

ZAPALNIKI ARTYLERYJSKIE O PODWYŻSZONEJ WYTRZYMAŁOŚCI MECHANICZNEJ I PRECYZJI DZIAŁANIA - ANALIZA MOŻLIWOŚCI TECHNICZNYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono informacje na temat prac podjętych w celu podniesienia wytrzymałości mechanicznej i precyzji działania zapalników artyleryjskich z elektronicznymi modułami czasowymi. Opisano prace prowadzone w WITU, a mające na celu poprawienie parametrów technicznych zapalników czasowych. Ponadto w artykule pokazano efekty prowadzone obecnie prac w zakresie konstrukcji elektronicznych systemów zapalnikowych.

ARTILLERY FUSES WITH INCREASED MECHANICAL DURABILITY AND PRECISION OF OPERATION – ANALYSIS OF TECHNICAL POSSIBILITIES

Abstract: The paper deals with the subject of works undertaken to increase mechanical durability and precision of operation of artillery fuses with electronic time modules. Works conducted in the Military Institute of Technology have been described which aimed at improving technical parameters of time fuses. Moreover, the effects of work being carried out concerning the construction of electronic system of fuses are presented in the paper.

1. Wstęp

Zapalniki elektroniczne można podzielić na podstawowe trzy grupy: czasowe, zbliżeniowe i uderzeniowe.

W zapalnikach czasowych najistotniejszą częścią jest mechanizm lub układ do odmierzenia czasu działania zapalnika.

Do chwili obecnej wprowadzono do uzbrojenia WP cztery elektroniczne zapalniki czasowe opracowane w WITU: moździerzowy zapalnik rozcalający MZR-60, moździerzowy zapalnik rozcalający MZR-96, artyleryjski zapalnik rozcalający AZR-96 i czasowy elektroniczny zapalnik artylerii raketowej CEZAR-100M.

W zapalnikach tych układ do odmierzenia czasu działa z zegarem opartym o generator RC. Pozwala to uzyskać dokładność odmierzenia czasu rzędu 0,2% (200ms przy czasie działania 99,98s). Prowadzone były próby zwiększenia dokładności poprzez zastosowanie generatorów stabilizowanych rezonatorem kwarcowym oraz piezoceramicznym. Zastosowanie rezonatora kwarcowego możliwe było jedynie w pierwszych zapalnikach do artylerii raketowej, typu CEZAR. Przeciężenia występujące podczas startu rakiety z silnikiem GRAD, wynoszące około 10g, nie powodowały uszkodzeń mechanicznych miniaturowych rezonatorów kwarcowych. Zwiększenie wymagań na odporność mechaniczną

do wartości 100g, ze względu na stosowanie silników FENIKS, powodowało już wzrost awaryjności zapalników ponad dopuszczalny poziom. Zastosowanie rezonatorów piezoceramicznych podnosiło poziom odporności mechanicznej do wartości rzędu 3000g, lecz i ta wartość nie pozwalała na zastosowanie w zapalnikach mózdzierzowych oraz w zapalnikach artylerii klasycznej, a ich stabilność nie gwarantowała możliwości podnoszenia precyzji działania zapalników.

Przyjęte rozwiązanie oparte o generatory RC pozwalało na uzyskanie odpowiedniej odporności mechanicznej, a zastosowanie wzorcowania zegarów podczas programowania gwarantowało wymaganą dokładność w czasie niezbędnym do przygotowania i oddania strzału. Ponadto rozwiązanie takie pozwalało na unifikację poszczególnych podzespołów samych zapalników a także programatorów.

Pojawienie się na rynku oscylatorów typu MEMS zdecydowanie zmieniło tą sytuację. Ich stabilność pracy pozwala na podniesienie precyzji działania zapalników czasowych nawet o rząd wielkości. Jednocześnie ich odporność mechaniczna pozwala na zastosowanie w zapalnikach dla każdego typu pocisków artyleryjskich i czołgowych. Otworzyło to nowe perspektywy przed konstrukcjami zapalników czasowych.

2. Analiza możliwości technicznych

Pracownia Elektronicznych Systemów Uzbrojenia Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia podjęła prace nad poprawieniem parametrów technicznych zapalników już wdrożonych do produkcji i wchodzących na uzbrojenie WP. Prace te idą w dwu kierunkach: podniesienia odporności na narażenia występujące podczas wystrzału oraz podniesienia precyzji odmierzenia zaprogramowanego czasu zadziałania.

Na wstępie przeprowadzono analizę odporności na narażenia mechaniczne wszystkich typów elementów elektronicznych używanych do konstrukcji modułów elektroniki zapalników. Przeprowadzone zostały obliczenia odporności na przeciążenia występujące podczas wystrzałów dla elementów SMD takich jak rezystory, kondensatory, elementy półprzewodnikowe oraz rezonatory. Na podstawie obliczeń wytypowane zostały elementy preferowane do zastosowania w zapalnikach.

Szczególą uwagę zwrócono na oscylatory MEMS.

MEMS jest to popularne określenie miniaturowych urządzeń elektro-mechanicznych, o rząd wielkości większych niż te zbudowane przy pomocy nanotechnologii. Przyrządy MEMS to urządzenia zawierające trójwymiarowe mikrostruktury elektroniczne i mechaniczne o wymiarach mikrometrowych a nawet nanometrowych. Wymiary całego urządzenia MEMS najczęściej zawierają się między kilkoma mikrometrami, a kilkoma centymetrami. MEMS-y są często wykonane z krzemu za pomocą technologii mikroelektroniki, podobnych do wykorzystywanych przy wytwarzaniu przyrządów półprzewodnikowych i układów scalonych. Jednak w ostatnich latach zwiększone zainteresowanie materiałami polimerowymi spowodowało, że zaczęto rezygnować z wykorzystania krzemu z powodu jego wysokiej ceny.

Obecnie najbardziej perspektywiczne stają się oscylatory typu MEMS. Składają się one z rezonatora oraz sterującego układu scalonego. Małe wymiary i waga sprawiają, że oscylatory MEMS są poważną konkurencją dla tradycyjnych rozwiązań opartych na rezonatorach kwarcowych. Powszechnie stosowaną praktyką jest produkowanie oscylatorów MEMS kompatybilnych pod względem wyprowadzeń z odpowiednimi układami kwarcowymi.

Cechą charakterystyczną oscylatorów typu MEMS jest ich duża odporność na oddziaływanie czynników mechanicznych. Producenci oferują oscylatory odporne na krótkotrwałe przeciążenia rzędu 30 000g. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe wymiary i charakterystyczne parametry oscylatorów MEMS dostępnych na rynku.

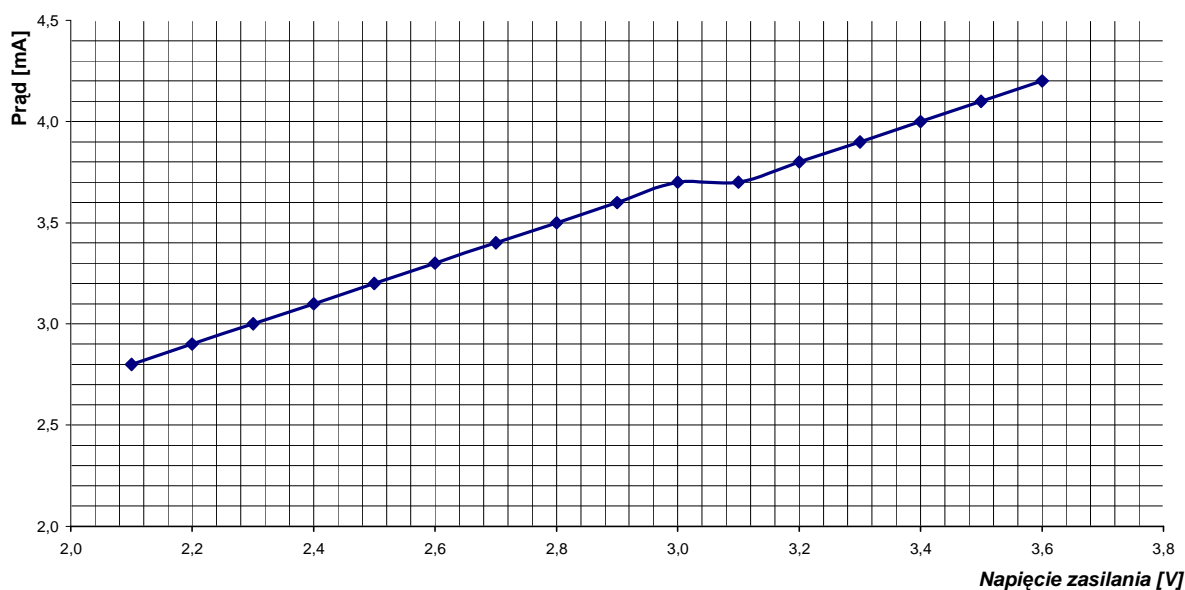
Tabela 1

Typ oscylatora	WYMIARY {mm}	ZAKRES [MHz]	STAB	TEMP [°C]	U _{ZAS} [V]	WYTRZ MECH
VMEM5Q	5x3,2x1,04	1 ÷ 130	±50ppm	-40÷+85	2,7÷3,6	30 000g/ 0,1ms
ASEM1	3,2x2,5x0,8	÷125	±100ppm	0÷+70	2,7÷3,3	30 000g
ASDM1	2,5x2,0x0,8	÷125	±100ppm	0÷+70	1,8÷3,3	30 000g
ASAM1	2,0x1,6x0,7	÷125	±100ppm	0÷+70	1,8÷3,3	30 000g
SIT3700AI-13	2,5x2x0,85	1÷125	±50ppm	-40÷+85	1,8÷3,3	
SiT3700AI-18	2,5x2x0,85	1÷125	±30ppm	-20÷+70	1,8÷3,3	
SiT8002AI-13	2,5x2x0,85	1÷125	±50ppm	-40÷+85	1,8÷3,3	
SiT8002AI-18	2,5x2x0,85	1÷125	±30ppm	-20÷+70	1,8÷3,3	
ASFLM-x-E-J	5x3,2x1,04	1÷125	±20ppm	-20÷+70	3±0,3	30 000g
ASFLM-x-L-C	5x3,2x1,04	1÷125	±50ppm	-40÷+85	3±0,3	30 000g

Z przedstawionych parametrów wynika, że wiele z nich jest jakby stworzonych do zastosowania w zapalnikach. Przy stabilności częstotliwości porównywalnej ze stabilnością rezonatorów kwarcowych, mogą pracować w zakresie temperatur wymaganych dla sprzętu wojskowego i wytrzymują przeciążenia występujące podczas wystrzału. Jednocześnie ich gabaryty nie odbiegają od gabarytów elementów SMD, stosowanych w układach elektroniki zapalników.

Przyjęcie rozwiązań z wykorzystaniem oscylatorów MEMS stworzyło jednak nowy problem. Tym problemem stały się źródła zasilania zapalników. Stosowane dotychczas pastylkowe baterie litowe tracą swoją wydajność prądową w obniżonych temperaturach. Ponieważ w układach z rezonatorami RC zapotrzebowanie na energię zasilania było bardzo niskie (pobór prądu wynosił około 0,5mA), spełniały one swoją rolę bardzo dobrze. Przy zastosowaniu oscylatorów MEMS nastąpił zdecydowany wzrost zapotrzebowania na energię zasilania, wynikający z wymagań energetycznych samych oscylatorów. Dlatego należało dobrać inny typ baterii, pozwalający na pokrycie tego zapotrzebowania w najniższych wymaganych temperaturach pracy.

W celu określenia minimalnej wartości prądu zasilania dla modułu elektroniki z oscylatorem MEMS wykonano kilka układów czasowych i przeprowadzono pomiary wymaganego prądu zasilania. Wynikiem jest wykres przedstawiony na rysunku 1.



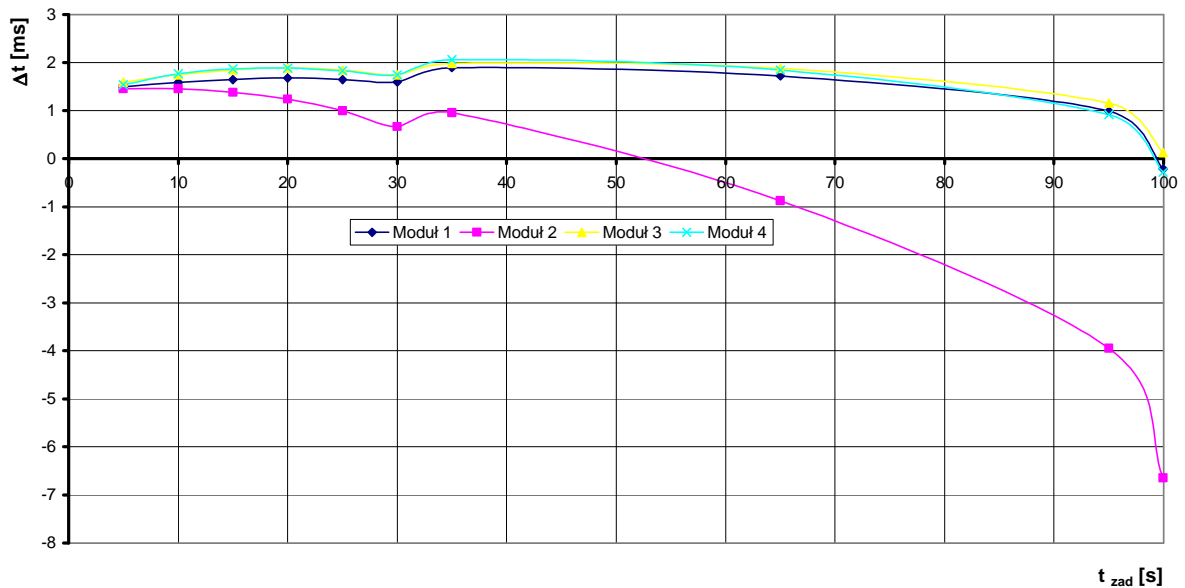
Rys. 1. Wartość poboru prądu zasilania generatora z rezonatorem MEMS typu ASFLM 1-1,8432MHz-L-C-T w funkcji napięcia zasilania.

Z wykresu wynika, że przy nominalnym napięciu baterii, wynoszącym 3V pobór prądu wynosi 3,7mA. W porównaniu z poborem rzędu 0,5mA jest to wzrost znaczący. Dlatego należało przeanalizować możliwości stosowanych oraz innych, dostępnych na rynku baterii litowych. Wstępna selekcja pozwoliła na wytypowanie baterii mogących mieć zastosowanie w zapalnikach o podwyższonych parametrach. Podstawowe dane tych baterii zawiera tabela 2

Tabela 2

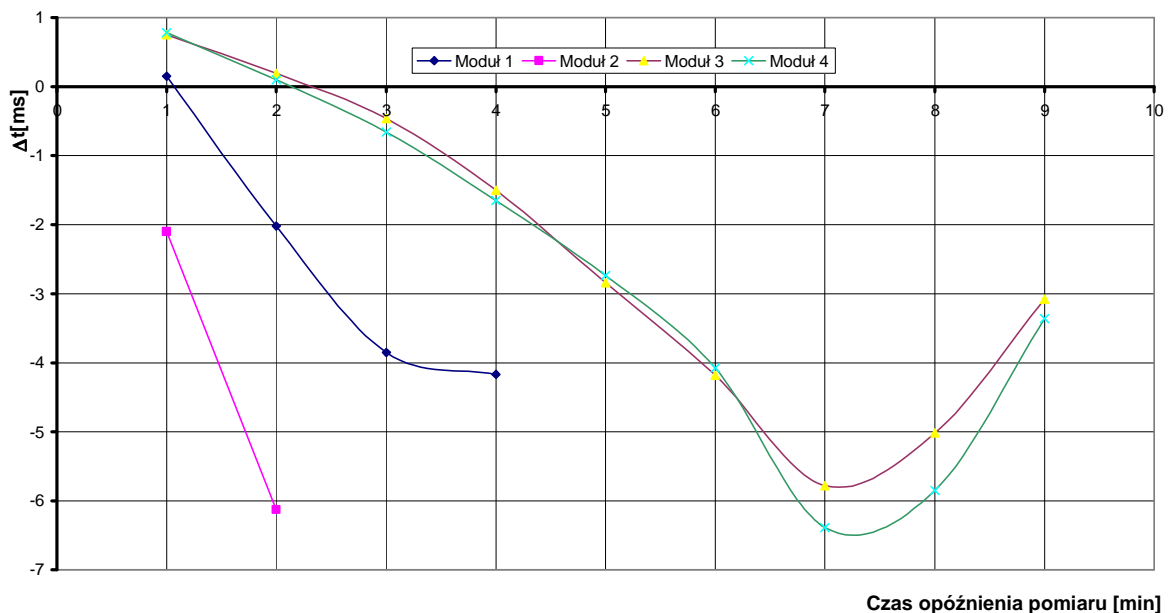
Źródło - typ	Pojemność [mAh]	Napięcie [V]	Objętość [cm ³]	Masa [g]	Energia jednostkowa		Temp. pracy [°C]	
					[mWh/g]	[mWh/cm ³]		
Baterie litowe	Cr2032	220	3	1,00	3,2	206	660	-30÷+60
	Cr2430	280	3	1,51	4,0	420	1113	-30÷+60
	Cr23500	5000	3	20,76	42	357	723	-30÷+60
	Cr15270	750	3	5,09	11	205	442	-20÷+60
	Cr17335	1300	3	7,67	16	243	508	-20÷+60
	SL-840	420	3,6	2,4	6	252	630	-55÷+85
	TLM-1550M	500	3,95÷4,07	-	20	-	-	-40÷+85

Podczas opracowywania koncepcji zapalników o podwyższonych parametrach przeprowadzone zostały badania układów z dwoma typami baterii zasilających. Badano wpływ obniżonej temperatury na dokładność odczytania zaprogramowanego czasu zadziałania. Badania przeprowadzono w temperaturze -31°C. Odchylenia czasu odczytane w zależności od czasu pracy zapalnika ilustruje wykres na rysunku 2.



Rys.2. Badanie modułów elektroniki z rezonatorami ME300 z bateriami (m. 1,2-CR2032; m. 3,4-CR2430). temperatura -31 °C

Z wykresu wynika, że wykres dla modułu nr 2, zasilanego baterią typu CR2032 zdecydowanie odbiega od pozostałych. Powstała hipoteza, że odpowiada za to wydajność energetyczna baterii, która obniża się podczas schładzania baterii. W celu sprawdzenia tej hipotezy powtórzono badanie, przy czym wstępnie poddano moduły chłodzeniu przez okres 10 minut w temperaturze -31°C. Wykres zależności odchylenia czasu odmierzonego od czasu pracy zapalnika ilustruje wykres na rysunku 3.



Rys.3. Badanie modułów elektroniki z rezonatorami ME300 z bateriami (m. 1,2-CR2032; m. 3,4-CR2430). temperatura -31 °C, wstępne opóźnienie pomiaru 10 minut, t_{zad}=15,00s

Badania wykazały, że moduły 1 i 2, zasilane bateriami CR2032 przestały funkcjonować. Moduły 3 i 4, zasilane bateriami CR2430 funkcjonowały przez cały czas badania. Odchylenia czasu odmierzanego w stosunku do zaprogramowanego początkowo rosły, aby dla czasów

powyżej 7,5 minuty zacząć maleć. Maksymalny błąd nie przekroczył przy tym wartości 6,5ms, co w odniesieniu do czasu programowanego, wynoszącego 15s stanowi ok.0,045%. Można więc przyjąć, że baterie typu CR2430 spełniają swoje zadanie w najniższej temperaturze, przewidywanej dla tego typu urządzeń.

3. Wnioski

Z przeprowadzonych analiz wynika, że istnieją realne szanse na podniesienie dokładności odmierzenia czasu w zapalnikach czasowych nawet o rząd wielkości. Pozwoliłoby to na zwiększenie precyzji ostrzału celu przez artylerię, poprzez zredukowanie błędu odmierzenia czasu przez zapalnik do wartości pomijalnie małej w stosunku do parametrów wpływających na tor lotu pocisku.

W WITU prowadzone są nadal prace nad systemami zapalnikowymi.

Przedstawione prace prowadzone są w ramach projektu nr OR00004804 pt. "Czasowy zapalnik artyleryjski o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej i precyzji działania". Opracowywany jest nowy zapalnik o podwyższonej wytrzymałości fizycznej i dokładności odmierzenia czasu. Zapalnik ten zostanie wykorzystany do pocisków odłamkowo-burzących do 120 mm armaty czołgu Leopard 2A4.

W ramach projektu celowego pt.: „Nabój z pociskiem oświetlającym do 98mm moździerza M-98” nr 347/B0/B modernizowany jest zapalnik MZR-96.

Następnym wyrobem opracowanym w WITU jest system zapalnikowy PZ-801 do wytwarzania aerozolu wodnego do gaszenia pożarów. Praca realizowana była w ramach projektu badawczego rozwojowego nr R00-00003/3 pt.: „Opracowanie metody wybuchowego wytwarzania aerozolu wodnego oraz określenie trajektorii lotu kapsuły wodnej, z której aerozol jest wytwarzany”.

Wyniki prac przedstawione w artykule mogą zostać wykorzystane w modernizowanym zapalniku MZR-96, w zapalniku PZ-801, a także w innych zapalnikach czasowych. Ponadto zapoznanie się z technologią MEMS może zaowocować znacznie szerszym jej zastosowaniem w technice wojskowej.

Literatura

- [1]G. M. Tretiakow: *Amunicja artyleryjska*, Wydawnictwo MON, W-wa, 1954.
- [2] M. Wasiliew, *Teoria projektowania zapalników*, Wydawnictwo MON, W-wa, 1955.
- [3] Dokumentacja techniczna wyrobów: MZR-60, MZR-96, AZR-96, CEZAR-100M.
- [4] Cunningham W.I. *Analiza układów nieliniowych*. WNT, Warszawa, 1962.
- [5] Nowak R. Zagadnienia niestabilności częstotliwości w świetle zjawisk fluktuacyjnych. *Rozprawy Elektrot. T.X.Z.3.1964*, s. 453.
- [6] Karty katalogowe oscylatorów MEMS wydane przez *ABRACON CORPORATION*,
- [7] Karty katalogowe oscylatorów MEMS wydane przez *SiTime*,
- [8] Karty katalogowe oscylatorów MEMS wydane przez *VECTRON INTERNATIONAL*,
- [9] Karty katalogowe oscylatorów MEMS wydane przez *STATEK*