

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 242851 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **435765**

(22) Data zgłoszenia: **2020.10.23**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.04.25 BUP 17/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.05.02 WUP 18/2023**

(51) MKP:

G01N 24/10 (2006.01)

G01R 33/60 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**NOVILET SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Poznań, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**MIKOŁAJ BARANOWSKI, Poznań, PL
TOMASZ CZECHOWSKI, Poznań, PL**

(74) Pełnomocnik:

Marek Passowicz, Poznań, PL

(54) Tytuł:

**Sposób uzyskiwania obrazów wysokiej rozdzielczości z przestrzeni odwrotnej
w obrazowaniu rezonansu magnetycznego oraz układ do stosowania tego sposobu**

PL 242851 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób uzyskiwania obrazów wysokiej rozdzielczości z przestrzeni odwrotnej w obrazowaniu rezonansu magnetycznego, w krótkich czasach w technikach obrazowania oraz układ do stosowania tego sposobu.

Obrazowanie metodą EPR (Electron Paramagnetic Resonance) jest wysoce czułą techniką w detekcji ciśnienia parcjalnego tlenu; metoda ta może również dostarczyć danych o przestrzennym rozkładzie oraz farmakokinetyce wolnych rodników w tkankach. Informacja o wielkości ciśnienia parcjalnego tlenu w tkankach stanowi bardzo ważną informację w diagnozowaniu nowotworów przed i w trakcie terapii onkologicznej. W związku z faktem, że wolne rodniki w tkankach występują w małych stężeniach, natomiast ich czasy życia są bardzo krótkie, przyjmuje się, że w celu prowadzenia badań należy wprowadzić z zewnątrz rodnik o wystarczająco długim czasie życia oraz odpowiedniej koncentracji, którego struktura widma EPR, w szczególności szerokość linii, w znacznym stopniu zależy od ciśnienia parcjalnego tlenu w jego otoczeniu. Ze względu na głębokość wnikania promieniowania elektromagnetycznego w materię ożywioną oraz potencjalny efekt podgrzewania badanego obiektu standardowe spektrometry EPR pracujące na częstotliwościach mikrofalowych są nieprzydatne do wykonywania obrazowania EPR. Z tego względu w praktyce stosuje się niższe częstotliwości z zakresu radiowego (RF), co pociąga za sobą znaczący spadek stosunku sygnału do szumu (SNR). Zmniejszenie S/N wynika ze zmniejszenia częstotliwości rezonansowej, co skutkuje zmniejszeniem wartości zewnętrznego pola magnetycznego, w obszarze którego wykonuje się badanie. Od wartości pola magnetycznego znacząco zależy wartość magnetyzacji, która to wielkość ma zasadniczy wpływ na intensywność rejestrowanego sygnału, co w konsekwencji odpowiada za spadek SNR. Dodatkowo, wraz ze zmniejszeniem częstotliwości rezonansowej, zmniejszeniu ulega dobroć (Q) rezonatora, co dodatkowo powoduje obniżenie SNR i w praktyce wprowadza limity związane z praktycznym wyborem częstotliwości rezonansowej szczególnie w tomografii EPR.

Do obrazowania żywych obiektów z wykorzystaniem tomografii EPR w warunkach laboratoryjnych stosuje się obecnie metody z wykorzystaniem fali ciągłej (CW) oraz przejść nagłych (RS), a także techniki impulsowe.

Przydatność metod impulsowych ograniczona jest bardzo krótkim czasem relaksacji spin-spin T_2 dla większości rodników. Związane z tym znaczne poszerzenie szerokości linii rezonansowych powoduje nieprzydatność tych metod do obrazowania w technice EPR. Dodatkowym problemem jest skrócenie czasu relaksacji T_2 wynikające z obecności gradientu pola, który przy znacznych gradientach powoduje zanik sygnału indukcji swobodnej (FID) zachodzącym w czasie martwym spektrometru. Efekt ten utrudnia, a wręcz uniemożliwia, wykonanie pomiaru. W celu znaczącego skrócenia efektu czasu martwego tomografu zaproponowano zastosowanie sekwencji Franka lub Chu, które pozwalają na wykonanie obrazowania. Sposób ten może być stosowany jedynie dla rodników o długich czasach relaksacji. Obrazy generowane tą metodą charakteryzuje się niską rozdzielczością przestrzenną, szczególnie w przypadku większych obiektów.

Stosowanie natomiast metod opartych na technice fali ciągłej (CW) oraz przejść nagłych (RS) pozbawione jest podobnych ograniczeń. W obu technikach wymagany jest aby rezonator rejestrował całe pasmo przenoszenia sygnału, z tym że w przypadku techniki CW pasmo przenoszenia jest bardzo wąskie, natomiast w przypadku techniki RS lub impulsowej sygnał ma bardzo szerokie pasmo przenoszenia rzędu kilku do kilkunastu MHz. Należy jednak zaznaczyć, że samo zmniejszenie szybkości skanowania w technice RS umożliwia zmniejszenie pasma przenoszenia sygnału, ze względu na liniową zależność obu wartości. Metody CW rejestrują sygnał EPR w obecności dodatkowej oprócz skanu szybkozmiennej modulacji, której amplituda nie powinna przekraczać $1/5$ szerokości linii rejestrowanego widma, natomiast czas rejestrowania widma odbywa się w sekundowej skali czasowej. W technice RS, wykorzystuje się jedynie skan pola o dużej prędkości, przez co możliwe jest rejestrowanie poszczególnych widm w czasie rzędu od kilkudziesięciu mikrosekund do milisekund. Z racji jakości sygnału, konieczne jest jednak skumulowanie rejestrowanego widma, co w praktyce oznacza rejestrację sygnału w czasie nie krótszym niż kilkadziesiąt milisekund.

Dobroć rezonatora definiuje szerokość pasma przenoszenia sygnału, który może być poprawnie detektowany. Im większa dobroć, tym mniejsze pasmo przenoszenia. Istotne jest aby pasmo przenoszenia rezonatora było tego rzędu, ale nie mniejsze od pasma przenoszenia sygnału. W takim przypadku detekcja sygnału będzie najbardziej efektywna.

Obecnie dla metod CW i RS wykorzystywanych w tomografii EPR dobroć rezonatora Q nie jest dobierana pod względem pasma przenoszenia sygnału, tzn. pasmo przenoszenia sygnału jest zdecydowanie węższe aniżeli pasmo przenoszenia rezonatora. W celu optymalnej detekcji sygnału dobroć rezonatora powinna być możliwie duża, tak by nie wpływać na kształt rejestrowanego sygnału. Ponadto rezonator musi być wykonany z materiałów nieoddziałujących na rozkłady pól magnetycznych. Do detekcji (spełnienia warunku rezonansu dla określone częstotliwości) stosuje się zmienne pole magnetyczne – generowane przez zewnętrzne cewki. Pole takie w rezonatorze standardowej konstrukcji generuje prądy wirowe, które zaburzają sygnał.

Z kolei obrazy w technice EPR rekonstruuje się z wykorzystaniem techniki projekcji wstecznej (FBP) lub metod iteracyjnych, w tym metod opartych o technikę total variations (TV), która umożliwia uzyskiwanie obrazów o dobrych parametrach szumowych, nawet z wykorzystaniem mniejszej ilości projekcji, kosztem istotnego wydłużenia czasu niezbędnego na rekonstrukcję obrazu w zależności od ilości wymiarów w obrazie.

Oprócz technik rekonstrukcji obrazu opartych o FBP uzyskanych projekcji, możliwe jest zrekonstruowanie obrazu z wykorzystaniem transformaty Fouriera danych zapisanych w przestrzeni k . W technice MRI, ze względu na długie czasy relaksacji (w skali od setek milisekund do sekund), macierz k można odtworzyć za pomocą np. techniki EPI, po jednym impulsie wzbudzającym daną warstwę. W technice EPR czasy relaksacji są rzędu od ułamków do kilku mikrosekund, co powoduje niemożność użycia sekwencji impulsowych realizowalnych w skalach nanosekund, ze względu na ograniczenia technologiczne i czasy martwe tomografu. Z tego względu, w celuapełnienia danych w macierzy k stosuje się technikę single point imaging (SPI), dzięki której macierz zapisuje się punkt po punkcie dla wybranego czasu τ od zastosowanego impulsu pobudzającego dla technik impulsowych, lub pseudo-czasu τ dla widm rejestrowanych techniką CW lub RS po wykonaniu ich transformat Fouriera. W takim przypadku od rozmiarów macierzy k znacząco zależy całkowity czas pomiaru, który zależy jak N^3 , gdzie N jest wymiarem macierzy. W praktyce do obrazowania 3D wykorzystuje się rozmiar $N=19$ przestrzeni k , co przekłada się na 6859 pomiarów. Każdy pomiar realizowany jest w innych wartościach gradientu G_x , G_y oraz G_z , które rozłożone są w kartezjańskim układzie współrzędnych. Składowe gradientów zmieniają się liniowo od wartości $-G_{\max}$ do $G_{\max}$. Od kroku gradientu oraz wielkości czasu τ zależy field of view (FOV) rekonstruowanego obrazu, przez co możliwy jest efekt powiększania lub pomniejszania obrazu realizowany poprzez właściwy dobór powyższych parametrów. Każdy punkt przestrzeni k odtwarzany jest z projekcji, dla których wektor gradientu był stabilny w czasie pomiaru. Obrazy generowane z transformaty Fouriera przestrzeni k realizowanej w technice SPI charakteryzują się lepszymi parametrami rozdzielczości przestrzennej i widmowej (poprzez dodatkowe odtworzenie mapy czasu relaksacji T_2^*) w stosunku do innych metod rekonstrukcji.

Wraz ze wzrostem rozmiaru N macierzy k , polepszeniu ulega rozdzielczość, jednakże w celu rejestracji macierzy k o rozmiarze $N=128$, konieczne jest wykonanie 2097152 pomiarów, co nawet dla rejestracji pojedynczej projekcji w czasie 40 ms daje ostatecznie ponad 23,3 godziny, a to w praktyce jest trudne do wykonania. W celu skrócenia pomiaru wykorzystuje się niepełny pomiar przestrzeni k , co skutkuje skróceniem czasu pomiaru o rząd wielkości, przekłada się jednak na obniżenie poziomu SNR obrazu, co oznacza zwiększenie ilości akumulacji w zbieranych projekcjach. Finalnie obrazowanie 3D SPI jest możliwe w czasie minimum kilku minut, w zależności od przyjętych parametrów eksperymentalnych, co stanowi ograniczenie w realizacji szybkiego, dynamicznego obrazowania techniką EPR.

Ograniczeń dotyczących czasu pomiaru, jak również rozmiaru rejestrowanych danych w przestrzeni k w tomografii SPI, jest pozbawiona nowatorska metoda pomiaru projekcji w tomografii EPR wykorzystująca ciągłą detekcję sygnału w trakcie skanowania próbki szybkozmiennym polem skanującym oraz zmodyfikowanym, zmiennym w czasie polem gradientowym, a następnie analizę cyfrowego zapisu sygnału EPR, proponowana w niniejszym rozwiązaniu.

Celem wynalazku jest uzyskiwanie obrazów w metodzie obrazowania rezonansów magnetycznych z wykorzystaniem analizy danych w przestrzeni wektora falowego k .

Korzystnym jest gdy sygnał rezonansu magnetycznego jest sygnałem elektronowego rezonansu magnetycznego lub jądrowego rezonansu magnetycznego.

Następnie korzystnym jest gdy sygnał rezonansu magnetycznego rejestruje się korzystnie wykorzystując technikę fali ciągłej, przejść nagłych, adiabatycznych lub technikę impulsową.

Korzystnym jest również gdy wieloskładnikowe pole magnetyczne stanowią stałe pole magnetyczne, pole gradientowe oraz modulujące pole magnetyczne o kształcie korzystnie sinusoidalnym, trójkątnym lub piłokształtnym.

Dalej korzystnym jest gdy wieloskładnikowe pole magnetyczne stanowią stałe pole magnetyczne oraz pole gradientowe.

Korzystnym jest także gdy sygnał dla wybranego τ w przestrzeni wektora k w detekcji techniką impulsową jest wartością sygnału rezonansu magnetycznego po czasie τ od początku FID-u, lub echa spinowego.

Korzystnym jest również gdy sygnał dla wybranego τ w przestrzeni wektora k w detekcji techniką przejść nagłych, adiabatycznych lub fali ciągłej jest wartością transformaty Fouriera sygnału rezonansu magnetycznego po czasie τ od jego początku.

Dalej korzystnym jest gdy składowa wzdłuż głównego pola tomografu zmiennego gradientowego pola magnetycznego wytwarzana jest korzystnie w trzech prostopadłych do siebie kierunkach.

Następnie korzystnym jest gdy w każdym kierunku gradient pola magnetycznego zmienia się w czasie korzystnie liniowo, sinusoidalnie, trójkątnie, nieliniowo lub pozostaje stały.

Korzystnie jest że w każdym kierunku gradient pola magnetycznego zmienia się w czasie korzystnie z różną szybkością.

Następnie korzystnie jest gdy przestrzeń wektora k wypełniana jest pełni lub części.

Dodatkowo korzystnym jest gdy do rejestracji sygnału używa się korzystnie impulsu RF $\pi/2$.

Dalej korzystnym jest gdy impuls RF ma kształt korzystnie prostokąta, chirp albo funkcji sinc.

Istota układu według wynalazku polega na tym, że główny kontroler przyłączony jest dwukierunkowo za pomocą trzynastego wejścia/wyjścia do modułu komunikacyjnego, do którego pierwszego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator sekwencji, do drugiego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo źródło RF, do trzeciego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B01, do czwartego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx1, do piątego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy1, do szóstego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz1, do siódmego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz2, do ósmego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy2, do dziewiątego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx2, do dziesiątego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B02, do jedenastego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator kształtu cewek modulacyjnych, do dwunastego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo FPGA, natomiast pierwsze wyjście generator sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz1 oraz wejścia generatora gradientu Gz1, drugie wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy1 oraz wejścia generatora gradientu Gy1, trzecie wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B01 oraz wejścia generatora pola B01, czwarte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx1 oraz wejścia generatora gradientu Gx1, piąte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz2 oraz wejścia generatora gradientu Gz2, szóste wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy2 oraz wejścia generatora gradientu Gy2, siódme wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx2 oraz wejścia generatora gradientu Gx2, ósme wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B02 oraz wejścia generatora pola B02, dziewiąte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do wejścia generatora kształtu cewek modulujących oraz pierwszego wejścia sterownika cewek modulacyjnych, dziesiąte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia przetwornika ADC i pierwszego wejścia FPGA, natomiast pierwsze wyjście źródła RF przyłączone jest do wejścia Tx wzmacniacza a drugie wyjście przyłączone jest do pierwszego wejścia demodulatora IQ, natomiast wyjście Tx wzmacniacza przyłączone jest do wejścia cyrkulatora, do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo rezonator R oraz do którego wyjścia przyłączone jest wejście przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości, którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia demodulatora IQ, którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia przetwornika ADC, którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia FPGA, natomiast wyjście generatora pola B01 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B01, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B01, natomiast wyjście generatora gradientu Gx1 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx1, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx1, natomiast wyjście generatora gradientu Gy1 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy1, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy1, natomiast wyjście generatora gradientu Gz1 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz1, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz1, natomiast wyjście generatora gradientu Gz2 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz2,

którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz2, natomiast wyjście generatora gradientu Gy2 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy2, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy2, natomiast wyjście generatora gradientu Gx2 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx2, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx2, natomiast wyjście generatora pola B02 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B02, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B02, natomiast wyjście generatora kształtu cewek modulacyjnych przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika cewek modulacyjnych, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek modulacyjnych M1 i M2.

Korzystnym jest gdy wyjście Tx wzmacniacza przyłączone jest do wejścia rezonatora R1, natomiast wyjście rezonatora R2 przyłączone jest wejście przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości.

Istota układu według wynalazku polega również na tym, że główny kontroler przyłączony jest dwukierunkowo za pomocą trzynastego wejścia/wyjścia do modułu komunikacyjnego, do którego pierwszego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator sekwencji, do drugiego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo źródło RF, do trzeciego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B01, do czwartego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx1, do piątego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy1, do szóstego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz1, do siódmego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz2, do ósmego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy2, do dziewiątego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx2, do dziesiątego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B02, do jedenastego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo generator kształtu cewek modulacyjnych, do dwunastego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo FPGA, natomiast pierwsze wyjście generator sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz1 oraz wejścia generatora gradientu Gz1, drugie wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy1 oraz wejścia generatora gradientu Gy1, trzecie wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B01 oraz wejścia generatora pola B01, czwarte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx1 oraz wejścia generatora gradientu Gx1, piąte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz2 oraz wejścia generatora gradientu Gz2, szóste wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy2 oraz wejścia generatora gradientu Gy2, siódme wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx2 oraz wejścia generatora gradientu Gx2, ósme wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B02 oraz wejścia generatora pola B02, dziewiąte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia mieszacza oraz dziesiąte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia przełącznika Tx/Rx, do pierwszego wejścia przetwornika ADC i pierwszego wejścia FPGA, natomiast pierwsze wyjście źródła RF przyłączone jest do drugiego wejścia mieszacza a drugie wyjście przyłączone jest do pierwszego wejścia demodulatora IQ, natomiast wyjście mieszacza przyłączone jest do wejścia Tx wzmacniacza mocy do którego wyjścia przyłączone jest drugie wyjście przełącznika Tx/Rx, do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo rezonator R, natomiast wyjście przełącznika Tx/Rx przyłączone jest do wejścia przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości, którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia demodulatora IQ, którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia przetwornika ADC, którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia FPGA, natomiast wyjście generatora pola B01 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B01, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B01, natomiast wyjście generatora gradientu Gx1 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx1, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx1, natomiast wyjście generatora gradientu Gy1 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy1, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy1, natomiast wyjście generatora gradientu Gz1 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz1, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz1, natomiast wyjście generatora gradientu Gz2 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz2, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz2, natomiast wyjście generatora gradientu Gy2 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy2, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy2, natomiast wyjście generatora gradientu Gx2 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx2, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gra-

dientu pola Gx2, natomiast wyjście generatora pola B02 przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B02, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B02, natomiast wyjście generatora kształtu cewek korekcyjnych przyłączone jest do wejścia sterownika cewek korekcyjnych, którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek korekcyjnych M1 i M2.

Korzystnym jest również gdy dziesiąte wyjście generatora sekwencji przyłączone jest do pierwszego wejścia przetwornika ADC i pierwszego wejścia FPGA, natomiast wyjście Tx wzmacniacza mocy przyłączone jest do wejścia rezonatora R1, natomiast wyjście rezonatora R2 przyłączone jest do wejścia przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości.

Wynalazek zostanie bliżej opisany na podstawie przykładu pokazanego na rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają:

- Fig. 1 – układ do realizacji w postaci blokowej, wykorzystujący do detekcji technikę fali ciągłej, przejść nagłych lub adiabatycznych,
- Fig. 2 – odmiana z Fig. 1 z dwoma rezonatorami,
- Fig. 3 – układ do realizacji w postaci blokowej, wykorzystujący do detekcji technikę impulsową,
- Fig. 4 – odmiana z Fig. 3 z dwoma rezonatorami,
- Fig. 5 – przykładowy sposób kodowania gradientów w celu otrzymywania przestrzeni k,
- Fig. 6 – przykładowy obraz 2D otrzymany z wykorzystaniem wynalazku.

Badaną próbkę umieszcza się w wieloskładnikowym polu magnetycznym, w skład którego wchodzi: stałe zewnętrzne pole magnetyczne, stałe bądź zmienne pole gradientowe, modulujące pole magnetyczne o kształcie sinusoidalnym, trójkątnym lub piłokształtnym.

W trakcie zmian wartości gradientów w czasie, jak również cyklicznych zmian pola głównego realizowanego przez cewki modulujące i/lub cewki pola głównego, rejestruje się w sposób ciągły sygnał EPR (elektronowy rezonans paramagnetyczny) lub NMR (jądrowy rezonans magnetyczny). Zakładając, że okres modulacji T jest znacząco krótszy od okresu zmian wartości gradientów, tzn. szybkość zmian modulującego pola magnetycznego jest znacząco większa od szybkości zmian gradientu pola magnetycznego, możliwe jest przypisanie rejestrowanym sygnałom EPR lub NMR konkretnych chwil czasu, które odpowiadać będą chwilowym wartości gradientu pola magnetycznego. Korzystnym jest gdy trajektoria zmian wartości gradientu pola w przestrzeni 1D, 2D lub 3D umożliwia wypełnienie całej macierzy danych w przestrzeni odwrotnej wektora k, przy czym położenie poszczególnych składowych (x, y, z) zależy od chwilowych wartości gradientu Gx, Gy i Gz. Przykładową realizację trajektorii pokazano dla obrazowania 2D na Fig. 5A, gdzie jeden gradient jest modulowany sinusoidalnie (Gz), natomiast drugi gradient liniowo (Gy). Rejestrowany w sposób ciągły sygnał EPR dzielony jest na elementy składowe o czasie trwania T/2 (dla sinusoidalnej lub trójkątnej modulacji), którym przypisuje się chwilowe wartości gradientu Gz i Gy. W następnej kolejności tak przygotowane sygnały poddawane są Transformacji Fouriera, na podstawie której otrzymuje się widma częstotliwościowe sygnału. W najprostszym rozwiązaniu, do wypełnienia macierzy k (y, z) wykorzystywany jest wybrany punkt wszystkich widm częstotliwościowych, dla analizy którego w sposób znany określa się między innymi taki parametr jak FOV. Po wybraniu punktu, przypisywany on jest w macierzy k na podstawie chwilowych wartości gradientu Gz i Gy. Na Fig 5B pokazano rzeczywistą trajektorię określoną przez chwilowe wartości składowych gradientu oraz siatkę równoodległych kartezjańskich punktów macierzy, którą najczęściej wypełnia się w tradycyjnie znany sposób. W kolejnym kroku odtwarzana jest macierz k, charakteryzująca się równoodległymi punktami w macierzy k. Ostatnim krokiem jest odwrotna Transformata Fouriera macierzy k, w wyniku której otrzymywany jest w znany sposób obraz. Dla rozpatrywanego przypadku zrekonstruowany obraz 6 próbek przedstawiono na Fig. 6.

Próbkę umieszcza się w rezonatorze, który znajduje się w obszarze stałego zewnętrznego pola magnetycznego, pola skanującego i/lub szybkozmiennego pola magnetycznego zmieniającego się z okresem T, oraz zmiennego pola gradientowego, co umożliwia detekcję sygnału EPR lub NMR.

Po znalezieniu w znany sposób sygnału elektronowego rezonansu paramagnetycznego lub jądrowego rezonansu magnetycznego następuje rejestracja w sposób ciągły sygnału w domenie czasu. Z sygnału zapisanego w interwałach czasu do T/2 tworzone są projekcje dla chwilowych wartości gradientu. Wszystkie projekcje poddaje się Transformacji Fouriera, po czym wybiera się dany punkt w domenie częstotliwości dla każdej z projekcji z osobna, po czym wypełnia się przestrzeń macierzy k zgodnie z chwilowymi wartościami gradientów. Następnie rekonstruuje się obraz wykorzystując odwrotną Transformatę Fouriera.

W układzie do realizacji sposobu według wynalazku (Fig. 1), główny kontroler przyłączony jest dwukierunkowo za pomocą wejścia/wyjścia (K13) do modułu komunikacyjnego (17), do którego wejścia/wyjścia (K1) przyłączony jest dwukierunkowo generator sekwencji (19), do wejścia/wyjścia (K2) przyłączone jest dwukierunkowo źródło RF (20), do wejścia/wyjścia (K3) przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B01 (12a), do wejścia/wyjścia (K4) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx1 (13a), do wejścia/wyjścia (K5) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy1 (14a), do wejścia/wyjścia (K6) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz1 (15a), do wejścia/wyjścia (K7) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz2 (15b), do wejścia/wyjścia (K8) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy2 (14b), do wejścia/wyjścia (K9) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx2 (13b), do wejścia/wyjścia (K10) przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B02 (12b), do wejścia/wyjścia (K11) przyłączony jest dwukierunkowo generator kształtu cewek modulacyjnych (16), do wejścia/wyjścia (K12) przyłączony jest dwukierunkowo FPGA (26), natomiast pierwsze wyjście (T1) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz1 (11a) oraz wejścia generatora gradientu Gz1 (15a), drugie wyjście (T2) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy1 (10a) oraz wejścia generatora gradientu Gy1 (14a), trzecie wyjście (T3) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B01 (8a) oraz wejścia generatora pola B01 (12a), czwarte wyjście (T4) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx1 (9a) oraz wejścia generatora gradientu Gx1 (13a), piąte wyjście (T5) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz2 (11b) oraz wejścia generatora gradientu Gz2 (15b), szóste wyjście (T6) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy2 (10b) oraz wejścia generatora gradientu Gy2 (14b), siódme wyjście (T7) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx2 (9b) oraz wejścia generatora gradientu Gx2 (13b), ósme wyjście (T8) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B02 (8b) oraz wejścia generatora pola B02 (12b), dziewiąte wyjście (T9) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do wejścia generatora kształtu cewek modulujących (16) oraz pierwszego wejścia sterownika cewek modulacyjnych (7), dziesiąte wyjście (T10) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia przetwornika ADC (25) i pierwszego wejścia FPGA (26), natomiast pierwsze wyjście źródła RF (20) przyłączone jest do wejścia Tx wzmacniacza (21) a drugie wyjście przyłączone jest do pierwszego wejścia demodulatora IQ (24), natomiast wyjście Tx wzmacniacza (21) przyłączone jest do wejścia cyrkulatora (22), do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo rezonator (6) oraz do którego wyjścia przyłączone jest wejście przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości (23), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia demodulatora IQ (24), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia przetwornika ADC (25), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia FPGA (26), natomiast wyjście generatora pola B01 (12a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B01 (8a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B01 (1a), natomiast wyjście generatora gradientu Gx1 (13a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx1 (9a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx1 (2a), natomiast wyjście generatora gradientu Gy1 (14a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy1 (10a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy1 (3a), natomiast wyjście generatora gradientu Gz1 (15a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz1 (11a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz1 (4a), natomiast wyjście generatora gradientu Gz2 (15b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz2 (11b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz2 (4b), natomiast wyjście generatora gradientu Gy2 (14b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy2 (10b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy2 (3b), natomiast wyjście generatora gradientu Gx2 (13b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx2 (9b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx2 (2b), natomiast wyjście generatora pola B02 (12b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B02 (8b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B02 (1b), natomiast wyjście generatora kształtu cewek modulacyjnych (16) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika cewek modulacyjnych (7), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek modulacyjnych M1 (5a) i M2 (5b).

Oprócz powyżej opisanej metody detekcji sygnału, można zastosować jej zmodyfikowaną formę w układzie pokazanym na Fig.2. Wyjście Tx wzmacniacza (21) przyłączone jest do wejścia rezonatora R1 (6a), natomiast wyjście rezonatora R2 (6b) przyłączone jest wejście przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości (23).

Po umieszczeniu próbki w rezonatorze 6, znajdującym się pomiędzy nabiegownikami elektromagnesu 1b i 1a, cewek gradientowych 2a i 2b, 3a i 3b, 4a i 4b oraz cewek modulujących 5a i 5b, uruchamia się główny kontroler 18, który steruje pracą modułu komunikacyjnego 17. Moduł komunikacyjny 17 ustawia parametry pracy na generatorze sekwencji 19, źródle RF 20, FPGA 26, generatorach: pola B0 12a i 12b, gradientu Gx 13a i 13b, gradientu Gy 14a i 14b, gradientu Gz 15a i 15b, kształtu cewek modulacyjnych 16. Źródło RF 20 generuje częstotliwość rezonansową, która wzmacniana jest przez Tx wzmacniacz 21, po czym za pomocą cyrkulatora 22 sygnał wielkiej częstotliwości doprowadzany jest do rezonatora 6, w którym znajduje się badany obiekt. Następnie sygnał powraca do cyrkulatora 22 i jest poprzez wzmacniacz LNA 23 dostarczany do demodulatora IQ 24, który zdejmując nośną z sygnału przy użyciu wzorcowego sygnału generowanego przez źródło RF 20. Sygnał następnie jest detektowany przez szybki przetwornik ADC 25, który poprzez sygnał z generatora sekwencji 19 jest aktywowany do przesyłania danych do układu FPGA 26 i jego zapisu. Zarejestrowany sygnał trafia następnie do modułu komunikacyjnego 17 a następnie głównego kontrolera 18, po czym następuje dopasowanie częstotliwości rezonansowej poprzez moduł komunikacyjny 17 i źródło RF 20, jak również dostrojeniu podlega rezonator 6. Następnie poprzez wysłane ustawienia do generatora sekwencji 19 następuje wysłanie parametrów pracy do generatorów głównego pola magnetycznego 12a i 12b, generatorów pól gradientu z 15a i 15b, gradientu x 13a i 13b, gradientu y 14a i 14b oraz generatora kształtu cewek modulacyjnych 16. Ustawione parametry pracy są następnie przetwarzane do analogowej postaci w sterownikach odpowiednio pola magnetycznego 8a i 8b, gradientu z 11a i 11b, gradientu x 9a i 9b, gradientu y 10a i 10b oraz sterowniku cewek modulacyjnych 7. Analogowe sygnały generacji pola głównego są realizowane przez cewki pola głównego 1a i 1b, sygnały generacji gradientu z są realizowane przez cewki gradientu z 4a i 4b, sygnały generacji gradientu x są realizowane przez cewki gradientu z 2a i 2b, sygnały generacji gradientu y są realizowane przez cewki gradientu z 3a i 3b oraz sygnały generacji cewek modulacyjnych są realizowane przez cewki modulacyjne 5a i 5b. Wraz z rozpoczęciem realizacji eksperymentu generator sekwencji 19 uruchamia przesył danych z przetwornika ADC 25 do FPGA 26, która rejestruje dane i przesyła je do modułu komunikacyjnego 17, który następnie przesyła je do głównego kontrolera 18, gdzie następuje ich analiza polegająca na przypisaniu zarejestrowanym widmom chwilowych wartości składowych gradientu, ich transformata Fouriera, wybranie odpowiedniego punktu w domenie częstotliwości, przypisanie go w odpowiednie miejsce odwrotnej macierzy oraz odwrotna rekonstrukcja Fouriera prowadząca do obrazu.

Wynalazek zostanie również bliżej opisany na podstawie przykładu pokazanego na rysunku, na którym Fig. 3 – układ do realizacji w postaci blokowej, wykorzystujący do detekcji technikę impulsową, Fig. 4 – jego odmianę z dwoma rezonatorami.

Badaną próbkę umieszcza się w wieloskładnikowym polu magnetycznym, w skład którego wchodzi: stałe zewnętrzne pole magnetyczne, stałe bądź zmienne pole gradientowe, korekcyjne pole magnetyczne. W trakcie zmian wartości gradientów w czasie generowana jest sekwencja impulsów umożliwiająca rejestrację sygnału EPR (elektronowy rezonans paramagnetyczny) lub NMR (jądrowy rezonans magnetyczny) za pomocą techniki impulsowej. Rejestrowany sygnał może podlegać akumulowaniu w celu poprawy jakości sygnału. Czas potrzebny na zarejestrowanie sygnału określa odstęp Δt czasu pomiędzy kolejnymi sygnałami, dla których przypisuje się chwilowe wartości gradientów pola magnetycznego generowanego przez układ gradientowy. Korzystnie jest aby trajektoria zmian wartości gradientu pola w przestrzeni 1D, 2D lub 3D umożliwiała wypełnienie całej macierzy danych w przestrzeni odwrotnej wektora k , przy czym położenie poszczególnych składowych (x , y , z) zależy od chwilowych wartości gradientu G_x , G_y i G_z . Przykładową realizację trajektorii pokazano dla obrazowania 2D na Fig. 5A, gdzie jeden gradient jest modulowany sinusoidalnie (G_z), natomiast drugi gradient liniowo (G_y). W następnej kolejności z zarejestrowanych sygnałów wybierany jest punkt zarejestrowany po czasie τ od początku sygnału, który brany będzie do dalszej analizy. W najprostszym rozwiązaniu, we wszystkich sygnałach wybierana jest taka sama dana zarejestrowana po czasie τ . Dane przypisuje się do właściwych pozycji w przestrzeni odwrotnej wektora k , zależnej od chwilowych wartości gradientów w momencie rejestracji sygnału. Na Fig 5B pokazano rzeczywistą trajektorię określoną przez chwilowe wartości składowych gradientu oraz siatkę równoodległych kartezjańskich punktów macierzy, którą najczęściej wypełnia się w tradycyjnie znany sposób. W kolejnym kroku odtwarzana jest macierz k , charakteryzująca się równoodległymi punktami w macierzy k . Ostatnim krokiem jest odwrotna Transformata Fouriera macierzy k , w wyniku której otrzymywany jest w znany sposób obraz.

Próbkę umieszcza się w rezonatorze, który znajduje się w obszarze stałego zewnętrznego pola magnetycznego, pola korekcyjnego oraz zmiennego pola gradientowego, co umożliwia detekcję sygnału EPR lub NMR.

Po znalezieniu w znany sposób sygnału elektronowego rezonansu paramagnetycznego lub jądrowego rezonansu magnetycznego następuje rejestracja w sposób ciągły sygnału w domenie czasu. Impulsy RF generuje się w sposób powtarzalny rejestrując sygnały odpowiedzi impulsowej z próbki, powyższe sygnały można akumulować otrzymując wypadkowy sygnał w wybranym przedziale czasu Δt , dla którego przypisuje się chwilowe wartości pola gradientowego. Z zarejestrowanego sygnału wybiera się następnie dany punkt w domenie czasu dla każdego z sygnałów zarejestrowanych w różnych chwilach czasu, po czym wypełnia się przestrzeń macierzy k zgodnie z chwilowymi wartościami gradientów. Następnie rekonstruuje się obraz wykorzystując odwrotną Transformatę Fouriera.

W układzie do realizacji sposobu według wynalazku (Fig. 3), główny kontroler (18) przyłączony jest dwukierunkowo za pomocą wejścia/wyjścia (K13) do modułu komunikacyjnego (17), do którego wejścia/wyjścia (K1) przyłączony jest dwukierunkowo generator sekwencji (19), do wejścia/wyjścia (K2) przyłączony jest dwukierunkowo źródło RF (20), do wejścia/wyjścia (K3) przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B01 (12a), do wejścia/wyjścia (K4) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx1 (13a), do wejścia/wyjścia (K5) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy1 (14a), do wejścia/wyjścia (K6) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz1 (15a), do wejścia/wyjścia (K7) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz2 (15b), do wejścia/wyjścia (K8) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy2 (14b), do wejścia/wyjścia (K9) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx2 (13b), do wejścia/wyjścia (K10) przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B02 (12b), do wejścia/wyjścia (K11) przyłączony jest dwukierunkowo generator kształtu cewek modulacyjnych (16), do wejścia/wyjścia (K12) przyłączony jest dwukierunkowo FPGA (26), natomiast pierwsze wyjście (T1) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz1 (11a) oraz wejścia generatora gradientu Gz1 (15a), drugie wyjście (T2) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy1 (10a) oraz wejścia generatora gradientu Gy1 (14a), trzecie wyjście (T3) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B01 (8a) oraz wejścia generatora pola B01 (12a), czwarte wyjście (T4) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx1 (9a) oraz wejścia generatora gradientu Gx1 (13a), piąte wyjście (T5) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz2 (11b) oraz wejścia generatora gradientu Gz2 (15b), szóste wyjście (T6) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy2 (10b) oraz wejścia generatora gradientu Gy2 (14b), siódme wyjście (T7) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx2 (9b) oraz wejścia generatora gradientu Gx2 (13b), ósme wyjście (T8) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B02 (8b) oraz wejścia generatora pola B02 (12b), dziewiąte wyjście (T9) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia mieszacza (21) oraz dziesiąte wyjście (T10) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia przełącznika Tx/Rx (22a), do pierwszego wejścia przetwornika ADC (25) i pierwszego wejścia FPGA (26), natomiast pierwsze wyjście źródła RF (20) przyłączone jest do drugiego wejścia mieszacza (21) a drugie wyjście przyłączone jest do pierwszego wejścia demodulatora IQ (24), natomiast wyjście mieszacza (21) przyłączone jest do wejścia Tx wzmacniacza mocy (22) do którego wyjścia przyłączone jest drugie wejście przełącznika Tx/Rx (22a), do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo rezonator (6), natomiast wyjście przełącznika Tx/Rx (22a) przyłączone jest do wejścia przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości (23), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia demodulatora IQ (24), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia przetwornika ADC (25), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia FPGA (26), natomiast wyjście generatora pola B01 (12a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B01 (8a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B01 (1a), natomiast wyjście generatora gradientu Gx1 (13a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx1 (9a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx1 (2a), natomiast wyjście generatora gradientu Gy1 (14a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy1 (10a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy1 (3a), natomiast wyjście generatora gradientu Gz1 (15a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz1 (11a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz1 (4a), natomiast wyjście generatora gradientu Gz2 (15b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz2 (11b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz2 (4b), natomiast wyjście generatora gradientu Gy2 (14b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy2 (10b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy2 (3b), natomiast wyjście generatora gradientu Gx2 (13b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx2 (9b), którego

wyjscie przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola G_x (2b), natomiast wyjście generatora pola B02 (12b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B02 (8b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B02 (1b), natomiast wyjście generatora kształtu cewek korekcyjnych (16) przyłączone jest do wejścia sterownika cewek korekcyjnych (7), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek korekcyjnych M1 (5a) i M2 (5b).

Oprócz powyżej opisanej metody detekcji sygnału, można zastosować jej zmodyfikowaną formę w układzie pokazanym na Fig. 4. Wyjście (T10) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia przetwornika ADC (25) i pierwszego wejścia FPGA (26), natomiast wyjście Tx wzmacniacza mocy (22) przyłączone jest do wejścia rezonatora (6a), natomiast wyjście rezonatora (6b) przyłączone jest do wejścia przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości (23).

Po umieszczeniu próbki w rezonatorze 6, znajdującym się pomiędzy nabiegunkami elektromagnesu 1b i 1a, cewek gradientowych 2a i 2b, 3a i 3b, 4a i 4b oraz cewek korekcyjnych 5a i 5b, dopasowaniu podlega częstotliwości rezonansowej poprzez moduł komunikacyjny F7 i źródło RF 20, jak również dostrojeniu podlega rezonator 6. Następnie uruchamia się główny kontroler 18, który steruje pracą modułu komunikacyjnego 17. Moduł komunikacyjny 17 ustawia parametry pracy na generatorze sekwencji 19, źródle RF 20, FPGA 26, generatorach: pola B0 12a i 12b, gradientu G_x 13a i 13b, gradientu G_y 14a i 14b, gradientu G_z 15a i 15b, kształtu cewek korekcyjnych 16. Następnie poprzez wysłane ustawienia do generatora sekwencji 19 następuje wysłanie parametrów pracy do generatorów głównego pola magnetycznego 12a i 12b, generatorów pól gradientu z 15a i 15b, gradientu x 13a i 13b, gradientu y 14a i 14b oraz generatora kształtu cewek modulacyjnych 16. Ustawione parametry pracy są następnie przetwarzane do analogowej postaci w sterownikach odpowiednio pola magnetycznego 8a i 8b, gradientu z 11a i 11b, gradientu x 9a i 9b, gradientu y 10a i 10b oraz sterowniku cewek korekcyjnych 7. Analogowe sygnały generacji pola głównego są realizowane przez cewki pola głównego 1a i 1b, sygnały generacji gradientu z są realizowane przez cewki gradientu z 4a i 4b, sygnały generacji gradientu x są realizowane przez cewki gradientu z 2a i 2b, sygnały generacji gradientu y są realizowane przez cewki gradientu y 3a i 3b oraz sygnały generacji cewek modulacyjnych są realizowane przez cewki korekcyjne 5a i 5b. Źródło RF 20 generuje częstotliwość rezonansową, która bramkowana jest w mieszaczu 21 a następnie wzmacniana jest przez Tx wzmacniacz 22, po czym za pomocą przełącznika Tx/Rx 22a sygnał wielkiej częstotliwości doprowadzany jest do rezonatora 6, w którym znajduje się badany obiekt. Następnie sygnał powraca do przełącznika Tx/Rx 22a i jest poprzez wzmacniacz LNA 23 dostarczany do demodulatora IQ 24, który zdejmuje nośną z sygnału przy użyciu wzorcowego sygnału generowanego przez źródło RF 20. Sygnał następnie jest detektowany przez szybki przetwornik ADC 25, który poprzez sygnał z generatora sekwencji 19 jest aktywowany do przesyłania danych do układu FPGA 26 i jego zapisu. Zarejestrowany sygnał trafia następnie do modułu komunikacyjnego 17 a następnie głównego kontrolera 18, gdzie następuje ich analiza polegająca na przypisaniu zarejestrowanym widmom chwilowych wartości składowych gradientu, wybranie odpowiedniego punktu w domenie czasu, przypisanie go w odpowiednie miejsce odtwarzanej macierzy oraz odwrotna rekonstrukcja Fouriera prowadząca do obrazu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób uzyskiwania obrazów z obrazowania rezonansów magnetycznych oraz analizy danych w przestrzeni wektora falowego k , polegający na pomiarze sygnału EPR podczas oddziaływania na umieszczoną w rezonatorze próbkę wieloskładnikowym polem magnetycznym, **znamienny tym**, że poszczególne punkty w przestrzeni wektora falowego k uzyskuje się według następujących kroków:
 - a) rejestruje się sygnały rezonansu magnetycznego podczas skanowania próbki w obecności szybkozmiennej modulacji pola magnetycznego i w obecności zmiennego gradientu pola magnetycznego;
 - b) przestrzeń wektora k wypełnia się z sygnałów rezonansu magnetycznego dla wybranego czasu τ , których pozycje w przestrzeni k wyznacza się na podstawie chwilowych wartości gradientu pola magnetycznego występującego w trakcie detekcji każdego z sygnałów rezonansu magnetycznego, a następnie aproksymuje się do określonych położeń w przestrzeni k , po czym, w znany sposób, wykonuje się rekonstrukcję obrazów przestrzennych, a następnie w znany sposób na podstawie obrazów zrekonstruowanym z różnym τ otrzymuje się obrazy czasu relaksacji T_2^* .

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sygnał rezonansu magnetycznego jest sygnałem elektronowego rezonansu magnetycznego lub jądrowego rezonansu magnetycznego.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sygnał rezonansu magnetycznego rejestruje się wykorzystując korzystnie technikę fali ciągłej, przejść nagłych, adiabatycznych lub technikę impulsową.
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wieloskładnikowe pole magnetyczne stanowią stałe pole magnetyczne, pole gradientowe oraz modulujące pole magnetyczne o kształcie korzystnie sinusoidalnym, trójkątnym lub piłokształtnym.
5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wieloskładnikowe pole magnetyczne stanowią stałe pole magnetyczne oraz pole gradientowe.
6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sygnał dla wybranego τ w przestrzeni wektora k w detekcji techniką impulsową jest wartością sygnału rezonansu magnetycznego po czasie τ od początku FID-u lub echa spinowego.
7. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sygnał dla wybranego τ w przestrzeni wektora k w detekcji techniką przejść nagłych, adiabatycznych lub fali ciągłej jest wartością transformaty Fouriera sygnału rezonansu magnetycznego po czasie τ od jego początku.
8. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że składowa wzdłuż głównego pola tomografu zmiennego gradientowego pola magnetycznego wytwarzana jest korzystnie w trzech prostopadłych do siebie kierunkach.
9. Sposób według zastrz. 1 albo 5, **znamienny tym**, że w każdym kierunku gradient pola magnetycznego zmienia się w czasie korzystnie liniowo, sinusoidalnie, trójkątnie, nieliniowo lub pozostaje stały.
10. Sposób według zastrz. 1 albo 5 albo 6, **znamienny tym**, że w każdym kierunku gradient pola magnetycznego zmienia się w czasie korzystnie z różną szybkością.
11. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przestrzeń wektora k wypełniana jest pełni lub części.
12. Sposób według zastrz. 1 albo 3, **znamienny tym**, że do rejestracji sygnału używa się korzystnie impulsu RF $\pi/2$.
13. Sposób według zastrz. 1 albo 3 albo 9, **znamienny tym**, że impuls RF ma kształt korzystnie prostokąta, chirp albo funkcji sinc.
14. Układ do uzyskiwania obrazów w metodzie obrazowania rezonansów magnetycznych, zawierający źródło RF, Tx wzmacniacz, rezonator, cyrkulator, przedwzmacniacz LNA wysokiej częstotliwości, demodulator IQ, generator sekwencji, przetwornik ADC, układ FPGA, sterownik cewek modulacyjnych, generator kształtu cewek modulacyjnych, sterownik gradientów, sterownik pola głównego, generator sekwencji, generator pola głównego, pół gradientowych, moduł komunikacyjny, główny kontroler, cewki pola głównego, cewki gradientów, cewki modulacyjne, **znamienny tym**, że główny kontroler (18) przyłączony jest dwukierunkowo za pomocą wejścia/wyjścia (K13) do modułu komunikacyjnego (17), do którego wejścia/wyjścia (K1) przyłączony jest dwukierunkowo generator sekwencji (19), do wejścia/wyjścia (K2) przyłączony jest dwukierunkowo źródło RF (20), do wejścia/wyjścia (K3) przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B01 (12a), do wejścia/wyjścia (K4) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx1 (13a), do wejścia/wyjścia (K5) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy1 (14a), do wejścia/wyjścia (K6) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz1 (15a), do wejścia/wyjścia (K7) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz2 (15b), do wejścia/wyjścia (K8) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy2 (14b), do wejścia/wyjścia (K9) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx2 (13b), do wejścia/wyjścia (K10) przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B02 (12b), do wejścia/wyjścia (K11) przyłączony jest dwukierunkowo generator kształtu cewek modulacyjnych (16), do wejścia/wyjścia (K12) przyłączony jest dwukierunkowo FPGA (26), natomiast pierwsze wyjście (T1) generator sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz1 (11a) oraz wejścia generatora gradientu Gz1 (15a), drugie wyjście (T2) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy1 (10a) oraz wejścia generatora gradientu Gy1 (14a), trzecie wyjście (T3) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B01 (8a) oraz wejścia generatora pola B01 (12a), czwarte wyjście (T4) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx1 (9a) oraz wejścia generatora gradientu Gx1

(13a), piąte wyjście (T5) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz2 (11b) oraz wejścia generatora gradientu Gz2 (15b), szóste wyjście (T6) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy2 (10b) oraz wejścia generatora gradientu Gy2 (14b), siódme wyjście (T7) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx2 (9b) oraz wejścia generatora gradientu Gx2 (13b), ósme wyjście (T8) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B02 (8b) oraz wejścia generatora pola B02 (12b), dziewiąte wyjście (T9) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do wejścia generatora kształtu cewek modulujących (16) oraz pierwszego wejścia sterownika cewek modulacyjnych (7), dziesiąte wyjście (T10) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia przetwornika ADC (25) i pierwszego wejścia FPGA (26), natomiast pierwsze wyjście źródła RF (20) przyłączone jest do wejścia Tx wzmacniacza (21) a drugie wyjście przyłączone jest do pierwszego wejścia demodulatora IQ (24), natomiast wyjście Tx wzmacniacza (21) przyłączone jest do wejścia cyrkulatora (22), do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo rezonator (6) oraz do którego wyjścia przyłączone jest wejście przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości (23), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia demodulatora IQ (24), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia przetwornika ADC (25), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia FPGA (26), natomiast wyjście generatora pola B01 (12a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B01 (8a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B01 (1a), natomiast wyjście generatora gradientu Gx1 (13a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx1 (9a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx1 (2a), natomiast wyjście generatora gradientu Gy1 (14a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy1 (10a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy1 (3a), natomiast wyjście generatora gradientu Gz1 (15a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz1 (11a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz1 (4a), natomiast wyjście generatora gradientu Gz2 (15b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz2 (11b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz2 (4b), natomiast wyjście generatora gradientu Gy2 (14b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy2 (10b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy2 (3b), natomiast wyjście generatora gradientu Gx2 (13b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx2 (9b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx2 (2b), natomiast wyjście generatora pola B02 (12b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B02 (8b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B02 (1b), natomiast wyjście generatora kształtu cewek modulacyjnych (16) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika cewek modulacyjnych (7), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek modulacyjnych M1 (5a) i M2 (5b).

15. Układ według zastrz. 14, **znamienny tym**, że wyjście Tx wzmacniacza (21) przyłączone jest do wejścia rezonatora R1 (6a), natomiast wyjście rezonatora R2 (6b) przyłączone jest wejście przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości (23).
16. Układ do uzyskiwania obrazów w metodzie obrazowania rezonansów magnetycznych, zawierający źródło RF, mieszacz, Tx wzmacniacz mocy, przełącznik Tx/Rx, rezonator, przedwzmacniacz LNA wysokiej częstotliwości, demodulator IQ, generator sekwencji, przetwornik ADC, układ FPGA, sterownik cewek korekcyjnych, generator kształtu cewek korekcyjnych, sterownik gradientów, sterownik pola głównego, generator sekwencji, generator pola głównego, pól gradientowych, moduł komunikacyjny, główny kontroler, cewki pola głównego, cewki gradientów, cewki korekcyjne, **znamienny tym**, że główny kontroler (18) przyłączony jest dwukierunkowo za pomocą wejścia/wyjścia (K13) do modułu komunikacyjnego (17), do którego wejścia/wyjścia (K1) przyłączony jest dwukierunkowo generator sekwencji (19), do wejścia/wyjścia (K2) przyłączony jest dwukierunkowo źródło RF (20), do wejścia/wyjścia (K3) przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B01 (12a), do wejścia/wyjścia (K4) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx1 (13a), do wejścia/wyjścia (K5) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gy1 (14a), do wejścia/wyjścia (K6) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz1 (15a), do wejścia/wyjścia (K7) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gz2 (15b), do wejścia/wyjścia (K8) przyłączony jest dwukierunkowo ge-

nerator gradientu Gy2 (14b), do wejścia/wyjścia (K9) przyłączony jest dwukierunkowo generator gradientu Gx2 (13b), do wejścia/wyjścia (K10) przyłączony jest dwukierunkowo generator pola B02 (12b), do wejścia/wyjścia (K11) przyłączony jest dwukierunkowo generator kształtu cewek modulacyjnych (16), do wejścia/wyjścia (K12) przyłączony jest dwukierunkowo FPGA (26), natomiast pierwsze wyjście (T1) generator sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz1 (11a) oraz wejścia generatora gradientu Gz1 (15a), drugie wyjście (T2) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy1 (10a) oraz wejścia generatora gradientu Gy1 (14a), trzecie wyjście (T3) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B01 (8a) oraz wejścia generatora pola B01 (12a), czwarte wyjście (T4) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx1 (9a) oraz wejścia generatora gradientu Gx1 (13a), piąte wyjście (T5) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gz2 (11b) oraz wejścia generatora gradientu Gz2 (15b), szóste wyjście (T6) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gy2 (10b) oraz wejścia generatora gradientu Gy2 (14b), siódme wyjście (T7) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika gradientu Gx2 (9b) oraz wejścia generatora gradientu Gx2 (13b), ósme wyjście (T8) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia sterownika pola B02 (8b) oraz wejścia generatora pola B02 (12b), dziewiąte wyjście (T9) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia mieszacza (21) oraz dziesiąte wyjście (T10) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia przełącznika Tx/Rx (22a), do pierwszego wejścia przetwornika ADC (25) i pierwszego wejścia FPGA (26), natomiast pierwsze wyjście źródła RF (20) przyłączone jest do drugiego wejścia mieszacza (21) a drugie wyjście przyłączone jest do pierwszego wejścia demodulatora IQ (24), natomiast wyjście mieszacza (21) przyłączone jest do wejścia Tx wzmacniacza mocy (22) do którego wyjścia przyłączone jest drugie wyjście przełącznika Tx/Rx (22a), do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo rezonator (6), natomiast wyjście przełącznika Tx/Rx (22a) przyłączone jest do wejścia przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości (23), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia demodulatora IQ (24), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia przetwornika ADC (25), którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejścia FPGA (26), natomiast wyjście generatora pola B01 (12a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B01 (8a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B01 (1a), natomiast wyjście generatora gradientu Gx1 (13a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx1 (9a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx1 (2a), natomiast wyjście generatora gradientu Gy1 (14a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy1 (10a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy1 (3a), natomiast wyjście generatora gradientu Gz1 (15a) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz1 (11a), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz1 (4a), natomiast wyjście generatora gradientu Gz2 (15b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gz2 (11b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gz2 (4b), natomiast wyjście generatora gradientu Gy2 (14b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gy2 (10b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gy2 (3b), natomiast wyjście generatora gradientu Gx2 (13b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika gradientu Gx2 (9b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek gradientu pola Gx2 (2b), natomiast wyjście generatora pola B02 (12b) przyłączone jest do drugiego wejścia sterownika pola B02 (8b), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek pola B02 (1b), natomiast wyjście generatora kształtu cewek korekcyjnych (16) przyłączone jest do wejścia sterownika cewek korekcyjnych (7), którego wyjście przyłączone jest do wejścia cewek korekcyjnych M1 (5a) i M2 (5b).

17. Układ według zastrz. 16, **znamienny tym**, że wyjście (T10) generatora sekwencji (19) przyłączone jest do pierwszego wejścia przetwornika ADC (25) i pierwszego wejścia FPGA (26), natomiast wyjście Tx wzmacniacza mocy (22) przyłączone jest do wejścia rezonatora (6a), natomiast wyjście rezonatora (6b) przyłączone jest do wejścia przedwzmacniacza LNA wysokiej częstotliwości (23).

Rysunki

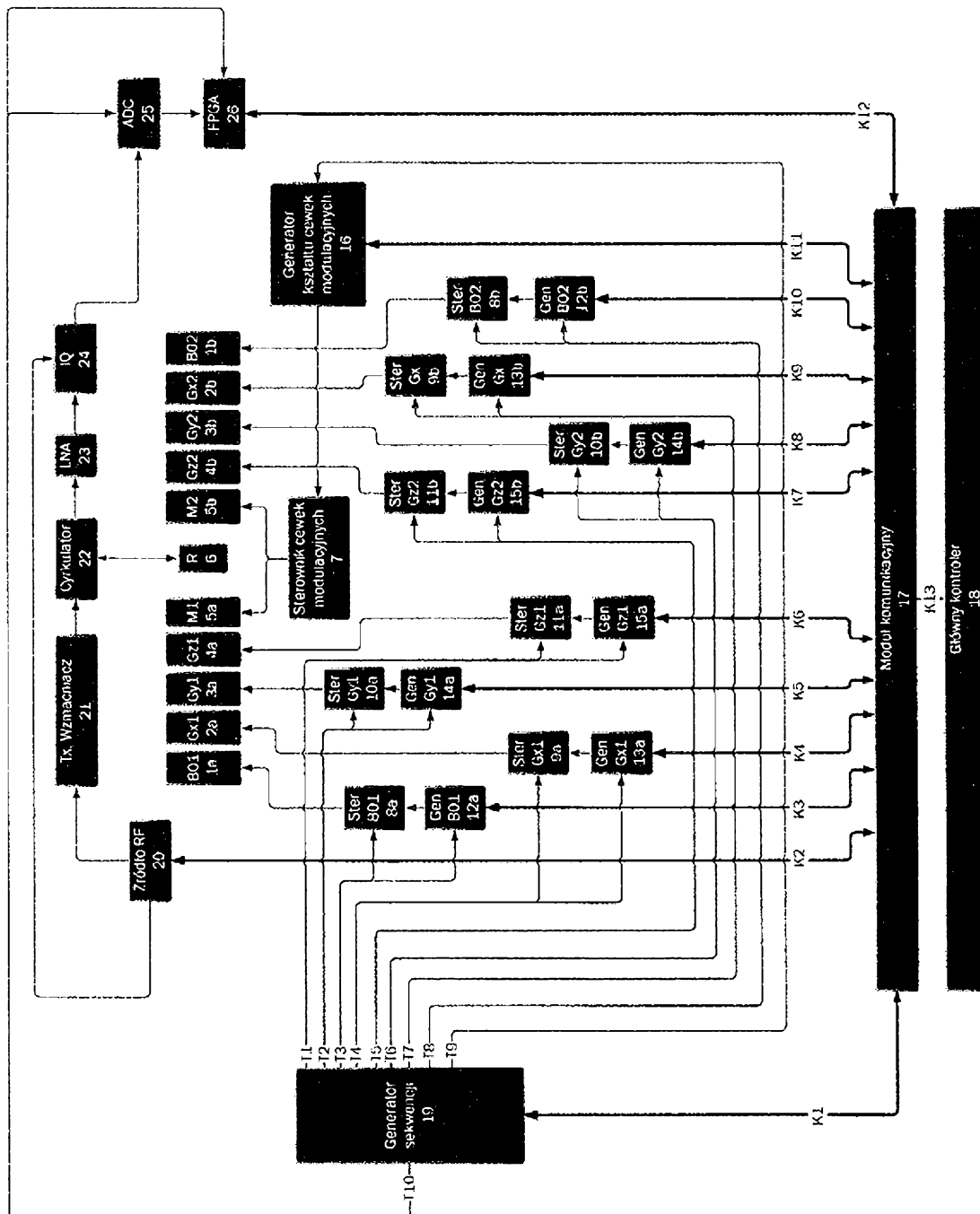


Fig. 1

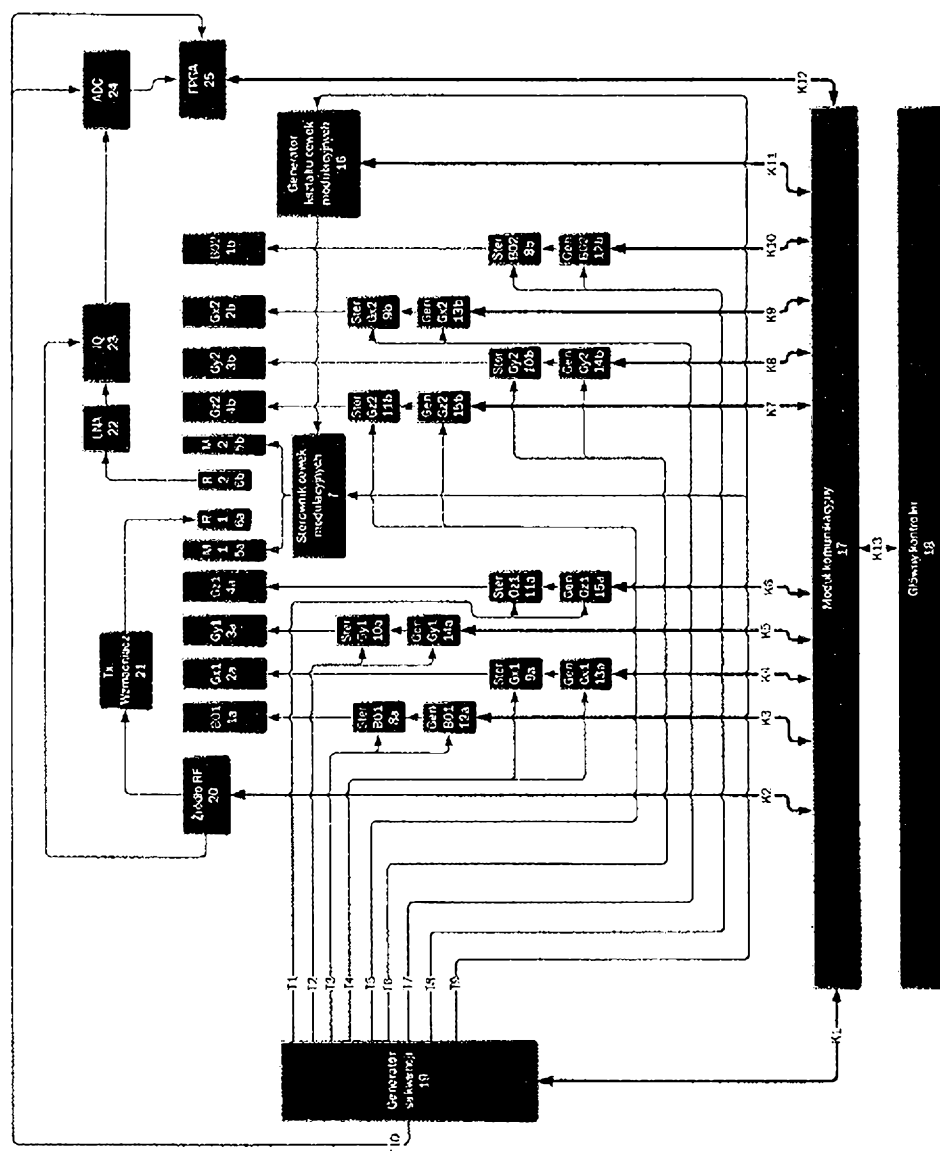


Fig. 2

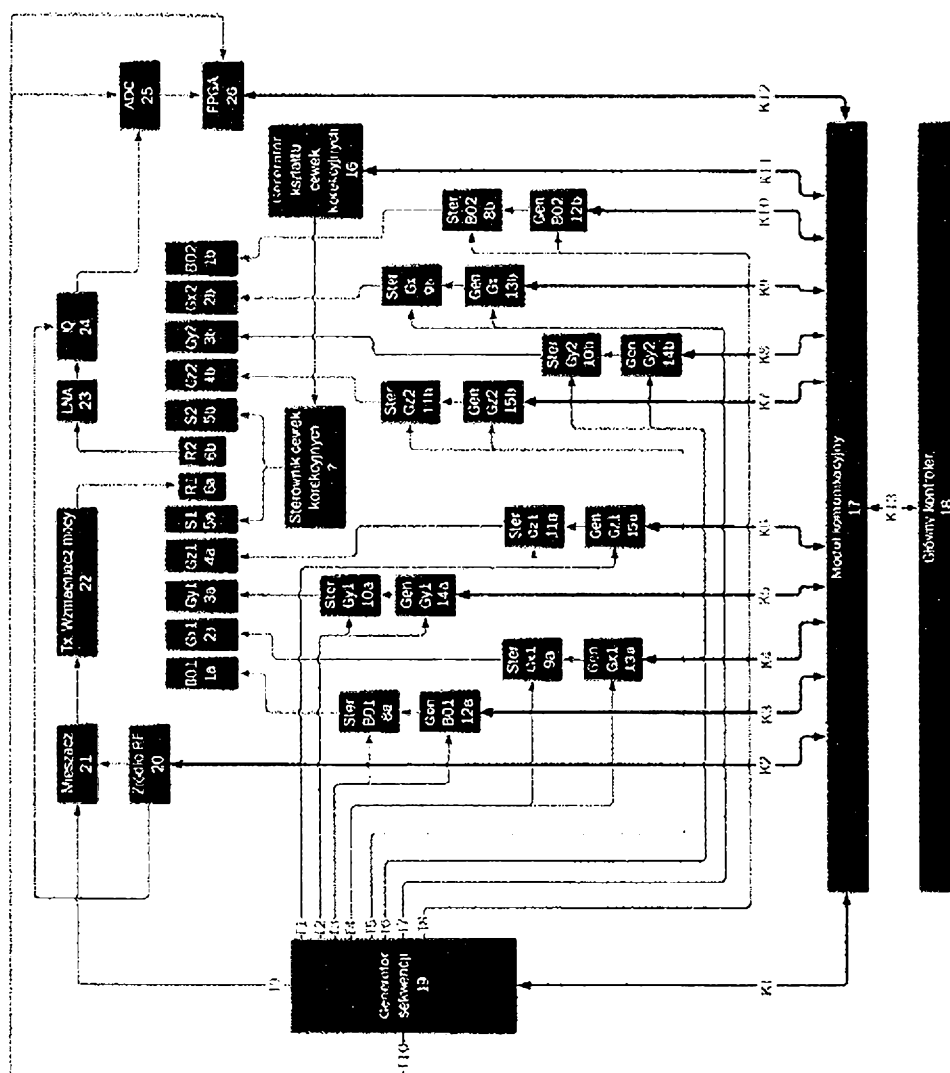


Fig. 4

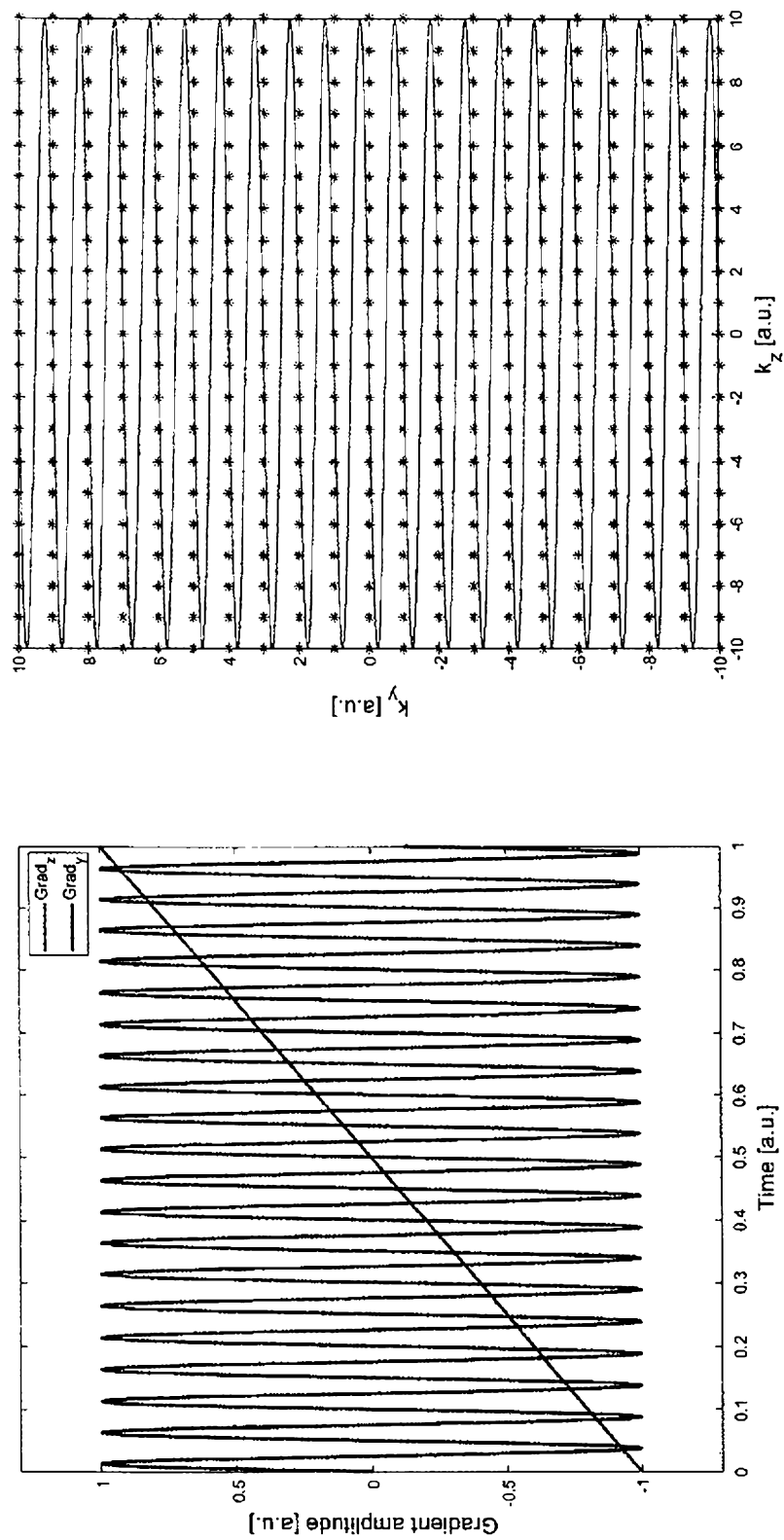


Fig. 5

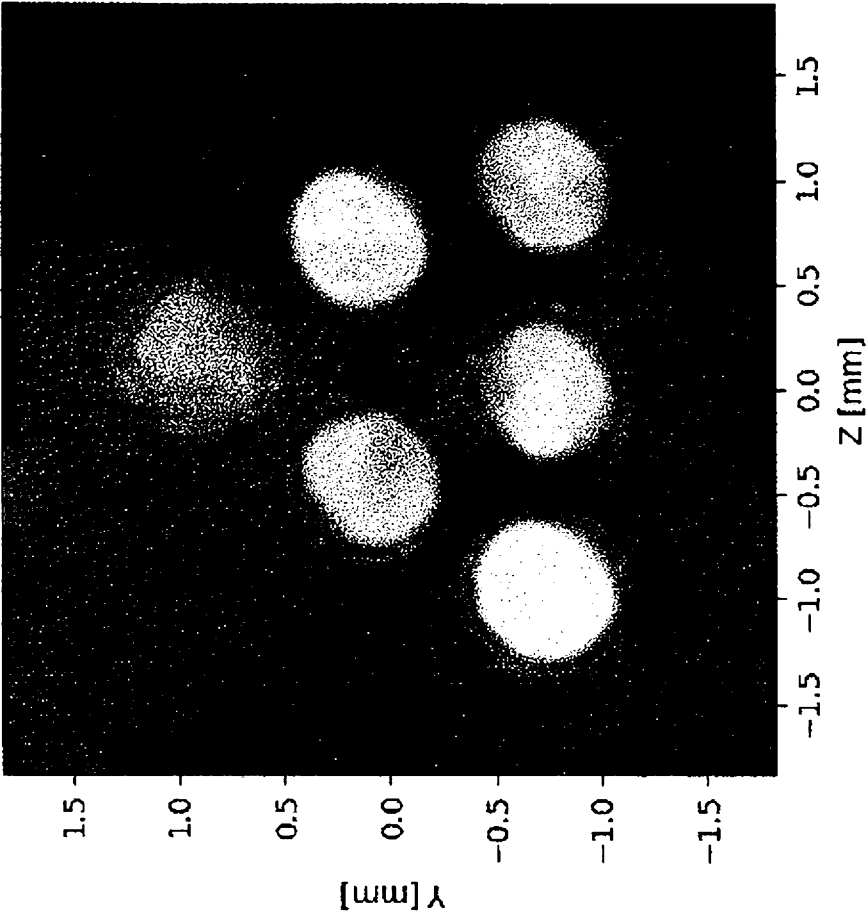


Fig. 6