



(54) **Sposób i urządzenie do wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
21.03.2005 BUP 06/05

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.03.2009 WUP 03/09

(73) Uprawniony z patentu:
Politechnika Śląska, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
Grzegorz Wieczorek, Zabrze, PL
Piotr Szyngiera, Gliwice, PL

(74) Pełnomocnik:
Ziółkowska Urszula, Politechnika Śląska

(57) 1. Sposób wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych, **znamienny tym**, że nadawany sygnał generuje się w generatorze wytwarzającym sygnał o dyskretnym widmie częstotliwościowym, który następnie podlega procesowi kształtowania obwiedni i rozproszeniu widma poprzez przemnożenie przez sygnał rozpraszający, a następnie przetwarza się synchronicznie odebrany sygnał w celu skupienia widma.

3. Urządzenie do wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych, **znamiennie tym**, że ma w torze sygnałowym nadajnika bank generatorów sinusoidalnych, z których sygnały podlegają sumowaniu a następnie kształtowaniu obwiedni i rozproszeniu widma, po czym sygnał o rozproszonym widmie zostaje doprowadzony do cewki nadawczej, natomiast w torze odbiorczym sygnał z sondy odbiorczej jest wzmacniany, filtrowany, próbkowany, przetwarzany do postaci cyfrowej i poddany transformacji Fouriera, a w układzie decyzyjnym przedstawia się wynik pomiarów transmitancji obiektu dla częstotliwości odpowiadających częstotliwościom podstawowych nośnych oraz ich wstęp górnych i dolnych oraz na podstawie uzyskanych wyników dokonuje się klasyfikacji obiektu.

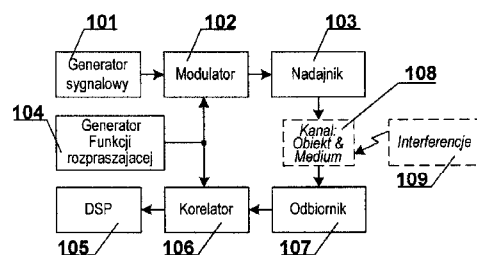


Fig. 1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i urządzenie do wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych. Urządzenie może znaleźć zastosowanie w takich dziedzinach jak wykrywanie min, systemy zabezpieczeń, badania geofizyczne, badania nieniszczące, przemysł (wykrywacze metalu, czujniki zbliżeniowe, separatory, itd.), badania archeologiczne.

Przedmiot wynalazku może być zrealizowany w formie urządzenia przenośnego, urządzenia stacjonarnego, jak i przewoźnego montowanego na pojazdach.

Elektromagnetyczne urządzenia do wykrywania i identyfikacji, pracujące w zakresie niskich częstotliwości, są urządzeniami bardzo dobrze znanymi. Układ detektora składa się z cewki nadawczej zasilanej sygnałem w formie fali ciągłej lub formie ciągu impulsów. Nadawany sygnał indukuje prądy wirowe w pobliskich obiektach lub strukturach, które w odpowiedzi generują wtórne pole odbierane przez cewkę lub cewki odbiorcze. Cewka (lub cewki) nadawcza może być zabudowana wraz z cewką (lub cewkami) odbiorczą w jednej wspólnej obudowie tworząc głowicę czujnika w tzw. układzie mono statycznym, bądź też cewki te mogą być odseparowane tworząc tzw. układ bistatyczny. Przykłady takich układów można znaleźć np. w patencie USA nr US 5,786,696 (tytuł: „Metal detector for identifying target electrical characteristics, depth and size” - detektor ręczny) lub US 5,680,103 (tytuł: „Metal detection system” - stacjonarna bramka detekcyjna).

W celu zwiększenia możliwości identyfikacji obiektów, zwiększenia odległości wykrywania, ewentualnie redukcji tła zakłóceń stosuje się szerokopasmowe pobudzenia cewki nadawczej. Układy z pobudzeniem wieloczęstotliwościowym są znane.

Przykładowo, w patencie USA nr US 3,686,564 (tytuł: „Multiple Frequency Magnetic Field Technique for Differentiating Between Classes of Metal Objects”) opisano system bezpieczeństwa, który używa pobudzenia dwoma sygnałami o różnych częstotliwościach dla zapewnienia lepszej identyfikacji. Pole pierwotne jest generowane przez dwa generatory wraz z układem sumatora. Układ powyższy jest ograniczony do tylko dwóch częstotliwości i nie może być rozszerzony, ponadto w układzie nie zastosowano cyfrowego przetwarzania sygnałów.

Kolejny układ został ujawniony w DE 196 48 834 (równoważny do patentu USA nr US 6,005,392, tytuł: „Method for the Operation and for the Evaluation of Signals from an Eddy Current Probe and Device for Performing the Method”). Opisany system pracuje na ograniczonej liczbie częstotliwości. Część nadawcza składa się z czterech generatorów i sumatora. Sygnał odbierany jest filtrowany pasmowo i demodulowany dla każdej częstotliwości z osobna, co czyni układ bardzo złożonym i powoduje, że ewentualna dalsza rozbudowa systemu jest bardzo trudna i kosztowna.

W patencie USA nr US 5,642,050 (tytuł: „Plural Frequency Method and System for Identifying Metal Objects in a Background Environment Using a Target Model”) został opisany system dwu częstotliwościowy wykorzystujący cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Obie z wykorzystywanych częstotliwości nie są generowane jednocześnie (nadajnik i odbiornik są wyposażone w banki przełączanych kondensatorów w celu dostrojenia się do danej częstotliwości), co znacznie spowalnia szybkość detekcji i zwiększa złożoność układu.

W patencie USA nr US 4,263,551 (tytuł: „Method and Apparatus for Identifying Conductive Objects by Monitoring the True Resistive Component of Impedance Change in a Coil System Caused by the Object”) opisany został układ ze skokowo zmienianą częstotliwością generatora, który tworzy pole pierwotne. W urządzeniu tym obiekt metalowy nie jest jednocześnie pobudzany wieloma sygnałami, więc tym samym proces detekcji i identyfikacji obiektu wydłuża się.

Kolejny przykład układu o ograniczonej liczbie częstotliwości opisany jest w patencie USA nr US 4,942,360 (tytuł: „A Method and Apparatus of Discrimination Detection Using Multiple Frequencies to Determine a Recognizable Profile of an Undesirable Substance”).

Sposób minimalizacji interferencji zewnętrznych przedstawiony został w patencie USA nr US 5,361,029 (tytuł: „System for locating multiple concealed underground objects”). Patent ten przedstawia lokalizator podziemnych linii z możliwością identyfikacji obiektów. System używa kilku nadajników pracujących na stałych, wcześniej ustalonych częstotliwościach. System jest wrażliwy na interferencje pochodzące z zewnętrznych źródeł i dopiero właściwy wybór częstotliwości pracy, który może nie być optymalny ze względu na identyfikację i lokalizację rzeczywistego obiektu, pozwala zminimalizować zakłócenia.

W patencie USA nr US 6,501,276 (tytuł: „Frequency domain electromagnetic geophysical mapping instruments”) opisany został wieloczęstotliwościowy przyrząd geofizyczny. Sygnał wieloczęstotliwościowy

jest generowany poprzez przemnożenie jedno częstotliwościowego sygnału nośnego przez sekwencję pseudolosową. Gęstość widmowa mocy wynikowego sygnału jest ściśle zdefiniowana, lecz poszczególne prążki widmowe mają różne moce. Sekwencja pseudolosowa jest wykorzystywana głównie do uzyskania kształtowania widma tak, żeby było ono złożone z wielu prążków, a nie do redukcji interferencji. Ponadto nie jest opisane przetwarzanie danych w odbiorniku. Wyjściowy przebieg pobudzający cewkę nadawczą jest w formie połówek sinusoidy dostrojonej do częstotliwości rezonansowej obwodu nadawczego, co znacznie ogranicza elastyczność rozwiązania.

Zestaw czujników indukcyjnych tworzących szyk antenowy został opisany w patencie USA nr US 6,525,539 (tytuł: „Apparatus and method for locating subsurface objects in conductive soils by measurements of magnetic fields by induced currents”). Każdy z czujników pracuje z inną częstotliwością w celu uniknięcia wzajemnych przesłuchów spowodowanych niewielką odległością pomiędzy nimi, tak więc każdy z nich ma inne właściwości detekcyjne.

W patencie USA nr 5,994,897 (tytuł: „Frequency optimizing metal detektor”) przedstawiono przemysłowy system wykrywacza metalu z optymalizacją częstotliwości, który ma możliwość badania obiektu poprzez przemiatanie częstotliwości w celu maksymalizowania odpowiedzi. W rozwiązaniu tym w danej chwili transmitowana jest tylko jedna częstotliwość.

Patent USA nr 4,975,646 (tytuł: „Detector system for recognizing a magnetic material”) ujawnia rozwiązanie urządzenia w którym pierwotne pole jest generowane przez cyfrowy syntezytor częstotliwości, który zarazem steruje przestrajnymi filtrami w obwodach nadajnika i odbiornika. System ten pomimo posiadania możliwości nadawania sygnału o różnych częstotliwościach, jest w stanie w danej chwili generować tylko jedną częstotliwość.

W patencie USA nr 4,303,885 (tytuł: „Digitally controlled multifrequency eddy current test apparatus and metod”) przedstawiono system wiropądowy do badań nieniszczących w którym sygnał pobudzający jest generowany w układzie zwielokrotnionych nadajników. Sygnał odbierany jest przetwarzany w kilku kanałach dla każdej częstotliwości z osobna.

W pracy „GEM-3 Monostatic Broadband Electromagnetic Induction Sensor” (Won I.J. i inni, JEEG, 1997, nr 1) przedstawiono system wieloczęstotliwościowy, w którym użytkownik ma możliwość wybrać zestaw preferowanych częstotliwości, jednakże generowany sygnał nie jest modulowany sekwencją pseudolosową.

W pracy Duncan P. M. i innych „The development and applications of a wideband electromagnetic sounding system using pseudo-noise source”, Geophysics Vol. 45, nr 8, 1980, przedstawiono urządzenie geofizyczne stosujące sekwencję pseudolosową, która jest wykorzystywana do generowania sygnału szeroko pasmowego w paśmie podstawowym, a nie do modulacji częstotliwości nośnej. W celu zmiany częstotliwości prążków w widmie generowanego sygnału należy zmienić częstotliwość generowania ciągu pseudolosowego. W urządzeniu tym nadajnik i odbiornik są od siebie odległe i nie zawierają układów synchronizacji (tzn. że nadajnik i odbiornik muszą być ekstremalnie stabilne). Każda z badanych częstotliwości jest filtrowana pasmowo zarówno w nadajniku jak i odbiorniku przez precyzyjnie przestrajane filtry, a w danej chwili można badać charakterystykę obiektu tylko dla jednej częstotliwości.

W zgłoszeniu patentowym USA nr 20020112855 (tytuł: „Medium frequency pseudo noise geological radar”) opisano układ, który pracuje w zakresie częstotliwości poniżej 1MHz i wykorzystuje sekwencję pseudolosową. Jednakże urządzenie to wykorzystuje zasadę pracy radaru, a nie indukcji elektromagnetycznej. Ponadto sygnał analizowany jest w dziedzinie czasu a nie częstotliwości.

Z analizy właściwości powyższych układów można zauważyć, że istnieje potrzeba stworzenia urządzenia, które łączyłoby w sobie cechy elastyczności (badanie właściwości obiektu dla dowolnego zestawu częstotliwości), odporności na zakłócenia i interferencje oraz prostoty (prosty sprzętowo układ o relatywnie małym poborze energii).

Z teorii wiadomym jest, że obiekty metalowe charakteryzują się pewnymi właściwościami elektrycznymi, które mogą być odtworzone np. poprzez pobudzenie wieloczęstotliwościowe. Zależnie od zastosowania, typu badanego obiektu, rodzaju ośrodka, różne zestawy częstotliwości pobudzających mogą się okazać mniej lub bardziej trafne.

Układ odbiorczy urządzenia wieloczęstotliwościowego z racji konieczności pracy w szerokim paśmie jest znacznie bardziej narażony na zewnętrzne zakłócenia niż układ jednoczęstotliwościowy. Odporność na zakłócenia można zdecydowanie poprawić poprzez zastosowanie sygnałów o rozproszonym widmie. Jedną ze skutecznych metod rozpraszania widma jest bezpośrednio rozpraszanie sekwencją pseudolosową, tzn. przemnożenie nadawanego sygnału przez ciąg o charakterze pseudolosowym.

Replika tego ciągu jest wykorzystywana w odbiorniku do synchronicznej korelacji, dzięki czemu sygnał użyteczny zostaje odtworzony z pełną mocą, natomiast sygnały nieskorelowane (szумы, interferencje) zostają w znaczny sposób zredukowane. Technika ta umożliwia pracę kilku urządzeń tego samego typu w bardzo ścisłym zbliżeniu bez wzajemnych przesłuchów i interferencji, ponieważ sygnały z poszczególnych urządzeń są wzajemnie nieskorelowane.

Sposób według wynalazku polega na tym, że nadawany sygnał generuje się w generatorze wytwarzającym sygnał o dyskretnym widmie częstotliwościowym, który następnie podlega procesowi kształtowania obwiedni i rozproszeniu widma poprzez przemnożenie przez sygnał rozpraszający, a następnie przetwarza się synchronicznie odebrany sygnał w celu skupienia widma.

Sposób według wynalazku polega na tym, że sygnał odebrany próbkuje się z taką częstotliwością, że część nośnych w odebranym sygnale nadpróbkuje się, a część podpróbkuje się.

Urządzenie do wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych według wynalazku charakteryzuje się tym, że ma w torze sygnałowym nadajnika bank generatorów sinusoidalnych, z których sygnały podlegają sumowaniu a następnie kształtowaniu obwiedni i rozproszeniu widma, po czym sygnał o rozproszonym widmie zostaje doprowadzony do cewki nadawczej, natomiast w torze odbiorczym sygnał z sondy odbiorczej jest wzmacniany, filtrowany, próbkowany, przetwarzany do postaci cyfrowej i poddany transformacji Fouriera, a w układzie decyzyjnym przedstawia się wynik pomiarów transmitancji obiektu dla częstotliwości odpowiadających częstotliwościom podstawowych nośnych oraz ich wstęp górnych i dolnych oraz na podstawie uzyskanych wyników dokonuje się klasyfikacji obiektu.

Urządzenie do wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych charakteryzuje się tym, że w torze nadajnika po modulatorze rozpraszającym widmo, a przed cewką nadawczą znajduje się modulator, korzystnie modulator sigma delta zamieniający złożony sygnał na strumień jednobitowy.

Urządzenie do wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych charakteryzuje się tym, że w torze nadajnika znajduje się układ pamięci półprzewodnikowej, zawierającej spróbkowane wartości sygnału o rozproszonym widmie w postaci wielobitowej.

Urządzenie do wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych charakteryzuje się tym, że w torze nadajnika znajduje się układ pamięci półprzewodnikowej, zawierającej spróbkowane wartości sygnału o rozproszonym widmie w postaci jednobitowej.

Sposób według wynalazku charakteryzuje się tym, że przeprowadza się pomiar anomalii elektromagnetycznych dla wielu częstotliwości jednocześnie, co umożliwia uzyskanie pełnej charakterystyki częstotliwościowej badanego obiektu w jednym pomiarze.

Sposób według wynalazku wykorzystuje sygnały o widmie rozproszonym, przez co skutecznie redukuje niepożądane zakłócenia i interferencje. Umożliwia między innymi pracę wielu podobnych urządzeń znajdujących się blisko siebie (np. w zespole detektorów lub czujników tworzących szuk).

Urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że jego konstrukcja jest prosta, łatwa do wykonania z wykorzystaniem układów scalonych, przez co rozmiary urządzenia i pobór energii są zminimalizowane. Prostotę układu udało się osiągnąć poprzez zastosowanie cyfrowego przetwarzania sygnałów, dzięki czemu uniknięto stosowania przestrajanych, precyzyjnych filtrów pasmowo przepustowych, demodulatorów, itd. Wieloczęstotliwościowy sygnał o widmie rozproszonym, który pobudza obwód nadawczy może być generowany „w locie” przez odpowiedni algorytm w procesorze DSP, bądź też dla uproszczenia może być odtwarzany z pamięci półprzewodnikowej (EPROM, EEPROM, FLASH, RAM, itd.), gdzie jest zapisany we wstępnie przetworzonej formie, co dodatkowo redukuje koszty urządzenia. Zastosowanie podpróbkowania zmniejsza koszt urządzenia, dzięki użyciu przetwornika A/C o mniejszej szybkości przetwarzania. Zmniejszenie częstotliwości próbkowania prowadzi do zmniejszenia wymaganej pamięci w torze odbiornika, zmniejszenia wymaganej ilości gromadzonych próbek do wykonania transformacji Fouriera, a tym samym do znacznego ograniczenia mocy obliczeniowej koniecznej do obróbki odebranego sygnału. Stosowanie w torze nadawczym sygnału w postaci strumienia jednobitowego umożliwia użycie nieliniowego wzmacniacza sterującego cewką nadawczą, dzięki czemu sprawność energetyczna urządzenia jest zmaksymalizowana.

Przedmiot wynalazku przedstawiono na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia schemat blokowy przepływu sygnału, Fig. 2 przedstawia szczegółowy schemat blokowy układu urządzenia, Fig. 3 - schemat urządzenia z wstępnie przetworzonym sygnałem w postaci wielobitowej, Fig. 4 - schemat urządzenia z wstępnie przetworzonym sygnałem w postaci jednobitowego ciągu, Fig. 5 przedstawia uproszczony algorytm sterowania i przetwarzania sygnału oparty na szybkiej transformacji Fouriera, Fig. 6 przedstawia uproszczony algorytm sterowania i przetwarzania sygnału oparty na dyskretnym

transformacie Fouriera, Fig. 7 przedstawia widmo sygnałów nośnych, Fig. 8 przedstawia widmo sygnałów nośnych po kształtowaniu obwiedni, Fig. 9 przedstawia widmo sygnałów nośnych po kształtowaniu obwiedni i po procesie rozpraszania widma, Fig. 10 przedstawia widmo pojedynczego sygnału nośnego po kształtowaniu obwiedni i po procesie rozpraszania widma, Fig. 11 przedstawia przebieg czasowy stanowiący sygnał nadawczy, Fig. 12 przedstawia widmo sygnału powstałe po procesie przetwarzania analogowo-cyfrowego i skupienia widma, Fig. 13 przedstawia moduł transmitancji badanego obiektu w obecności zakłócenia o częstotliwości identycznej z częstotliwością jednej z nośnych, Fig. 14 przedstawia fazę transmitancji badanego obiektu w obecności zakłócenia o częstotliwości identycznej z częstotliwością jednej z nośnych, Fig. 15 przedstawia moduł transmitancji badanego obiektu w obecności zakłócenia o częstotliwości innej niż częstotliwości nośne, Fig. 16 przedstawia fazę transmitancji badanego obiektu w obecności zakłócenia o częstotliwości innej niż częstotliwości nośne.

Generator sygnałowy 101 generuje sygnał złożony z wielu składowych sinusoidalnych o różnych częstotliwościach. Dobór częstotliwości tych składowych zależy od tego, jakie punkty częstotliwości są interesujące na charakterystyce częstotliwościowej badanego obiektu. Wyboru częstotliwości może dokonać operator lub może się on dokonać u producenta urządzenia na etapie produkcji. Generator 104 generuje funkcję rozpraszającą będącą wypadkową funkcji kształtującej impulsy oraz sekwencji binarnej, o charakterze pseudolosowym (np. ciągi maksymalnej długości, kody Kasami, Golda, Barkera), bądź też o charakterze ortogonalnym (np. kody Walsha) bądź też dowolne połączenie wyżej wspomnianych. W modulatorze 102 sygnał z generatora sygnałowego 101 zostaje zmodulowany kodem pseudolosowym, przez co widmo sygnału zostaje rozproszone. Z modulatora 102 sygnał jest przekazywany do nadajnika 103, gdzie jest wzmacniany, filtrowany i przekazywany do cewki nadawczej wytwarzającej pierwotne pole elektromagnetyczne. Pole pierwotne poprzez ośrodek oddziałuje na interesujący obiekt, który wytwarza pole wtórne. Ośrodek wraz z obiektem tworzą kanał transmisyjny 108, którego właściwości są wyznaczane z pomiarów. W rzeczywistym kanale transmisyjnym 108 dodatkowo pojawiają się niepożądane zakłócenia i interferencje 109, które powodują zniekształcenia właściwości kanału 108. Antena odbiorcza odbiornika 107 reaguje na wtórne pole elektromagnetyczne generowane przez obiekt w kanale transmisyjnym 108 jak i na interferencje 109. Zadaniem odbiornika 107 jest wzmocnić oraz wstępnie wyfiltrować sygnał ograniczając go tylko do interesującego zakresu częstotliwości. Sygnał z odbiornika 107 poddawany jest w korelatorze 106 synchronicznej korelacji z repliką kodu rozpraszającego z generatora 104. Skorelowany sygnał zostaje przekazany do bloku cyfrowego przetwarzania sygnału 105, gdzie sygnał jest zamieniany na postać cyfrową, a następnie zostaje poddany obróbce w dziedzinie częstotliwości. Do zadań bloku cyfrowego przetwarzania sygnału 105 należy wyznaczenie transformaty Fouriera odebranego i skorelowanego sygnału, oraz wyznaczenie faz i amplitud dla interesujących prążków widma. Wyznaczone amplitudy i fazy odpowiadają transmitancji kanału transmisyjnego dla punktów odpowiadających poszczególnym częstotliwościom pobudzającym. Zniekształcenia wyznaczonej transmitancji kanału 108 z powodu interferencji 109 zostają bardzo znacznie zredukowane, gdyż w zdecydowanej większości przypadków interferencje wykazują bardzo małą korelację z używanym ciągiem pseudolosowym.

Figura 2 przedstawia szczegółowy schemat blokowy układu urządzenia. Bank generatorów sinusoidalnych 201 wraz z sumatorem 202 tworzą generator sygnałowy 101. Obwiednia sygnału z banku generatorów podlega ukształtowaniu poprzez przemnożenie sygnału w modulatorze zrównoważonym 203 przez sygnał z generatora obwiedni 213. Jako funkcja kształtująca obwiednie wybrane zostało okno Hanninga jako, że generuje ono najmniejszą liczbę dominujących prążków (widmo trójprążkowe). Istnieje możliwość wyboru alternatywnych funkcji do kształtowania obwiedni np. funkcję Gaussa.

Ukształtowany sygnał przemnażany jest w modulatorze zrównoważonym 204 przez ciąg pseudolosowy PN z generatora pseudolosowego 214. Modulator 203 wraz modulatorem 204 są równoważne modulatorowi 102, a generator obwiedni 213 wraz z generatorem pseudolosowym 214 są równoważne generatorowi funkcji rozpraszającej 104.

Sygnał o rozproszonym widmie przekazywany jest do modulatora, korzystnie modulatora sigma-delta 205, gdzie zamieniany jest w jednobitowy strumień, który poprzez filtr dolnoprzepustowy 206 doprowadzony jest do cewki nadawczej 207. Cewka nadawcza 207 jest zarazem częścią składową filtra dolnoprzepustowego 206. Zadaniem filtra dolnoprzepustowego 206 jest usunięcie niepożądanych składowych częstotliwościowych, które powstają w wyniku kształtowania widma przez modulator, korzystnie modulator sigma-delta 205. Modulator 205, filtr dolnoprzepustowy 206, cewka nadawcza 207 są równoważne nadajnikowi 103.

Wtórne pole elektromagnetyczne pochodzące z kanału transmisyjnego 209 jest odbierane przez sondę odbiorczą 208, po czym sygnał podlega wzmocnieniu we wzmacniaczu 210 i filtrowaniu w filtrze pasmowo-przepustowym 211. Sonda odbiorcza 208, wzmacniacz 210 i filtr pasmowo-przepustowy 211 są równoważne odbiornikowi 107.

Odebrany sygnał podlega procesowi korelacji, czyli jest przemnażany w modulatorze zrównoważonym 212 przez replikę ciągu pseudolosowego z generatora pseudolosowego 214. Modulator zrównoważony 212 jest równoważny korelatorowi 106.

Skorelowany sygnał zostaje próbkowany w układzie próbkująco-pamiętającym 219 i przetworzony do postaci cyfrowej w przetworniku A/C 218. Próbkki zgromadzone w trakcie procesu pomiarowego zostają poddane transformacji Fouriera w bloku procesora 217. W wyniku transformacji sygnału z dziedziny czasu w dziedzinę częstotliwości powstaje informacja która zostaje przekazana do układu decyzyjnego 216, gdzie podlega końcowemu przetworzeniu i wizualizacji. Układ próbkująco-pamiętający 219 wraz z przetwornikiem A/C 218, procesorem 217 i układem decyzyjnym 216 jest równoważny blokowi cyfrowego przetwarzania sygnału 105.

Zadaniem układu synchronizacji 215 jest wygenerowanie odpowiednich impulsów zegarowych dla wszystkich podukładów tak, aby proces rozpraszania oraz skupiania widma oraz gromadzenia danych do przetworzenia przebiegał synchronicznie.

Układ według wynalazku przedstawiony na Fig. 2 można znacznie uprościć w trakcie fizycznej realizacji poprzez wykorzystanie wstępnego przetworzenia sygnału i zapisanie tegoż sygnału w postaci cyfrowej w pamięci półprzewodnikowej (RAM, ROM, EPROM, EEPROM, Flash, itd.).

Układ według wynalazku z wstępnie przetworzonym sygnałem nadawczym przedstawiono na Fig. 3.

Bank generatorów sinusoidalnych 201 wraz z sumatorem 202, modulatorem zrównoważonym 203, modulatorem zrównoważonym 204, generatorem obwiedni 213, generatorem pseudolosowym 214 zostały zastąpione układem pamięci 301 zawierającej w postaci cyfrowej próbkki będące efektem pracy powyższych układów. Pamięć 301 jest adresowana przez licznik 312, a próbkki zapisane w postaci wielobitowych słów wyprowadzane są do układu przetwornika C/A 302. Sygnał analogowy po filtracji w filtrze dolnoprzepustowym 303 zostaje wzmocniony w liniowym wzmacniaczu mocy 304 i wystero-wuje cewkę nadawczą 309. Sygnał po przejściu przez kanał transmisyjny 305 jest odbierany przez sondę odbiorczą 308, wzmacniany przez wzmacniacz 306 i filtrowany w filtrze pasmowo-przepustowym 307. Proces korelacji realizowany przez układ korelator 212 został przeniesiony do systemu mikroprocesorowego 311 sterującego procesem pomiarowym i przetwarzającego dane. Sygnał analogowy jest wprowadzany do systemu mikroprocesorowego 311 poprzez przetwornik A/C 310. Układ zegarowy 313 dostarcza odpowiednie impulsy taktujące dla licznika 312, systemu mikroprocesorowego 311 oraz przetwornika 310.

Układ według wynalazku przedstawiony na Fig. 4 zawiera dalsze uproszczenia układowe oraz charakteryzuje się potencjalnie niższym zużyciem energii niż układ z Fig. 3. Pamięć 401 zawiera podobnie jak pamięć 301 wstępnie przetworzony sygnał, jednakże poddany uprzednio dodatkowej operacji zamiany w ciąg jednobitowy. Jednobitowy strumień danych z pamięci 401 steruje przełączaniem kluczy mocy 402, korzystnie w konfiguracji mostka-H. Jednobitowy strumień danych z klucza mocy 402 doprowadzony jest do cewki nadawczej 408 poprzez filtr dolnoprzepustowy 403. Cewka nadawcza 408 sprzężona jest z sondą odbiorczą 407 przez kanał transmisyjny 404. Sonda odbiorcza 407, wzmacniacz 405, filtr pasmowo-przepustowy 406, przetwornik A/C 409, system mikroprocesorowy 410 są identyczne jak w układzie według wynalazku z Fig. 3. Licznik 411 musi zapewnić większą przestrzeń adresową niż licznik 312, a układ zegarowy 412 odpowiednio zmienione impulsy taktujące w stosunku do układu zegarowego 313.

Zakres zastosowania układu z Fig. 3 lub Fig. 4 zależy głównie od wymaganego zakresu generowanych częstotliwości nośnych. Układ Fig. 4 jest prostszy układowo, ale głównym ograniczeniem w jego stosowaniu jest duża częstotliwość przełączania klucza mocy 402.

Cechą charakterystyczną układu według wynalazku jest to, że przetwornik A/C (218, 310, lub 409) w torze odbiorczym może pracować z częstotliwością próbkowania mniejszą od częstotliwości Nyquista, tzn., że część częstotliwości nośnych będzie nadpróbkowana, a część podpróbkowana. Dzięki temu można zastosować znacznie wolniejszy przetwornik A/C niż by to wynikało z doboru częstotliwości nośnych, gdyby wszystkie miały być próbkowane w czasie rzeczywistym. Zmniejszenie częstotliwości próbkowania prowadzi do zmniejszenia wymaganej pamięci w torze odbiornika, zmniejszenia wymaganej ilości gromadzonych próbek do wykonania transformacji Fouriera, a tym samym do znacznego ograniczenia mocy obliczeniowej koniecznej do obróbki odebranego sygnału.

Figura 5 przedstawia uproszczony algorytm sterowania i przetwarzania sygnału dla układów według wynalazku przedstawionych na rysunkach Fig. 3 i Fig. 4, który jest realizowany w systemie mikroprocesorowym 311 lub 410.

Po zainicjowaniu transmisji (tzn. po wyzerowaniu licznika adresowego 312 ewentualnie licznika 411) rozpoczyna się proces nadawania wstępnie przygotowanego sygnału z pamięci półprzewodnikowej 301 lub 401, a w tym samym czasie rozpoczyna się proces akwizycji próbek w odbiorniku. System mikroprocesorowy 311 lub 410 sprawdza gotowość przetwornika A/C 310 lub 409, ewentualnie otrzymuje sygnał o tej gotowości poprzez przerwanie. Odczytane z przetwornika A/C 310 lub 409 próbki są zapamiętywane, przemnażane przez odpowiednio przygotowaną replikę kodu rozpraszającego oraz przemnażane przez odpowiednią funkcję okienkową, np. Hanninga. Cała procedura powtarza się $L_{PN} * F_S / F_{PN}$ razy, gdzie L_{PN} jest długością ciągu pseudolosowego, F_S częstotliwością próbkowania przetwornika A/C 310 lub 409, a F_{PN} jest częstotliwością taktowania sekwencji pseudolosowej. Dla przykładowego układu według wynalazku, służącego ilustracji wymagań systemu, przyjęto $L_{PN}=127$, $F_S=16\text{kHz}$, $F_{PN}=1\text{kHz}$. Dla takich założeń liczba zgromadzonych próbek w jednym cyklu pomiarowym wynosi 2032. Ponieważ najbliższy możliwy do wykorzystania rozmiar transformacji Fouriera według algorytmu FFT wynosi 2048, więc dane należy uzupełnić 16 zerami. Po wyliczeniu transformaty FFT odebranego sygnału wybierane jest kilka pozycji z widma wynikowego, które odpowiadają wybranym częstotliwościom pobudzającym obiekt. Dla tych pozycji wyliczana jest amplituda i faza, a wyniki tak wyliczonej transmitancji kanału transmisyjnego zostają zaprezentowane w stosownej formie, np. graficznej, lub mogą być użyte w algorytmach identyfikacji obiektów, eliminacji wpływu ośrodka itd.

Ponieważ częstotliwość próbkowania może być stosunkowo niska (rzędu kilku, kilkunastu kHz) zastosowanie transformacji Fouriera wg algorytmu DFT może okazać się korzystniejsze niż zastosowanie transformacji Fouriera wg algorytmu FFT pod względem całkowitego czasu cyklu pomiarowego i czasu przetwarzania. Algorytm DFT umożliwia na bieżąco, wraz odczytywaniem kolejnych próbek z przetwornika A/C 310 lub 409, wykonywać obliczenia dla kilku wybranych punktów częstotliwości. Wynik pomiaru i przetwarzania jest praktycznie dostępny natychmiast po zakończeniu pełnego cyklu pomiarowego w przeciwieństwie do algorytmu FFT, gdzie właściwa procedura wyliczenia widma rozpoczyna się dopiero po zakończeniu akwizycji wszystkich próbek.

Odpowiedni uproszczony algorytm sterowania i przetwarzania sygnału dla układów według wynalazku wykorzystujący transformację Fouriera według algorytmu DFT przedstawiono na Fig. 6.

Ponieważ transmitancje badanych obiektów metalowych mają najczęściej charakter filtrów I lub II rzędu, wystarczającym jest pobudzać je sygnałami o częstotliwościach w mniej więcej oktawowym odstępnie. Dla przykładowego układu według wynalazku przyjęto poniższe parametry. Podstawowe częstotliwości nośne $f_1=2093,75\text{Hz}$; $f_2=4093,75\text{Hz}$; $f_3=8187,5\text{Hz}$; $f_4=16375\text{Hz}$; $f_5=32750\text{Hz}$; $f_6=65500\text{Hz}$, $L_{PN}=127$, $F_{PN}=1\text{kHz}$, $F_S=16\text{kHz}$, rozmiar FFT 2048. Powyższe dane stanowią jedynie ilustrację, tak więc dopuszczalny jest dobór innych częstotliwości sygnału pobudzającego.

Widmo sygnału na wyjściu sumatora 202 zawierającego podstawowe sygnały nośne, dla omawianego przykładowego zestawu częstotliwości, przedstawiono na Fig. 7. W wyniku procesu kształtowania obwiedni w modulatorze 203 każdy z prążków zamieniony zostaje na trzy dominujące prążki (jeden główny i dwa boczne), co zostało przedstawione na Fig. 8.

Proces rozpraszania widma w modulatorze 204 powoduje, że dyskretne prążki znikają, a w ich miejsce pojawiają się widma ciągłe o zredukowanej gęstości widmowej mocy, ale zajmujące znacznie szersze pasmo. Widmo nośnych po rozproszeniu przedstawia Fig. 9. Fig. 10 przedstawia powiększony obraz widma jednej z nośnych po procesie kształtowania obwiedni i rozpraszania. Zauważyć można, że listek główny ma szerokość $4F_{PN}$, a listki boczne są znacznie tłumione. W przypadku braku kształtowania obwiedni sygnału listki boczne opadałyby bardzo wolno (ok. 6dB/okt). Fig. 11 przedstawia przebieg czasowy złożonego sygnału nadawanego przez cewkę nadawczą 207 ewentualnie 309 lub 408. Jednostki amplitudy i czasu na Fig. 11 przybrano arbitralnie.

Widmo sygnału odebranego przez sondę odbiorczą 208, dla przypadku całkowitego sprzężenia cewki nadawczej 207 i sondy odbiorczej 208 poprzez kanał 209 modelowany jako bezstratny obiekt o charakterystyce wszechprzepustowej, wzmacnionego we wzmacniaczu 210, odfiltrowanego w filtrze pasmowo-przepustowym 211, skupionego w korelatorze 212, spróbkowanego w układzie próbkująco-pamiętającym 219 i przetworzonego do postaci cyfrowej w przetworniku analogowo-cyfrowym 218 przedstawiono na Fig. 12. Zauważyć można, że prążki, które uległy podpróbkowaniu przemieściły się w widmie wynikowym. W tabeli 1 przedstawiono zestaw częstotliwości przykładowego systemu według wynalazku. Częstotliwości interesujące z punktu widzenia pomiarów zostały wyróżnione.

Fig. 13 i Fig. 14 przedstawiają zmierzoną transmitancję (odpowiednio amplituda i faza) przykładowego obiektu w przypadku występowania silnego zakłócenia o identycznej częstotliwości jak jedna z nośnych, co stanowi najgorszy przypadek zakłócenia. Zauważyć można, że błąd wyznaczenia amplitudy jest poniżej 1dB, a błąd fazy jest rzędu kilku stopni. Bez wykorzystania sposobu i urządzenia według wynalazku, pomiar w takich warunkach w ogóle nie byłby możliwy. Fig. 15 i Fig. 16 przedstawiają zmierzoną transmitancję (odpowiednio amplituda i faza) przykładowego obiektu dla przypadku gdy silny sygnał zakłócający ma częstotliwość różną od częstotliwości nośnych. Zauważyć można, że amplituda jest odtwarzana praktycznie bezbłędnie, a faza z błędem mniejszym niż kilka stopni.

T a b e l a 1. Zestaw częstotliwości dla urządzenia według wynalazku

FFT 2048, $F_s=16kS/s$					
Częstotliwość oryginalnego prążka		Częstotliwość prążka po transformacji		Punkt częstotliwości FFT	
F_{1L}	1093,75	F_{1L}'	1093,75**	140	√
F_1	2093,75	F_1	2093,75	268	√
F_{1U} F_{2L}	3093,75	F_{1U}' F_{2L}'	3093,75	396	
F_2	4093,75	F_2'	4093,75	524	√
F_{2U}	5093,75	F_{2U}'	5093,75	652	
F_{3L}	7187,5	F_{3L}'	7187,5**	920	
F_3	8187,5	F_3'	7812,5*	1000	√
F_{3U}	9187,5	F_{3U}'	6812,5*	872	
F_{4L}	15375	F_{4L}'	625***	80	
F_4	16375	F_4'	375	48	√
F_{4U}	17375	F_{4U}'	1375	176	
F_{5L}	31750	F_{5L}'	250***	32	
F_5	32750	F_5'	750	96	√
F_{5U}	33750	F_{5U}'	1750	224	
F_{6L}	64500	F_{6L}'	500**	64	
F_6	65500	F_6'	1500	192	√
F_{6U}	66500	F_{6U}'	2500	320	

* - odwrócony znak fazy

** - faza przesunięta o π F_{1U} - górny listek nośnej F_1 F_{1L} - dolny listek nośnej F_1

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych, **znamienny tym**, że nadawany sygnał generuje się w generatorze wytwarzającym sygnał o dyskretnym widmie częstotliwościowym, który następnie podlega procesowi kształtowania obwiedni i rozproszeniu widma poprzez przemnożenie przez sygnał rozpraszający, a następnie przetwarza się synchronicznie odebrany sygnał w celu skupienia widma.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sygnał odebrany próbkuje się z taką częstotliwością, że część nośnych w odebranym sygnale nadpróbkuje się, a część podpróbkuje się.

3. Urządzenie do wykrywania i identyfikacji anomalii elektromagnetycznych, **znamiennie tym**, że ma w torze sygnałowym nadajnika bank generatorów sinusoidalnych, z których sygnały podlegają sumowaniu a następnie kształtowaniu obwiedni i rozproszeniu widma, po czym sygnał o rozproszonym widmie zostaje doprowadzony do cewki nadawczej, natomiast w torze odbiorczym sygnał z sondy odbiorczej jest wzmacniany, filtrowany, próbkowany, przetwarzany do postaci cyfrowej i poddany

transformacji Fouriera, a w układzie decyzyjnym przedstawia się wynik pomiarów transmitancji obiektu dla częstotliwości odpowiadających częstotliwościom podstawowych nośnych oraz ich wstęp górnych i dolnych oraz na podstawie uzyskanych wyników dokonuje się klasyfikacji obiektu.

4. Urządzenie według zastrz. 3, **znamiennie tym**, że w torze nadajnika po modulatorze rozpraszającym widmo, a przed cewką nadawczą znajduje się modulator, korzystnie modulator sigma delta, zamieniający złożony sygnał na strumień jednobitowy.

5. Urządzenie według zastrz. 3, **znamiennie tym**, że w torze nadajnika znajduje się układ pamięci półprzewodnikowej, zawierającej próbkowane wartości sygnału o rozproszonym widmie w postaci wielobitowej.

6. Urządzenie według zastrz. 3, **znamiennie tym**, że w torze nadajnika znajduje się układ pamięci półprzewodnikowej, zawierającej próbkowane wartości sygnału o rozproszonym widmie w postaci jednobitowej.

Rysunki

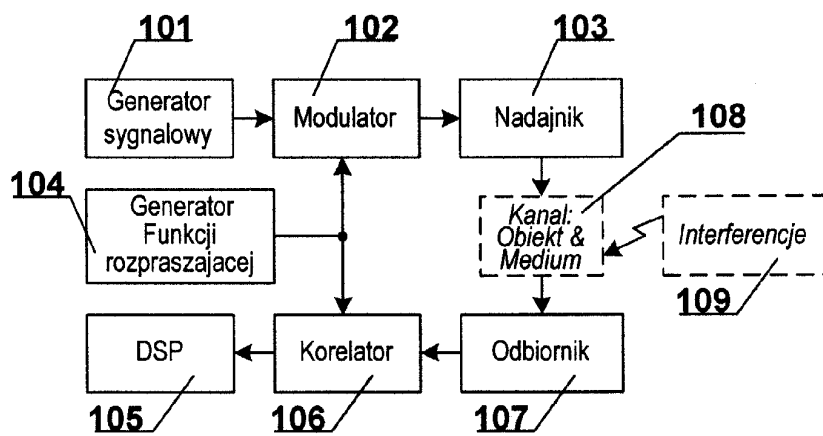


Fig. 1

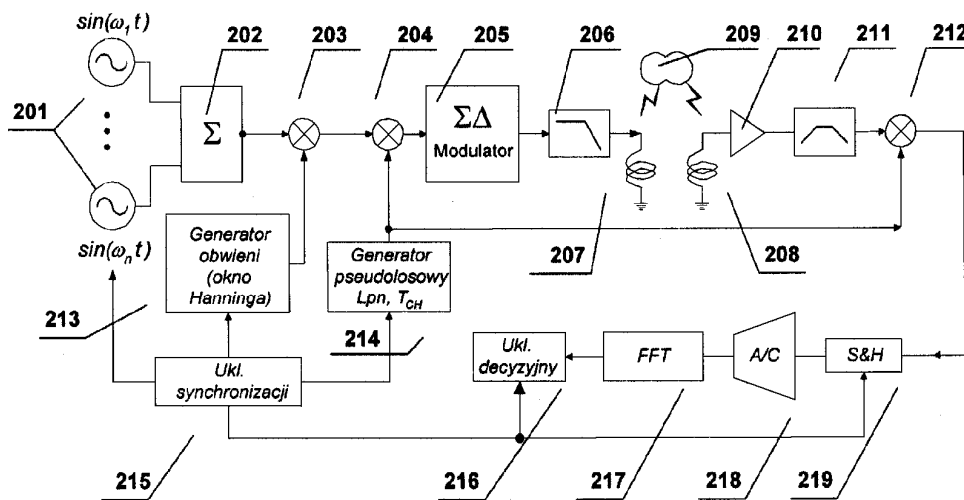


Fig. 2

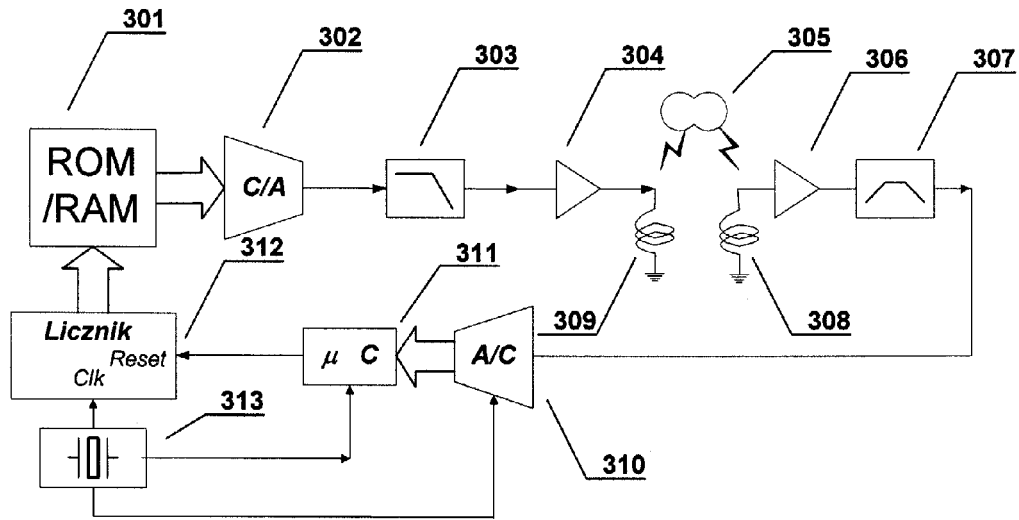


Fig. 3

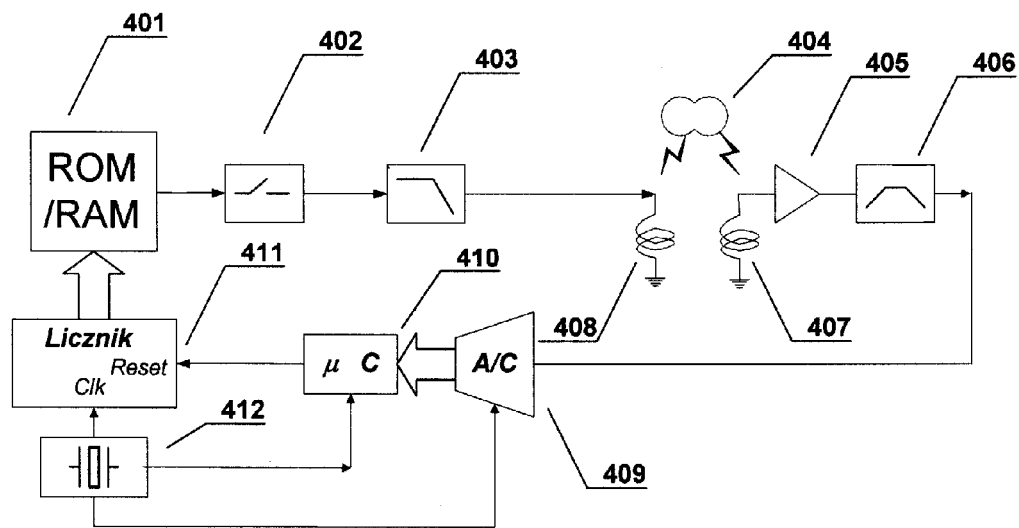


Fig. 4

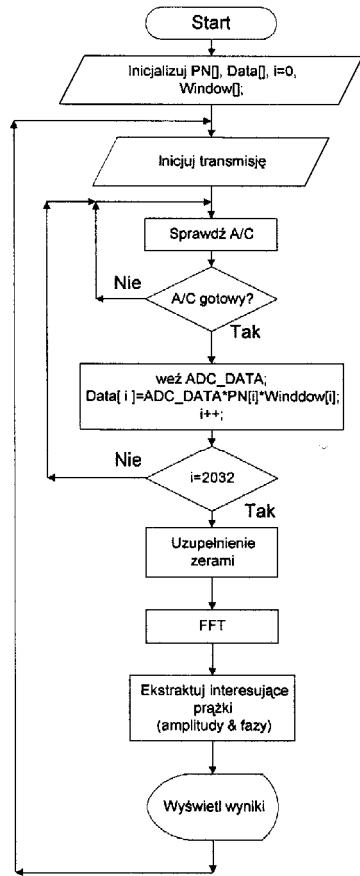


Fig. 5

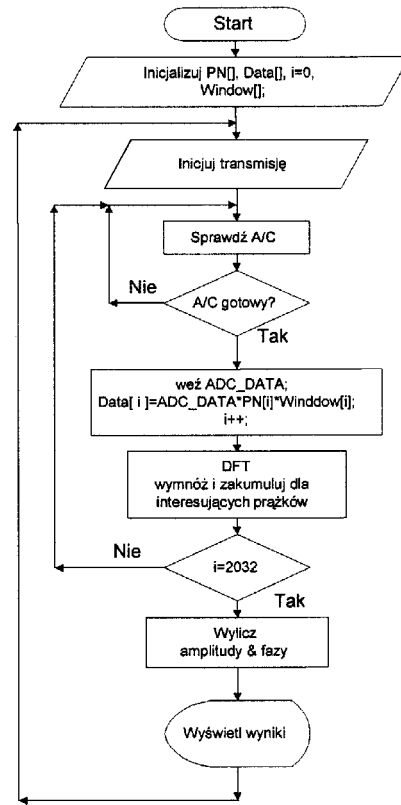


Fig. 6

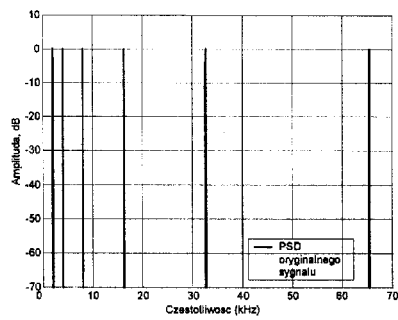


Fig. 7

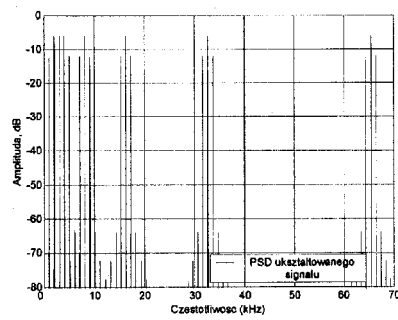


Fig. 8

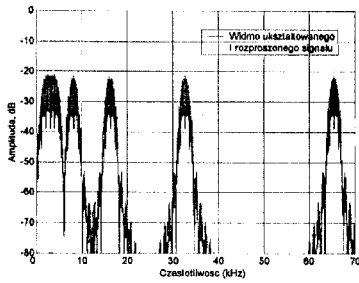


Fig. 9

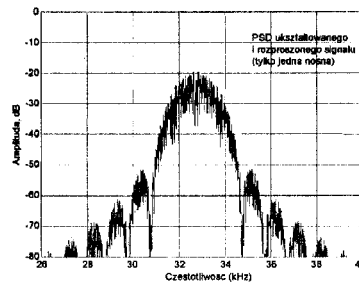


Fig. 10

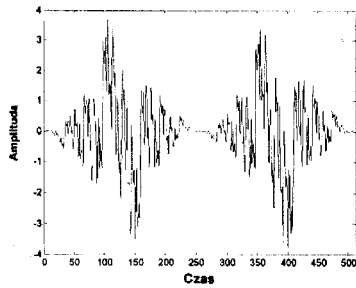


Fig. 11

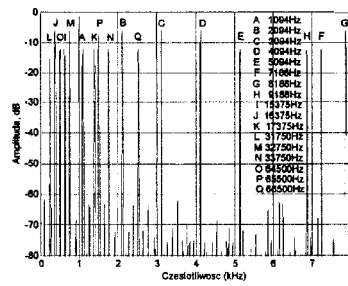


Fig. 12

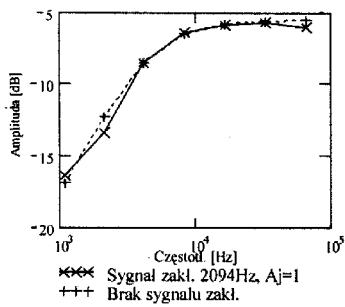


Fig. 13

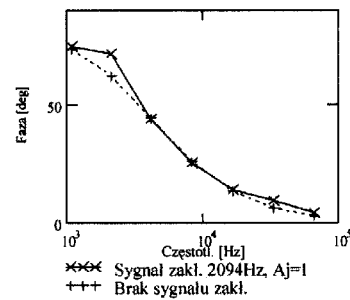


Fig. 14

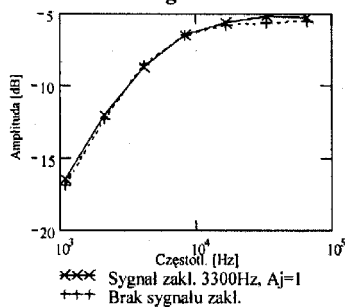


Fig. 15

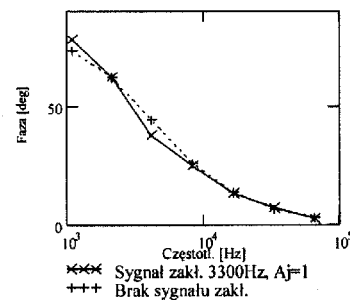


Fig. 16