

Eugeniusz GRUDZIŃSKI, Marcin SZCZEPANIAK

50-370 WROCLAW, UL. WYBRZEZE WYSPIANSKIEGO 27, POLITECHNIKA WROCLAWSKA, INSTYTUT TELEKOMUNIKACJI, TELEINFORMATYKI I AKUSTYKI, LABORATORIUM WZORCOW I METROLOGII POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO
50-961 WROCLAW, UL. OBORNICKA 136, WOJSKOWY INSTYTUT TECHNIKI INZYNIERYJNEJ (WITI WROCLAW)

Wytwarzanie i pomiary pól elektromagnetycznych w badaniach urządzeń i sprzętu techniki wojskowej

Dr hab. inż. Eugeniusz GRUDZIŃSKI

Urodzony w 1948 r. Od 1972 roku związany z wytwarzaniem i szeroko pojętą metrologią pól elektromagnetycznych prowadzoną w Instytucie Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki PWr. Kierownik akredytowanego Laboratorium Wzorców i Metrologii Pola Elektromagnetycznego (LWiMP ITTA PWr.) pomiarowego (AB 361) i wzorującego (AP 078) w zakresie częstotliwości do 50 GHz. Autor i współautor ponad 180 prac w tym 20 patentów i wniosków racjonalizatorskich.
Adres e-mail: eugeniusz.grudzinski@pwr.wroc.pl



Mgr inż. Marcin SZCZEPANIAK

Urodzony w 1976 r. Od 2001 roku pracownik naukowo-badawczy Wojskowego Instytutu Techniki Inżynierskiej (WITI). Doktorant Politechniki Wrocławskiej w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii w tematyce piorunowych narażeń elektromagnetycznych sprzętu techniki wojskowej. Kierownik techniczny akredytowanego Laboratorium Badawczego sprzętu saperckiego, elektroniki i elektrotechniki. Autor i współautor 15 prac w tym 3 wzorów użytkowych.
Adres e-mail: mar.szczep@poczta.onet.pl



Streszczenie

Autorzy opracowania stosownie do aktualnych potrzeb w tej dziedzinie metrologii związanych z bezpieczeństwem i obronnością, zajmowali się badaniami oraz niezbędnymi opracowaniami różnych typów układów sond i stanowisk wzorcowego pola magnetycznego przeznaczonych do prowadzenia badań czułości głównie na wolno zmienne pole magnetyczne stosowanych obecnie powszechnie na polu walki różnych rodzajów niekontaktowych zapalników min z czujnikami zaburzeń pola magnetycznego oraz sprzętu techniki wojskowej wykorzystującego pole elektromagnetyczne w procesie inicjującym detonację materiału wybuchowego lub jego detekcję do lokalizacji różnego typu min.

Słowa kluczowe: metrologia pola elektromagnetycznego, mina z zapalnikiem magnetycznym-niekontaktowym, wzorce pola magnetycznego

Electromagnetic field (EMF) standards and metrology in the equipment of military technique

Abstract

Autors' publication according to necessities in metrology connected with military technique did researches different kinds of equipments and detectors of magnetic field which is used to realize researches of sensitivity non-contact mines using in Poland Army on slowly changing magnetic field. The field disturbances may be caused by military vehicles or even by metal (mine) detectors applied in the army. That a mine has detectors of troubles of geomagnetic filed. Another equipment which use magnetic field to initiation explosive or detection of localization different kinds of mines are for examples detectors of mines or bombs.

Keywords: electromagnetic field (EMF) metrology, mine with magnetic -non contact initiator, magnetic field standards

1. Wprowadzenie

Pola elektromagnetyczne wykorzystywane są dzisiaj we wszystkich dziedzinach życia ludzkiego. Począwszy od kuchenek mikrofalowych w gospodarstwie domowym, poprzez przemysł, medycynę, telekomunikację, radionawigację i przemysł obronny pola elektromagnetyczne znajdują wszędzie praktyczne zastosowanie. Znane są przypadki „samoistnego” otwierania się bram, garaży, zakłócenia pracy systemów pokładowych samolotów czy też wyzwalania zapalników bomb, min, itp. Wymaga to określenia zagrożeń stwarzanych przez te źródła dla ludzi jak też aparatury dla zapewnienia ich ochrony lub poprawnej pracy [1].

Przykładem szkodliwego oddziaływania PEM na ludzi i aparaturę jest zakłócanie własnych systemów zabezpieczenia i ostrzegania stosowanego w kopalniach, dla zapewnienia bezpiecznej pracy znajdujących się tam ludzi i urządzeń. Podobne szkodliwe oddziaływanie PEM zauważono nawet w kosmosie u astronautów. W czasie długotrwałych lotów, występowały u nich między innymi zaburzenia snu. Po pomiarach rozkładu pola magnetycznego i zamianie głowy z nogami podczas spania poprawiło ich sen i samopoczucie oraz bezpieczeństwo i pomyślność prowadzonej misji [2].

Zadaniem Autorów było rozpoznanie zakresu dynamicznego i częstotliwościowego generowanego przez aparaturę (sprzęt) wykorzystywany powszechnie w wojsku do wykrywania min a będący na wyposażeniu saperów, ze względu na bezpieczeństwo żołnierzy jak również możliwość inicjacji zapalników od innych źródeł zakłócających zewnętrznych w tym także detonacji miny z zapalnikiem niekontaktowym spowodowanym zbliżeniem do niej źle zaprojektowanego (wysyłającego pole magnetyczne o niekorzystnych parametrach) wykrywacza. Wynikiem tego było opracowanie aparatury niezbędnej do przebadania dostępnego w wojsku sprzętu pod kątem poziomu i pasma promieniowanego przez różnego rodzaju dostępne wykrywacze min oraz opracowanie stanowisk wzorcowego PEM do przebadania reakcji (wraz z określeniem poziomu inicjacji) dostępnych obecnie min magnetycznych. Dotyczyło to opracowania stanowisk wzorców PEM umożliwiających prowadzenie badań i obserwowania reakcji zapalników magnetycznych na zmienne pole magnetyczne ciągle oraz pola o określonych zmianach w czasie – tzw. pola gradientowe.

2. Typy i parametry wykrywaczy min

W zdecydowanej większości stosowanych wykrywaczy min są to wykrywacze indukcyjne. Wykrywacz indukcyjny jest to urządzenie, w którym do wykrycia miny wykorzystano na przykład zjawisko zmiany indukcyjności własnej lub wzajemnej cewek pod wpływem elementów metalowych znajdujących się w minie lub wykrywanie wtórnego pola magnetycznego wygenerowanego przez szukany obiekt po wpływem pola pierwotnego pochodzącego od wykrywacza. Są różne konstrukcje, o różnych rozwiązaniach technicznych i eksploatacyjnych, oraz o różnej precyzji wykonania i trwałości. Zasadę działania takiego wykrywacza (BF0) było rozstrajanie się jednego z dwóch generatorów. Częstotliwość różnicowa dawała sygnał akustyczny w momencie pojawienia się metalu. Wykrywacze te dobrze spełniają swoją funkcję do poszukiwania

dużych, płytko zakopanych min. Obecnie przy stosowaniu min, w których powierzchnia metalowa zredukowana jest do minimum, nie spełniają swojej funkcji. Wykrywacze nie posiadają czułości jak w przypadku wykrywaczy typu VLF pracujących na niskich częstotliwościach rzędu od kilku do kilkunastu kiloherców. Rozróżniamy kilka typów wykrywaczy min będących na wyposażeniu saperów. Należą do nich wykrywacze impulsowe (ang. PI), dudnieniowe (ang. BFO) oraz układy ze zbalansowaną cewką odbiorczą (ang. VLF, VLF, VLF- TR).

2.1. Wykrywacz impulsowy PI - Pulse Induction (ok. 1000Hz)

Sonda tego wykrywacza zawiera pojedynczą cewkę zasilaną krótkim impulsem prądowym o wielkiej energii. Przepływ prądu przez cewkę powoduje wytworzenie silnego pola magnetycznego, które z kolei obejmuje otaczającą przestrzeń. Układ odbiorczy wykrywacza rejestruje zmiany prędkości i sposobu zaniku wytworzonego pola magnetycznego. Prędkość zaniku tego pola zależy od tego, czy w zasięgu wykrywacza znajdują się przedmioty metalowe. Wykrywacz ten doskonale nadaje się do poszukiwań przedmiotów żelaznych, charakteryzuje go największy zasięg spośród wszystkich znanych konstrukcji, i jest on niewrażliwy na wpływ zmineralizowanego gruntu. Jednak ma istotne wady. Duży pobór prądu, oraz wymagane względnie powolne prowadzenie sondy, powoduje, że stosowane układy selektywnego rozpoznawania metali są nieskuteczne.

2.2. Wykrywacz dudnieniowy (ang -BFO), Beat Frequency Oscillator (ok. 500 kHz)

Zbudowany jest z dwóch generatorów, z których jeden stanowi wzorzec częstotliwości, drugi zaś sprzężony z cewką sondy wykrywacza reaguje zmianą częstotliwości, gdy w jego zasięgu znajduje się przedmiot metalowy. Sygnały obu generatorów mieszane są ze sobą, i mają tak dobrane częstotliwości, że w stanie neutralnym wynikiem mieszania jest sygnał o względnie stałej częstotliwości akustycznej. Zaburzenie ustalonej równowagi spowodowane przez umieszczenie w zasięgu wykrywacza przedmiotu metalowego powoduje zmianę jego częstotliwości. Sygnał, o którym mowa jest słyszany jako gwizd o zmieniającym się tonie w trakcie pracy wykrywacza. Konstrukcja ta jest bardzo archaiczna, wykrywacz uciążliwy w eksploatacji ze względu na ciągły gwizd o pełnej sile głosu, niestabilny termicznie i długookresowo. Wrażliwy jest bardzo na wpływ gruntu, oraz ma niewielki zasięg. Praktycznie brak jest możliwości selektywnego rozpoznawania rodzaju wykrytego metalu.

2.3. Wykrywacz ze zbalansowaną cewką odbiorczą (ang. VLF, VLF- TR), VLF - Very Low Frequency (ok. 5 - 20 kHz)

Sonda tego wykrywacza zbudowana jest z dwu obwodów - nadawczego i odbiorczego. Cewka obwodu nadawczego zasilana jest stabilnym i ciągłym sygnałem sinusoidalnym, cewka wytwarza zmienne pole magnetyczne, wypełniające przestrzeń w obrębie zasięgu wykrywacza. Uzwojenie cewki odbiorczej jest umieszczone w taki sposób względem nadawczej, że w stanie neutralnym sygnał odbierany przez to uzwojenie jest minimalny. Umieszczenie w zasięgu działania wykrywacza przedmiotu metalowego powoduje zakłócenie pierwotnej równowagi. W zależności od wielkości, odległości i rodzaju metalu zostaje zaburzona amplituda i faza sygnału odbieranego. Zmiany wzajemne wielkości odbieranego i zmiany jego fazy odbieranego wobec nadawanego umożliwiają realizację takich funkcji jak:

- eliminacja wpływu gruntu,
- rozpoznawanie rodzaju wykrytego metalu,
- praca selektywna.

Wykrywacze te mogą być wyposażone w sondy o różnej konstrukcji cewek:

- sonda z cewkami typu 2xD - cewka nadawcza i odbiorcza umieszczone względem siebie tak, że w cewce odbiorczej nie indukuje się sygnał generowany przez cewkę nadawczą. Uzwojenia cewek mają charakterystyczny kształt "D",
- sonda typu OMEGA - cewka nadawcza z dodatkową pętlą - uformowane w kształt W, umieszczonej wewnątrz cewki odbiorczej, tak, że pętla kompensuje sygnał indukowany przez główny obwód nadawczy,
- sonda koncentryczna - cewki nadawcza i odbiorcza o znacznej różnicy średnic. Cewka odbiorcza umieszczona wewnątrz nadawczej, i ich uzwojenia podzielone tak, że w stanie neutralnym sygnał indukowany w cewce odbiorczej jest minimalny,
- sonda typu SONDA RAMOWA (z ang. DUO BOX) - cewki sondy umieszczone w znacznej odległości 1-2 m, pod kątem prostym lub prostopadłym względem siebie. Takie ustawienie cewek sondy powoduje, że w cewce odbiorczej indukuje się minimalny sygnał. Gdy w zasięgu działania wykrywacza pojawi się przedmiot metalowy, zostanie zakłócona pierwotna równowaga sondy. Wykrywacz zaopatrzony w taką sondę nadaje się do poszukiwań dużych przedmiotów na dużych głębokościach. Dodatkową zaletą jest niewrażliwość na mineralizację gruntu.

Najpopularniejszą, oraz najskuteczniejszą a tym samym najczęściej stosowaną metodą wykrywania min magnetycznych jest wykrywanie za pomocą dotychczas stosowanych macek minerskich. Ogólną zasadę wykrywania min magnetycznych możemy przedstawić w sposób następujący: minę należy wykryć, bez konieczności jej detonacji, lokalizując ją za pomocą wykrywacza metali, lecz nie można wzbudzić w niej zapalnika magnetycznego.

Jak można zaobserwować czujnik indukcyjny mierzy pole magnetyczne w najszerszym zakresie z obecnie spotykanych czujników. Z jednej strony jest to dobre rozwiązanie, lecz w naszym przypadku jest to jednak cecha niepożądana. Wykrywaczem takim z pewnością wzbudzilibyśmy zapalnik miny magnetycznej, ponieważ poziom promieniowania takiego wykrywacza będzie wysoki. Dlatego też konieczne było opracowanie szerokopasmowej sondy pola magnetycznego do pomiaru pola magnetycznego macek do wyszukiwania min, aby można było następnie ograniczać poziom promieniowania generowany przez obecnie stosowane wyszukiwacze min.

Wstępne pomiarów sprawdzające poziomy promieniowanych PEM w otoczeniu wyszukiwaczy min przedstawiono na rys.1.



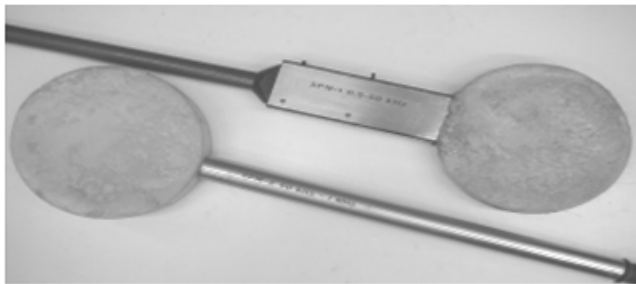
Rys. 1. Sprawdzanie pola magnetycznego w otoczeniu wyszukiwaczy min
Fig. 1. Survey magnetic field nearby, mine detector

Dla pokrycia wymaganego pasma pomiarowego oraz uzyskania niezbędnej czułości zostały opracowane dwie szerokopasmowe sondy do pomiaru pola magnetycznego przedstawione na rys.2.

3. Sondy do pomiaru PEM

Jednymi z szeroko rozpowszechnionych w praktyce metrologicznej układami wykorzystywanymi w metrologii PEM jako układy do badań pola magnetycznego promieniowanego przez różnego rodzaju źródła są sondy z antenami ramowymi. Badana sonda musi także pracować w paśmie poniżej swojej częstotliwości rezonansowej. Dla wyeliminowania ich wzrostu czułości wraz ze wzrostem częstotliwości stosuje się układy filtrów korekcyjnych zapewniających jednakową jej czułość w

zadany paśmie pomiarowym sondy [1,3]. Najczęściej czwórnik korekcyjny składa się z dwóch filtrów dolnoprzepustowych. Filtr pierwszy odpowiada za uzyskanie pożądanej wartości dolnej częstotliwości granicznej, natomiast drugi za zlikwidowanie maksimum na częstotliwości rezonansowej, oraz górnej częstotliwości granicznej sondy. W LWiMP ITTA PWr. zaprojektowano i wykonano dwie szerokopasmowe sondy pola magnetycznego przeznaczone do wyznaczania promieniowania występującego w otoczeniu wojskowych macek minerskich pod roboczą nazwą sond pola magnetycznego „SPM-1” oraz „SPM-2” pokrywających pasmo 500 [Hz]± 1 [MHz] w dwu podzakresach (0,5 - 50) kHz i (0.05 - 1) MHz, które przedstawiono na rys.2.

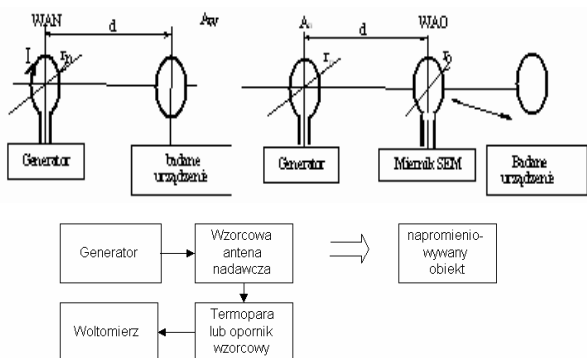


Rys.2. Sondy do sprawdzania pola magnetycznego w otoczeniu wyszukiwaczy min
Fig. 2. Detector to survey magnetic field nearby mine detector

4. Wzorce PEM

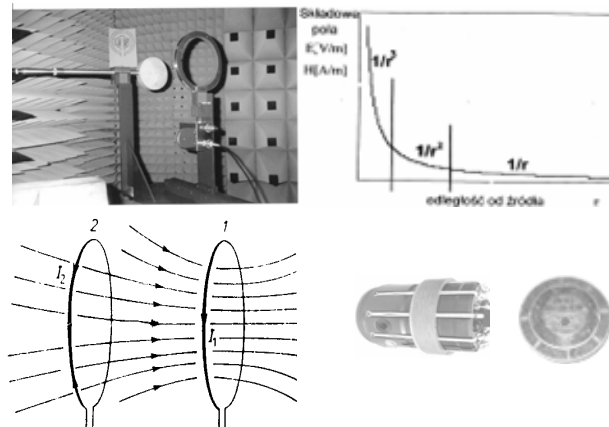
Do wytworzenia lub pomiaru wzorcowego pola elektromagnetycznego wykorzystuje się jedną z dwu podstawowych metod tzw. metodę wzorcowego pola, nazywaną również metodą wzorcowej anteny nadawczej (WAN) oraz metodą podstawienia, nazywaną także metodą wzorcowej anteny odbiorczej (WAO). W zależności od mierzonej lub wytwarzanej składowej pola, zakresu częstotliwości, charakteru prowadzonych badań urządzeń czy też obiektów i ich wymiarów geometrycznych i elektrycznych takimi układami wzorców lub układów ekspozycyjnych są układy wykorzystujące pola wewnątrz lub w bezpośrednim otoczeniu kondensatora płaskiego, solenoidu, cewek Helmholtza, Lee-Whitinga, linii z falą TEM (tzw. komór Crawforda), linii GTEM, odcinków falowodu, komór bezodbiciowych i stanowisk do pomiaru lub wytwarzania pól elektromagnetycznych w nich zainstalowanych, itp.[1].

Najprostszym źródłem pola magnetycznego pracującym w szerokim zakresie częstotliwości jest antena ramowa lub cewka. Przykład stanowiska wzorcowego pola magnetycznego z anteną ramową do badania w niej (lub w jej bezpośrednim otoczeniu) różnych obiektów technicznych i biologicznych, a także wzorcowania aparatury kontrolno-pomiarowej szeroko stosowanej w metrologii pól elektromagnetycznych przedstawiono obrazowo na rys.3. [1].



Rys. 3. Schemat blokowy wzorca pola magnetycznego
Fig. 3. Block diagram of the magnetic field standards

Wstępne pomiary dostarczonych min z zapalnikami magnetycznymi przeprowadzono w standardowym zestawie pomiarowym pracującym w zakresie częstotliwości do 10 MHz wykorzystującym wzorcową antenę nadawczą (WAN) i wzorcową antenę odbiorczą (WAO) w układzie jak na rys.3. Typowy rozkład pola magnetycznego w obszarze wzorca pola magnetycznego w bezpośrednim otoczeniu anteny ramowej pracującej w układzie wzorcowej anteny nadawczej, wzorcowej anteny odbiorczej lub badanego obiektu przedstawiono wraz z zaznaczonymi rozkładami i szybkością zmian PEM z odległością przedstawiono na rys.4.



Rys. 4. Typowy rozkład pola w funkcji odległości od źródła
Fig. 4. Typical distribution of magnetic field in function of interval from origin

Średnia wartość natężenia pola magnetycznego H w płaszczyźnie anteny wzorcowanej, umieszczonej współosiowo z anteną wzorcową oblicza się na podstawie wzoru 1 [1]:

$$|H| = \frac{IS_n \sqrt{1 + \beta^2 R_0^2}}{2\pi R_0^3} \quad (1)$$

gdzie:

$$R_0 = \sqrt{d^2 + r_n^2 + r_o^2}$$

I - prąd w antenie (Azw),

S_n - powierzchnia anteny nadawczej (m^2),

r_n - promień anteny wzorcowej WAN (m),

r_o - promień anteny wzorcowanej Aw (m),

d - odległość pomiędzy antenami (m),

$\beta = 2\pi/\lambda$ - stała propagacji,

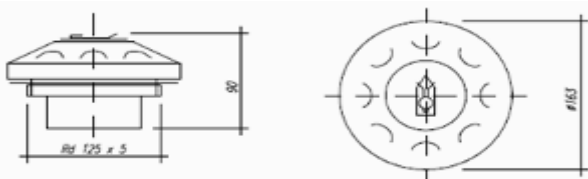
λ - długość fali w swobodnej przestrzeni (m).

przy spełnieniu warunków: $r_n r_o / R_0^2 \leq 1/16$, $d/r_n \leq 4$ i $d/r_o \leq 4$ uzyskuje się dokładność natężenia pola magnetycznego nie gorszą niż 1%.

Przed przystąpieniem do pomiaru charakterystyki dynamicznej i częstotliwościowej zapalnika dostarczonej do wstępnych badań miny (ze względu na szybką zmianę PEM z odległością od źródła) bardzo istotne było sprawdzenie symetrii ustawienia i symetrii reakcji badanego egzemplarza miny umieszczonego na takich stanowiskach wzorcowego PEM. Procedura wykorzystywania takich układów wzorców PEM do badania czułości zapalników min jest możliwa do stosowania dla zadanej konfiguracji wzorca jedynie w odległościach porównywalnych z wymiarami badanego obiektu lub obiektów tzw. „płaskich”.

W celu wyeliminowania wpływu szybkości zmian pola w bezpośrednim otoczeniu badanego obiektu o znacznych wymiarach w stosunku do dostarczonego do badań wstępnych zapalnika miny typu ZN 97 (patrz rys.5) konieczne było opracowanie i wykonanie stanowisk wzorców dopasowanych do

gabarytów pozostałych badanych min (konieczność uzyskania równomiernego rozkładu pola dla całej objętości obiektu [1,2].



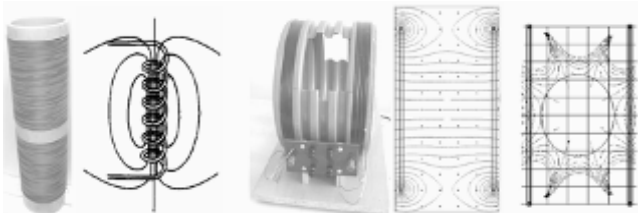
Rys. 5. Podstawowe gabaryty zapalnika miny typu ZN 97
Fig. 5. Main size of initiator type ZN-97

Ponieważ do badań zostały dostarczone cztery rodzaje min o różnych wymiarach zewnętrznych (średnice i co istotniejsze długość), przy braku konkretnej informacji odnośnie lokalizacji samego czujnika zapalnika w badanej minie (patrz rys.6) konieczne było opracowanie i wykonanie oraz przebadanie nowych stanowisk dostosowanych do wszystkich dostarczonych min niezbędnych dla uzyskania poprawnych wyników badań.



Rys. 6. Przykładowy widok zewnętrzny różnych min magnetycznych
Fig. 6. Example of outside view of different kinds of magnetic mines

W tym celu opracowano i wykonano stanowiska wzorcowego pola magnetycznego pracujące w zadanym paśmie częstotliwości dopasowane do gabarytów badanych min. Widok stanowisk wzorcowego pola z zaznaczeniem istniejących rozkładów w obszarach wzorcowania przy pobudzeniu sinusoidalnym z wykorzystaniem solenoidu i cewek pracujących w układzie Helmholtza przedstawiono na rys.7.

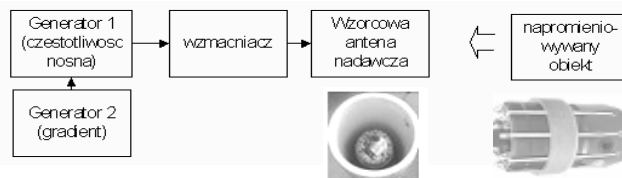


Rys.7. Solenoid i cewki Helmholtza jako źródło wzorcowego pola magnetycznego
Fig. 7. Solenoid and Helmholtz coil in the magnetic field standard

5. Pomiary

Podstawową zaletą przedstawionych na rys.7 układów wzorców jest niezależność formuł opisujących wartość natężenia pola magnetycznego od częstotliwości oraz możliwość znacznego skupienia pola na małym obszarze przestrzeni w tzw. obszarze przestrzeni pomiarowej. Wskazane jest by maksymalne wymiary badanych zapalników nie przekraczały obszary pola wzorcowego. Po przeprowadzonych badaniach wstępnych okazało się, że interesująca jest reakcja badanych min na zmienne pole magnetyczne, ale o określonych zmianach w czasie – tzw. pola gradientowe. W wyniku tego należało znacznie zmodyfikować zarówno dotychczasowe stanowisko pomiarowe (rys.3) jak również jego sposób pobudzenia i zasilania. Rozwiązano to stosując do zasilania wzorca sygnał zmodulowany tak by uzyskiwać stosowne narastanie poziomu pola magnetycznego w czasie (wymagany gradient pola) dla zadanej częstotliwości podstawowej. Schemat blokowy takiego zestawu pomiarowego przedstawiono obrazowo na rys.8.

Dla określenia progu czułości badanych min z zapalnikami magnetycznymi wykonywane były pomiary dla pól niemodulowanych (H_{sin})-fala ciągła, oraz o narastającym zbocz (gradientie) do kilkudziesięciu [A/m/s].



Rys. 8. Schemat blokowy stanowiska do końcowego badań pola zapalników min
Fig. 8. Block diagram of station to researches initiators of magnetic mines

6. Podsumowanie

W wyniku wykonanych prac związanych z bezpieczeństwem i obronnością [4], opracowane zostały niezbędne układy sond pomiarowych [3] i stanowiska wzorcowego pola magnetycznego przeznaczone do prowadzenia badań czułości głównie na wolno zmienne pole magnetyczne stosowanych obecnie powszechnie na polu walki różnych rodzajów niekontaktowych zapalników min z czujnikami zaburzeń pola geomagnetycznego oraz sprzętu techniki wojskowej wykorzystującego pole elektromagnetyczne w procesie inicjującym detonację materiału wybuchowego lub jego detekcję do lokalizacji różnego typu min [5]. Sondazowe badania przeprowadzono w zakresie częstotliwości aż do 10 MHz.

Opracowane zostały dwie szerokopasmowe sondy do pomiaru pola magnetycznego pracujące w zakresie częstotliwości od 500 Hz do 1 MHz a więc pokrywające z zapasem częstotliwości generowane przez dotychczas stosowane wykrywacze min [3]. Opracowano także specjalistyczne stanowiska wzorcowego pola magnetycznego pozwalające na badania reakcji zapalników min na zmienne pole magnetyczne zarówno, co do amplitudy jak i częstotliwości oraz czasu i sposobu jego narastania (gradientu).

Rozwiązano to stosując do zasilania wzorca sygnał zmodulowany tak by uzyskiwać stosowne narastanie poziomu pola magnetycznego w czasie (wymagany gradient pola dla zadanej częstotliwości podstawowej o narastającym zboczu do około 200 A/m/s). Nie mniej istotna jest również możliwość inicjacji zapalników od innych źródeł zakłócających (dotyczy to głównie bezpieczeństwa żołnierzy) np.: będącego na wyposażeniu saperów sprzętu do wyszukiwania min, tj. detonacja miny z zapalnikiem niekontaktowym może być spowodowana zbliżeniem do niej źle zaprojektowanego (wysyłającego pole magnetyczne o niekorzystnych parametrach) wykrywacza. Wynikiem tego było opracowanie aparatury niezbędnej do przebadania tego sprzętu pod kątem poziomu i pasma promieniowanego PEM. W wyniku przeprowadzonych pomiarów stwierdzono istnienie znacznych różnic w czułości i reagowaniu zapalników różnych typów min magnetycznych na zmienne pole magnetyczne w tym głównie dla min gradientowych na szybkość i poziom jego narastania [5].

7. Literatura

- [1] E. Grudziński, Wzorcowanie aparatury pomiarowej stosowanej do celów kontroli pól elektromagnetycznych w środowisku pracy i środowisku komunalnym, *Medycyna Pracy*, 2006; 57(2): 171-185.
- [2] E. Grudziński, W. Niczoga, I. Prudyus: Diagnostowanie i monitoring struktur promieniujących pod kątem zagrożeń stwarzanych dla aparatury i ludzi, VI Krajowa Konferencja "Diagnostyka techniczna urządzeń i systemów" DIAG 2006, Ustroń 17-20.10.2006, s. 75-76.
- [3] H. Trzaska: Pomiary pól elektromagnetycznych do celów ochrony pracy i ochrony środowiska. Monografia, Prace Naukowe Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1996.
- [4] M. Szczepaniak, K. Grudziński, W. Madej, M. Ludas: Światowe tendencje w konstrukcji zapalników do min lądowych, XIV Konferencja Naukowo – Techniczna „UZBROJENIE’2005”, Rynia, 2005, s. 123-132.
- [5] P. Bieńkowski, E. Grudziński, K. Rozwalka, Opracowanie Laboratorium Wzorców i Metrologii Pola Elektromagnetycznego Instytutu Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki Politechniki Wrocławskiej z badań czułości zapalników na zmienne pole magnetyczne wykonane dla WITI Wrocław, Wrocław 2006.