャンパーの内部構造

ガスチャンパー



第 8 図

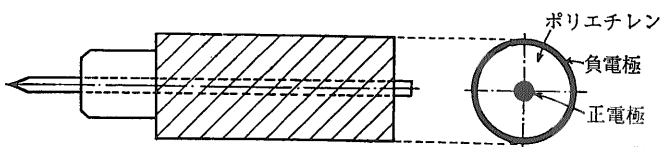
はだいたい容量Cと磁歪振動子のインダクタンスLによって定まる。磁歪駆動力を大きくするためにこの周波数は振動子の機械的共振周波数のだいたい $\frac{1}{2}$ にえらばれる。この型式の送波器は漁群探知機 測深機などに広く使われているが音波法で用いる送波器としてはさらに出力を増大し周波数も低くする必要がある。したがって一般のものに比べて送波器はかなり大型になる。このため普通は船の舷側に設置される。しかし他の音源に比べては比較的高い周波数の単一周波数なので指向性がよく受振部の周波数特性も狭帯域特性のものが使用できるのでS-N比が高い。このため送波器を舷側に取り付けても他の型式のものほど船の雑音等は問題にならない。

### 3. 放電式送波器

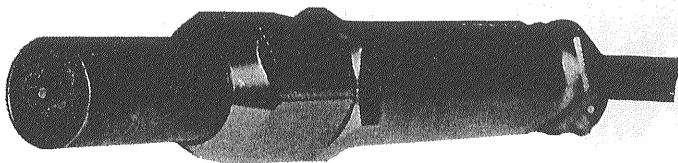
水中放電式の送波器は第9図のように直径25mmの円筒状のもので中心の正電極と周辺の負電極の間はポリエチレン テフロン等の絶縁物が装填されている。このような電極を海水中におき直流高圧の蓄電器放電を加えると瞬間的に大電流が流れて電極間に火花放電を生じる。この場合の音響の発生機構その他についてはすでに述べたとおりである。音波探査用送波器の中では最も構造が簡単であるが長時間使用すると電極間の絶縁物が破壊してくるので時々先端部を輪切りにして破壊した部分を取り去る必要がある。電気エネルギーを増大する場合にはこのほかの特殊な電極を用いる場合もある。淡水中においては図のような電極では極間の電気抵抗が大きすぎて火花放電を生じない。このため針状電極その他の特殊な構造のものが用いられる。

### 4. 電磁型送波器

第10図のように絶縁物の円板にコイルを埋め込みこ



第9図 水中放電電極



水中放電電高

れとほとんど密着させてアルミ板を向かい合わせたものである。アルミ板はスプリングによってコイル板面に圧着されているが 高圧の蓄電器放電をコイルに与えるとアルミ板に渦電流を生じて反ばつ力を発生する。この力は加える電流の2乗に比例し 方向は電流の正負には関係しない。したがって磁歪送波器の場合と同じように励振電流の2倍の周波数が卓越する。またこの場合も励振電流の周波数は容量CとコイルのLで定まりこの値をだいたい振動系の固有周波数の $\frac{1}{2}$ に選んだ時が一番エネルギーの変換能率がよい。

### III 受振部

後記の記録機とともに受振系統は本来はすべて一成分でよいわけだが 第11図のように2成分を組み込んでおくと 実際の作業には便利である。両成分には独立した受波器を用いることもできるが 普通は1個の受波器を共用する。この場合 同一の深度範囲に対して上下異なった瀘波器を用いて記録を観察することができる。また 制御機の深度選択によって両成分に深度の異なった記録を描かせることもできる。

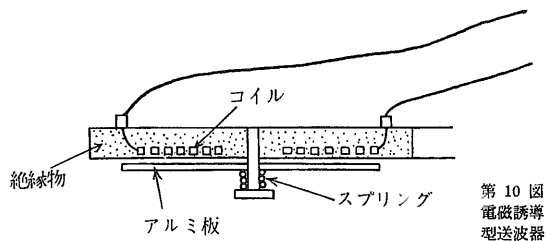
第12図は受振器の系統略図で増幅部および瀘波器が主要素子である。増幅段間にはリミッターのほかA.G.C. およびコンプレッサーからなる自動利得調整回路が設けられている。A.G.C. は時定数が小さいので衝撃的に到来する過入力を抑制するのに役立つ。

コンプレッサーは受振信号レベルの時間経過に伴う減衰を補償して ほぼ一ような出力を得るための回路で毎回の起動パルスを利用して発振の瞬時に利得を急激に低下し 以後時間とともに緩慢に利得が回復するようになっている。第13図はダイオード並列方式によるコンプレッサー回路の一例である。ダイオードDで形成されるコンプレッサー制御回路はこれに加えられる直流電圧により 内部インピーダンスが変化する。V<sub>1</sub>の出力電圧はRとDにより分圧されてV<sub>2</sub>に加えられるので 発振瞬時に矩形波パルス(コンプレッションパルス)を図のように加えると検波して得られた直流電圧がCを充電しDのインピーダンスを急激に低下する。この結果V<sub>2</sub>の入力が減少して利得を下げる。Cに充電された電荷は次のパルスがくるまでにVR(可変抵抗器)を通して放電する。利得回復の時定数はC・VRで定まるので これらの値を調整して利得の回復が入力レベルの時間的变化と逆比例の関係を保つように選ぶ。A.G.C.回路は振幅制御の目的からは応答時間が短いほどよいが 極端に短いと反射信号を見にくくする。またA.G.C.だけでは直接波による過入力を制御しきれないので この点からもコンプレッサーとの併用が必要

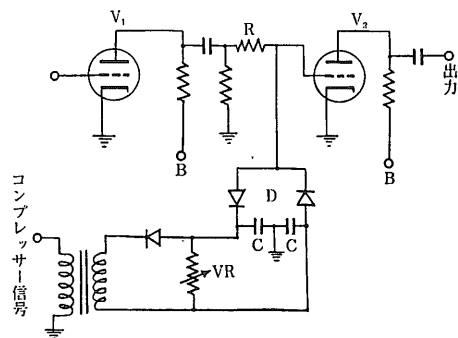
になる。

#### IV 記録機

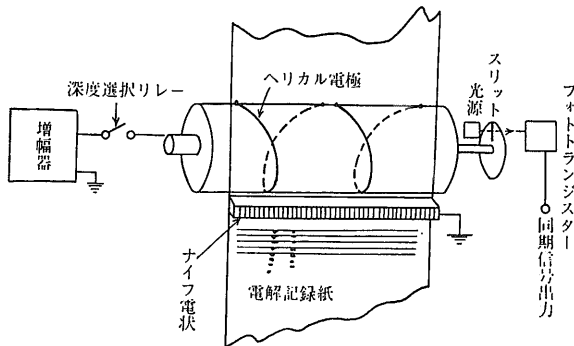
第14図は記録機の機構を示すもので ナイフ状の固定電極と駆動モーターにより回転するドラム上にらせん状に巻かれたヘリカル電極とからなっている。 両電極間には電解記録紙が一定速度で送られているので ドラムが図の方向に回転すれば 両電極間の接触点は左から右に移動して時間掃引が行なわれる。 一方増幅器の出力は 制御機内で時間調整（深度選択）をされた後に記録機内で電力増幅され さらに整流されて この両電極間に加えらる。 したがって受振信号に応じた電流が記録紙に流れて濃淡記録が得られる。 掃引時間 すなわちドラムの1回転に要する時間は約 $\frac{1}{4}$ 秒なので 地層速度を水の速度と仮定すると 記録紙上の掃引長は $\frac{1}{2} \times 1,480\text{m}/\text{秒} \times \frac{1}{4}\text{秒} = 185\text{m}$  の深度に相当する。 ドラムの一端には光源 回転スリットおよびフォトトランジスターからなる同期信号発生装置が設けられてあり これにより毎回の掃引開始点で同期信号を発生する。



第10図 電磁誘導型送波器



第13図 コンプレッサー回路の1



第14図 記録機構の原理図

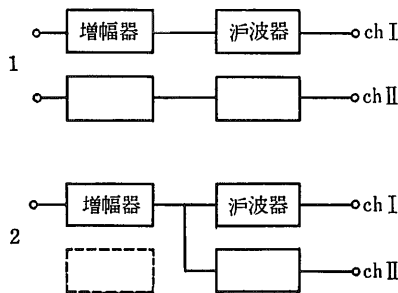
#### V 制御機

制御機は発振間隔の調整と深度範囲の選択をする部分で 同時に増幅器の自動利得制御に必要なコンプレッサー電圧もこの部分で発生する。 これらの動作はすべて記録紙から送られてくる同期信号により制御される。 加えられた同期信号は計数回路およびマトリックス回路により 掃引時間の整数倍の時間間隔を持った起動信号として制御機出力にあらわれる。 実際には掃引時間の16倍の範囲で ( $\frac{1}{4}$   $\frac{1}{2}$   $\frac{3}{4}$ ... 4秒) 任意に発振間隔をえらぶことができる。

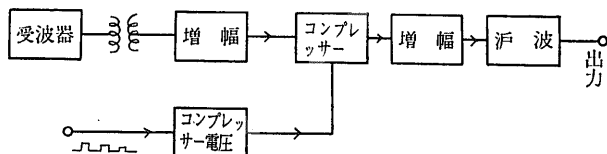
深度範囲の選択も上記のマトリックス回路を利用して第15図に示すような信号をとり出し これによりリレーを動作して 受振機出力を目的とする時間域だけ記録機に送りこめばよい。

(筆者は物理探査部)

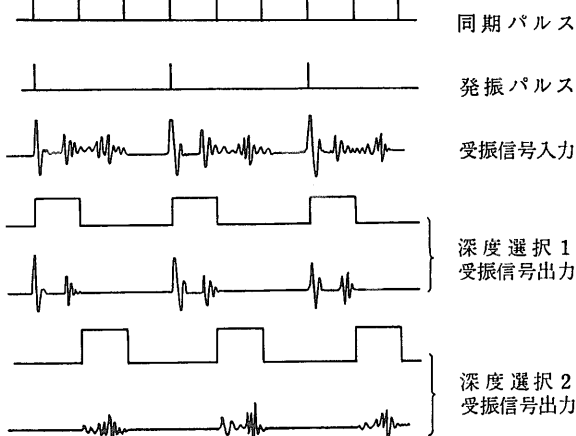
「訂正」 No. 123 36頁の右下第12図は天地逆に印刷されております。 訂正いたします



第11図 受振器チャンネル切換系統図



第12図 受振器系統略図



第15図 発振間隔および深度選択