

POLSKA  
RZECZPOSPOLITA  
LUDOWA



URZĄD  
PATENTOWY  
PRL

# OPIS PATENTOWY

89659

Patent dodatkowy  
do patentu \_\_\_\_\_

Zgłoszono: 03.08.72 (P. 157104)

Pierwszeństwo: 25.08.71 dla zastrz. 1, 2, 3,  
4, 5, 6, 7

Stany Zjednoczone Ameryki  
24.02.72 dla zastrz. 8

Stany Zjednoczone Ameryki  
Zgłoszenie ogłoszono: 30.10.73

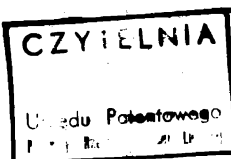
Opis patentowy opublikowano: 30.08.1977

MKP

G01v 1/00

Int. Cl.<sup>2</sup>

G01V 1/00



Twórca wynalazku: \_\_\_\_\_

Uprawniony z patentu: Continental Oil Company,  
Ponca City (Stany Zjednoczone Ameryki)

## Układ do wibracyjnego badania utworów geologicznych

Przedmiotem wynalazku jest układ do wibracyjnego badania utworów geologicznych.

Znanych jest wiele urządzeń do wibracyjnego badania utworów geologicznych, zarówno jeżeli chodzi o sposoby rozstawienia zespołów nadajnikowo-odbiornikowych, jak i rodzaje nadajników i odbiorników. Energia przenoszona z nadajników do odbiorników ma zazwyczaj postać fal akustycznych o częstotliwościach od kilku do 120 Hz. Nadajniki połączone są elektrycznie ze źródłem zasilania i mają postać na przykład wibratorów hydraulicznych. Doprowadzony sygnał elektryczny zostaje przetworzony na pionowe lub poziome drgania obciążnika, które zostają następnie przekazane podłożu. Odbiorniki są mechanicznie połączone z gruntem, a więc rejestrują drgania podłoża wytworzone przez nadajniki i następnie zniekształcone w wyniku niejednorodności tego podłoża. Zarejestrowane sygnały wibracyjne zostają przetworzone w odbiornikach na odpowiednie sygnały elektryczne. Odbiorniki połączone są z zespołami przetwarzania danych przy pomocy łączy radiowych lub przewodowych. Sygnał może być zwielokrotniany lub transmitowany bezpośrednio. Zespoły przetwarzania danych są realizowane w technice cyfrowej lub analogowej. Większość dotychczas znanych urządzeń do badań geofizycznych wymaga, dla uzyskania optymalnych wyników, wykonania dużej liczby sondowań w punktach rozstawionych wzdłuż linii pomiaru. Istotą rozwiązań jest zwykle działanie wzdłuż określonej linii pomiarowej dla określenia ciągłej charakterystyki rozkładu parametrów podłoża wzdłuż tej linii. Rozwój techniki wykonywania pomiarów geofizycznych dotyczy ostatnio zwłaszcza krzyżowych zespołów nadajnikowo-odbiornikowych umożliwiających uzyskanie dokładnych danych przy wykorzystaniu zasady sterowania promieniem sygnałowym. Rozwiązania tego rodzaju opisane są w patentach Stanów Zjednoczonych Ameryki nr 3,529,282 i nr 3,597,727.

Sposoby wykonywania pomiarów geofizycznych według stanu techniki są czasochłonne i nadają się raczej do precyzyjnego określania informacji w danym obszarze niż do wstępnego przeszukiwania podłoża dla uzyskania określonych danych początkowych.

Celem wynalazku jest opracowanie układu do wibracyjnego badania utworów geologicznych umożliwiającego zebranie danych o rozciągłości, spadku i różnicach prędkości rozchodzenia się sygnału wibracyjnego we wstępnie wybranej warstwie dużego obszaru ziemi, bez konieczności dokonywania sondowań, pozbawionego wad dotychczas znanych urządzeń. Cel ten został osiągnięty przez to, że układ według wynalazku zawiera co

najmniej dwa krzyżowe zespoły nadajnikowo-odbiornikowe, wibracyjne, przy czym odpowiadające sobie linie nadajników i odbiorników poszczególnych zespołów są do siebie równoległe, a odległości sąsiadujących ze sobą zespołów krzyżowych są większe niż odległości między krańcowymi nadajnikami lub odbiornikami w tych zespołach, oraz odbiorniki co najmniej dwóch sąsiadujących ze sobą zespołów są przystosowane do równoczesnego odbioru fal wibracyjnych emitowanych przez jeden z nadajników jednego z tych zespołów, z chwilą wzbudzenia tego nadajnika.

Korzystnie jest jeżeli nadajniki i odbiorniki są rozstawione w równych odstępach wzdłuż obu skrzyżowanych linii prostych każdego z zespołów krzyżowych. W co najmniej niektórych zespołach krzyżowych odległość punktu przecięcia dwóch skrzyżowanych linii od najbliższego nadajnika i/lub najbliższego odbiornika jest korzystnie większa niż wzajemna odległość sąsiadujących ze sobą nadajników lub odbiorników. Zarówno nadajniki jak i odbiorniki są korzystnie rozstawione wzdłuż odpowiednio pierwszej i drugiej linii prostych po obydwu stronach punktu przecięcia tych linii, oraz symetrycznie względem tego punktu.

Układ według wynalazku można stosować, przy wykorzystaniu standardowych urządzeń sejsmicznych, do określania parametrów warstw geologicznych przez pomiar czasów przebycia drogi od nadajnika do warstwy odbijającej, a następnie do odbiornika, dla co najmniej czterech różnych torów sygnałów, a korzystnie dla większej ilości, dla zwiększenia pewności oceny parametrów. Przy obliczaniu prędkości sygnału w podłożu w układzie według wynalazku zbędne jest założenie, że warstwa odbijająca ma zerową grubość. Ponadto możliwe jest wprowadzanie zmian wszystkich parametrów wejściowych jednocześnie, aż do chwili uzyskania optymalnego wyniku pomiaru.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat struktury zespołu krzyżowego nadajników i odbiorników, fig. 2 – trójwymiarowy model ilustrujący tory sygnałów wibracyjnych, fig. 3 – szczegółowy schemat rozstawienia nadajników i odbiorników w zespole krzyżowym według wynalazku, fig. 4 – geometryczne zależności między określanymi parametrami, fig. 5 – schemat programu przetwarzania danych, w układzie według wynalazku, fig. 6 – przykład informacji wyjściowej, fig. 7 – przykład jednej z form zapisu danych wyjściowych zespołu krzyżowego bez wniesienia poprawek, fig. 8 – udoskonaloną formę zapisu informacji wyjściowej dla danych pokazanych na fig. 7. po wniesieniu poprawek czasowych, fig. 9 – schemat układu z dwoma zespołami krzyżowymi, który umożliwia określenie utworów geologicznych znajdujących się pod tymi zespołami oraz między nimi, w widoku z góry, fig. 10 – schemat układu z fig. 9 w widoku z boku, fig. 11 – schemat układu dwóch zespołów krzyżowych, w widoku z boku, w którym wykorzystuje się przy pomiarze zjawisko refrakcji fal sejsmicznych.

W celu wykonania pomiaru poszczególne nadajniki i odbiorniki w zespole krzyżowym według wynalazku rozmieszcza się w terenie w sposób przedstawiony schematem 10 na fig. 1. Każdy zespół krzyżowy obejmuje wiele nadajników  $S_1$  do  $S_{12}$ , rozmieszczonych w równych odległościach wzdłuż linii 12 nadajników, która przecina, zwykle pod kątem prostym, linię 14 odbiorników, wzdłuż której, w sposób podobny jak nadajniki na linii 12, rozmieszczone są odbiorniki  $R_1$  do  $R_{12}$ . Nadajniki emitują sygnały sejsmiczne, które ulegają odbiciom od poszczególnych warstw geologicznych. Odbiorniki rejestrują sygnały odbite, które rozchodzą się prostoliniowo i uległy odbiciu jednokrotnemu. Rzut toru sygnału na płaszczyznę z zespołem pomiarowym ma każdorazowo postać odcinka wyznaczonego nadajnikiem i odbiornikiem, położonego ukośnie względem schematu 10. Sygnały odbite dostarczają informacji dotyczących punktów odbicia zawartych w obszarze określonym parametrami procesu przetwarzania danych. Konfigurację takiego obszaru przedstawia na fig. 1 kwadratowa lub prostokątna siatka 16 ograniczona punktami A, B, C i D. Odbicia mieszczące się w siatce 16 wywołane są sygnałami sejsmicznymi emitowanymi przez nadajniki  $S_7$  do  $S_{12}$ , których odbicia wykrywane są w odbiornikach  $R_7$  do  $R_{12}$ . W podobny sposób powstają w każdej z pozostałych ćwiartek schematu 10 sondowania siatki 18, 20 i 22. Sygnał emitowany przez nadajniki  $S_7$  do  $S_{12}$  określa siatkę 22 punktów odbicia równocześnie z określaniem siatki 16, ponieważ odbiorniki  $R_1$  do  $R_6$  także rejestrują sygnały odbite pochodzące z tych nadajników. Podobnie siatki 18 i 20 określane są przez sygnały z nadajników  $S_1$  do  $S_6$ , których odbicia rejestrują odbiorniki odpowiednio  $R_7$  do  $R_{12}$  i  $R_1$  do  $R_6$ .

Fig. 2 ilustruje w uproszczonej formie sposób zastosowania krzyżowego zespołu nadajników i odbiorników wibracyjnych do określania wyżej opisanych siatek odbić od określonego poziomu podziemnego lub od warstwy litologicznej. Zespół krzyżowy jest usytuowany na powierzchni 24 ziemi wzdłuż linii 28 i 30 przecinających się w punkcie środkowym 26. Odbiorniki  $R_1$  do  $R_6$  ustawione są wzdłuż linii 28, a nadajniki  $S_1$  do  $S_6$  wzdłuż linii 30. Sondowanie przeprowadza się dla zbadania warstwy geologicznej 32. Siatki, 34, 36, 38 i 40 stanowią zbiory punktów odbicia sygnałów sejsmicznych od powierzchni warstwy badanej 32.

Sygnał emitowany przez nadajnik  $S_1$  ulega odbiciom w obszarze pierwszego rzędu 42 punktów odbicia siatek 38 i 40, a następnie zostaje zarejestrowany przez odbiorniki  $R_1$  do  $R_6$  leżące na linii 28. Następnie włącza

się nadajnik  $S_2$ , który emituje sygnał ulegający odbiciom w obszarze drugiego rzędu 44 punktów odbicia. Te sygnały odbite również zostają zarejestrowane w odbiornikach  $R_1$  do  $R_6$ . Opisany cykl pracy zostaje powtórzony kolejno także dla dalszych nadajników, zgodnie z programem pomiaru. Dzięki temu uzyskuje się informacje o obszarach badanych objętych siatkami 34, 38, 40 i 36, w obrębie których leży także rząd 46 punktów odbicia, odpowiadający nadajnikowi  $S_6$ .

Linia 12, wzdłuż której rozmieszczone są nadajniki  $S_1$  do  $S_{12}$  jest najkorzystniej prostopadła do linii 14 odbiorników. Jeżeli ukształtowanie terenu nie pozwala na takie ustawienie nadajników i odbiorników, konieczne jest wprowadzenie w obliczeniach odpowiednich poprawek. Niejednokrotnie korzystne jest rozmieszczenie nadajników i odbiorników w pewnej odległości od punktu środkowego schematu 10. Zmniejsza się w ten sposób wpływ interferencji sygnałów odbitych na wyniki pomiarowe. Takie rozmieszczenie nadajników i/lub odbiorników znacznie zmniejsza również zakłócenia wywołane falami powierzchniowymi.

W przypadku rozmieszczenia nadajników i odbiorników w pewnej odległości od środka korzystne jest ustawienie podzespołów wzdłuż linii prostych równoległych do linii 12, 14, jak to przedstawia fig. 3. Uzyskuje się wówczas jednoznaczny obraz sygnałów odbitych pochodzących z nadajników umieszczonych w końcowych położeniach linii nadajników 12. Należy zaznaczyć, że dla wszystkich kombinacji rozmieszczenia podzespołów, w których opisane liniowe rozmieszczenie nadajników jest stosunkowo efektywne, odpowiednie liniowe rozmieszczenie odbiorników jest stosunkowo nieefektywne i odwrotnie. Określenie najkorzystniejszych konfiguracji nadajnikowo-odbiornikowych realizuje się empirycznie.

Jeżeli badana warstwa jest płaska i ustawiona poziomo sygnały odbite pochodzące z zestawu nadajników rozmieszczonych wzdłuż połówki zespołu krzyżowego i rejestrowane w odbiornikach wzdłuż odpowiedniej połówki zespołu krzyżowego określają prostokątne obszary 16, 18 20 i 22 rozmieszczone jak na fig. 1. Natomiast w przypadku, gdy warstwa jest płaska, ale nie pozioma, płaszczyzny torów sygnałów nie są pionowe i w związku z tym wszystkie określane obszary dają obrazy przesunięte w tym samym kierunku o tę samą odległość, przy czym przesunięcie to nie ma wpływu na działanie zespołu obliczającego wyznaczającego dane wyjściowe.

Przedstawiony na fig. 1 punkt C obszaru 16, określany jest w wyniku współpracy nadajnika  $S_{12}$  i odbiornika  $R_{12}$ , przez okres czasu znacznie dłuższy niż punkt A tego samego obszaru 16, określany przez nadajnik  $S_7$  i odbiornika  $R_7$ . Ta różnica czasowa spowodowana jest różnicą w długości drogi przebywanej przez sygnał sejsmiczny w obu tych przypadkach, wynikającą z prostopadłego przesunięcia, nawet jeśli warstwa odbijająca jest pozioma. Podobne różnice czasowe, zależne od różnicy przesunięcia, występują dla wszystkich punktów w ramach każdego obszaru odbić.

Dla zwykłego pokrycia terenu każdy zespół krzyżowy powinien obejmować dziesięć do dwudziestu nadajników i dziesięć do dwudziestu odbiorników, przy czym całkowita odległość między nadajnikami lub odbiornikami krańcowymi wynosi około 2,4 do 4,8 km. Należy zaznaczyć, że jeżeli długość ramienia krzyża wynosi 3,2 km, wówczas powierzchnia pokryta punktami odbicia jest równa  $1,6 \text{ km}^2$  dla wszystkich poziomych płaszczyzn odbijających. Wielkość ta ulega nieznacznej zmianie w przypadku odchylenia płaszczyzny odbijającej w stosunku do horyzontu. Dla poziomej płaszczyzny odbijającej o grubości równej zero można wybrać taką średnią prędkość do tej warstwy, która wywołuje prostopadłe przemieszczenia poszczególnych punktów odbicia, prowadzące do ustawienia czterech prostokątnych obrazów punktów odbicia do jednej płaszczyzny. Jeżeli prędkość zostanie określona niewłaściwie, powoduje to uzyskanie wyników pomiarowych odpowiadających złożonej powierzchni, symetrycznej względem dwóch prostych prostopadłych. Próby prowadzenia powierzchni pomiarowej do płaszczyzny najmniejszych kwadratów powoduje wówczas zwiększenie rozbieżności wyników. Średnią prędkość można także wybrać dla sygnału odbitego od pochylonej warstwy. Jednak wówczas nie można przyjąć, że płaszczyzna najmniejszych kwadratów ma zerową grubość, a więc kąt opadania i bieg warstwy określa się przez minimalizację rozbieżności. W podobny sposób można określić właściwą średnią prędkość sygnału przed odbiciem.

Przy obliczeniach przyjmuje się grubość  $V$  warstwy stałej prędkości pomiędzy powierzchnią odniesienia a poziomem odbijającym, co przedstawia fig. 4. Wielkość  $c$  jest najmniejszą odległością wybranego punktu początkowego od płaszczyzny odbijającej. Wielkości  $l$  i  $m$  są cosinusami kierunkowymi prostopadłych do osi odpowiednio  $X$  i  $Y$ . Tak więc, jeżeli  $n$  jest cosinusem kierunkowym prostopadłej do osi  $Z$  wówczas prawidłowe jest równanie:

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad (1)$$

Równanie płaszczyzny odbijającej ma więc postać:

$$lx + my + nz = c \quad (2)$$

Na fig. 4 pokazane są dodatkowo geometryczne zależności dla toru  $Q_i$  sygnału, który przebiega od punktu  $P_j(x_j, y_j, 0)$ , w którym znajduje się nadajnik, do punktu  $P_i(x_i, y_i, 0)$ , w którym znajduje się odbiornik. Punkt odbicia sygnału na powierzchni warstwy odbijającej 32 oznaczony jest jako  $R_{ij}$ . Tak więc długość toru sygnału od punktu  $P_j$  poprzez  $R_{ij}$  do  $P_i$  jest taka sama jak odległość punktu  $I_{ij}$  od  $P_i$ , gdzie  $I_{ij}$  jest obrazem punktu  $P_j$  na zadanej płaszczyźnie. Wynika z tego, że:

$$\begin{aligned} D_{ij}^2 = & [x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmx_i - 2lc]^2 + \\ & + [y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmy_i - 2mc]^2 + \\ & + (2nc - 2lnx_i - 2mny_i)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie  $D_{ij}$  oznacza długość drogi sygnału od nadajnika poprzez punkt odbicia do odbiornika.

Okres czasu  $T_{ij}$  potrzebny na przebycie drogi  $D_{ij}$  przez sygnał z nadajnika określony jest zależnością:

$$\begin{aligned} T_{ij}^2 = K \{ & [x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmy_i - 2lc]^2 + \\ & + [y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmx_i - 2mc]^2 + \\ & + 4(1-l^2-m^2)(c-lx_i-my_i)^2 \} \end{aligned} \quad (4)$$

w której podstawiono  $n^2 = (1-l^2-m^2)$  oraz  $K = \frac{1}{V^2}$ .

Następnie określa się wartość parametrów  $l$ ,  $V$ ,  $m$  i  $c$  odpowiadające minimum wielkości:

$$\sum_{ij} (t_{ij} - T_{ij})^2 \quad (5)$$

gdzie  $t_{ij}$  oznacza zmierzony czas jaki upływa od wysłania sygnału przez nadajnik do zarejestrowania tego sygnału w odpowiednim odbiorniku. Pomiar ten przeprowadza się przy użyciu standardowych urządzeń sejsmicznych.

Ponieważ proces pomiarowy wymaga określenia czterech niezależnych parametrów, więc konieczne jest określenie co najmniej czterech niezależnych torów sygnałów do płaszczyzny odbijającej. Dla uniknięcia dodatkowych błędów statystycznych korzystne jest przeprowadzenie co najmniej dziesięciu pomiarów. Znając położenie nadajników i odbiorników oraz mierząc czas przebycia drogi przez sygnał dla wszystkich torów oblicza się  $l$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $c$  i  $V$ . Ponieważ wszystkie te parametry zmieniają się nieliniowo dlatego dla określenia ich przybliżonych wartości stosuje się standardową metodę iteracji nieliniowej, korzystnie metodę opisaną w "BMD, Biomedical Computer Programs, X-Series Supplement", której podstawę stanowi metoda kolejnych przybliżeń Gaussa-Newtona, szczegółowo opisana w literaturze statystycznej.

Stosowanie tej metody wymaga, żeby określona była funkcja [równanie /1/] oraz cząstkowe pochodne tej funkcji względem każdego parametru. Te cząstkowe pochodne mają następującą postać:

$$\begin{aligned} \frac{\delta T_{ij}}{\delta V} = \frac{-1}{V^2} \{ & [x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmy_i - 2lc]^2 + \\ & + [y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmx_i - 2mc]^2 + \\ & + 4(1-l^2-m^2)(c-lx_i-my_i)^2 \}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta T_{ij}}{\delta l} = \frac{8}{V} \{ & [x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmy_i - 2lc](2lx_i + my_i - c) + \\ & + mx_i[y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmx_i - 2mc] + \\ & - 2x_i(1-l^2-m^2)(c-lx_i-my_i) + \\ & - 2l(c-lx_i-my_i)^2 \} \{ [x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmy_i - 2lc]^2 + \\ & + [y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmx_i - 2mc]^2 + \\ & + 4(1-l^2-m^2)(c-lx_i-my_i)^2 \}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta T_{ij}}{\delta m} = \frac{8}{V} \left\{ l y_i [x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmy_i - 2lc] + \right. \\ \left. + [y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmx_i - 2mc] \cdot (2my_i + lx_i - c) + \right. \\ \left. - 2y_i(1-l^2-m^2) \cdot (c-lx_i-my_i) + \right. \\ \left. - 2m(c-lx_i-my_i)^2 \right\} \cdot \left\{ [x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmy_i - 2lc]^2 + \right. \\ \left. + [y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmx_i - 2mc]^2 + \right. \\ \left. + 4(1-l^2-m^2)(c-lx_i-my_i)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta T_{ij}}{\delta c} = \frac{-8}{V} \left\{ l[x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmy_i - 2lc] + \right. \\ \left. + m[y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmx_i - 2mc] + \right. \\ \left. - 2(1-l^2-m^2) \cdot (c-lx_i-my_i) \right\} \cdot \\ \cdot \left\{ [x_j - x_i(1-2l^2) + 2lmy_i - 2lc]^2 + \right. \\ \left. + [y_j - y_i(1-2m^2) + 2lmx_i - 2mc]^2 + \right. \\ \left. + 4(1-l^2-m^2) \cdot (c-lx_i-my_i)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (9)$$

Znaczne odchylenia kształtu powierzchni odbijającej od płaszczyzny wpływają na dokładność oszacowania kierunku i kąta opadania warstwy oraz na wartość średniej prędkości. Prawdopodobieństwo przybliżenia badanej powierzchni płaszczyzną można sprawdzić przez określenie długości torów  $Q_i$  dla każdej ćwiartki zespołu krzyżowego oddzielnie. Jeżeli obliczone wartości są wystarczająco zbliżone wówczas przybliżenie można uznać za prawidłowe.

Ze względu na wysoki stopień zależności pomiędzy parametrami spadku  $l$ ,  $m$  i prędkości dla pojedynczej ćwiartki, obliczanie tych parametrów dla każdej ćwiartki oddzielnie jest niepraktyczne. Jednakże, ze względu na stronę fizyczną zagadnienia, uzasadnione jest założenie, że średnia prędkość pozostaje zasadniczo stała we wszystkich czterech ćwiartkach nawet, jeżeli kierunek i wielkość spadku zmieniają się w poszczególnych ćwiartkach. Jeżeli jakość danych jest niewystarczająca, wówczas istnieje potrzeba ograniczenia ilości zmian, które mogą występować w kierunku każdej z czterech ćwiartek. Ograniczenia te mogą zostać wprowadzone w programie obliczania parametrów.

Poniżej podane jest równanie określające czas  $T_{ij}$  przebycia przez sygnał drogi z nadajnika do powierzchni odbijającej, a następnie do odbiornika, przy czym parametry  $l_1, l_2, l_3, l_4, m_1, m_2, m_3, m_4, c_1, c_2, c_3$  i  $c_4$  są odpowiednimi cosinusami kierunkowymi dla poszczególnych ćwiartek, a  $V$  jest prędkością średnią sygnału w drodze do powierzchni odbijającej. Tak więc

$$T_{ij} = \frac{1}{V} (S^2 + P^2 + 4UW)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

gdzie

$$S = \sum_{k=1}^4 qk[x_j - x_i(1-2l_k^2) - 2l_k m_k y_i - 2l_k c_k] \quad (11)$$

$$W = \sum_{k=1}^4 qk(1-l_k^2-m_k^2) \quad (12)$$

$$U = \sum_{k=1}^4 qk(c_k - l_k x_i - m_k y_i) \quad (13)$$

$$P = \sum_{k=1}^4 qk[y_j - y_i(1-2m_k^2) + 2l_k m_k x_i - 2m_k c_k] \quad (14)$$

$(x_i, y_i)$  są współrzędnymi  $i$ -go nadajnika,  $(x_j, y_j)$  są współrzędnymi  $j$ -go odbiornika, a  $qk$  jest zmienną dwuwartościową, która ma wartość "1" gdy  $i$ -ty nadajnik i  $j$ -ty odbiornik określają punkt odbicia zawarty w  $k$ -tej ćwiartce, oraz wartość "0" dla pozostałych ćwiartek.

Metoda iteracji nieliniowej wymaga oszacowania pochodnych cząstkowych  $T_{ij}$  względem każdego parametru. Pochodne te mają następującą postać:

$$\frac{\delta T_{ij}}{\delta V} = \frac{-1}{V^2} (S^2 + P^2 + 4UW^2)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta T_{ij}}{\delta l} = \frac{1}{V} (S^2 + P^2 + 4UW^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left( S \frac{\delta S}{\delta l} + P \frac{\delta P}{\delta l} + 2W^2 \frac{\delta U}{\delta l} + \right. \\ \left. + 4UW \frac{\delta W}{\delta l} \right) \quad (16) \end{aligned}$$

przy czym wyrażenia określające pochodne cząstkowe  $T_{ij}$  względem parametrów  $m$  i  $c$  są analogiczne do zależności (16). Uzyskuje się je przez zastąpienie  $l$  odpowiednim symbolem.

Wartości pochodnych cząstkowych  $\frac{\delta S}{\delta l}$  i podobnych można w prosty sposób określić na podstawie równań /11/, /12/, /13/ i /14/.

Na fig. 5 przedstawiony jest schemat programu 70, według którego działa zespół przetwarzania danych w układzie według wynalazku. Program 70 rozpoczyna się uruchomieniem bloku wejściowego 72, który współdziała z blokiem 74 realizującym odczyt wyników pomiaru czasu przebywania drogi nadajnik-odbiornik dla każdej ilości powierzchni odbijających w danym obszarze oraz realizującym obliczanie wartości  $V$ ,  $l$  i  $m$ . Dane wyjściowe z bloku 74 przekazuje się do bloku 76, w celu obliczania poprawek dla wejściowych wartości mierzonych, czasów dotyczących korekty poziomu nadajników w stosunku do odbiorników. Obliczone poprawki  $\Delta t$  wprowadza się za pośrednictwem stopnia 82 do bloku 74. Wejścia dla danych miejscowych z bloku 78 i odchyłek ustalonych z bloku 80, jak również blok 82 poprawek służą do przetwarzania danych w przypadku przełączenia programu na kolejną powierzchnię odbijającą.

Dane wyjściowe z bloku 76 przekazuje się do bloku orzekania danych wstępnych 84, który służy do obliczania wstępnej wartości parametru  $c$  dla każdej badanej powierzchni odbijającej. Dane wejściowe z bloku wstępnego przetwarzania 84 przekazuje się do bloku 86, który służy do wyboru i zapamiętywania pewnych informacji odnośnie procesu przetwarzania takich, jak wstępnie oszacowane wartości  $V$  i  $c$ , skorygowane wartości czasu przebycia poszczególnych torów przez sygnały i odpowiadające im położenia nadajników i odbiorników. Dane wyjściowe z bloku 86 przekazuje się do bloku 88, gdzie dokonuje się selekcji danych odpowiadających poszczególnym powierzchniom odbijającym. Blok 88 służy do odczytywania wstępnych wartości  $V$ ,  $l$  i odpowiednich wartości czasu z położeniami nadajników i odbiorników dla zadanej powierzchni odbijającej. Wprowadzenie danych przez końcówkę B i linię 90 jest również możliwe.

Dalszy przepływ informacji z bloku 88 do bloku wstępnego przetwarzania 92, służy do określenia optymalnych wartości  $V$ ,  $l$ ,  $m$  i  $c$  metodą iteracji nieliniowej.

Informacje wyjściowe z bloku 92 przekazuje się do bloku 94, który realizuje operację zapisu danych odpowiadających minimalnej różnicy wartości czasu zmierzonego i czasu otrzymanego na drodze obliczenia funkcji (1) dla danego przybliżenia. Różnice tych czasów mogą być dowolnie ustalone dla wszystkich torów nadajnik-odbiornik. Wartości tych czasów wykorzystuje się następnie do oceny wpływu warunków atmosferycznych lub sprawdzenia założenia o płaskości powierzchni odbijającej. Dane wyjściowe z bloku 94 przekazuje się dalej do bloku wstępnego przetwarzania 96, w którym określa się kierunek i wielkość spadku dla wybranej powierzchni odbijającej. W bloku tym wykorzystuje się do obliczeń końcowe oszacowania wartości  $V$ ,  $c$ ,  $l$  i  $m$ . Dane wyjściowe tego bloku przekazuje się do bloku 98 dla ich wydrukowania. Dane te obejmują wartości ostateczne  $V$ ,  $c$ ,  $l$ ,  $m$  i parametrów spadku oraz kolejne wartości resztkowe. Dane te przechodzą jeszcze przez blok decyzyjny 100 sygnalizujący zakończenie programu w przypadku braku dalszych powierzchni odbijających w badanym obszarze. Sygnał zakończenia programu podawany jest linią 102 do bloku A, który poprzez linię 104 wprowadza go do bloku 74. Jeżeli w badanym obszarze znajduje się jeszcze co najmniej jedna powierzchnia odbijająca, przewodem 106 przekazany zostaje do bloku B sygnał powtórzenia programu od bloku 88. Poprzez przewód 90 następuje wczytanie do bloku 88 wartości  $V$ ,  $l$ , czasu i położenia odbiorników dla nowych powierzchni.

Na fig. 6 przedstawiony jest przykład wykresu uzyskanego przy pomocy układu według wynalazku. Informacje dotyczące spadku i głębokości warstwy geologicznej zebrane zostały za pomocą zespołów krzyżowych umieszczonych w sześciu punktach. Jeżeli linie nadajników i odbiorników miały przy tych pomiarach długość po około 3,2 km to obszar określony wykresem z fig. 6 ma wymiary 16,1 km w kierunku 106 i 22,1 km w kierunku 108, a więc powierzchnię około 360 km<sup>2</sup>. Każdy z wykreślonych obrazów krzyżowych wskazuje kierunek spad-

ku i jego wielkość liczoną w stopniach, oraz położenie miejsca sondowania. Porównanie wyników pomiarów z rzeczywistym układem warstw geologicznych, 110, 112, 114 i 116 w badanym obszarze wykazało, że otrzymane dane dotyczące kierunku i wielkości spadku warstwy w każdym z punktów są zgodne z rzeczywistymi.

Na fig. 7 przedstawiony jest przykładowy wykres danych wyjściowych określonych dla pojedynczego krzyżowego zespołu nadajnikowo-odbiorowego. Wyjściowy wykres 120 składa się z punktu środkowego 122 i kwadratowych siatek 124, 126, 128 i 130 punktów odbicia, składających się z wielu punktów odbicia 132. Czasy przepływu odbitego sygnału sejsmicznego pokazane są w formie warstw. Warstwy zostały wykreślone dla różnic czasowych 6ms, bez uwzględniania poprawek czasowych. Tak więc, czas przebywania drogi nadajnik-odbiornik przez sygnał sejsmiczny waha się w granicach od 700 ms dla centralnej warstwy 134 do 760 ms dla warstwy 136. Czasy są mniejsze w środku wykresu i większe na brzegach, ponieważ nie uwzględniono  $\Delta t$ . Warstwy są zasadniczo kołowe ze względu na symetryczną rozciągłość, spadek oraz stałą prędkość sygnału w badanej warstwie horyzontalnej.

Na fig. 8 przedstawiony jest wykres 140 pochodzący z tego samego zespołu krzyżowego, w którym uwzględnione zostały przesunięcie prostopadłe lub  $\Delta t$  oraz różnica czasowa między warstwami została zmniejszona do 2ms. Wykres 140 wykazuje znaczne odchylenia od płaszczyzny stanowiącej przybliżenie badanej powierzchni odbijającej, które spowodowane są warunkami powierzchniowymi.

Należy zaznaczyć, że w układzie według wynalazku przyjmuje się, że powierzchnia odbijająca jest płaszczyzną w obrębie całego obszaru siatek 124, 126, 128 i 130. Jeżeli uzyskany obraz warstwy podziemnej jest zakrzywiony to należy przyjąć, że krzywizna jest spowodowana przesunięciem prostopadłym i można ją usunąć, ale uzyskuje się wówczas fałszywe wielkości prędkości. W ten sposób w obrębie stromej antykliny istnieje tendencja do zbytowego uwzględniania normalnego przesunięcia, wskutek czego otrzymane prędkości są za małe, podczas gdy zupełnie odwrotnie jest przy rejestrowaniu obrazów krzyżowych w obrębie synklin.

Na fig. 9 przedstawiony jest układ według wynalazku obejmujący parę odległych od siebie zespołów krzyżowych 150 i 152 dla uzyskania danych odnośnie wybranej warstwy, w obszarach 156 i 156 bezpośrednio pod tymi zespołami. Tak więc kolejne pobudzanie nadajników  $S_1$ ,  $S_n$  na linii 160 i rejestrowanie odbitych sygnałów przez odbiorniki  $R_1$ ,  $R_n$  na linii 158, umożliwia zebranie danych w obrębie siatek 162, 164, 166, i 168. W podobny sposób kolejne pobudzanie nadajników  $S_2$ ,  $S_{2n}$  wzdłuż linii 170 i rejestrowanie odbitych sygnałów przez odbiorniki  $R_2$ ,  $R_{2n}$  na linii 172 umożliwia zebranie danych dotyczących punktów odbicia w obrębie kwadratowych siatek 174, 176, 178 i 180.

Obraz oddalony 182 w miejscu położonym w przybliżeniu w środku odległości między zespołami krzyżowymi 150 i 152 może zostać określony za pomocą selektywnego wzbudzenia nadajników jednego zespołu krzyżowego w powiązaniu z odbiornikami drugiego zespołu krzyżowego. Sygnał wibracyjny emitowany przez nadajniki  $S_1$ ,  $S_n$  na linii nadajników 160 można rejestrować w odbiornikach  $R_2$ ,  $R_{2n}$  zespołu krzyżowego 152 dla ustalenia dużej ilości szukanych punktów odbicia w obrębie obrazu oddalonego 182. Dla lepszego zilustrowania oznaczone zostały tylko narożne punkty odbić 184 w obrębie obrazu oddalonego 182, jednakże należy zaznaczyć, że sygnały przejmowane we wszystkich odbiornikach  $R_2$  do  $R_{2n}$  określają punkty odbicia zasadniczo równo rozłożone w poszczególnych ćwiartkach, odzwierciedlające spadki lub nieprawidłowości wybranych warstw na całym obszarze obrazu oddalonego 182. Wypełnienie i wzmocnienie obrazu oddalonego 182 uzyskuje się przepuszczając sygnał również w przeciwnym kierunku. Wówczas sygnał wibracyjny z nadajników  $S_2$ ,  $S_{2n}$  zespołu krzyżowego 152 przepuszcza się do odpowiednich odbiorników  $R_1$ ,  $R_n$  zespołu krzyżowego 150, przy czym po drodze zostają one odbite w obrębie obrazu oddalonego 182.

Jak widać z fig. 10 dzięki zastosowaniu co najmniej dwóch oddalonych zespołów krzyżowych 150, 152 osiąga się, poza zwiększeniem ilości danych, dodatkową korzyść polegającą na tym, że dodatkowy obraz oddalony 182 uzyskuje się bez potrzeby przemieszczania nadajników i odbiorników w zespołach krzyżowych 150 i 152. Dla przykładu szerokości zespołów krzyżowych, to jest długości linii nadajników i odbiorników, wynoszą około 3,2 km. Jeżeli dwa takie zespoły krzyżowe umieszczone zostaną w odległości 12,9 km wówczas obraz oddalony uzyskuje się w połowie drogi pomiędzy dwoma zespołami krzyżowymi, czyli w przybliżeniu w odległości 6,5 km od każdego z zespołów krzyżowych.

Dokładne odległości jak również dokładne i symetryczne umieszczenie w poszczególnych ćwiartkowych obrazach punktów odbicia w obrazach miejscowych i oddalonych zależą od zmian parametrów głębokości, spadku i prędkości dla badanej warstwy. Oczywiście jest, że wstępne badania prowadzi się wzdłuż długiej linii badań, przy użyciu małej ilości wybranych i odpowiednio umieszczonych zespołów krzyżowych. Te wstępne dane mogą następnie zostać uściślone przez wykonanie dalszych pomiarów przy pomocy zespołów krzyżowych ustawionych na dowolnej szerokości terenu w sąsiedztwie lub po obu stronach linii poszukiwań.

W przypadku, gdy odległość pomiędzy zespołami krzyżowymi jest za duża lub gdy nakazują to nieprawidłowości powierzchniowe, dla uzyskania danych w obrazie oddalonym stosuje się znane metody refrakcji. Jak pokazano na fig. 11 na powierzchni ziemi umieszcza się dwa oddalone od siebie zespoły krzyżowy 190 i 192. Układ krzyżowy 190 składa się z linii nadajników 194 i linii odbiorników 196 i służy do uzyskiwania miejscowego obrazu 198 dzięki odbiciu od wybranych spodnich warstw, w sposób opisany w odniesieniu do fig. 9 i 10. Podobnie drugi oddalony zespół krzyżowy 192 obejmuje linię nadajników 200 i linię odbiorników 202, i służy do uzyskiwania miejscowego obrazu 204 punktów odbicia.

Dla ustalenia danych odnośnie obrazu oddalonego 206 stosuje się sondowanie refrakcyjne. Sygnały z nadajników  $S_1$ ,  $S_n$  zespołu krzyżowego 190 kieruje się do wybranych warstw podziemnych dla załamania ich biegu wzdłuż tych warstw i następnie rejestrowania ich w odbiornikach  $R_2$ ,  $R_{2n}$  zespołu krzyżowego 192. Dodatkowe dane uzyskuje się przepuszczając sygnał z nadajników  $S_2$ ,  $S_{2n}$  zespołu krzyżowego 192 do płaszczyzny refrakcyjnej i dalej do linii odbiorników 196 zawierającej odbiorniki  $R_1$ ,  $R_n$  należące do zespołu krzyżowego 190. Powrotny załamany sygnał jest następnie przetwarzany w poprzednio opisany sposób. Gdy zapewni się, że co najmniej jedno, lub korzystnie więcej, położeń nadajników jest jednocześnie połozeniami odbiorników, wówczas głębokość warstwy refrakcyjnej określana względem takich punktów może być określona przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów zwanej metodą czasową.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Układ do wibracyjnego badania utworów geologicznych, zawierający zespół nadajników i odbiorników wibracyjnych, w którym nadajniki ustawione są w określonych odstępach wzdłuż pierwszej linii prostej, a odbiorniki wzdłuż drugiej linii, prostej, przecinającej pierwszą pod kątem prostym, z n a m i e n n y t y m, że zawiera co najmniej jeden dalszy krzyżowy zespół (152) nadajników ( $S_2 \dots S_{2n}$ ) i odbiorników ( $R_2 \dots R_{2n}$ ) wibracyjnych, przy czym odpowiadające sobie linie (160, 170) nadajników i (158, 172) odbiorników poszczególnych zespołów (150, 152) są do siebie równoległe, a odległości sąsiadujących ze sobą zespołów krzyżowych są większe niż odległości między krańcowymi nadajnikami lub odbiornikami w tych zespołach, oraz odbiorniki ( $R_1 \dots R_n$ ) i ( $R_2 \dots R_{2n}$ ) co najmniej dwóch sąsiadujących ze sobą zespołów krzyżowych (150, 152) są przystosowane do równoczesnego odbioru fal wibracyjnych emitowanych przez jeden z nadajników jednego z tych zespołów, z chwilą wzbudzenia tego nadajnika.

2. Układ według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m, że nadajniki ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  i  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$ ) i odbiorniki ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  i  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ) są rozstawione w równych odstępach wzdłuż obydwu skrzyżowanych linii (28, 30) prostych każdego z zespołów krzyżowych.

3. Układ według zastrz. 2, z n a m i e n n y t y m, że w co najmniej niektórych zespołach krzyżowych odległość punktu przecięcia (26) dwóch skrzyżowanych linii (28, 30) od najbliższego nadajnika ( $S_3$ ,  $S_4$ ) i / lub najbliższego odbiornika ( $R_3$ ,  $R_4$ ) jest większa niż wzajemna odległość sąsiadujących ze sobą nadajników ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  lub  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$ ) względnie odbiorników ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  lub  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ).

4. Układ według zastrz. 1 albo 2 albo 3, z n a m i e n n y t y m, że w każdym z zespołów krzyżowych nadajniki ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$ ) i odbiorniki ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ) są rozstawione wzdłuż obu skrzyżowanych linii prostych (28, 30) po obydwu stronach punktu przecięcia tych linii.

5. Układ według zastrz. 4, z n a m i e n n y t y m, że zarówno nadajniki ( $S_1$  do  $S_6$ ) jak i odbiorniki ( $R_1$  do  $R_6$ ) są rozstawione wzdłuż skrzyżowanych linii prostych (28, 30) symetrycznie względem punktu przecięcia (26) tych linii.

6. Układ według zastrz. 5, z n a m i e n n y t y m, że odcinki prostych łączące współpracujące ze sobą nadajniki ( $S_1$  do  $S_6$ ) i odbiorniki ( $R_1$  do  $R_6$ ) przecinają dwusieczne kątów zawartych między skrzyżowanymi liniami prostymi (28, 30).

7. Układ według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m, że nadajniki ( $S_1$  do  $S_6$ ) są przystosowane do kolejnego włączania.

8. Układ według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m, że poszczególne zespoły krzyżowe (150, 152) są rozstawione w odstępach wzdłuż linii pomiarów, dla badania utworów geologicznych w obszarach usytuowanych wzdłuż tej linii poniżej tych zespołów i pomiędzy nimi.

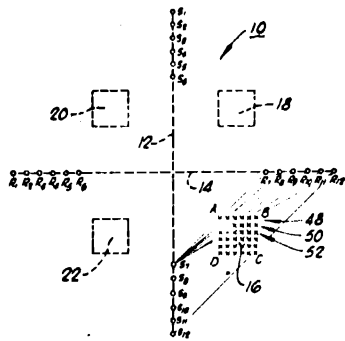


FIG. 1

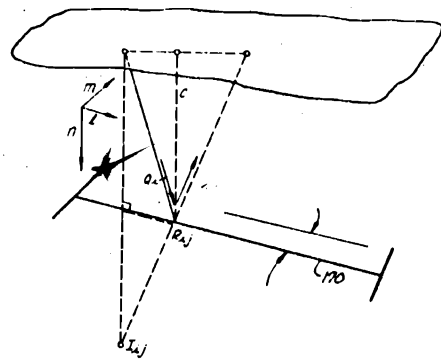


FIG. 4

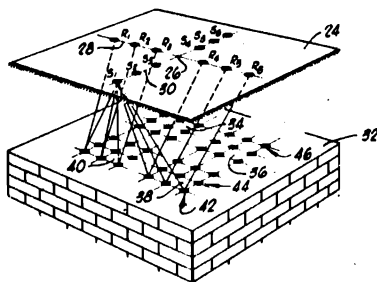


Fig. 2

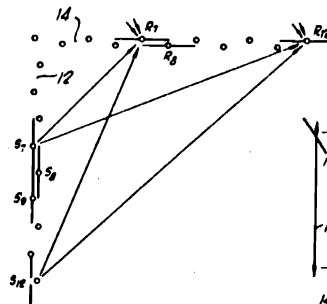
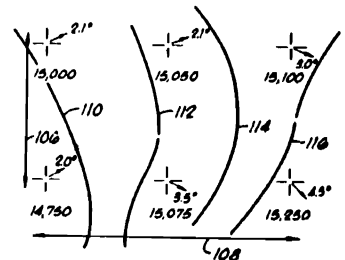


FIG. 3



**FIG. 5**

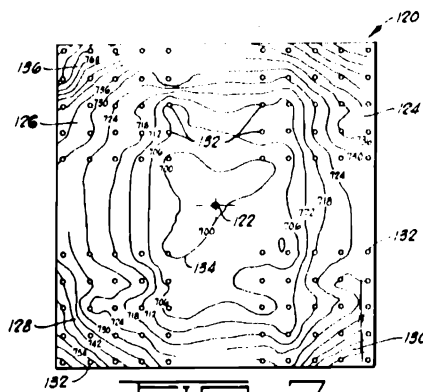
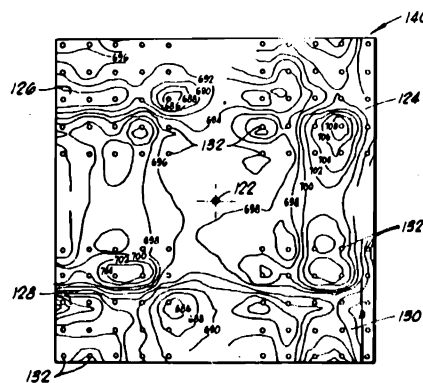


FIG. 7



**FIG. 8**

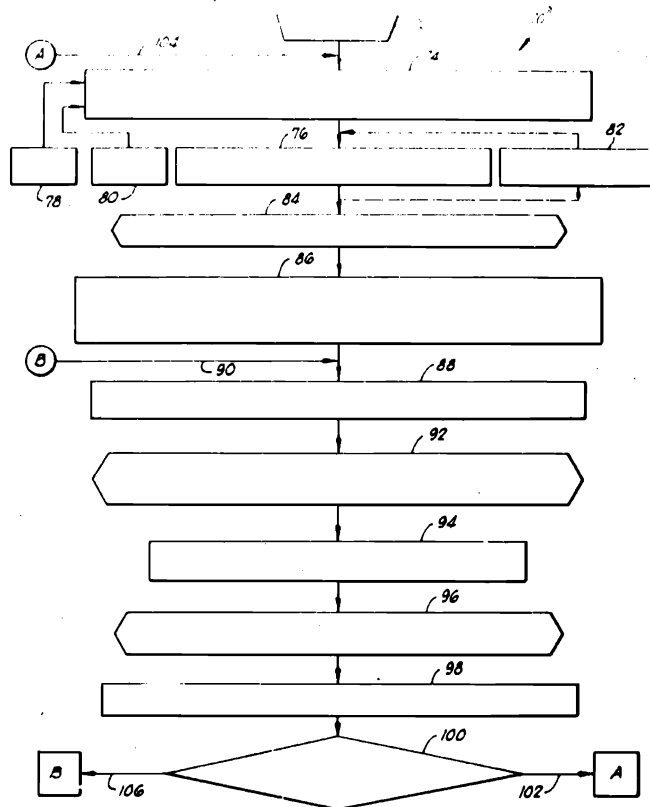


FIG. 5

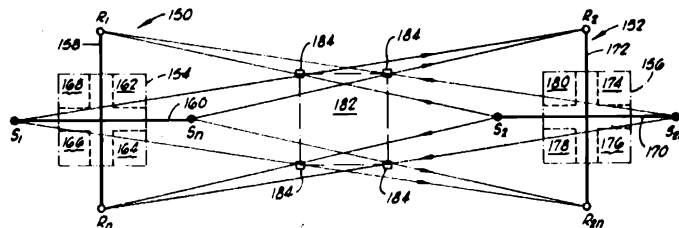


Fig. 9

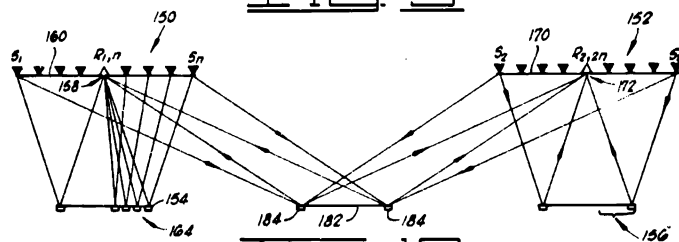


FIG. 10

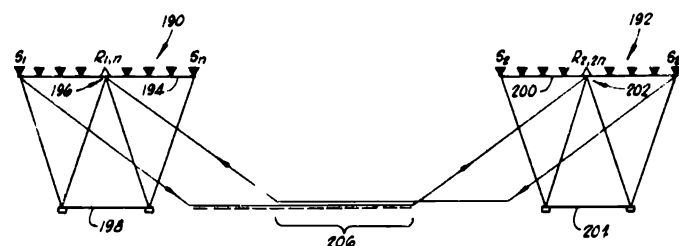


FIG. 11