

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **238720**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **430008**

(51) Int.Cl.
A61N 2/02 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **22.05.2019**

(54)

Urządzenie do generacji rotującego pola magnetycznego

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

30.11.2020 BUP 25/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

27.09.2021 WUP 26/21

(73) Uprawniony z patentu:

**UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU, Poznań, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

ANDRZEJ SKUMIEL, Poznań, PL

(74) Pełnomocnik:

recz. pat. Barbara Urbańska-Łuczak

PL 238720 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do generacji rotującego pola magnetycznego mające zastosowanie w onkologii, jako terapia wspomagająca chemioterapię i radioterapię w celu niszczenia komórek nowotworowych.

Efekt magnetycznej hipertermii opisany w literaturze: S. Dutz, R. Hergt, Magnetic particle hyperthermia a promising tumor therapy, *Nanotechnology*, 25 (2014) 452001;

R. E. Rosensweig, Heating magnetic fluid with alternating magnetic field, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 252, (2002) 370–374; M. Beković, M. Trelp, M. Jesenik, A. Hamler, A Comparison of the heating effect of magnetic fluid between the alternating and rotating magnetic field, *Journal of Magnetsim and Magnetic Materials*, 355 (2014); T. R. Oliveira et al. Magnetic fluid hyperthermia for bladder cancer: A preclinical dosimetry study, *International Journal of Hyperthermia*, 29(8), (2013), 835–844, polega na podgrzaniu za pomocą zewnętrznego, zmiennego pola magnetycznego obszaru ciała objętego guzem do temperatury, przy której komórki nowotworowe ulegają zniszczeniu, gdyż są one mniej odporne na przegrzanie niż komórki zdrowe. Oprócz zastosowania zmiennego pola magnetycznego (oscylującego lub rotującego) należy w obszarze działania pola umieścić nanocząstki magnetyczne, które pobudzone tym polem są źródłem wydzielanego ciepła. W swym artykule M. Beković opisuje układ generujący ratujące pole magnetyczne powstające w wyniku nałożenia się dwóch pól magnetycznych skrzyżowanych pod kątem prostym. W tym przypadku autor użył dwa obwody Helmholtza, każdy składający się z dwóch cewek powietrznych, przy czym prądy płynące przez nie były wzajemnie przesunięte o 90° . Przeprowadzone tu eksperymenty *in vitro* wykazały, że układ z rotującym polem magnetycznym generuje natężenie pola magnetycznego o znacznie większej amplitudzie niż z oscylującym polem (wzdłuż jednej osi).

Patent PL-230206 i wynalazek P.427311 opisują generację rotującego pola magnetycznego wysokiej częstotliwości z rdzeniami ferrytowymi. W rozwiązaniu przedstawionym w patencie PL-230206 zastosowano trzy otwarte obwody magnetyczne złożone z sześciu rdzeni ferrytowych, które w środkowej części układu skupiały pole magnetyczne. Każdy z obwodów magnetycznych połączony z kondensatorem tworzył układ rezonansowy, przez który w warunkach rezonansu płynący prąd – a zatem i strumień magnetyczny – osiągał maksymalną wartość. Aby wytworzyć ratujące pole magnetyczne w środkowej przestrzeni, do obwodów rezonansowych dołączono przebiegi napięciowe o tej samej częstotliwości wzajemnie przesunięte w fazie o 120° . Z rozważań teoretycznych wynika, że moc cieplna P wydzielona podczas ekspozycji magnetytowych nanocząstek na zmienne pole magnetyczne jest zależna od takich czynników jak: amplituda natężenia pola magnetycznego H , jego częstotliwość f , stężenie nanocząstek c , ich rozmiary (d – kilkanaście nm) oraz właściwości ośrodka (np. współczynnik lepkości dynamicznej), w którym są umieszczone. W tym przypadku moc ta jest proporcjonalna do wyrażenia: $P \sim c \cdot f \cdot H^2$ opisującego proces magnetycznej relaksacji, co zostało omówione w publikacji R. E. Rosensweig, *Heating magnetic fluid with alternating magnetic field*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 252, (2002) 370–374.

Istotą wynalazku jest urządzenie do generowania rotującego pola magnetycznego, charakteryzuje się tym, że składa się z trzech cewek uzwojenia głównego nawiniętych na rdzeniach ferrytowych przylegających z jednej strony do jarzma ferrytowego, a z drugiej strony zakończonych nabiegunnikami tak ukształtowanymi, aby linie sił pola magnetycznego wychodzące z ich powierzchni skupiały się w środkowej części układu, zaś cewki uzwojenia głównego wraz z odpowiadającymi im kondensatorami i zewnętrznymi indukcyjnościami dostrojczymi stanowiły obwód rezonansowy i są połączone z trzema wzmacniaczami mocy sterowanymi z generatora 3-fazowych sygnałów sinusoidalnych.

Korzystnym jest, gdy indukcyjności cewek uzwojeń głównych różnią się wzajemnie nie więcej niż 2% oraz, gdy indukcyjności dostrojcze mają wartość nie więcej niż 5% w stosunku do cewek, uzwojenia głównego.

Dzięki zastosowaniu rozwiązania według wynalazku uzyskano następujące efekty techniczno-użytkowe:

- zwiększenia amplitudy natężenia pola magnetycznego w środkowej części urządzenia,
- możliwość generacji rotującego pola magnetycznego w szerokim zakresie częstotliwości (10 kHz ÷ 1 MHz), który jest powszechnie wykorzystywany w magnetycznej hipertermii,

- zastosowanie obwodu magnetycznego zamkniętego na zewnątrz jarzmem ferrytowym oraz wykorzystanie trzech rdzeni ferrytowych wraz odpowiednio ukształtowanymi nabiegunkami, przez co uzyskano zwiększenie natężenia pola magnetycznego w środkowej części układu,
- zastosowanie użycia dodatkowych indukcyjności dostrojczych pozwalających dostroić każdy z obwodów magnetycznych do tej samej częstotliwości,
- dodatkową zaletą zastosowania jarzma ferrytowego jest ograniczenie pola magnetycznego w obszarze poza urządzeniem, które zakłóca inną aparaturę,
- zastosowanie w leczeniu chorób nowotworowych w onkologii.

Wynalazek w przykładowym wykonaniu został zilustrowany na rysunkach, gdzie fig. 1 przedstawia przykładowe przebiegi czasowe, gdzie w poszczególnych gałęziach A, B i C obwodu magnetycznego występują maksymalne wartości natężeń prądów dla kolejnych wartości faz równych 90°, 210° i 330°, fig. 2 a, b i c przedstawia kierunki i zwroty strumieni magnetycznych, fig. 3 przedstawia rozpływ strumieni magnetycznych dla faz 90°, 210° i 330° z uwzględnieniem rozplitwu części głównego strumienia magnetycznego poza środkowy obszar przestrzeni, fig. 4 przedstawia ukształtowanie obwodu magnetycznego oraz konfigurację połączeń z pozostałymi elementami układu.

Przykładowe przebiegi czasowe występujące w niniejszym rozwiązaniu są pokazane na Fig. 1. W poszczególnych gałęziach A, B i C obwodu magnetycznego występują maksymalne wartości natężeń prądów dla kolejnych wartości faz równych 90°, 210° i 330°, a na Fig. 2 a, b, c przedstawiono w sposób poglądowy kierunki i zwroty strumieni magnetycznych płynących w poszczególnych rdzeniach ferrytowych dla wybranych dyskretnych wartości faz 90°, 210° i 330°, przy których strumienie te osiągają maksimum wartości. Jednakże w rzeczywistości rozplitw strumieni magnetycznych wg patentu PL230206 przebiega w niekorzystny sposób z uwagi bliską odległość między rdzeniami ferrytowymi. Okazuje się, że np. dla fazy równej 90° strumień magnetyczny płynący w rdzeniu A rozdziela się na trzy części:

- 1 – na część strumienia wpływającą do środkowego obszaru układu,
- 2 – na część strumienia przepływającą przez szczelinę powietrzną, przez rdzeń C', przez kolejną szczelinę powietrzną, przez rdzeń B oraz następną szczelinę powietrzną i dociera do rdzenia A',
- 3 – na część strumienia przepływającą przez szczelinę powietrzną, przez rdzeń B', przez kolejną szczelinę powietrzną, przez rdzeń C oraz następną szczelinę powietrzną i dociera do rdzenia A'.

Tę sytuację dla fazy 90° oraz dla faz 210° i 330° przedstawiono na fig. 3 a, b, c.

W efekcie taki poboczny przebieg strumienia magnetycznego zmniejsza wartość natężenia pola magnetycznego w środkowej części układu nawet o kilkadziesiąt procent co jest niekorzystne dla skuteczności działania terapii magnetycznej hipertermii. Ponadto otwarty na zewnątrz obwód magnetyczny cechuje się mniejszym strumieniem magnetycznym płynącym przez środkowy obszar układu. Wynika to ze znacznej wartości reluktancji magnetycznej zewnętrznego odcinka obwodu przebiegającego w powietrzu poza rdzeniami magnetycznymi. Reluktancja magnetyczna R_m takiego fragmentu strumienia płynącego na zewnątrz (w powietrzu, poza rdzeniami) określona jest przez wyrażenie:

$$R_m = \frac{l_p}{\mu_r \mu_o S} ,$$

w którym l_p to długość linii strumienia magnetycznego w powietrzu, $\mu_r \cong 1$ to współczynnik względnej przenikalności magnetycznej powietrza, ($\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m to współczynnik bezwzględnej przenikalności magnetycznej próżni) i S jest powierzchnią poprzecznego przekroju strumienia. Na Fig. 4 przedstawiono ukształtowanie obwodu magnetycznego oraz konfigurację połączeń z pozostałymi elementami układu.

Urządzenie do generowania rotującego pola magnetycznego składa się z trzech cewek 4, 4' 4'' uzwojenia głównego nawiniętych na rdzeniach ferrytowych 2, 2', 2'' przylegających z jednej strony do jarzma ferrytowego 1, a z drugiej strony zakończonych nabiegunkami 3, 3' i 3'' tak ukształtowanymi, aby linie sił pola magnetycznego wychodzące z ich powierzchni skupiały się w środkowej części układu 7, zaś cewki uzwojenia głównego wraz z odpowiadającymi im kondensatorami 8, 8', 8'' i zewnętrznymi indukcyjnościami dostrojczymi 6, 6', 6'' stanowiły obwód rezonansowy i są połączone z trzema wzmacniaczami mocy 10, 10', 10'' sterowanymi z generatora 3-fazowych sygnałów sinusoidalnych 9. Indukcyjności cewek uzwojeń głównych 4, 4', 4'' różnią się wzajemnie nie więcej niż 2%, natomiast indukcyjności

dostrojcze 6, 6', 6" mają wartość nie więcej niż 5% w stosunku do cewek 4, 4', 4" uzwojenia głównego. Ukształtowanie obwodu magnetycznego oraz konfiguracja połączeń z pozostałymi elementami układu wg fig. 4. jest bardzo korzystna z uwagi na fakt, że współczynnik względnej przenikalności magnetycznej rdzenia ferrytowego jest około 2000 razy większy niż dla powietrza – co oznacza, że reluktancja obwodu magnetycznego z rdzeniem jest tylekroć mniejsza. W przedstawionym rozwiązaniu zastosowano jarzmo ferrytowe 1 stanowiące część zewnętrzną obwodu magnetycznego. Zastosowanie takiego jarzma ferrytowego zwiększa natężenie pola magnetycznego w układzie, dzięki zmniejszeniu reluktancji obwodu magnetycznego.

Dodatkowo do układu zastosowano trzy rdzenie 2, 2' i 2" z nabiegunnikami 3, 3' i 3" tak ukształtowanymi, aby linie sił pola magnetycznego wychodzące z ich powierzchni pod kątem prostym skupiały się w środkowej części układu 7, co zostało omówione w publikacjach: Józef Węglarz, Maszyny elektryczne, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1964 i Roman Kurdziel, Podstawy elektrotechniki, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.

Ponadto wykorzystanie w wynalazku jedynie trzech rdzeni ferrytowych zwiększa odległości między sąsiednimi rdzeniami, co skutkuje zmniejszeniem pobocznych strumieni magnetycznych, a tym samym dominująca część strumienia przepływa przez środkową część układu. Na rdzeniach ferrytowych każdej z gałęzi znajduje się uzwojenie główne 4, 4' i 4" o indukcyjności własnej L_g oraz pojedynczy zwój 5, 5' i 5". Pojedyncze zwoje służą do kontroli przepływającego strumienia magnetycznego w rdzeniach.

Uzwojenia główne oraz połączone z nimi w szereg dodatkowe, zewnętrzne indukcyjności regulowane 6, 6' i 6" L_r tworzą wraz z kondensatorami 8, 8' i 8" o pojemności C rezonansowy obwód drgający, a ich parametry elektryczne: pojemność C i indukcyjność ($L_g + L_r$) decydują o częstotliwości rezonansowej f_{rez} zdefiniowanej według wzoru:

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot (L_g + L_r)}}.$$

Te dodatkowe indukcyjności regulowane 6, 6' i 6" o wartości do 5% indukcyjności uzwojenia głównego umożliwiają dokładne dostrojenie wszystkich gałęzi obwodu LC do jednej częstotliwości rezonansowej. Ponadto, układ do generacji rotującego pola magnetycznego wyposażony jest w generator sygnałowy 9 trzech przebiegów sinusoidalnych o jednakowej częstotliwości i o wzajemnie przesuniętych fazach o 120° oraz w trzy wzmacniacze mocy 10, 10' i 10". Z uwagi na małą impedancję szeregowego obwodu LC w rezonansie, impedancja wyjściowa wzmacniaczy powinna być również mała, aby spełnić warunek korzystnego dopasowania.

Według wynalazku urządzenie wykorzystujące ratujące pole magnetyczne może mieć zastosowanie w leczeniu chorób onkologicznych. Początek leczenia chorób onkologicznych jest zawsze ważny, niezależnie od metody leczenia. Magnetyczna hipertermia (zarówno z oscylującym jak i ratującym polem magnetycznym wspomaga dwie terapie: radioterapię i chemioterapię).

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do generowania rotującego pola magnetycznego, **znamiennie tym**, że składa się z trzech cewek 4, 4', 4" uzwojenia głównego nawiniętych na rdzeniach ferrytowych 2, 2' 2" przylegających z jednej strony do jarzma ferrytowego 1, a z drugiej strony zakończonych nabiegunnikami 3, 3' i 3" tak ukształtowanymi, aby linie sił pola magnetycznego wychodzące z ich powierzchni skupiały się w środkowej części układu 7, zaś cewki uzwojenia głównego wraz z odpowiadającymi im kondensatorami 8, 8', 8" i zewnętrznymi indukcyjnościami dostrojczymi 6, 6', 6" stanowiły obwód rezonansowy i są połączone z trzema wzmacniaczami mocy 10, 10', 10" sterowanymi z generatora 3-fazowych sygnałów sinusoidalnych 9.
2. Urządzenie według zastrz. 1 **znamiennie tym**, że indukcyjności cewek uzwojeń głównych 4, 4', 4" różnią się nie więcej niż 2%.
3. Urządzenie według zastrz. 1 **znamiennie tym**, że indukcyjności dostrojcze 6, 6', 6" mają wartość nie więcej niż 5% w stosunku do cewek 4, 4', 4" uzwojenia głównego.

Rysunki

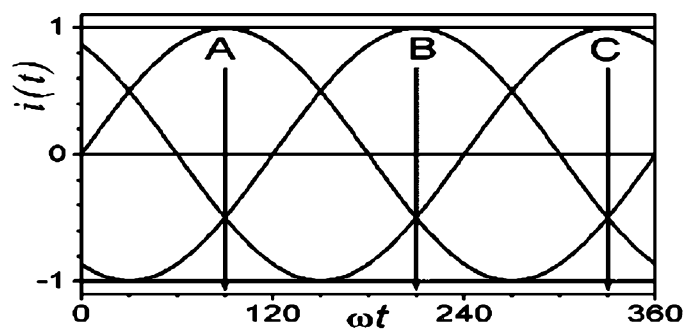


Fig.1.

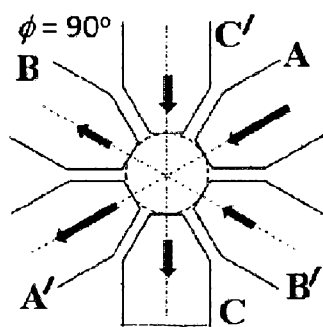


Fig.2.a,

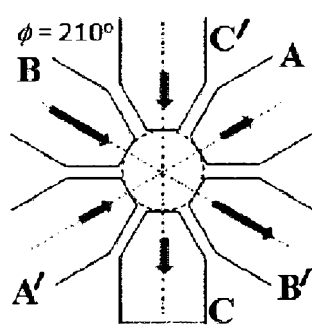


Fig.2.b,

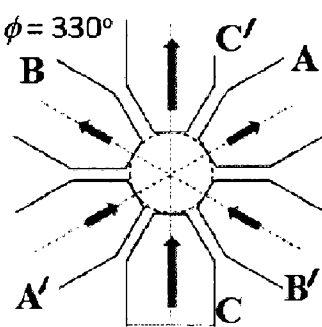


Fig.2.c.

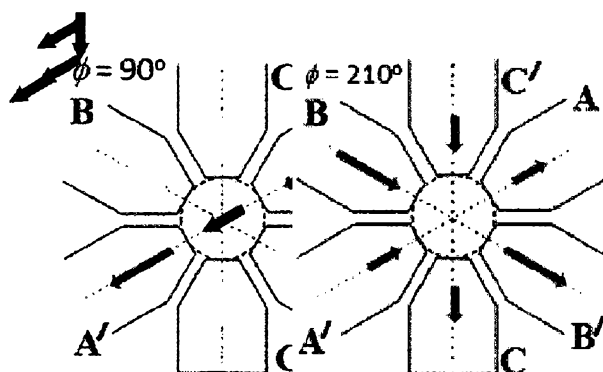


Fig.3.a

Fig.3.b

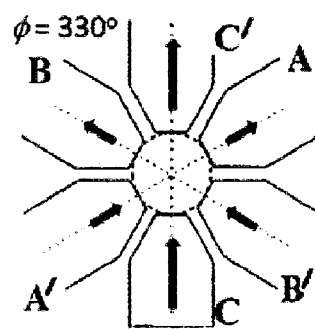


Fig.3.c

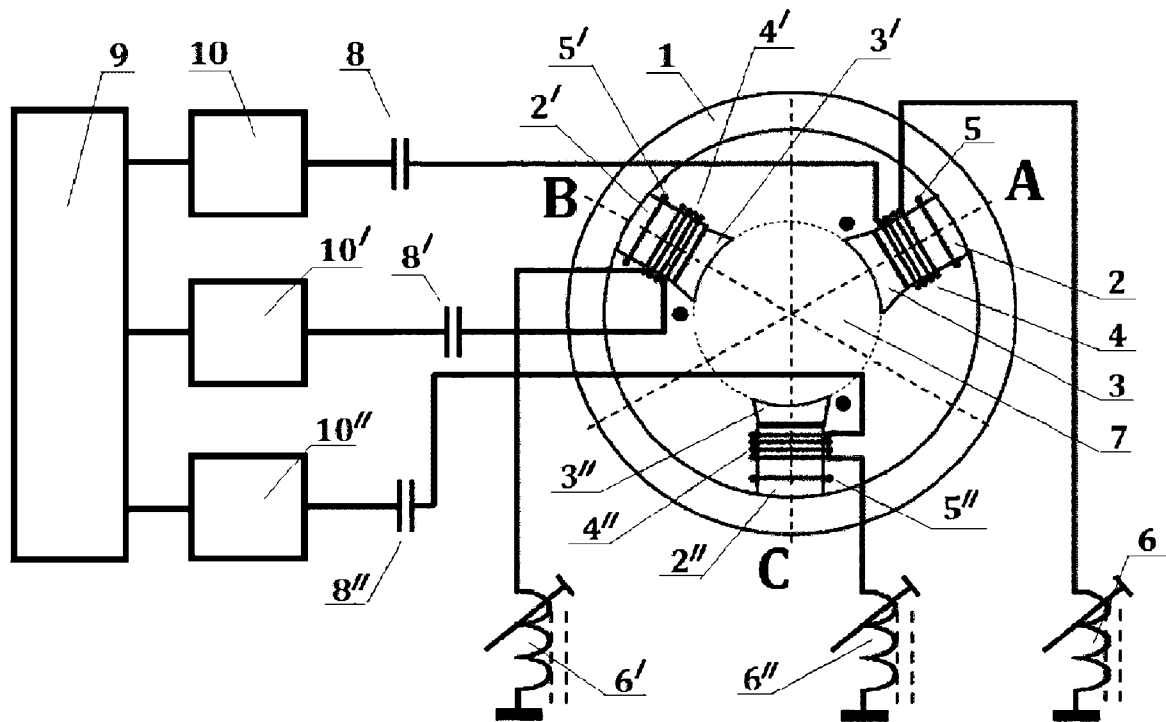


Fig. 4.