

Mgr inż. Stanisław GRZYWIŃSKI  
Dr inż. Dariusz RODZIK  
Dr inż. Stanisław ŻYGADŁO  
Wojskowa Akademia Techniczna

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.240

## UKŁAD WYZWAŁANIA ORAZ ZESPÓŁ KONDYCJONOWANIA SYGNAŁÓW SYSTEMU OCENY STRZELAŃ

*Streszczenie: W referacie opisano przykład wykorzystania zespołu kondycjonowania sygnałów w zaprojektowanym lokatorze akustycznym wykorzystanym do oceny przeciwlotniczych strzelań bojowych. Ponadto opisano możliwe sposoby rozwiązań sprzętowych i programowych układu wyzwalania oraz możliwości realizacji algorytmu pozwalającego zorientować wykryte pociski względem globalnego układu współrzędnych, opierając się na danych o położeniu lokatora pochodzących z innych źródeł informacji.*

## TRIGGER AND CONDITIONING CIRCUIT FOR SIGNALS OF SHOOTING EVALUATION SYSTEM

*Abstract: In the paper the describes an example use of signal conditioning unit designed to acoustic location system used to assess the antiaircraft shooting. Furthermore, it describes possible ways of use hardware and software trigger system which allows realize detected projectiles respect to the global coordinate system based on the tenant location data from other sources of information.*

*Słowa kluczowe: wibroakustyka, system pomiarowy, lokator akustyczny*  
*Keywords: vibroacoustic, measurement system, acoustic location system*

### 1. WPROWADZENIE

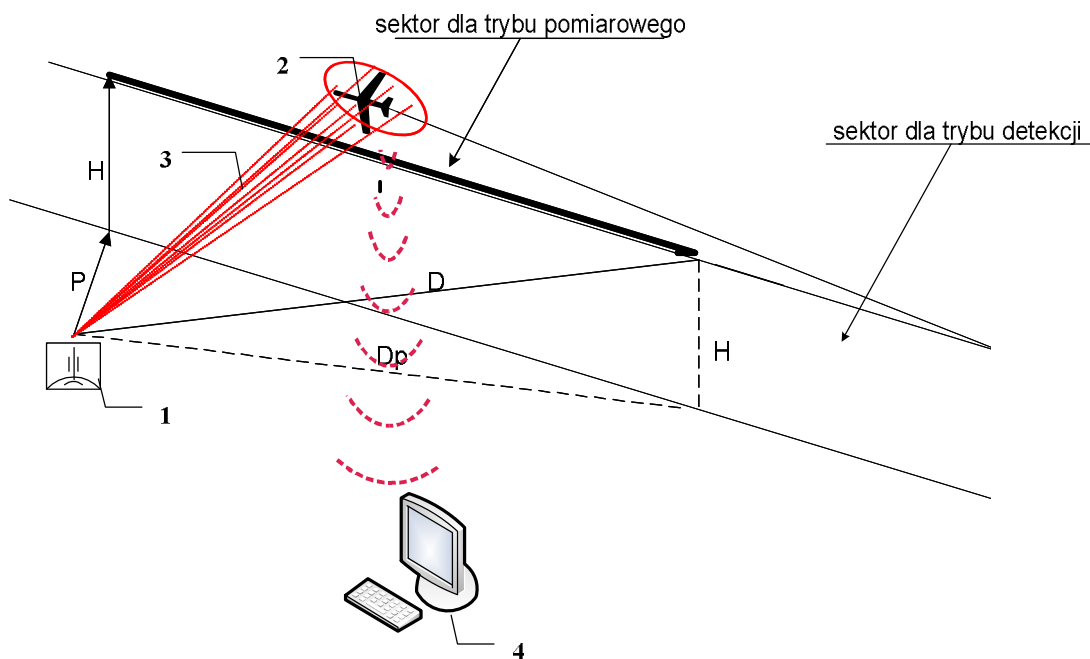
Znajomość rozmieszczenia stanowisk ogniowych przeciwnika stanowi od dawna przedmiot zainteresowania wojska. Znaczący rozwój odnotowuje się w przypadku pasywnych systemów akustycznych, których niewątpliwą zaletą jest skrytość działania oraz coraz lepsza dokładność. W ostatnich latach powstało wiele urządzeń, ale tylko nieliczne potrafią sprostać dzisiejszym wymaganiom. Obecnie na wyposażeniu wojsk OPL, zarówno Sił Powietrznych, jak i Wojsk Lądowych brakuje systemu oceny przeciwlotniczych strzelań bojowych umożliwiającego wypracowanie obiektywnej, dokładnej i szybkiej oceny wyników oraz ich zobrazowania w czasie rzeczywistym i cyfrowej archiwizacji.

Wychodząc naprzeciw określonym przez wojsko wymaganiom, zaprojektowano i wykonano akustyczny system oceny strzelań (pokazany poglądowo na rys. 1), który pozwoli pośrednio weryfikować stopień wyszkolenia bojowego w zakresie niszczenia celów powietrznych w czasie strzelań amunicją bojową. W projekcie założono, że nośnikiem informacji pierwotnej o parametrach ruchu pocisku artyleryjskiego, przemieszczającego się z prędkościami naddźwiękowymi, są fale dźwiękowe wzbudzone w powietrzu przez pocisk [1]. W przypadku umieszczenia na ostrzeliwanym imitatorze celu powietrznego układu dźwiękowych czujników pomiarowych (przy znanym ich położeniu względem siebie), fala wywołana ruchem pocisku w środowisku sprężystym może być wykorzystana jako źródło informacji o położeniu pocisku względem imitatora celu.

Znajomość rozkładu charakterystyk przestrzenno-czasowych i widmowych zaburzeń ośrodka wywołanych ruchem pocisków jest podstawą przy opracowywaniu pasywnych systemów oceny wyników realizacji zadania bojowego przez artyleryjskie zestawy przeciwlotnicze. Wykorzystuje się przede wszystkim wiedzę o tym, jak zmienia się amplituda i długość fali zaburzenia w funkcji czasu i odległości przelotu pocisku względem imitatora celu.

Ze względu na specyficzne warunki pracy systemu oceny strzelań, w celu wyzwolenia urządzeń składowych systemu we właściwej kolejności przyjęto, że lokator będzie pracował w dwóch trybach pracy (rys. 1):

- tryb pomiarowy – w sektorze ostrzału z artyleryjskiego zestawu przeciwlotniczego układ wytwarza impulsy wyzwalań,
- tryb detekcji – poza sektorem ostrzału układ nie wytwarza impulsów wyzwalań.



Rys. 1. Poglądowy schemat działania systemu oceny strzelań do celów powietrznych:

- 1 – artyleryjski zestaw przeciwlotniczy;
- 2 – imitator celu powietrznego (ICP) z lokatorem akustycznym;
- 3 – trajektorie lotu pocisków; 4 – naziemna jednostka obliczeniowa

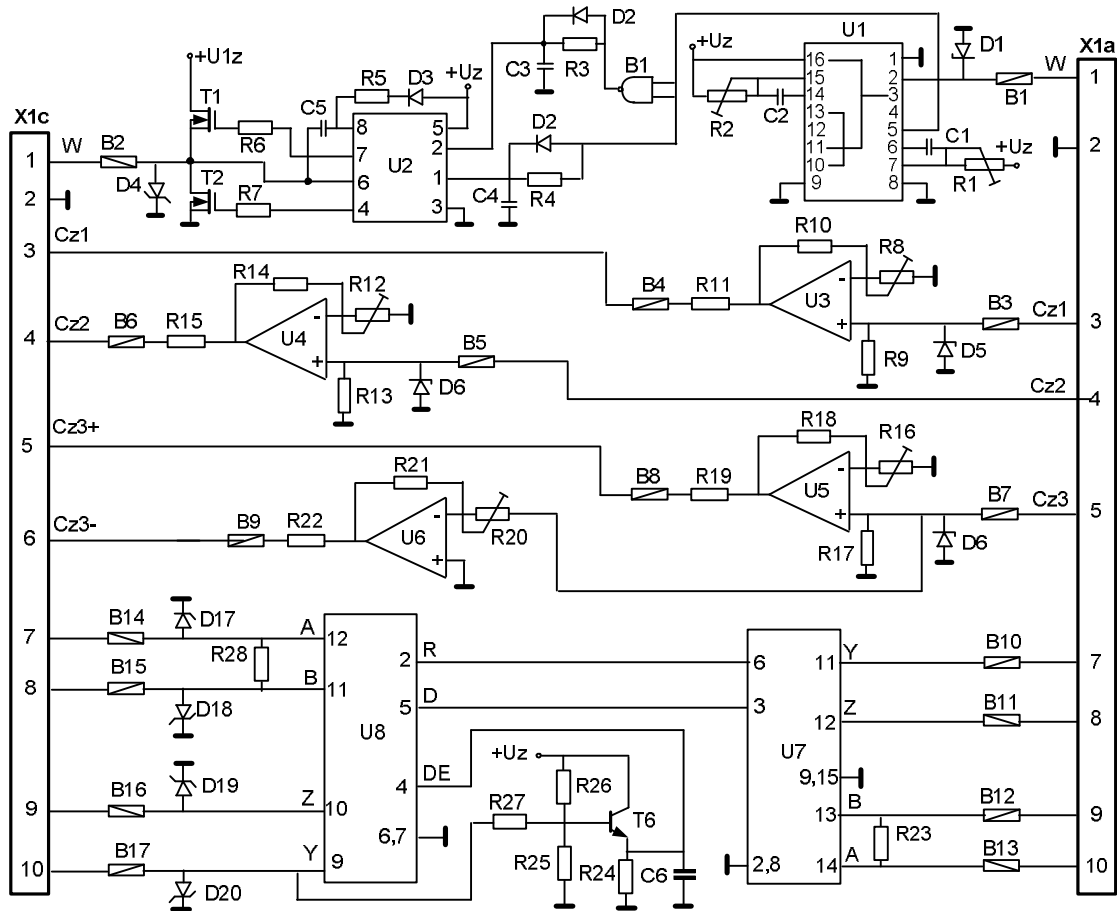
Podział na dwa niezależne tryby pracy ma na celu zwiększenie możliwości oraz funkcjonalności systemu oceny strzelań. W obu trybach realizowane są algorytmy pozwalające zorientować wykryte pociski względem globalnego układu współrzędnych, opierając się na danych dotyczących położenia lokatora pochodzących z innych źródeł informacji. Dane o położeniu lokatora mogą pochodzić z aparatury ICP, bądź też ze stacji radiolokacyjnej, która śledzi lot ICP. Procedury i algorytmy określania współrzędnych opierają się na pracy synchronicznej systemu.

## 2. UKŁAD WYZWALANIA I KONDYCJONOWANIA

W celu zapewnienia odpowiedniego dopasowania sygnałów wejściowych z czujników pomiarowych lokatora, izolacji galwanicznej, dopasowania impedancyjnego oraz pasma częstotliwości opracowano i wykonano układ kondycjonowania sygnałów, którego schemat ideowy przedstawiono na rys. 2. Ze względu na charakter rejestrowanych sygnałów, a w szczególności dużą dynamikę sygnałów akustycznych (rzędu 170 dB), których źródłem są fale zmian ciśnienia generowane przez poruszające się z prędkością naddźwiękową pociski, niezbędną częścią lokatora są układy umożliwiające dopasowanie tych sygnałów do wymagań układów wejściowych procesora, tj. przetworników AC oraz układów peryferyjnych. Głównym zadaniem zaprojektowanego modułu jest dopasowanie oraz wstępna normalizacja sygnałów rejestrowanych przez czujniki pomiarowe, umieszczone na pakiecie analogowym, do poziomu TTL, wymaganego przez poszczególne układy systemu oceny strzelań.

W celu zapewnienia zgodnej w czasie pracy całego systemu oceny strzelań zaprojektowano układ wyzwalań, którego schemat pokazano na rys. 3. Układ umożliwia pracę podczas synchronizacji wewnętrznej i zewnętrznej (*Wew-Zew*). W obu rodzajach możliwe są wyłączenie impulsów *W* i w razie potrzeby zmiany położenia czasowego tych impulsów. Rodzaje synchronizacji wybierane są z poziomu komputera sterującego, za pomocą interfejsu komunikacyjnego RS422 (układy U7, U8) [2].

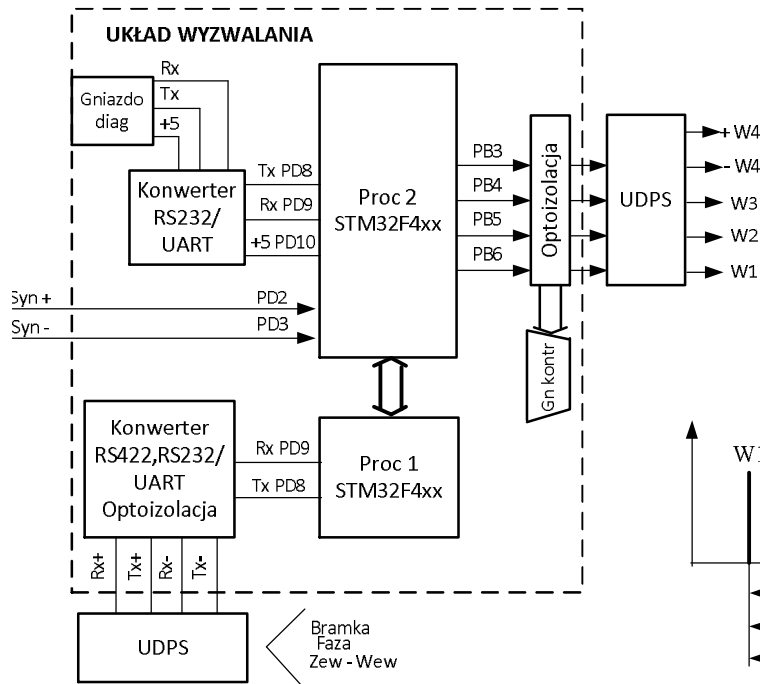
Synchronizację zewnętrzną stosuje się przy wykorzystywaniu impulsów wyzwających przychodzących od innych źródeł sterowania, które połączone są do złączy *Syn+*, *Syn-*. Częstotliwość zewnętrznych impulsów wyzwających pochodzących od innych źródeł może być dowolna, przy czym obsługa za pomocą złącza diagnostycznego powinna dopasować ją do częstotliwości własnej układu sterowania. Rozstaw czasowy wytwarzanych impulsów wyzwających zależy od pozycji aparatury sterującej systemem, co zobrazowano na rys. 4.



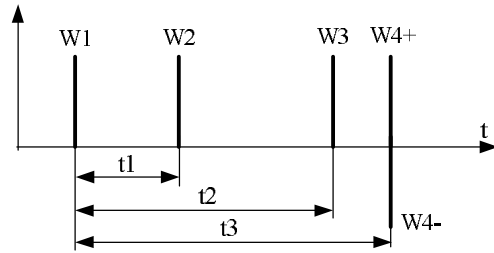
Rys. 2. Schemat ideowy układu dopasowania poziomów sygnałów

Pracą układu dodatkowo sterują, podawane poprzez port szeregowy, sygnały *Bramka* oraz *Faza*. Procesor kształtuje impulsy o różnych opóźnieniach i czasach trwania, co zapewnia uzyskanie impulsów wyzwalających w wymaganej kolejności czasowej. Parametry czasowe impulsów można kontrolować na złączu kontrolnym *Gn\_kontr*.

Podczas synchronizacji wewnętrznej procesor *Proc 2* kształtuje ciąg impulsów o określonej częstotliwości powtarzania  $F_p$ . Podczas synchronizacji zewnętrznej włączanej sygnałem *Zew-Wew* impulsy przychodzące do złącz *Synchr+* i *Synchr-* podawane są do procesora *Proc 2*. Czasowe położenie impulsów wyzwalających zmienia się, włączając sygnał *Faza* oraz sygnał *Bramka*. Przy wyłączeniu opcji *Faza* położenie czasowe impulsów odpowiada wartościom podanym na rys. 4, a następnie pod wpływem sygnału *Bramka* przychodzącego w zależności od wybranego rodzaju wyzwalania, impulsy nie występują lub występują. Po włączeniu *Faza* w zależności od przychodzenia sygnału *Bramka* impulsy zmieniają swoje położenie czasowe.



Rys. 3. Schemat blokowy układu wyzwalania



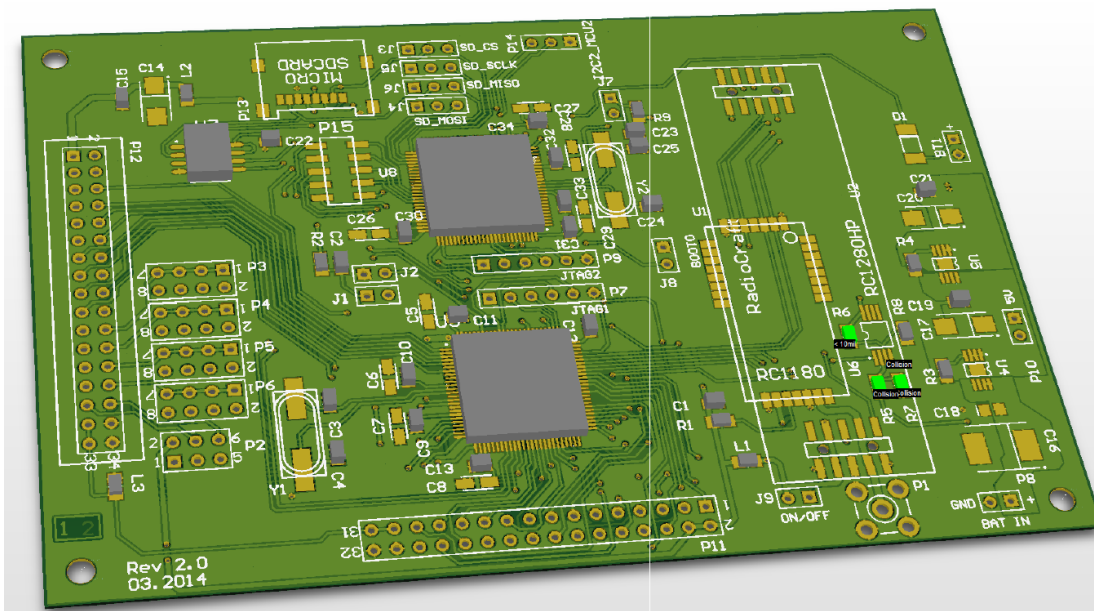
Rys. 4. Rozstaw czasowy impulsów układu wyzwalania

### 3. JEDNOSTKA PROCESOROWA

Realizacja zaprojektowanych algorytmów synchronizacji oraz lokacji wymagała odpowiedniego doboru procesora posiadającego wystarczające możliwości obliczeniowe. Oszacowanie konkretnych wymagań na moc obliczeniową procesora jest zadaniem trudnym, ze względu nie tylko programowych (rozrzut ilości taktów procesora na konkretne instrukcje, w zależności od zastosowanej techniki programowania oraz kompilatora), ale również sprzętowych. Niemniej jednak można w przybliżeniu określić pewne parametry, przyjmując maksymalne możliwe parametry rejestracji, przetwarzania, obliczeń oraz transferu danych.

Jako jednostkę zarządzającą pracą systemu oceny strzałów, zastosowano procesor z rdzeniem Cortex M4 z serii STM32F4 [3]. Procesor ten charakteryzuje się 32-bitową architekturą i należy do procesorów typu RISC. Posiada on dobry stosunek między precyzją, wysoką wydajnością a niskim zużyciem energii. Różne wersje zaproponowanych rdzeni są szeroko stosowane w systemach wbudowanych (ang. *embedded systems*) oraz w systemach o niskim poborze mocy ze względu na ich energooszczędną architekturę. Ponadto procesor ten został zaprojektowany do obsługi wymagających zadań obliczeniowych. Instrukcje DSP i sprzętowa jednostka zmiennoprzecinkowa pozwalają powiększyć zakres adresowalnych aplikacji. Accelerator ART i dynamiczne skalowanie mocy umożliwia ograniczenie poboru prądu w trybie pracy do 260  $\mu\text{A}/\text{MHz}$  (dla taktowania 184 MHz). Procesor jest wyposażony w szereg peryferii, które pozwalają na sprawniejszą realizację postawionych zadań. W układzie zastosowano wiele operacji mających na celu zmniejszenie narzutu na czas realizacji zadań i ilości wykonywanych operacji przez procesor. Dotyczy to głównie optymalizacji kodu ASSEMBLERA do cyfrowego przetwarzania rejestrowanych sygnałów, a w tym filtracji oraz detekcji sygnatur, formowania ramek danych oraz wykorzystania DMA.

Zaprojektowany pakiet, którego widok przedstawiony jest na rys. 5, składa się z: procesora STM32F4, modułu radiowego RF1280HP, układu stabilizacji zasilania, pamięci zewnętrznej. Procesor realizuje zadania akwizycji danych pomiarowych (odczyt rejestrowanych danych z peryferii), cyfrowe przetwarzanie rejestrowanego sygnału, analizę sygnału oraz detekcję zaburzeń generowanych przez przelatujący pocisk, przygotowanie wysyłanych danych (formowanie ramek danych), komunikację z procesorem pomocniczym oraz transmisję danych do jednostki naziemnej.



Rys. 5. Widok pakietu procesora

#### 4. OPROGRAMOWANIE

Oprogramowanie zostało zaprojektowane do współpracy z procesorem opartym na architekturze ARM Cortex-M4. Zostało ono napisane w języku C zgodnie ze standardem C11, określonym szerzej w normie ISO/IEC 9899:2011 [5]. Podczas projektowania oprogramowania wykorzystano środowisko *Keil  $\mu$ Vision IDE*, które jest jednym z podstawowych środowisk wykorzystywanych do tworzenia aplikacji na procesorach z rdzeniem ARM [4]. Środowisko *Keil  $\mu$ Vision IDE* jest to komercyjny zestaw narzędzi do rozwoju aplikacji wbudowanych. Pełna nazwa *Integrated Development Environment* oznacza zintegrowane „środowisko” do rozwijania kodu osadzonego w pamięci procesorów ARM.

Uwzględniając wykonywane zadania, zaprojektowane oprogramowanie może zostać podzielone na funkcje związane z konfiguracją części sprzętowej, komunikacją z jednostką naziemną, synchronizacją czasową układu wyzwalania, rejestracją i cyfrową obróbką sygnału, detekcją i rozpoznawaniem zaburzeń.

Przykładowa struktura programowa układu transmisji radiowej oraz etap konfiguracji peryferii przedstawiono poniżej:

```
typedef struct {
    void ( *init )( uint32_t br, uint16_t wl, uint16_t sb, uint16_t pEN, uint16_t
hfcEN );
    void ( *start )( void );
```

```

void ( *stop )( void );
void ( *decode )( uint8_t set );
void ( *readMemConf )( void );
void ( *sendConf )( void );
void ( *save2MemConf )( void );
void ( *initConf )( void );
} T_ReaderControl;
TIM_TimeBaseInitTypeDef TIM_TimeBaseStructure;
NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
TIM_OCInitTypeDef TIM_OCInitStructure;
/* TIM9 clock enable */
RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_TIM9, ENABLE);
/* Time base configuration */
TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 84 - 1;
TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = 75000; // (2,5 ms)
TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = TIM_CKD_DIV1;
TIM_TimeBaseStructure.TIM_RepetitionCounter = 0;
TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
TIM_TimeBaseInit(TIM9, &TIM_TimeBaseStructure);
TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_Timing;
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable;
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 50;
TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity = TIM_OCPolarity_High;
TIM_OC1Init(TIM9, &TIM_OCInitStructure);
TIM_OC1PreloadConfig(TIM9, TIM_OCPreload_Disable);
TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_Timing;
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable;
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 60;
TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity = TIM_OCPolarity_High;
TIM_OC2Init(TIM9, &TIM_OCInitStructure);
TIM_OC2PreloadConfig(TIM9, TIM_OCPreload_Disable);
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = TIM1_BRK_TIM9_IRQn;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 6;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
TIM_ITConfig(TIM9, TIM_IT_CC1, ENABLE);
TIM_ITConfig(TIM9, TIM_IT_CC2, ENABLE);

```

## 5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono przykład wykorzystania zespołu wyzwalania i kondycjonowania sygnałów w systemie oceny strzelań. Opisano różne sposoby rozwiązań układowych oraz programowych układu wyzwalania, a także możliwości realizacji algorytmu pozwalającego zorientować wykryte pociski względem globalnego układu współrzędnych, opierając się na danych o położeniu lokatora pochodzących z innych źródeł informacji. Przedstawione rozwiązania układowe zostały wykorzystane w realizacji systemu oceny strzelań

artyleryjskich. Zawarte w artykule elementy stanowią ważny etap rozpoczętych badań nad opracowaniem systemu detekcji, lokalizacji i rozpoznawania odgłosów uzbrojenia w działaniach bojowych. Ponadto wpisują się w obszar prac naukowo-badawczych realizowanych przez Zespół Radioelektroniki w Katedrze Mechatroniki Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa WAT, stanowiąc kolejny etap budowy systemów akustycznej lokacji przeznaczonych do wsparcia działań bojowych wojsk.

\*\*\*

*Praca finansowana przez Wydział Mechatroniki i Lotnictwa WAT  
jako grant badawczy ze środków na Rozwój Młodych Naukowców w RA 2015-2016.*

## LITERATURA

- [1] Lindgren D., Wilsson O., Gustafsson F.: *Shooter Localization in Wireless Microphone Networks*, Hindawi Publishing Corporation, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing.
- [2] <http://www.analog.com/en/products.html>
- [3] <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc>
- [4] <http://www.keil.com/uvision>
- [5] [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue)