

OPIS KONSTRUKCJI I WYKONANIE MODELI FUNKCJONALNYCH RADIOWEGO ZAPALNIKA ZBLIŻENIOWEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono konstrukcję radiowego zapalnika zbliżeniowego do amunicji moździerzowej, który wykonano i przebadano w Zakładzie Uzbrojenia Artyleryjskiego w ramach realizacji projektu badawczego rozwojowego nr R00 0001 06.

THE CONSTRUCTION OF THE PROXIMITY RADAR FUSE FOR MORTAR AMMUNITION

Abstract. In this paper we present the construction of the radar proximity fuze for mortar ammunition.

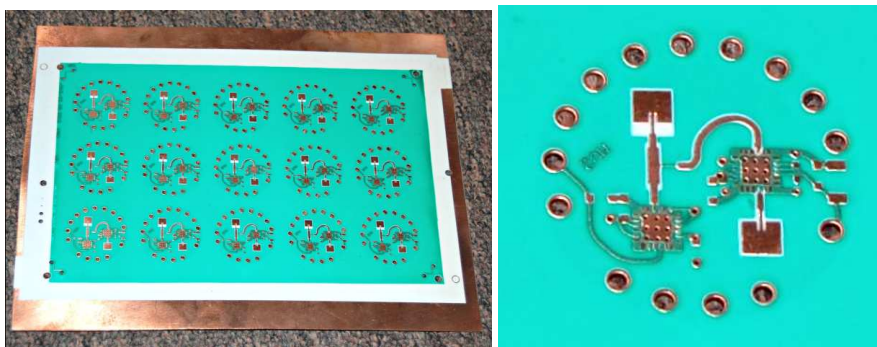
1. Wstęp

Działanie radarowego sensora zbliżeniowego inicjowane jest sygnałem dostarczanym z programowanego układu opóźnienia czasowego. Wysoki poziom logiczny uruchamia przetwornicę wytwarzającą napięcia zasilania modułów. Ze względów bezpieczeństwa uruchomienie przetwornicy następuje ze zwłoką ok. 0.5 sekundy. Zasilenie modułu procesora inicjuje odczyt z pamięci programu i uruchomienie aplikacji. Jednocześnie zasilone zostają moduły nadawczo-odbiorcze oraz filtry. W pierwszej fazie z generatora piły do układu VCO dostarczane jest napięcie stałe. W efekcie generowana jest fala elektromagnetyczna o stałej częstotliwości. Poprzez sprzęgacz, fala ta dostarczana jest do anteny nadawczej i promieniowana w przestrzeń, w postaci ukształtowanej charakterystyką antenową wiązki. Jednocześnie część energii fali kierowana jest do mieszacza w torze odbiorczym, stanowiąc sygnał odniesienia. Jeżeli na drodze promieniowanej w przestrzeń fali pojawi się obiekt (ziemia), wówczas część energii powróci w kierunku z którego została wysłana i przez antenę odbiorczą, po wzmocnieniu, zostanie dostarczona do mieszacza. W wyniku zmieszania sygnału odniesienia i odebranego przez antenę odbiorczą, powstanie sygnał m.cz. o częstotliwości proporcjonalnej do prędkości wzajemnego ruchu sensora i ziemi (sygnał o częstotliwości Dopplera). Częstotliwość sygnału mieszcząca się w zakresie przewidywanych wartości zostanie przeniesiona przez filtr częstotliwości dopplerowskiej i sygnał zostanie wzmocniony i dostarczony do procesora. Jeżeli jego amplituda przekroczy wartość progową i w kolejnych cyklach pomiarowych będzie stabilna, zostanie uruchomiona druga faza, pomiar odległości sensora od ziemi. Wówczas do układu generacji piły dostarczany jest ciąg impulsów wyzwalających. W układzie generacji piły kształtowany jest przebieg napięcia sterującego VCO tak, aby na jego wyjściu uzyskać zmodulowaną falę elektromagnetyczną o liniowo zmieniającej się częstotliwości. Podobnie jak w torze

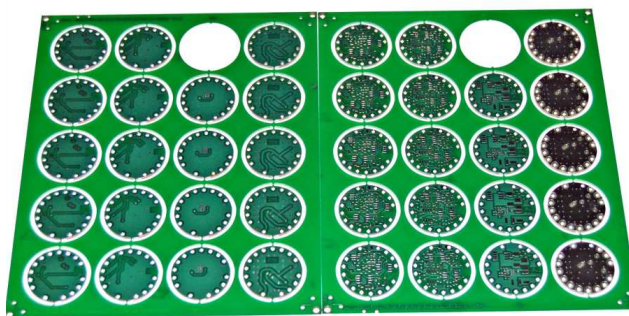
dopplerowskim, w mieszaczu porównywane są częstotliwości dwóch sygnałów, wysyłanego i odbieranego. Sygnał różnicowy, po przejściu przez wzmacniacz-filtr częstotliwości proporcjonalnych do odległości kierowany jest do procesora. Procesor realizuje funkcję pomiaru częstotliwości sygnałów różnicowych w czasie kolejnych okresów modulacji. Jeżeli wyniki pomiarów wskażą na spełnienie reguł decyzyjnych, stwierdzone zostanie osiągnięcie przyjętej odległości od ziemi, do wyjścia sterującego podawany jest sygnał pobudzenia splotki.

2. Opis prac konstrukcyjnych nad radiowym zapalnikiem zbliżeniowym

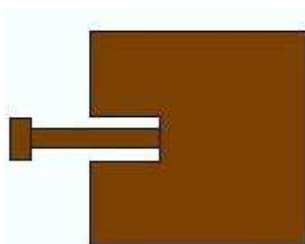
Prace konstrukcyjno-projektowe rozpoczęto po opracowaniu wstępnej koncepcji sensora zbliżeniowego. Na podstawie koncepcji i schematu blokowego wykonano schematy elektryczne projektu zapalnika radiowego. W pracach projektowych zwracano uwagę na dostępność zastosowanych układów elektronicznych. Wystrzegano się rozwiązań bazujących na elementach specjalizowanych wykonywanych na zamówienie oraz elementów wymagających zezwoleń na import. Konstrukcje oparte o układy specjalizowane pozwalają wprawdzie na uzyskanie mniejszych gabarytów oraz mniejszej energochłonności, jednak koszt ich opracowania i produkcji dla potrzeb tego projektu znacząco przekraczał jego możliwości finansowe. Mimo tych ograniczeń powstała zwarta konstrukcja realizująca zamierzone funkcje. Pierwsze moduły (pakiety) elektroniki dla sensora radiowego wykonano z zamiarem sprawdzenia poprawności podstawowych założeń projektowych. Schematy elektroniczne oraz projekty płytek drukowanych wykonano we własnym zakresie. Proces projektowania pakietu elektroniki był żmudny. Trudności przysparzało zwłaszcza zaprojektowanie zespołu anten toru nadawczego i odbiorczego. Anteny sensora radiowego wytrawiane są bezpośrednio na laminacie PCB (patrz fotografie Fot. 1 i 2 oraz rysunek 1). Ustalenie ich kształtu i wzajemnego położenia jest efektem wielu prac eksperymentalnych i obliczeniowych. Stąd konieczność wielokrotnego wykonywania płytek. Projekt ławowej anteny został wykonany przy użyciu polskiego programu QuickWave. Uzyskanie odpowiedniej charakterystyki promieniowania anten jest kluczem do sukcesu sensora radiowego.



Fot. 1. Fotografia przedstawia widok płytki z obwodami mikrofalowymi i antenami, przed montażem podzespołów. Podłoże struktury wykonane jest z laminatu teflonowo-ceramicznego RO4003.



Fot. 2. Zdjęcie "formatek" laminatów z wykonanymi płytkami modułów sensora radiowego, przygotowanymi do montażu podzespołów elektronicznych i połączeniowych. Na każdej "formatce" znajduje się komplet płytek modułów sensora oraz płytka podłożowa modułu mikrofalowego. Z lewej strony widok dolnej warstwy, z prawej - górnej warstwy elementów.

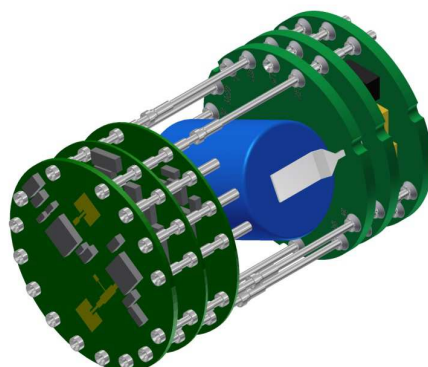


Rys. 1. Projekt łatowej anteny mikrofalowej.

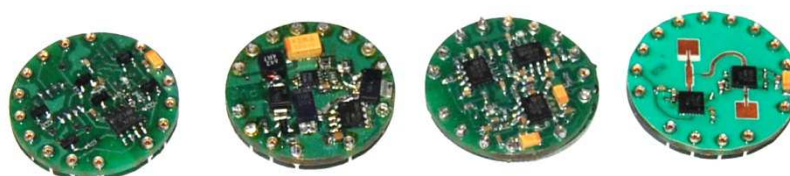
Wykonanie fizyczne płytek drukowanych oraz lutowanie elementów, za każdym razem zlecano partnerowi konsorcjum. Płytki drukowane (poza płytkami mieszaczem i antenami) wykonano na klasycznym podłożu z laminatu szklano-epoksydowego FR4 z drukiem dwustronnym. Projekt nie wymagał stosowania kosztownych druków wielowarstwowych. Z kolei płytki drukowane toru nadawczo-odbiorczego z wytrawionymi antenami wymagały droższego laminatu teflonowo-ceramicznego z racji pracy w zakresie częstotliwości mikrofalowych przy których upływności tradycyjnego podłoża są zbyt duże. Elementy elektroniczne potrzebne do wykonania pakietu elektroniki zostały zakupione/sprowadzone przez konsorcjanta. Podobnie jak w przypadku sensora laserowego, większość elementów elektronicznych pochodzi z importu od uznanych na świecie producentów. Również w tym przypadku rynek krajowy producentów nie oferuje elementów elektronicznych, które mogłyby zostać wykorzystane w projekcie.

Z założenia gotowy moduł elektroniki z radiowym sensorem zbliżeniowym miał być dostosowany do montażu w pocisku moździerzowym kalibru 60mm i więcej. Ten warunek narzucał projektantom ograniczenia na maksymalne wymiary całego pakietu. Ograniczenie gabarytowe dotyczyło szczególnie maksymalnej dopuszczalnej średnicy płytek drukowanych. Opracowany pakiet elektroniki sensora zbliżeniowego charakteryzuje się nieznacznie większymi rozmiarami od typowego zapalnika czasowego. Wizualizację finalnego projektu pokazano na rysunku 2. Najdroższym elementem pakietu jest mieszacz mikrofalowy. Natomiast największym elementem (wrażnie widocznym na rysunku) jest bateria litowo-jonowa. Typ baterii jest taki sam jak w przypadku zapalnika laserowego. Bateria ta zapewnia dużą obciążalność prądową, pracę w zakresie temperatur od -40°C do $+50^{\circ}\text{C}$ oraz niski współczynnik samorozładowania zapewniający dziesięcioletni okres przydatności do użycia. Podobnie jak w zapalniku laserowym, za precyzyjne źródło sygnału zegarowego dla mikrokontrolera odpowiada odporny na udary generator wykonany w technologii MEMS.

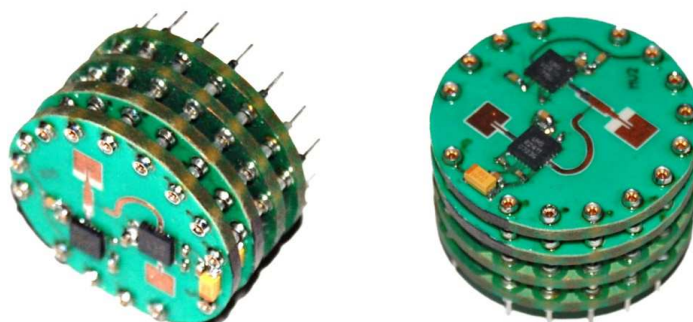
Pakiet elektroniki jest wykonany z płytek drukowanych ułożonych w formie stosu. Połączenia elektryczne między płytkami realizowane są za pomocą przewodzących kołków dystansowych. Zdjęcia wykonanego pakietu elektroniki zamieszczono poniżej (patrz fotografie 3 i 4)



Rys. 2. Wizualizacja finalnego projektu modułu elektroniki radiowego sensora zbliżeniowego.



Fot. 3. Zmontowane płytki drukowane przygotowane do finalnego złożenia.

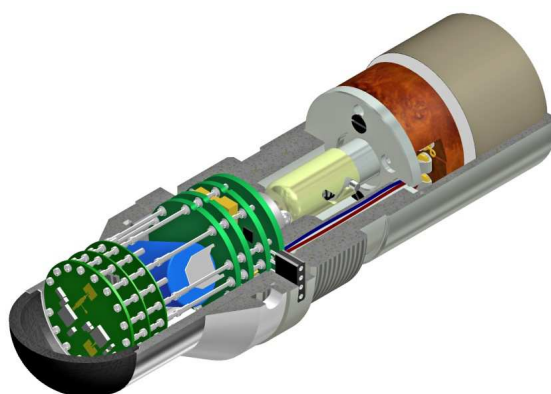


Fot. 4. Zdjęcia kompletnego sensora radarowego, gotowego do podłączenia do czasowej części zapalnika z baterią oraz umieszczenia i zainstalowania w korpusie obudowy.

Dalsze prace związane z wykonaniem zapalnika skupiły się na zaprojektowaniu konstrukcji mechanicznej, która będzie w stanie pomieścić wykonany pakiet elektroniki sensora zbliżeniowego, a jednocześnie zapewni jego bezpieczeństwo podczas narażeń występujących podczas strzału. Wyniki prac projektowych przedstawiono poniżej na rysunkach 3 i 4.

Korpus zapalnika wykonany jest ze stali nierdzewnej. Przód zapalnika zamyka kopułka polimerowa. Tworzywo sztuczne kopułki ma umożliwić propagację fal radiowych emitowanych i odbieranych przez anteny. Programowanie nastaw zapalnika odbywa się przy użyciu złącza, widocznego na rysunku 3. Dzięki wysiłkowi projektantów zapalnik taki można

zaprogramować również przy pomocy standardowego programatora etatowych zapalników czasowych.



Rys. 3. Widok finalny zaprojektowanego radiowego zapalnika zbliżeniowego.



Rys. 4. Radiowy zapalnik zbliżeniowy w ukończeniu z nabojem moździerzowym.

Wszystkie elementy mechaniczne zapalników zostały wykonane w całości w kraju. Pakiet elektroniki umieszczony w obudowie zapalnika jest w ostatnim etapie montażu zapalnika całkowicie wypełniany zalewą samoutwardzalną. Dzięki niskiej lepkości zalewy oraz bardzo niskiemu współczynnikowi rozszerzalności po utwardzeniu uzyskuje się znakomite zabezpieczenie całego pakietu przed udarem mechanicznym. Zdjęcie jednego z wykonanych zapalników radiowych zamieszczono poniżej.



Fot. 5. Zdjęcie finalnie zmontowanego radiowego zapalnika zbliżeniowego (bez zespołu zabezpieczająco-uzbrajającego).

Opis badań laboratoryjnych przedstawionej konstrukcji radiowego zapalnika zbliżeniowego zostaną przedstawione w kolejnych publikacjach.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2008-2010 jako projekt badawczy rozwojowy nr R00 0001 06.

