

TECHNIKA ZAPISU CYFROWEGO W SEJSMICE (CZ. I)

UKD 550.834:661.322/323:553.961/982

Pierwsze prace nad realizacją zapisu cyfrowego w sejsmice rozpoczęła w 1954 r. amerykańska firma Texas Instruments. Obecnie pracuje już na świecie ponad 200 aparatów cyfrowych tej firmy. Texas Instruments jest największym światowym producentem w tej dziedzinie, a jej aparaty połowe cieszą się opinią najlepszych. W AGIP* zrezygnowano z prób podejmowania własnej produkcji aparatów sejsmicznych, mimo iż AGIP jest koncernem bogatym, dysponującym znacznymi funduszami na cele rozwoju. Zdecydowano, iż ekonomicznie bardziej uzasadnione jest korzystanie z produkcji firm wcześniej już w tej dziedzinie wyspecjalizowanych.

We wstępnej analizie rynku rozpatrzono w AGIP możliwość zakupu aparatów cyfrowych następujących firm: Pradka (NRF), OGG (Francja), Texas Instruments (USA), Geo Space Corporation (USA), Western Geophysical Co. (USA), Robert Ray (USA). Ostatecznie z początkiem 1966 r. wynajęto trzy aparaty trzech różnych firm, aby po okresie paromiesięcznej pracy w terenie wybrać jedną do dalszego zakupu. Są to:

1. DFS/10000 aparaty produkcji Texas Instruments wynajęta wraz z operatorem z europejskiego oddziału tej firmy: Geophysical Service International (GSI) Division, London. Pracuje obecnie w IV Grupie Sejsmicznej AGIP na obszarze Niziny Paddańskiej na terenie Abbiatograsso,

2. Aparatury produkcji Western Co., pracuje obecnie w grupie sejsmicznej AGIP w Tunezji,

3. Aparatury produkcji Robert Ray, pracuje obecnie w grupie sejsmicznej AGIP w Nigerii.

W czerwcu 1967 r. niezbrane były jeszcze oficjalne decyzje, lecz z powszechnie wyrażonych opinii można było wnioskować, iż AGIP zakupi teraz większą ilość aparatów DFS/10000 i przejdzie w 1968 r. na pracę wyłącznie z aparatami cyfrowymi.

Polowe taśmy cyfrowe z powyższych trzech aparatów przesyłano do interpretacji cyfrowej do centrum: Centre Playback GSI, do Londynu skąd otrzymano gotowe przekroje czasowe. W pierwszych dniach czerwca ubr. uruchomiono własną centralę cyfrową AGIP. I tak jak przekonano się, iż najlepiej pracują w terenie aparaty produkcji Texas Instruments, tak tu AGIP zdecydował zakupić centralę produkcji Western Geophysical Co. jako cieszącą się opinią sprawniejszej i nowocześniejszej od innych. Na razie centrala ta pozostaje własnością producenta i wynajmowana jest przez AGIP wraz z całym personelem obsługującym. Po pewnym okresie czasu zostanie zakupiona i będzie obsługiwana wyłącznie przez Włochów, którzy w tej chwili są jedynie dublerami specjalistów amerykańskich.

Za pomocą tej centrali interpretuje się taśmy z aparatów cyfrowych oraz taśmy analogowe z wszystkich pozostałych aparatów AGIP, które pracują analogowo z zapisem magnetycznym modulowanym częstotliwościowo. W tym celu te ostatnie przepisywane są przez specjalne urządzenia w postaci cyfrową.

Tak więc materiały sejsmiczne z wszystkich grup AGIP interpretowane są już tylko i wyłącznie w

sposób cyfrowy. Grupy terenowe nie zatrudniają ani jednej osoby zajmującej się interpretacją. Kierownicy grup często nie są geofizykami. Za jakość zapisu odpowiada specjalista technik operator. Cyfrową centralę interpretacyjną obsługuje kilkunastu inżynierów i techników: elektroników, programistów, matematyków. Kierownikiem całości jest inżynier geofizyk, jedyny „klasyczny” geofizyk w całym zespole.

Gotowe opracowania sejsmiczne przekazywane są wprost do centralnego biura opracowań kompleksowych, gdzie projektuje się lokalizację otworów wiertniczych oraz tematy dalszych prac poszukiwawczych.

ZAPIS CYFROWY

Intensyfikacja poszukiwań ropy i gazu zmusza coraz częściej do śledzenia obiektów trudnych do identyfikacji, dostarczania zdjęć bardziej precyzyjnych coraz głębszych struktur. Przynosi to konieczność stosowania programów opracowań danych sejsmicznych bardziej złożonych, w wielu przypadkach nader długich.

W konsekwencji stwierdzono celowość stosowania maszyn cyfrowych, pozwalających rozwiązywać problemy wyjątkowo złożone w czasie względnie krótkim. Oczywiście dane sejsmiczne w celu podania masywnie muszą być wyrażone w formie cyfrowej.

Należy wprawdzie wyjaśnić na czym polegają korzyści stosowania systemu cyfrowego w technice obliczeniowej.

Informacja może być wyrażona w formie analogowej lub cyfrowej. Istnieją również dwa sposoby przetwarzania informacji. Tak więc stosuje się maszyny liczące dwóch różnych typów: analogowe i cyfrowe.

W urządzeniach analogowych, zwanych także maszynami o działaniu ciągłym, wielkościami matematycznym odpowiadają wartości ciągłe jakichś jednostek fizycznych, np. natężenia lub napięcia prądu, długości odcinka, itp.

W systemie cyfrowym informacja wyrażona jest natomiast w formie dyskretnego ciągu liczb, np. ilości dziurek w taśmie perforowanej, ilości krawędzi liczydła, ilości egzemplarzy książek itp.

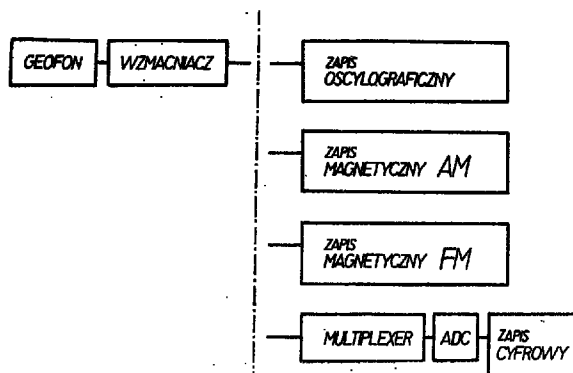
Informacja analogowa w drodze od źródła poprzez urządzenie przetwarzające do momentu odczytu może podlegać zakłóceniom, które zmieniają jej postać ostateczną. Nie zdarza się to w systemie cyfrowym. Przenoszona liczba zawsze może być wyraźnie odróżniona od innej i zawsze pozostaje ta sama, zmieniając jedynie swą postać w wyniku opracowania w oparciu o odpowiedni program matematyczny.

Wynik prostego sumowania: $2 + 2$ w systemie analogowym może być np. 3,9, równie dobrze 4,021 lub 3,98 itp., natomiast w systemie cyfrowym zawsze $2 + 2 = 4$.

Przykładem najprostszej maszyny liczącej analogowej może być suwak logarytmiczny, za pomocą którego wykonujemy działania mnożenia czy dzielenia, dodając lub odejmując od siebie odcinki o długościach równych logarytmom odpowiednich liczb. Zwykle liczydło może posłużyć natomiast za przykład prostej maszyny cyfrowej.

Bazując ciągle na tym samym układzie geofonów i wyznacznicy odebrany sygnał sejsmiczny zapisać można na różne sposoby:

* AGIP — filia włoskiego koncernu ENI zajmująca się poszukiwaniami geologicznymi i geofizycznymi, eksploatacją ropy i gazu oraz sprzedażą produktów naftowych. Autor przebywał na studiach w szkole im. Enrico Mattei koncernu ENI w Mediolanie; publikowany powyżej artykuł jest właśnie wynikiem pobytu autora we Włoszech, gdzie miał możliwość zapoznać się z najnowszymi osiągnięciami techniki zapisu cyfrowego. (red.)



Ryc. 1.

- na papierze światłoczułym,
- na taśmie magnetycznej modulowanej amplitudowo (AM),
- na taśmie magnetycznej modulowanej częstotliwościowo (FM),
- na taśmie magnetycznej cyfrowo w systemie dwójkowym (ryc. 1).

Drgania terenu generują w geofonie sygnał elektryczny, który odpowiednio wzmocniony w systemie analogowym zostaje zapisany na taśmie magnetycznej. Zapis ten mniej lub bardziej wiernie odwzorowuje drgania terenu i może być przedstawiony w postaci krzywej ciągłej, określonej parametrami: amplitudy na osi rzędnych i czasu na osi odciętych (ryc. 2).

W zapisie cyfrowym sygnał nie jest rozpatrywany jako funkcja ciągła, lecz jako ciąg liczb, reprezentujących wartości amplitud w wąskich interwałach czasowych (sampling), (ryc. 3). Liczby te zostają zapisane nie w systemie dziesiętnym, lecz dwójkowym, systemie powszechnie stosowanym w technice cyfrowej. System dziesiętny bazuje na liczbie 10, używając dziesięciu różnych stanów: liczby od 0 do 9. W systemie dwójkowym natomiast bazą jest nie 10 lecz 2, a w związku z tym pozostawia on do dyspozycji tylko dwa różne stany: 0 i 1.

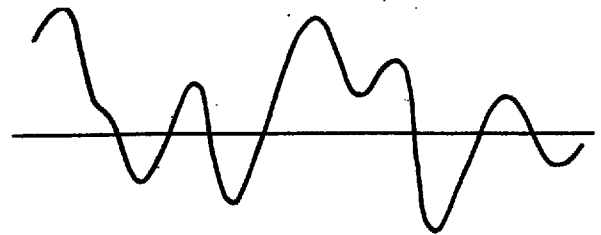
Ten ostatni aspekt jest istotną przyczyną, dla której stosuje się ten właśnie system. System: „Wszystko lub nic”, sygnał lub brak sygnału — łatwy jest do rozwiązania elektronicznie, oznacza układ zamknięty lub otwarty, włączony bądź wyłączony. Nie istnieją stany pośrednie, co niesie bezwzględna pewność wyrażenia.

W systemie dwójkowym cyfra pierwsza od prawej ma wartość jedności (2^0), druga dwóch jedności (2^1), trzecia czterech jedności (2^2), czwarta ośmiu jedności (2^3) itd. Cyfry reprezentują ilość potęg liczby 2 rzędu zależnego od zajmowanego miejsca. Każde miejsce dwójkowe reprezentuje zatem wartość dwa razy większą od poprzedzającego go od prawej.

BIT

Podstawową najmniejszą jednostką ilości informacji jest jeden bit. Nazwa ta pochodzi od słów binary digit i służy do określenia ilości informacji, potrzebnej do podania, jaki z dwóch różnych stanów systemu dwójkowego ma zaistnieć: stan, w którym ma wystąpić odpowiednia potęga liczby 2, czyli cyfra 1, czy cyfra 0, gdy dana potęga liczby 2 ma nie wystąpić. Im większą ilością bitów dysponujemy tym większa jest maksymalna wartość liczby, jaką bitami można wyrazić. Wyrażenie ogólne na maksymalną wartość liczby dziesiętnej dającą się wyrazić za pomocą n bitów ma następującą postać:

$$N = 2^n - 1$$



Ryc. 2.

Obecnie produkowane aparaty sejsmiczne mają na ogół do dyspozycji 15 bitów dla zapisu sygnału sejsmicznego, z czego 14 przeznaczonych jest do zapisu wielkości amplitudy sygnału w wartości bezwzględnej, a jeden bit służy do określenia znaku.

Maksymalna wartość liczby dziesiętnej N , jaką można wyrazić tymi 14 bitami będzie:

$$N = 2^{14} - 1 = 16\,384 - 1 = 16\,383$$

Zakres dynamiczny systemu jest stosunkiem między rejestrowanymi wartościami: maksymalną i minimalną. Duże znaczenie oprócz wartości maksymalnej, dającej się zapisać, odgrywa również wartość minimalna, którą wyznacza wysokość poziomu szumów pochodzących od analogowej części aparatury. Wartość zakresu dynamicznego wyraża się zwykle w decybelach, jako stosunek dwóch napięć:

$$\text{zakres dynamiczny (db)} = 20 \log \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

W przypadku $V_{max} = 2$ i $V_{min} = 1$ będzie

$$20 \log \frac{2}{1} = 20 \cdot 0,3010 = 6,02 \approx 6$$

Tak więc stosunek napięć równy 2 odpowiada 6 db. Fakt, iż w systemie dwójkowym każde miejsce dwójkowe jest podwojeniem poprzedniego stwarza możliwość łatwego przechodzenia z dobrym przybliżeniem od bitów do zakresu dynamicznego w decybelach, mnożąc jedynie ilość bitów przez 6. W przypadku zapisu czternastobitowego maksymalny zakres dynamiczny będzie zatem:

$$14 \cdot 6 = 84 \text{ db}$$

albo inaczej, maksymalna wartość dziesiętna, którą można wyrazić za pomocą tych 14 bitów jest:

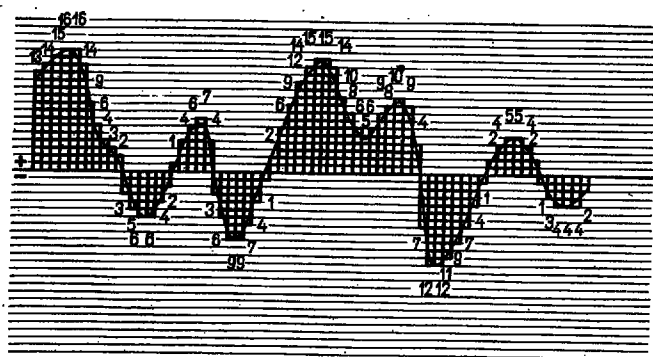
$$N = 2^{14} - 1 = 16\,383$$

więc zakres dynamiczny będzie:

$$20 \log \frac{16\,383}{1} = 20 \cdot 4,2143 = 84 \text{ db.}$$

Dla porównania aparatury analogowe pozwalają zapisać widmo dynamiczne o rozpiętości 40 — 45 db na taśmach magnetycznych w systemie modulacji amplitudowej, a około 50 — 55 na taśmach magnetycznych przy modulacji częstotliwościowej. W pierwszym przypadku granice wyznaczone są nasyceniem zapisu magnetycznego, w drugim dopuszczalną maksymalną zmianą częstotliwości. W konsekwencji w systemie analogowym konieczne jest stosowanie automatycznej regulacji wzmocnienia w zakresie bardzo szerokim dla ściśnięcia widma dynamicznego w wąskie pasmo pozostające do dyspozycji, aby uniknąć zjawisk nasycenia czy dystrybji. W systemie cyfrowym natomiast interwencja automatycznej regulacji wzmocnienia jest dużo bardziej ograniczona.

Nowsze aparaty cyfrowe oprócz tego wyposażone są w urządzenia dwójkowej kontroli wzmocnienia (binary gain control), niezależnej dla każdego kanału sejsmicznego, które pozwala rozszerzyć wartość rozpiętości dynamicznej aż do około 170 db. W binarnej kontroli wzmocnienia między dwoma kolejnymi interwałami czasowymi mogą zaistnieć następujące zmiany wzmocnienia: 6 db ponad dotychczasową



Ryc. 3.

wartość, 6 db poniżej lub 0, dla każdego kanału niezależnie. Dla każdego kanału sejsmicznego osobno i dla każdego interwału czasowego przeznaczony jest jeden bit dla zarejestrowania czy wzmocnienie wzrosło o 6 db, zmalało 6 db czy pozostało bez zmian. Jedynek zapisana tym bitem w interwałach czasowych nieparzystych oznacza plus, w interwałach parzystych minus, zero natomiast oznacza bez zmian.

Zatem za pomocą aparatur z cyfrowym zapisem można prowadzić rejestrację sygnałów sejsmicznych praktycznie w całej rozpiętości ich widma dynamicznego.

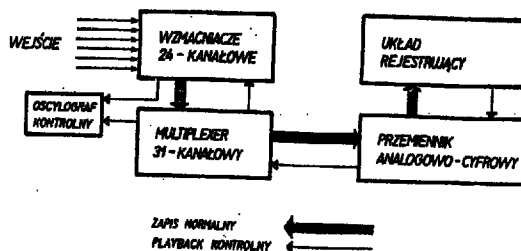
Następujący dalej ogólny opis budowy i działania aparatury polowej dotyczy konkretnego przypadku aparatury cyfrowej digital field system — DFS/10000 (produkcji Texas Instruments. Łączna ilość kanałów, którymi dysponuje aparatura: 32, ilość kanałów sejsmicznych: 24. Wzmacniacze pracują w zakresie częstotliwościowym od 5 do 300 Hz z filtracją wyposażoną w regulację pasma przepuszczalności i nachylenia odcięcia. Wzmacniacze mają następujące programy wzmocnienia: program kontroli wzmocnienia, automatyczna kontrola wzmocnienia, program automatyczny. Programy te posiadają zasięg do 100 db. Krzywa wzmocnienia wspólna jest dla wszystkich kanałów, a kształt jej zostaje zapisany przy użyciu specjalnego kanału.

Wzmocniony analogowy sygnał sejsmiczny zostaje przetworzony następnie w formę interwałową (sampling) w urządzeniu zwanym multiplexerem, którego rola sprowadza się do zbiornika impulsów elektrycznych z wszystkich 31 kanałów kolejno jeden po drugim raz w ciągu każdego dwumilisekundowego interwału czasowego. W grupie tych 31 kanałów są 24 kanały sejsmiczne oraz kanały pomocnicze. Dochodzi później jeszcze jeden kanał 32, który niesie numer kolejnego interwału czasowego lub kolejnego obrotu multiplexera.

Tu należy zaznaczyć, iż wszystkie obwody aparatury DFS/10000 zbudowane są z elementów elektronicznych trzeciej generacji z tzw. mikromodułów (integrated circuit) bazujących na technice solid logic technology. Rozmiary tych elementów są kilkadziesiąt tysięcy razy mniejsze od elementów drugiej generacji (druga generacja: tranzystory, pierwsza generacja: lampy elektronowe), co pozwala konstruować obwody wyjątkowo złożone w formatach „kieszonkowych”. Całe skomplikowane układy wzmacniaczy, multiplexera czy systemu ADC montowane są na niewielkich wymiennych płytkach.

Ponieważ multiplexer zbiera informacje z 31 kanałów plus kanał 32 z numerem kolejnego interwału czasowego w ciągu trwania takiego interwału czasowego, czyli w ciągu 2 milisekund — czas odczytania danych sejsmicznych z jednego kanału ogranicza się do 1/16000 sek.

Uszeregowane już w ciąg, kolejno następujące po sobie impulsy z poszczególnych kanałów przekazywane są na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego, urządzenia oznaczonego w skrócie literami ADC (od słów analog-digital convertor), którego zadaniem jest



Ryc. 4.

wyrażenie w formie cyfrowej wartości chwilowych odczytanych przez multiplexer, to jest przedstawienie ich w postaci szeregu zer i jedynek. W tym celu ADC dokonuje porównań każdego kolejnego sygnału z serią stałych poziomów napięć uporządkowanych w następujący sposób. Poziom pierwszy ma wartość maksymalną, równą potęgę całkowitej liczby 2, drugi z kolei równą połowie poprzedniego, następny znowu dwa razy mniejszy itd. aż do ostatniego równego jedności.

Końcowym etapem odbioru danych sejsmicznych jest zapisanie ich w dwójkowej postaci na taśmie magnetycznej. Istnieją następujące typy taśm:

— formatu IBM stosowane np. przez Western Geoph. Co. i przez Ray Geophysical Division o szerokości 0,5 cala i długości 2400 stóp,

— taśmy formatu TIAC (Texas Instruments Automatic Computer), stosowane w aparaturach DFS/10000, mają tę samą długość co poprzednie, a szerokość 1 cala.

Taśma IBM posiada 9 ścieżek (przedtem używano taśmy z 7 ścieżkami), a jej gęstość zapisu od 500 do 800 bitów na cal, taśma TIAC ma natomiast 21 ścieżek z gęstością zapisu 356 bitów na cal.

Na taśmie polowej dane sejsmiczne są zapisywane w formie multiplexed, tzn. tak jak są podawane z multiplexera, jedna za drugą amplitudy kolejno z wszystkich kanałów odpowiadające jednemu interwałowi czasowemu, dalej znowu w kolejności amplitudy czytane w następnym interwale itd.

Każdy jeden taki blok wyrazów odpowiadających jednemu interwałowi czasowemu (tzw. SCAN) poprzedzony jest wyrazem podającym numer interwału czasowego lub kolejnego obrotu multiplexera. Ponieważ multiplexer posiada 31 kanałów plus jeden wyraz czasowy, więc każdy blok zawiera 32 wyrazy.

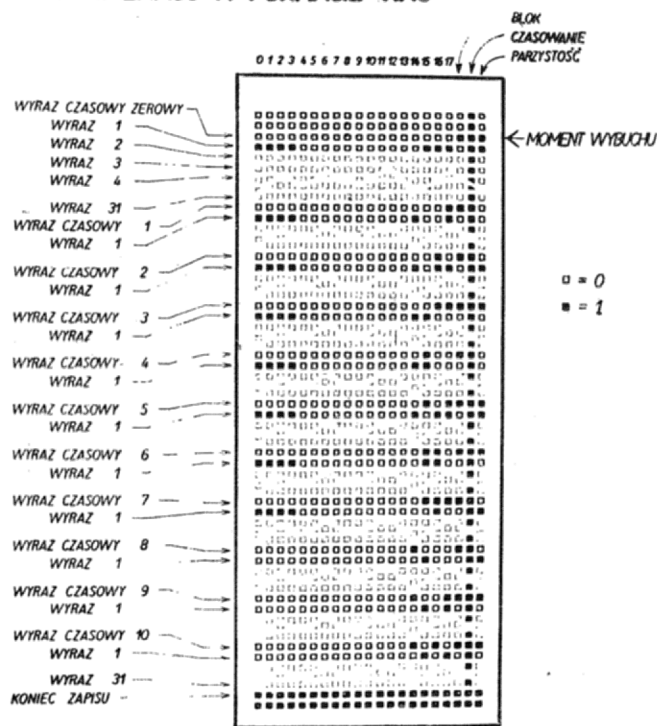
Z tych 31 kanałów 24, to kanały sejsmiczne, 1 kanał dla zapisu krzywej wzmocnienia, 1 czasu pionowego z geofonu około otworu strzałkowego, 6 kanałów pozostaje wolnych do dyspozycji.

Poszczególne wyrazy zapisywane są jeden za drugim wzdłuż długości taśmy, a każdy wyraz natomiast na szerokości taśmy ma do dyspozycji wszystkie 21 bitów. Spośród nich 14 służy do zapisu amplitudy sygnału sejsmicznego (bity od numeru 4 do 17), 4 do równoległego zapisu znaku (bity od numeru 0 do 3), pozostałe trzy, to bity pomocnicze: tzw. blok — podaje jedynkę, gdy pozostałe bity wyrazu niosą numer interwału czasowego, a więc oznacza, że wyraz ten należy czytać jako wyraz czasowy (timing word) i podaje zero dla wszystkich innych wyrazów. Czasowanie (clock) — zawsze dla każdego wyrazu jeden, parzystość (parity) — bit pomocniczy dla kontroli parzystości, podaje jedynkę, gdy ilość jedynek na pozostałych bitach jest parzysta, zero gdy nie parzysta. Później w czasie opracowania danych urządzenie kontrolujące pomija wyraz, w którym ujawnia błąd, czyli po ponownym przeliczeniu jedynek stwierdza niezgodność z zapisanym bitem parzystości.

Na załączonym schemacie zapisu w formacie TIAC na ryc. 5 dla przykładu zostały zapisane za pomocą pierwszego kanału wartości amplitud sygnału wykreslonego (ryc. 6).

Ze względu na pewne wymogi operatywności niektórych kalkulatorów elektronicznych, jak np. modele IBM

SCHEMAT ZAPISU W FORMACIE TIAC



Ryc. 5.

na ogół nie wykorzystują danych rejestrowanych w polu w układzie multiplexed i zmuszają do przepisywania sejsmogramów w formę sekwencyjną, tzn. w innej kolejności: najpierw wszystkie dane z pierwszego kanału sejsmicznego uszeregowane w kolejności czasowej, później z drugiego itd. aż do kanału 24.

Przepisywanie sejsmogramów w formę sekwencyjną wykonuje się za pomocą programu editing, który zawiera również instrukcje przeprowadzania drobnych korekt, niezbędnych dla eliminacji efektów zauważonych w polu przez operatora, np. ścieżki zatrzymane lub przestawione itp.

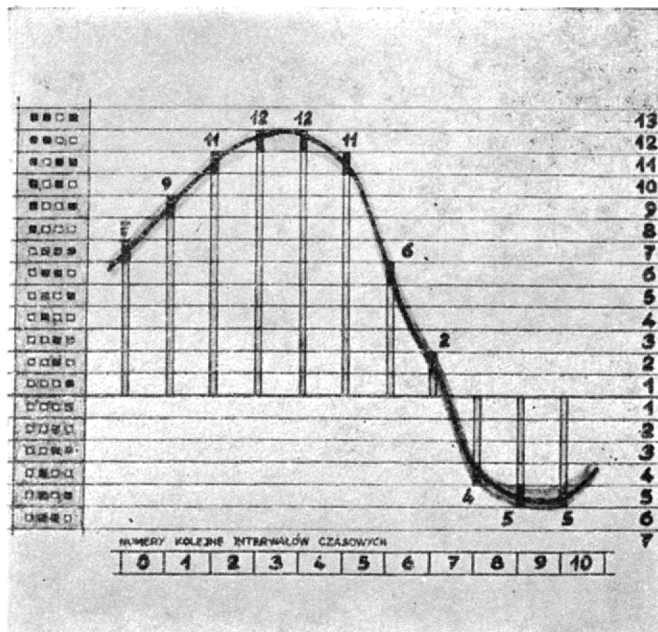
Zapis na jednym sejsmogramie wykonuje się z reguły w czasie nie przekraczającym 10 sek, w Abbiategrosso prowadzono go nie przekraczając 6 sek.

Aparatura wyposażona jest w pomocniczy oscylograf kontrolny, za pomocą którego operator może prowadzić równolegle z zapisem cyfrowym również i zapis na papierze światłoczułym lub już po odstrzeleniu przegrać zapis cyfrowy z taśmy magnetycznej na papier światłoczuły. Możliwość ta służy operatorowi jedynie tylko dla wizualnej kontroli tego, co zostało zapisane na taśmie cyfrowej.

Na ryc. 7 przedstawiono początkową część takiego sejsmogramu otrzymanego w VI Grupie Sejsmicznej A/GIP. Można zauważyć, iż pierwsza linia czasowania przypada dokładnie w momencie wybuchu rejestrowanym na kanale piątym, ósmym i dodatkowym dwudziestym piątym. Ukazuje się to stosując elektroniczny układ czasujący praktycznie o zerowej bezwładności, w przeciwieństwie do układu mechanicznego wirującego bębna z podłużnymi szczelinami, który potrzebuje pewnego czasu dla osiągnięcia wymaganych obrotów i nie może być zatem uruchamiany impulsem strzałowym, lecz odpowiednio wcześniej. Tu natomiast źródłem światła jest układ dwóch stroboskopów uruchamianych impulsem momentu wybuchu.

SYGNAŁ SEJSMICZNY

Eksplozja ładunku wybuchowego generuje w ośrodku sprężystym zaburzenie, które możemy traktować jako złożenie nieskończonej ilości elementar-



Ryc. 6.

nych fal harmonicznych, mających w momencie wybuchu te same amplitudy, tę samą fazę i częstotliwość zmiennej od zera do nieskończoności. Widmo częstotliwościowe takiego sygnału zwie się „widmem białym”.

Rozważając zjawisko eksplozji w czasie, tzn. analizując amplitudę zaburzenia jako funkcję czasu możemy założyć (ponieważ zaburzenie to zdarza się w przedziale czasu bardzo krótkim), iż przedział ten jest nieskończenie mały.

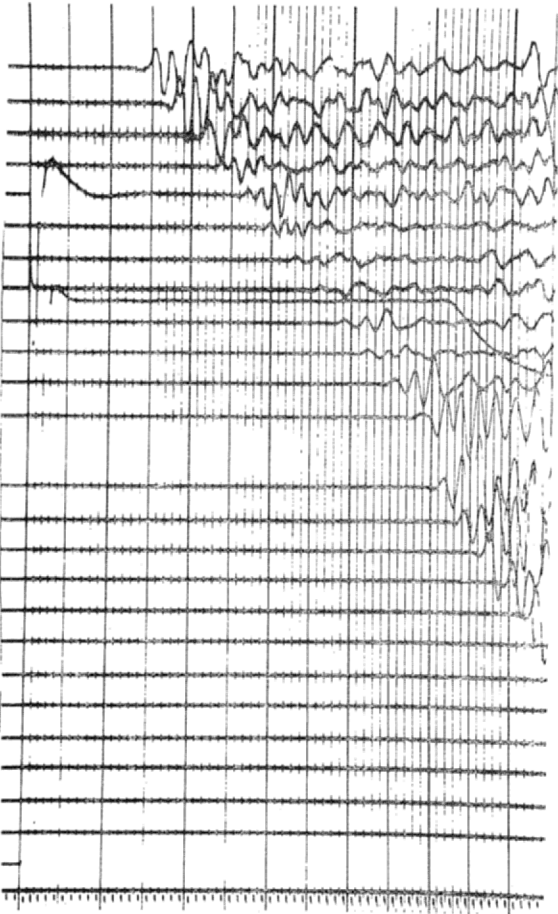
Funkcja tego typu, tzn. taka, która ma wartość zera w każdym punkcie wyłączając tylko moment pojawienia się impulsu, kiedy przyjmuje określoną wartość amplitudy, nosi nazwę funkcji Diraca.

W przypadku wybuchu sejsmicznego, gdyby ośrodek rozchodzenia się fal był doskonale elastyczny, jednorodny i izotropowy, fale musiałyby rozchodzić się w nim bez jakichkolwiek zmian formy. W takich warunkach otrzymywałyby się sejsmogramy, których zapis składałby się z kolejnych pików, bardzo ostrych, a ich amplitudy byłyby proporcjonalne do wartości bezwzględnej współczynników odbicia. W praktyce jednak ośrodek geologiczny zachowuje się jak filtr, który przenosi tylko częstotliwości zawarte pomiędzy 5 — 100 Hz, z różnym stopniem tłumienia i przesunięcia fazowego.

Ostry impuls początkowy zostaje transformowany przez właściwości filtrujące terenu w formę fali zwaną falą Rickera, oczywiście przy założeniu, iż nie występują inne zakłócenia, np. rewerberacja, interferencja, itp. Na ryc. 8 przedstawione są impulsy Diraca i Rickera w funkcji czasu oraz w zależności częstotliwościowej.

FUNKCJA KORELACYJNA

Funkcję korelacyjną między dwoma formami fali definiuje się jako miarę ich podobieństwa. W celu obliczenia funkcji korelacyjnej postępuje się w następujący sposób: jedna krzywa pozostaje nieruchoma, gdy druga, z którą zachodzi konfrontacja, zostaje przesuwana względem pierwszej za każdym razem o jeden interwał czasowy. Dla każdej takiej pozycji oblicza się sumę iloczynów par wartości amplitud stojących w danej pozycji w odpowiadających sobie interwałach czasowych. Postępuje się tak aż obie fale zostaną przesunięte względem siebie wzdłuż całych swoich długości.



Ryc. 7.

Nanosząc teraz w układzie współrzędnych na osi poziomej kolejne przesunięcia jednointerwałowe, na osi pionowej wartości odpowiednich sum poprzednio obliczonych otrzymamy funkcję korelacyjną.

Funkcja korelacyjna dwóch form fali zawiera jedynie tylko częstotliwości wspólne dla obu fal. W przypadku ogólnym, gdy dwie krzywe, dla których liczy się funkcję korelacyjną są różne między sobą będziemy mieli funkcję cross-correlation. W przypadku szczególnym, gdy obie krzywe są identyczne otrzymamy funkcję autokorelacyjną.

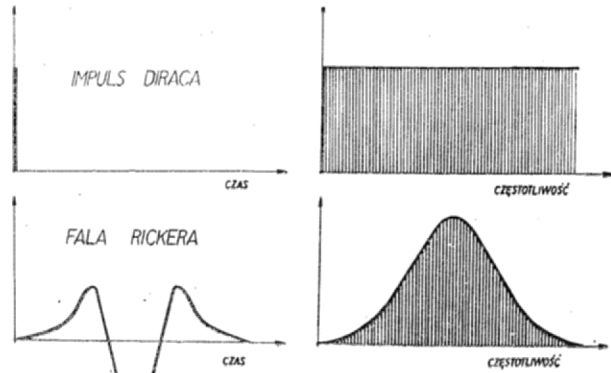
Oczywiste jest, iż funkcja autokorelacyjna jest funkcją symetryczną, natomiast funkcja cross-correlation taką nie jest. Oprócz tego okazuje się, że jej kształt nie zależy od formy fali autokorelowanej, a jedynie tylko od zawartych w niej częstotliwości i funkcja autokorelacyjna zawiera te właśnie częstotliwości.

Analiza częstotliwościowa funkcji autokorelacyjnej dostarcza tych samych częstotliwości składowych, co zawarte w widmie samej funkcji, lecz z amplitudami w kwadracie. Takim sposobem otrzymuje się tzw. „widmo potęg”. Widmo potęg reprezentuje w zależności częstotliwościowej te same jakości, które funkcja autokorelacyjna reprezentuje w zależności czasowej. Przejście od funkcji autokorelacyjnej do widma potęg i odwrotnie może być dokonane za pomocą odpowiedniej transformacji matematycznej.

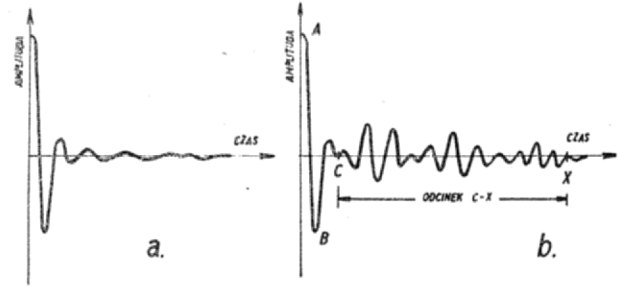
KONWOLUCJA

Wykonać konwolucję dwóch funkcji A i B oznacza otrzymać trzecią funkcję C, którą można traktować jako efekt operacji filtracji funkcji A za pomocą funkcji filtrującej B.

Realizuje się filtrację sygnału A za pomocą sygnału B mnożąc każdą wartość interwałową krzywej A



Ryc. 8.



Ryc. 9.

przez wartość B odpowiadającą interwałowi zerowemu, następnie znowu wszystkie kolejne wartości A przez wartość B dla pierwszego interwału, potem to samo dla drugiego, trzeciego itd. Pierwszą serię iloczynów piszemy kolejno w wierszu, drugą w następnym wierszu, lecz przesuniętym na prawo o jedno miejsce, trzecią o dwa miejsca itd. Sumując w kolumnach otrzymujemy wartości amplitud sygnału rezultatu konwolucji.

OPERATOR FILTRACJI

W celu dokonania modyfikacji widma częstotliwościowego i fazowego, aby otrzymać sygnał zawierający jedynie wymagane częstotliwości stosuje się operację konwolucji z operatorem filtracji o odpowiedniej uprzednio opracowanej postaci.

Jeżeli operator filtracji jest funkcją symetryczną, to sygnał filtrowany nie zostaje poddany żadnym zmianom fazowym. Jeśli natomiast operator filtracji jest funkcją asymetryczną, częstotliwości, które pozostaną w przefiltrowanym sygnale zostaną poddane pewnemu przesunięciu fazowemu. W praktyce operator filtracji jest funkcją skończoną. Im krótszy jest on w czasie, tym bardziej różni się efekt filtracji od efektu wymaganego, po prostu tym trudniej jest opracować odpowiedni kształt operatora filtracji, aby najdokładniej przybliżyć zamierzony rezultat filtracji.

Oprócz operatorów filtracji symetrycznych, które nie przynoszą żadnych zmian fazowych w filtrowanym sygnale, a które w praktyce są zbyt długie, a zatem kosztowne w użyciu, stosuje się także operatory asymetryczne, powodujące dystorsję fazową. Spośród asymetrycznych wybiera się oczywiście te o najmniejszym przesunięciu fazowym.

Postępuje się w następujący sposób. Mając wymagane pasmo przepuszczalności szukanego operatora filtracji, podnosząc do kwadratu pojedyncze amplitudy otrzymuje się widmo potęg, skąd następnie liczy się funkcję autokorelacyjną. Tej jednej funkcji autokorelacyjnej odpowiada pewna ilość różnych funkcji asymetrycznych. Jeśli przez N oznaczymy ilość interwałów funkcji autokorelacyjnej, to ilość różnych sy-

gnałów, dla których jest wspólna postać tej funkcji autokorelacyjnej będzie: $2N$. Każdy taki operator posiada własne charakterystyczne widmo fazowe. Ten, który opóźnia fazę mniej niż pozostałe stosuje się jako operator o minimalnym opóźnieniu fazowym.

DEKONWOLUCJA

Najbardziej pożądanymi dla rejestracji sejsmicznej byłyby sygnały składające się z serii ostrych pisków o bardzo krótkim trwaniu, z których każdy odpowiadałby powierzchni odbijającej.

W rzeczywistości natomiast ośrodek geologiczny filtruje falę początkową tak, że ścieżka zapisu sejsmicznego składa się z serii fal Ricker'a, a więc możemy powiedzieć, iż sygnał generowany przez eksplozję rozprzestrzeniając się poddany zostaje konwolucji z operatorem filtracji o kształcie fali Ricker'a.

Operacja odwrotna do powyższego procesu nazywa się dekonwolucją. Dokonać dekonwolucji to znaczy przejść od fali Ricker'a do postaci funkcji Diraca, tj. pomnożyć widmo częstotliwościowe fali Ricker'a przez jej widmo odwrotne w celu otrzymania widma białego.

Rejestrowany sygnał nie jest jedynie rezultatem konwolucji z falą Ricker'a, zostaje on także poważnie zdeformowany przez wiele różnorodnych zakłóceń. I te ostatnie najbardziej nas niepokoją. Otrzymanie zapisu sejsmicznego, który składałby się jedynie tylko z czystych pojedynczych fal Ricker'a byłoby już dużym osiągnięciem.

W praktyce nie wykonuje się dekonwolucji całkowitej m. in. dlatego, iż obniża ona znacznie wartość stosunku sygnał/ poziom szumów oraz wzmacnia niektóre zakłócenia, szczególnie te w wysokich częstotliwościach. Stosuje się natomiast operacje dekonwolucji częściowej w celu eliminacji lub przynajmniej zmniejszenia efektów niektórych typów zakłóceń. Wśród nich najczęściej używaną jest dekonwolucja rewerberacji lub singingu, zakłóceń wywoływanych w warstwie wodnej w przypadku sejsmiki morskiej.

Opracowanie takie oznacza się w skrócie literami ARD od słów approximate reverberation deconvolution.

Dekonwolucja może być wykonana przed lub po sumowaniu. Jeśli wykonuje się ją przed stackingiem staje się bardziej kosztowna; w przypadku zdjąć, które nie przysparzają szczególnych trudności w interpretacji, ze względów ekonomicznych dokonuje się dekonwolucji na ścieżkach uprzednio już zsumowanych.

Wszystkie metody dekonwolucji bazują na analizie statystycznej formy funkcji autokorelacyjnej. Funkcja autokorelacyjna jest miarą tych charakterystycznych form fali, które są wspólne wszystkim refleksom zawartym w całym sygnale autokorelowanym. Jeśli ścieżka sejsmiczna zawierać będzie jedynie refleksy prawdziwe, te nie będą miały nic wspólnego ze sobą jako pochodzące od różnych horyzontów odbijających i funkcja autokorelacyjna przyjmie maksymalną wartość w punkcie zerowym, aby następnie gwałtownie zmaleć w dalszej części, gdzie amplitudy będą nieporównywalnie małe z amplitudą w punkcie zerowym (ryc. 9a). Natomiast jeśli zapis będzie zawierał także odbicia wielokrotne funkcja autokorelacyjna prócz znacznej amplitudy w punkcie zerowym będzie miała również duże amplitudy w pozostałej części (ryc. 9b).

W ten sposób funkcja autokorelacyjna dostarcza pewnych informacji na temat natury badanej ścieżki sejsmicznej oraz ewentualnej obecności zakłóceń. W momencie zerowym wartość A funkcji autokorelacyjnej jest proporcjonalna do sygnału użytecznego wraz z zakłóceniami, gdy wartość pierwszej następnjej amplitudy B można odnieść do wartości samego sygnału. Stosunek amplitudy B do pierwiastka kwadratowego średniej arytmetycznej kwadratów wartości funkcji autokorelacyjnej odcinka C — X, dostarcza danych o istocie rewerberacji. Jak stwierdzono w praktyce, jeżeli ten stosunek jest większy od czterech, wpływ rewerberacji można zaniedbać. Istnieją różne metody praktyczne dla wykonania dekonwolucji ścieżek sejsmicznych.