

Sposób uzyskiwania projekcji w metodzie obrazowania elektronowym rezonansem paramagnetycznym (EPR) oraz układ do stosowania tego sposobu

Przedmiotem wynalazku jest sposób uzyskiwania projekcji w metodzie obrazowania elektronowym rezonansem paramagnetycznym (EPR) oraz układ do stosowania tego sposobu zwłaszcza w badaniu organizmów żywych.

Obrazowanie metodą EPR (Electron Paramagnetic Resonance) może dostarczyć danych o przestrzennym rozkładzie oraz farmakokinetyce wolnych rodników i stężeniu tlenu w tkankach. Stwierdzenie obecności tlenu w tkankach może stanowić bardzo ważną informację przy leczeniu nowotworów w 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 na tym etapie badań należy wprowadzić z zewnątrz rodnik o wystarczająco długim czasie życia oraz odpowiedniej koncentracji, którego szerokość linii EPR w znacznym stopniu zależy od stężenia 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 spadek stosunku sygnału do szumu (S/N).

Do obrazowania niewielkich obiektów biologicznych w warunkach laboratoryjnych stosuje się obecnie metody impulsowe oraz metody z wykorzystaniem fali ciągłej (CW).

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 racji 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 wielkości człowieka.

Stosowanie natomiast metod opartych na technice fali ciągłej CW pozbawione jest podobnych ograniczeń. W standardowym obrazowaniu wykorzystuje się stały w czasie przemieszczania gradient pola magnetycznego. Po każdym pomiarze orientacja gradientu ulega obrotowi o stały kąt, zależny od ilości projekcji, przy czym kąt obrotu zmienia się w zakresie od 0° do 180° dla obrazowania 2D. Minimalny czas pomiaru jednej projekcji waha się w granicach $1 \div 2s$, przy czym ze względu na niski stosunek S/N w obecności gradientu wymagana jest akumulacja sygnału, która w obrazowaniu in vivo wydłuża czas pomiaru. Na wielkość parametru S/N rejestrowanych projekcji wpływa wartość użytej amplitudy II modulacji, mianowicie wzrasta on wraz ze wzrostem amplitudy II modulacji. Należy zaznaczyć, że uzyskany obraz pokazuje jedynie przestrzenne rozmieszczenie rodnika, nie daje żadnych informacji o otoczeniu w jakim się on znajduje. Z uwagi na to, że metoda EPR jest znacznie czulsza na wykrycie zmian w lokalnym środowisku rodników, aniżeli metoda MRI (Magnetic Resonance Imaging), obrazowanie metodą EPR w niektórych przypadkach jest bardziej użyteczne niż obrazowanie techniką MRI. Aby było możliwe uzyskanie informacji na temat otoczenia, w którym znajduje się rodnik, należy dla każdej projekcji uzyskać informacje nie tylko o przestrzennym, ale również o widmowym rozkładzie tego rodnika. W tym celu stosowana jest dodatkowa dla każdej projekcji osobna technika obrazowania przestrzenno – widmowa (spectral – spatial). W praktyce oznacza to kilkukrotne wydłużenie czasu pomiaru przez wykonanie, co najmniej kilku dodatkowych pomiarów dla każdej orientacji gradientu. Dodatkowym ograniczeniem jest konieczność stosowania II modulacji, której amplituda jest mniejsza niż $1/3$ szerokości linii obrazowanego

rodnika. W przeciwnym przypadku zaobserwujemy niekorzystny efekt przemodulowania, co znacząco wpływa na niski stosunek S/N.

Sposobem pozwalającym na znaczne przyśpieszenie wykonywania pomiarów jest wykorzystanie metody szybkiego przemiatania pola magnetycznego RS (Rapid Scan). W metodzie tej nie stosuje się drugiej modulacji, a jedynie szybkie przemiatanie pola magnetycznego (o częstotliwości 1 – 100 kHz), przy czym można stosować przemiatanie sinusoidalne bądź trójkątne. Detekcja wykonywana jest bezpośrednio w efekcie otrzymuje się widmo absorpcyjne, a nie jego pierwszą pochodną. Wynikiem tego jest skrócenie czasu pomiaru jednej projekcji nawet do 5 μ s. W praktyce ze względu na mały stosunek sygnału do szumu rejestrowane widmo należy akumulować. Mimo to omawiana technika RS z powodzeniem wypiera tradycyjnie stosowaną metodę fali ciągłej, ze względu na znaczące skrócenie czasu pomiaru, co przekłada się na kilkusetkrotne zwiększenie stosunku sygnału do szumu (S/N).

W ostatnim czasie wykorzystana została technika rotacyjnego gradientu do obrazowania z wykorzystaniem techniki RS, która w znacznym stopniu skraca czas pomiaru. W metodzie tej wykorzystuje się rotacje gradientów w czasie przemiatania pola magnetycznego, przy czym częstotliwość rotacji gradientu powinna być przynajmniej 4 razy większa od częstotliwości przemiatania. To ograniczenie w praktyce implikuje używanie relatywnie niskich częstotliwości przemiatania rzędu 1kHz.

Ograniczeń dotyczących konieczności dostosowywania amplitudy modulacyjnej do szerokości linii rodnika pozbawiona jest nowa metoda pomiaru projekcji w tomografii EPR wykorzystująca ciągłą detekcję sygnału w trakcie skanowania próbki wolnozmiennym polem skanującym oraz szybkozmiennym polem modulującym, a następnie analizę cyfrowego zapisu sygnału EPR proponowana w niniejszym rozwiązaniu.

Celem wynalazku są sposoby uzyskiwania projekcji w metodzie obrazowania in-vitro i in-vivo EPRI.

Celem wynalazku są także urządzenia do stosowania tego sposobu, które wykorzystuje tradycyjną technikę fali ciągłej EPR wraz ze zmodyfikowanymi komponentami stosowanymi w zakresie częstotliwości radiowych, umożliwiającymi cyfrową detekcję sygnału EPR oraz jej dalszą analizę.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że podczas oddziaływania na umieszczoną w rezonatorze próbkę wieloskładnikowym polem magnetycznym uzyskuje się projekcję według następujących kroków:

a/ ustala się cyfrowy sygnał EPR za pomocą niskoszumowego przedwzmacniacza o dużej dynamice i wzmocnieniu napięciowym przyłączonego do mostka, a następnie przetwornika ADC, zarejestrowanego podczas skanowania próbki okresowo zmiennym polem magnetycznym o kształcie korzystnie sinusoidalnym, trójkątnym albo piłokształtnym, w obecności szybkozmiennej modulacji pola magnetycznego i w obecności gradientu pola magnetycznego;

b/ na podstawie zarejestrowanego sygnału EPR określa się elementy sygnału odpowiadające dowolnej części lub wielokrotności okresu szybkozmiennej modulacji pola magnetycznego, po czym dla składowych elementu sygnału znajduje się chwilowe wartości pola magnetycznego, a następnie dokonuje się korzystnie sumowania lub uśredniania wartości sygnału przy pomocy składowych elementów sygnału dla korzystnie jednakowych wartości chwilowej wartości pola magnetycznego, po czym uzyskuje się projekcję jako zbiór sygnałów EPR korzystnie absorpcyjnych lub dyspersyjnych lub ich harmonicznym dla określonego zakresu chwilowych wartości pola magnetycznego;

c/ wykonuje się procedurę dekonwolucji zbioru sygnałów dla określonego zakresu chwilowych wartości pola magnetycznego w celu uzyskania projekcji korzystnie rzutu gęstości rodniaka lub rodniaków na kierunek określony przez orientację przestrzenną wektora gradientu pola magnetycznego.

Korzystnym jest gdy wieloskładnikowe pole magnetyczne składa się ze zewnętrznego pola magnetycznego, korzystnie jednego wolnozmiennego pola skanującego, pola gradientowego wytwarzanego przez układ cewek gradientowych oraz korzystnie jednego szybkozmiennego pola modulującego.

Korzystnym jest także gdy wolnozmiennne pole skanujące jest realizowane poprzez cewki generujące zewnętrzne pole magnetyczne.

Następnie korzystnym jest gdy wolnozmiennne pole skanujące realizowane jest poprzez cewki skanujące.

Korzystnym jest gdy sygnał EPR rejestrowany jest w sposób korzystnie ciągły.

Również korzystnym jest gdy procedura dekonwolucji wykonywana jest z widmem zarejestrowanym bez gradientu.

Dalej korzystnym jest gdy procedura dekonwolucji wykonywana jest z widmem wyznaczonym teoretycznie.

Korzystnym jest także gdy wytwarzane pole gradientowe jest stałe w trakcie pomiaru sygnału EPR.

Ponadto korzystnym jest gdy wytwarzane pole gradientowe zmienia się w trakcie pomiaru sygnału EPR.

Korzystnym jest gdy amplitudy dla n szybkozmiennych modulacji są stałe w czasie pomiaru sygnału EPR.

Dalej korzystnym jest gdy amplitudy dla n szybkozmiennych modulacji zmieniają się w czasie pomiaru sygnału EPR.

Korzystnym jest gdy harmoniczne sygnału EPR otrzymuje się przy użyciu teoretycznej amplitudy modulacji.

Również korzystnym jest gdy teoretyczna amplituda modulacji mieści się w zakresie od -1000 Gs do 1000Gs.

Korzystnym jest także gdy rejestrowany sygnał EPR jest za pomocą k kanałów przesuniętych względem siebie w fazie.

Korzystnym jest również gdy parametr k mieści się w zakresie od 1 do 1000.

Ponadto korzystnym jest gdy częstotliwości dla n szybkozmiennych modulacji są stałe w czasie pomiaru sygnału EPR.

Korzystnym jest także gdy częstotliwości dla n szybkozmiennych modulacji zmieniają się w czasie pomiaru sygnału EPR.

Ponadto korzystnym jest gdy parametr n mieści się w zakresie od 1 do 1000.

Istota układu według wynalazku polega na tym, że urządzenie sterujące jest przyłączone dwukierunkowo do sterownika, do którego wejścia/wyjścia jest dwukierunkowo przyłączony przetwornik ADC, pamięć oraz zespół wzmacniaczy mocy,

natomiast pierwsze wyjście sterownika jest połączone z wejściem generatora wysokiej częstotliwości, zaś drugie wyjście sterownika jest połączone z wejściem generatora niskiej częstotliwości, z kolei pierwsze wyjście generatora wysokiej częstotliwości przyłączone jest do pierwszego wejścia modulatora, natomiast drugie wyjście generatora wysokiej częstotliwości jest przyłączone do wejścia wzmacniacza mocy, którego wyjście przyłączone jest do wejścia mostka, do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo obwód rezonansowy oraz do którego wyjścia przyłączone jest wejście przedwzmacniacza wysokiej częstotliwości, którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejściem modulatora, którego wyjście przyłączone jest do wejścia przetwornika ADC, którego wyjście przyłączone jest do wejścia pamięci, natomiast wyjście generatora niskiej częstotliwości przyłączone jest do wejścia zespołu wzmacniaczy mocy, którego pierwsze wyjście połączone jest z wejściem cewek drugiej modulacji, drugie wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_x , trzecie wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_y , czwarte wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_z , piąte wyjście połączone jest z wejściem cewek skanujących, natomiast szóste wyjście połączone jest z wejściem cewek pola głównego B_0 .

Istota układu według wynalazku polega również na tym, że urządzenie sterujące jest przyłączone dwukierunkowo do sterownika oraz kontrolera, natomiast do wejścia/wyjścia sterownika jest dwukierunkowo przyłączony przetwornik ADC oraz zespół wzmacniaczy mocy, natomiast pierwsze wyjście sterownika jest połączone z wejściem generatora wysokiej częstotliwości, zaś drugie wyjście sterownika jest połączone z wejściem generatora niskiej częstotliwości, z kolei wyjście generatora wysokiej częstotliwości przyłączone jest do wejścia wzmacniacza mocy, którego wyjście przyłączone jest do wejścia mostka, do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo obwód rezonansowy oraz do którego wyjścia przyłączone jest wejście przetwornika ADC, którego wyjście przyłączone jest do wejścia kontrolera, natomiast wyjście generatora niskiej częstotliwości przyłączone jest do wejścia zespołu wzmacniaczy mocy, którego pierwsze wyjście połączone jest z wejściem cewek drugiej modulacji, drugie wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_x , trzecie wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_y , czwarte wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_z , piąte wyjście połączone jest z wejściem cewek skanujących, natomiast szóste wyjście połączone jest z wejściem cewek pola głównego B_0 .

Wynalazek zostanie bliżej opisany na podstawie układów do realizacji w postaci blokowej pokazanych na Fig. 1 i Fig.2, które przedstawiają układy do cyfrowej detekcji sygnałów z wykorzystaniem mostka oraz przetwornika ADC. Zarejestrowany sygnał poddawany jest dalszej obróbce w urządzeniu sterującym bądź w innym komputerze klasy PC.

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

Przykładowe rozwiązanie według wynalazku zostanie przedstawione poniżej.

Za pomocą szybkiego przetwornika ADC rejestrowana sygnał EPR zamieniany jest na postać cyfrową, który następnie zostaje uszeregowany w macierz danych, w których w poszczególnych wierszach zapisywany jest sygnał dla pełnego okresu szybkozmiennej modulacji, a kolejno następujące czasy detekcji równe okresom modulacji dopisywane są poniżej. Tak zapisane dane umożliwiają prostszą i szybszą dalszą analizę, która realizowana jest w sposób opisany poniżej. Każdemu punktowi wiersza danych przypisywana jest chwilowa wartość pola magnetycznego, którą można określić znając wartość składowych pola, takich jak: wartość pola głównego, wolnozmiennego pola skanującego oraz szybkozmiennego pola modulującego. Jeżeli szybkość zmian pola skanującego jest dużo mniejsza od szybkości zmian pola modulującego, można założyć, że składowe pola głównego oraz skanującego nie zmieniają się w czasie rejestracji jednego okresu szybkozmiennej modulacji pola magnetycznego. Na tej podstawie wartości chwilowych pól dla wszystkich kolumn danego wiersza określa się na podstawie kształtu zmian pola modulującego. Dzięki temu można zarejestrowane dane poddać linalizacji polegającej na ułożeniu w danym wierszu wszystkich wartości sygnału, dla którego chwilowe pole magnetyczne ma wartość jednakową. Powyższy zabieg umożliwia w dalszej kolejności wybór jaki zakres zebranego sygnału będzie akumulowany. W przykładowym rozwiązaniu akumulacji podlega cały zebrany sygnał dla każdego z wierszy, co podnosi stosunek sygnału do szumu o wartość zależną od szybkości próbkowania układu ADC. Przykładowo dla częstotliwości modulacji wynoszącej 10kHz, i szybkości próbkowania 100MS/s, długość rekordu zapisanych danych dla okresu modulacji T wynosi 10.000 punktów co zapewnia dobrą akumulację sygnału. Otrzymana w ten sposób projekcja może zostać przetworzona do postaci

dowolnej harmonicznej, jak również możliwe jest otrzymywanie harmonicznych dla dowolnej wartości teoretycznej amplitudy modulacji mieszczącej się w zakresie od -1000 Gs do 1000 Gs, przy czym korzystnie od ujemnej wartości użytej amplitudy modulacji do dodatniej wartości użytej amplitudy modulacji.

Próbkę umieszcza się w rezonatorze, który znajduje się w obszarze stałego zewnętrznego pola magnetycznego, szybkozmiennego pola magnetycznego, oraz określonej orientacji gradientu pola magnetycznego. Po wytworzeniu w obszarze próbki zmieniającego się w czasie pola skanującego możliwa staje się cyfrowa detekcja sygnału EPR.

Po znalezieniu w znany sposób sygnału EPR następuje jego cyfrowa rejestracja w obecności gradientu pola magnetycznego oraz jego dalsza analiza umożliwiająca otrzymanie projekcji sygnału będącej przed lub po procedurze dekonwolucji danych. Z otrzymanych projekcji, w znany sposób rekonstruuje się obraz jego rozkładu w przestrzeni 1D, 2D lub 3D, jak również obrazy funkcyjne przestrzenno-widmowe 1D, 2D, 3D, lub 4D.

W układzie do realizacji sposobu według wynalazku, urządzenie sterujące 1 jest przyłączone dwukierunkowo do sterownika 2, do którego wejścia/wyjścia jest dwukierunkowo przyłączony przetwornik ADC 8, pamięć 9 oraz zespół wzmacniaczy mocy 18, natomiast pierwsze wyjście sterownika 2 jest połączone z wejściem generatora wysokiej częstotliwości 3, zaś drugie wyjście sterownika 2 jest połączone z wejściem generatora niskiej częstotliwości 10, z kolei pierwsze wyjście generatora wysokiej częstotliwości 3 przyłączone jest do pierwszego wejścia modulatora 7, natomiast drugie wyjście generatora wysokiej częstotliwości 3 jest przyłączone do wejścia wzmacniacza mocy 4, którego wyjście przyłączone jest do wejścia mostka 5, do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo obwód rezonansowy 12 oraz do którego wyjścia przyłączone jest wejście przedwzmacniacza wysokiej częstotliwości 6, którego wyjście przyłączone jest do drugiego wejściem modulatora 7, którego wyjście przyłączone jest do wejścia przetwornika ADC 8, którego wyjście przyłączone jest do wejścia pamięci 9, natomiast wyjście generatora niskiej częstotliwości 10 przyłączone jest do wejścia zespołu wzmacniaczy mocy 18, którego pierwsze wyjście połączone jest z wejściem cewek drugiej modulacji 11, drugie wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_x 14, trzecie wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_y 15, czwarte wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_z 16, piąte wyjście


połączone jest z wejściem cewek skanujących 13, natomiast szóste wyjście połączone jest z wejściem cewek pola głównego B_0 17 (Fig.1).

Po umieszczeniu próbki w obwodzie rezonansowym 12, znajdującym się pomiędzy cewkami elektromagnesu 17, cewek gradientowych 14, 15, 16 oraz cewek skanujących 13, uruchamia się generator niskiej częstotliwości 10, który należy nastroić na środek pasma w jakim chce się przeprowadzić eksperyment. Wyjście zespołu generatorów niskiej częstotliwości 10 podłączone jest do cewek II modulacji 11, poprzez zespół wzmacniaczy mocy 18, z którego są zasilane. Cewki II modulacji 11 modulują zewnętrzne pole magnetyczne B_0 generowane przez cewki pola głównego 17, ze znacznie większą częstotliwością niż częstotliwość zmian pola magnetycznego wytwarzanego przez cewki skanujące 13. Generator niskiej częstotliwości 10 oraz zespół wzmacniaczy mocy 18 są sterowane mikroprocesorowym układem sterowania 2, który jest sterowany urządzeniem nadrzędnym 1. Równocześnie mikroprocesorowy sterownik 2 programuje częstotliwość rezonansową wytwarzaną przez generator wysokiej częstotliwości 3 następnie doprowadzoną do modulatora 7 oraz wzmacniacza mocy wielkiej częstotliwości 4, która podłączona jest do mostka 5, który doprowadza sygnał wielkiej częstotliwości do obwodu rezonansowego gdzie znajduje się badany obiekt. Następnie sygnał EPR generowany w obwodzie rezonansowym 6 przechodzi do mostka 5 następnie jest wzmacniany przy pomocy niskoszumnego przedwzmacniacza wielkiej częstotliwości 6, mieszany za pomocą modulatora 7 przy użyciu sygnału generowanego przez generator wysokiej częstotliwości 3. Następnie uzyskany sygnał jest zamieniany na sygnał cyfrowy w szybkim przetworniku ADC, a następnie zapamiętany w pamięci 9 i przesłany do sterownika 2 oraz do urządzenia sterującego 1 gdzie nastąpi analiza sygnałów EPR przy pomocy odpowiedniego oprogramowania.

Oprócz powyżej opisanej metody detekcji sygnału, można zastosować jej zmodyfikowaną formę w układzie pokazanym na Fig.2, w którym urządzenie sterujące 1 jest przyłączone dwukierunkowo do sterownika 2 oraz kontrolera 7, natomiast do wejścia/wyjścia sterownika 2 jest dwukierunkowo przyłączony przetwornik ADC 6 oraz zespół wzmacniaczy mocy 16, natomiast pierwsze wyjście sterownika 2 jest połączone z wejściem generatora wysokiej częstotliwości 3, zaś drugie wyjście sterownika 2 jest połączone z wejściem generatora niskiej częstotliwości 9, z kolei wyjście generatora wysokiej częstotliwości 3 przyłączone jest do wejścia wzmacniacza mocy 4, którego wyjście przyłączone jest do wejścia mostka 5, do którego wejścia/wyjścia przyłączony jest dwukierunkowo obwód rezonansowy 10 oraz do którego wyjścia przyłączone jest

wejście przetwornika ADC 6, którego wyjście przyłączone jest do wejścia kontrolera 7, natomiast wyjście generatora niskiej częstotliwości 9 przyłączone jest do wejścia zespołu wzmacniaczy mocy 16, którego pierwsze wyjście połączone jest z wejściem cewek drugiej modulacji 8, drugie wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_x 11, trzecie wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_y 12, czwarte wyjście połączone jest z wejściem cewek gradientu G_z 13, piąte wyjście połączone jest z wejściem cewek skanujących 14, natomiast szóste wyjście połączone jest z wejściem cewek pola głównego B_0 15 (Fig. 2).

Stosując powyższą metodę, procedura otrzymywania sygnału polega na umieszczeniu próbki w obwodzie rezonansowym 10, znajdującym się pomiędzy cewkami elektromagnesu 15, cewek gradientowych 11, 12, 13 oraz cewek skanujących 14, następnie uruchamia się generator niskiej częstotliwości 9, który należy nastroić na środek pasma w jakim chce się przeprowadzić eksperyment. Wyjście zespołu generatorów niskiej częstotliwości 9 podłączone jest do cewek II modulacji 8, poprzez zespół wzmacniaczy mocy 16, z którego są zasilane. Cewki II modulacji 8 modulują zewnętrzne pole magnetyczne B_0 generowane przez cewki pola głównego 15, ze znacznie większą częstotliwością niż częstotliwość zmian pola magnetycznego wytwarzanego przez cewki skanujące 14. Generator niskiej częstotliwości 9 oraz zespół wzmacniaczy mocy 16 są kontrolowane przy pomocy sterownika 2, który jest sterowany urządzeniem nadrzędnym 1. Równocześnie sterownik 2 steruje pracą przetwornika ADC 6 oraz programuje częstotliwość rezonansową wytwarzaną przez generator wysokiej częstotliwości 3 następnie doprowadzoną do wzmacniacza mocy wielkiej częstotliwości 4, która podłączona jest do mostka 5, który doprowadza sygnał wielkiej częstotliwości do obwodu rezonansowego gdzie znajduje się badany obiekt. Następnie sygnał EPR generowany w obwodzie rezonansowym 10 przechodzi do mostka 5 następnie jest zamieniany na sygnał cyfrowy w szybkim przetworniku ADC 6, a następnie przesłany do kontrolera 7 oraz przesłany do urządzenia sterującego 1 gdzie nastąpi analiza sygnałów EPR przy pomocy odpowiedniego oprogramowania.


mgr inż. Marek PASSOWICZ
RZECZNIK PATENTOWY