



## Moduły czasowe o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej i precyzji działania\*

Rafał BAZELA, Lech CYKIER

*Zakład Uzbrojenia Artyleryjskiego, Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia  
ul. Prymasa S. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono informacje dotyczące wyników prac podjętych w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia (WITU) w celu podniesienia wytrzymałości mechanicznej i precyzji działania zapalników artyleryjskich z elektronicznymi modułami czasowymi. Zastosowanie oscylatorów MEMS, zapewniających odporność na udary o wartości większej niż powstające podczas wystrzału, pozwoliło na wykonanie w WITU i poddanie badaniom partii zapalników o podwyższonej wytrzymałości i zwiększonej dokładności odmierzania czasu

**Słowa kluczowe:** elektronika, amunicja, zapalnik artyleryjski, badania

### 1. WSTĘP

Współczesne zapalniki czasowe konstruowane są głównie w oparciu o elektroniczne moduły czasowe, których podstawowym elementem jest odpowiednio oprogramowany mikroprocesor. Precyzja działania takich zapalników uwarunkowana jest dokładnością zegara systemowego, czyli dokładnością i stabilnością pracy generatora drgań elektrycznych.

Pracownia Elektronicznych Systemów Uzbrojenia Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia podjęła prace nad opracowaniem takich modułów, które spełniają wymagania podwyższonej precyzji działania przy jednoczesnym zapewnieniu większej wytrzymałości i odporności niż stosowane obecnie.

\* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 6-8 października 2010 r.

Kluczowym elementem dla dokładności i stabilności zegara systemowego modułów czasowych jest rezonator. Znane rodzaje oscylatorów charakteryzują się niską odpornością i wytrzymałością mechaniczną, co dyskwalifikuje je jako elementy wchodzące w skład zapalników artyleryjskich. Pojawienie się na rynku oscylatorów typu MEMS radykalnie zmieniło sytuację.

Oscylatory MEMS, przy stabilności generowanych częstotliwości z zakresu 50÷100 ppm zapewniają odporność na udary o wartości większej niż powstające podczas wystrzału jakiegokolwiek środka ogniowego artylerii. Producenci oferują oscylatory MEMS o wytrzymałości na przeciążenia przekraczające 30 000 g.

Zastosowanie tych oscylatorów pozwoliło na wykonanie w WITU i poddanie badaniom partii zapalników o podwyższonej wytrzymałości i zwiększonej dokładności odmierzania czasu.

## 2. ANALIZA MOŻLIWOŚCI TECHNICZNYCH

Przeprowadzono obliczenia odporności na przeciążenia występujące podczas wystrzałów dla elementów takich jak rezystory, kondensatory, elementy półprzewodnikowe oraz rezonatory. Na podstawie wyników obliczeń wytypowane zostały elementy preferowane do zastosowania w zapalnikach. Szczególną uwagę zwrócono na oscylatory MEMS.

Selekcja oscylatorów MEMS prowadzona była wielopoziomowo. Wstępnie wytypowano takie, dla których producent gwarantuje odpowiednią wytrzymałość na udary mechaniczne. Następnie rozpatrywano parametry zasilania, w tym zapotrzebowanie energetyczne. Kolejnym kryterium były gabaryty zewnętrzne oscylatorów. W wyniku tak przeprowadzonej weryfikacji wybrany został oscylator typu ASFLM 1-1,8432 MHz-L-C-T.

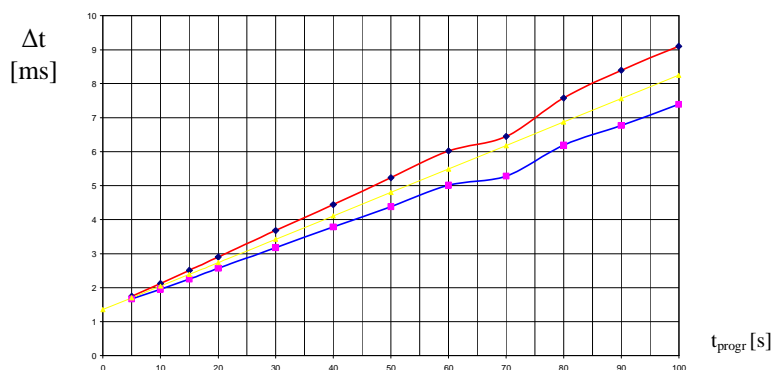
Oscylator ten charakteryzuje się parametrami:

- wymiary (długość, szerokość, wysokość)  $5 \times 3,2 \times 0,85$  mm
- zasilanie  $3,3 \pm 0,3$  V
- dokładność generowanej częstotliwości  $\pm 50$  ppm
- temperatura pracy  $-40 \div +85^\circ\text{C}$
- stabilność generowanej częstotliwości  $\pm 5$  ppm/rok
- wytrzymałość na przeciążenia do 30 000 g.

Przydatność pozostałych elementów elektronicznych sprawdzona została zarówno poprzez obliczenia teoretyczne, jak i w praktyce, w wyniku badań dotychczas stosowanych zapalników, takich jak MZR-60, MZR-96M czy AZR-96M. Jednak zachowanie się elementów przy podwyższonych wymaganiach wytrzymałościowych wymagało weryfikacji. W tym celu konieczne było przeprowadzenie serii badań dotyczących podzespołów nowej konstrukcji.

### 3. PRECYZJA DZIAŁANIA MODUŁÓW ELEKTRONICZNYCH

Badaniom poddano partię modułów nowej konstrukcji. Pierwsze badanie miało na celu określenie rozrzutu parametrów czasowych poszczególnych egzemplarzy oscylatorów. W tym celu wszystkie moduły przebadano w temperaturze 20°C, określając odchyłki czasu zmierzonego w stosunku do zaprogramowanego. Wykonano 4995 pomiarów każdego z 50 modułów, programując czasy w zakresie od 0,1 do 99,98 s. Następnie wyliczone zostały wartości minimalne i maksymalne odchyłek od zaprogramowanego czasu. Otrzymane wyniki ilustruje wykres (rys. 1).

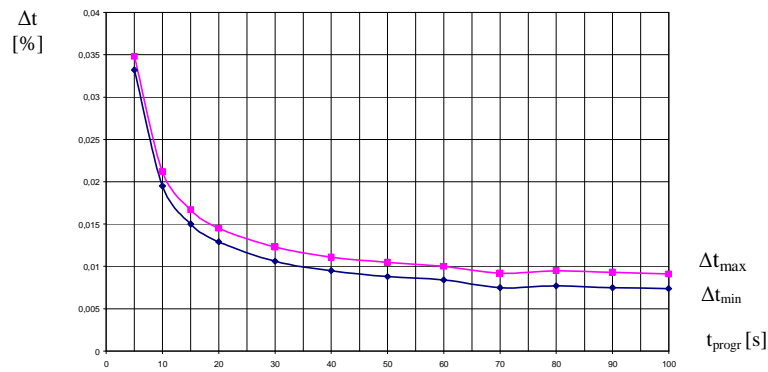


Rys. 1. Wykres zależności odchyłki czasu zmierzonego od zaprogramowanego

Fig. 1. Dependence of measured time deviation on programmed time

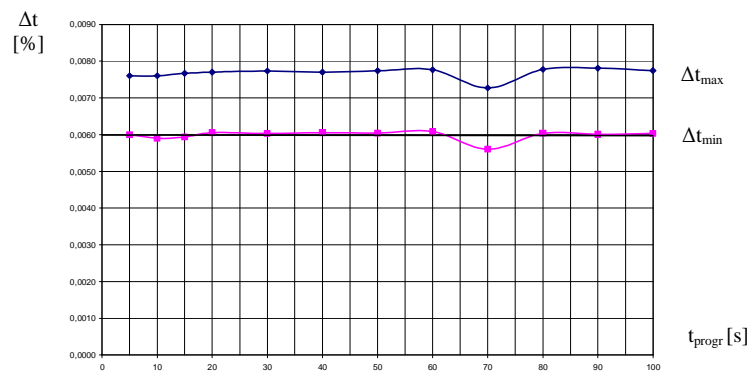
Z wykresu wynika, że wartość różnicy między czasem zaprogramowanym a zmierzonym rośnie liniowo wraz ze wzrostem czasu programowanego. Dla wartości maksymalnej czasu odchyłki nie przekraczają wartości 100 ms, a rozrzut pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami modułów nie przekracza wartości 2 ms. W celu lepszego zobrazowania tych odchyłek na rys. 2 przedstawiony został wykres, w którym odchyłki przedstawiono w procentach czasu zaprogramowanego.

Na wykresie wyraźnie widać wzrost odchyłki przy małych czasach programowania. Jest to wynikiem błędu systematycznego. Na podstawie wykresu z rys. 1 oszacowany on został na 1,36 ms. Błąd ten został matematycznie uwzględniony w otrzymanych wynikach pomiarów, co pozwoliło na wytworzenie wykresu skorygowanego, przedstawionego na rys. 3.



Rys. 2. Wykres zależności odchyłki czasu zmierzonego od zaprogramowanego

Fig. 2. Percentage dependence of measured time deviation on programmed time



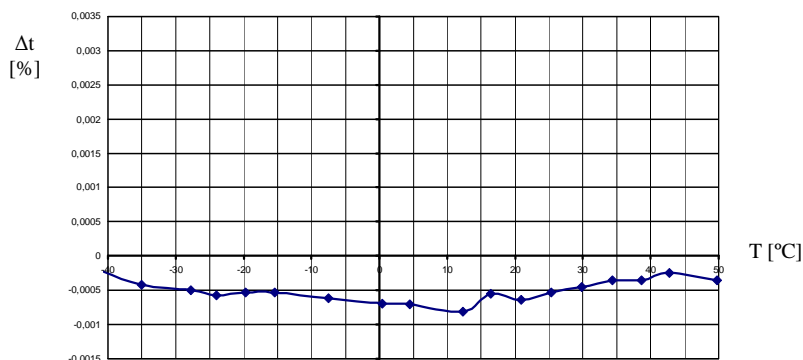
Rys. 3. Wykres zależności odchyłki czasu zmierzonego od zaprogramowanego (po korekcie błędu systematycznego)

Fig. 3. Dependence of measured time deviation on programmed time (after correction of systematic error)

Po wprowadzeniu korekty błędu systematycznego procentowa jego wartość jest praktycznie stała w funkcji czasu pracy i wynosi mniej niż 0,008%. Jest to wyraźny postęp w stosunku do układów czasowych stosowanych w obecnie produkowanych elektronicznych zapalnikach czasowych.

Błędy uzyskane przy pomiarach w temperaturze pokojowej nie odzwierciedlają w pełni sytuacji, w jakiej powinny pracować podzespoły. Dlatego podobne badania zostały wykonane dla pełnego zakresu wymaganych temperatur pracy. Pomiarom poddano także całą partię wykonanych modułów czasowych, przy czym badania wykonywane były dla czasu programowanego, wynoszącego od 3,62 do 4,08 s.

Po matematycznym skorygowaniu błędu systematycznego wykres błędów zmierzonego czasu w funkcji temperatury przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Wykres zależności błędu pomiaru czasu od temperatury (po korekcie błędu systematycznego)

Fig. 4. Temperature error of measured time (after correction of systematic error)

Z wykresu wynika, że błąd pomiaru czasu w funkcji temperatury jest praktycznie stały i nie przekracza wartości 0,001%. Można więc uznać, że badane moduły są niewrażliwe na zmiany temperatury.

#### 4. ODPORNOŚĆ I WYTRZYMAŁOŚĆ MODUŁÓW CZASOWYCH NA NARAŻENIA MECHANICZNE

Przed rozpoczęciem badań odporności i wytrzymałości modułów czasowych na narażenia mechaniczne należało uwiarygodnić urządzenie pomiarowe. W tym celu przeprowadzone zostało skalowanie młota Masseta w warunkach odpowiadających planowanym pomiarom. Skalowanie zostało przeprowadzone za pomocą czujników piezoelektrycznych mierzących przyspieszenie przy danej masie, uwzględniającej zarówno sam młot, jak i obiekt badań umocowany w uchwycie. Wyniki skalowania w interesującym nas zakresie zawiera tab. 1.

TABELA 1. Wyniki skalowania młota Masseta

TABLE 1. Results of Masset's hammer scaling

Nr zęba	18	19	20	21	22	23	24	25
$a_s$ [g]	23384	25763	28095	30402	32702	35009	37337	39696

Z tabeli wynika, że przeciążenie powstałe w wyniku spadku młota Masseta z 21 zęba wynosi około 30 000 g. Jest to wartość, przy której gwarantowana jest przez producenta poprawna praca oscylatorów MEMS. Spadek młota z 25 zęba powoduje przeciążenie wynoszące prawie 40 000 g. Daje to możliwość sprawdzenia odporności i wytrzymałości zapalników przy przeciążeniach występujących podczas wystrzału ze wszystkich znanych artyleryjskich środków ogniowych.

Badaniom poddane zostały moduły czasowe w czepcach, zalane masą zalewową i umieszczone w odpowiednich uchwytych. Wskaźnikiem pozytywnego wyniku badania był prawidłowy pomiar zaprogramowanego czasu. Wraz z nowymi modułami badaniom poddano moduł wzorcowy, wykonany według dotychczas stosowanej technologii.

Badania rozpoczęto od spadku z 21 zęba. Pozytywny wynik osiągnięty przez moduł badany pozwolił na zwiększenie narażeń dla pozostałych badanych modułów. W efekcie pozostałe moduły wytrzymały przeciążenia powstałe przy spadku młota z 25 zęba. Wyniki badań podano w tabeli 2.

TABELA 2. Sprawdzenie poprawności działania po danym narażeniu

TABLE 2. Checking of operation correctness after specific hazard

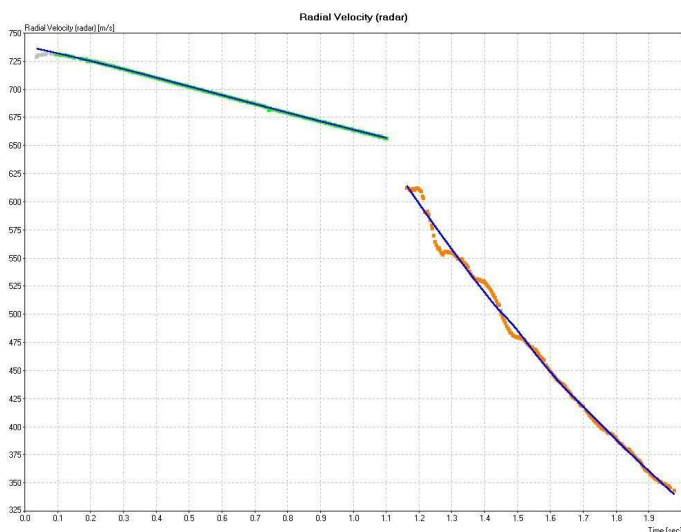
Nr modułu	Numer zęba młota Masseta	Czas zaprogramowany [s]	Czas zmierzony [s]
1	21	10	10,00
2	25	10	9,97
3	25	10	10,00
4	25	10	10,00
5	25	6	6,03
6	25	6	6,00
7	25	1	1,00
8	25	0,2	0,22
9	25	0,5	0,50
10	25	1,5	1,50
11	25	2	2,00
12	25 25	3 3	3,00 3,00
13	25	4	4,00

Pozytywne wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na ostateczny sprawdzian zapalników podczas badań poligonowych przeprowadzonych w Stalowej Woli. W tym celu zestawiono kompletne zapalniki, wykorzystując do ich wykonania korpusy i zespoły zabezpieczająco-uzbrajających z zapalników AZR-96M.

Do strzelań użyto 125 mm armaty czołgowej i naboji z pociskami OF-19 elaborowanymi obojętnie, z 200-gramową podsypką z prochu czarnego. Oddano 3 strzały z ładunkiem Ż40, pomniejszonym o 1 kg prochu 12/7 i 3 strzały z ładunkiem Ż40.

Ze względu na narzucone warunki strzelania pierwszy strzał dał wynik negatywny, ponieważ zaprogramowano zapalnik na zbyt duży czas zadziałania. W efekcie rozcalenie nastąpiło po upadku pocisku na ziemię. Przy pozostałych wystrzałach czas zaprogramowany znacznie skrócono. Czasy rozcalenia mierzono za pomocą radaru Dopplera.

Przykładowy wykres lotu pocisku przedstawia rys. 5. Zmierzone czasy odbiegały od zaprogramowanych, jednak błąd czasowy był w przybliżeniu taki sam dla wszystkich wystrzałów. Pozwala to sądzić, że za powstały błąd odpowiada bezwładność układu zabezpieczająco-uzbrajającego, który podaje sygnał startu na układ czasowy. Dlatego wyniki strzelania dla modułu czasowego należy uznać za pozytywne. Wyniki pomiarów przedstawia tabela 3.



Rys. 5. Radarowe zobrazowanie lotu pocisku (przykład)

Fig. 5. Radar display of projectile flight (an example)

TABELA 3. Wyniki badania strzelaniem dla modułu czasowego

TABLE 3. Results of ballistic tests for electronic time module

Nr strzału	Nr zapalnika	Czas program. [s]	Ładunek	Czas odmierzony [s]	$\Delta t$ [ms]	Uwagi
1	46	1,00	Ż40-1 kg 12/7	0,75	- 250	pocisk uderzył w ziemię
2	13	0,50	Ż40-1 kg 12/7	1,10	600	zadziałanie prawidłowe
3	12	0,30	Ż40-1 kg 12/7	1,00	700	zadziałanie prawidłowe
4	21	0,10	Ż40	(0,66)	560	zadziałanie prawidłowe
5	48	0,10	Ż40	(0,65)	550	zadziałanie prawidłowe
6	41	0,10	Ż40	(0,66)	560	zadziałanie prawidłowe

## 5. WNIOSKI

Stosowane dotychczas zapalniki czasowe dostosowane były do konkretnego rodzaju naboju. Zapalniki typu MZR-96M i MZR-98 przystosowane były do amunicji moździerzowej, natomiast zapalnik AZR-96M do amunicji haubicznej. Wymogi dotyczące odporności i wytrzymałości mechanicznej były dostosowane do przyspieszeń występujących podczas wystrzałów z tych rodzajów sprzętu artyleryjskiego. Przy zapalnikach AZR-96M badania prowadzone były dla uderzeń o przeciążeniach nie przekraczających 25 000 g. Rozszerzenie asortymentu sprzętu artyleryjskiego wykorzystującego zapalniki z elektronicznym modułem czasowym zarówno zwiększyło wymagania odnośnie do precyzji działania, jak i poszerzyło zakres przyspieszeń, jakim poddawane będą podczas wystrzału.

Zastosowanie oscylatorów MEMS w modułach czasowych zapalników dało oczekiwany efekt. Układy czasowe praktycznie uniezależniły się od wpływu zmian temperatury otoczenia, a ich dokładność pomiaru czasu wzrosła o rząd wielkości bez stosowania dodatkowych zabiegów stabilizacyjnych. Pozwala to na uproszczenie procesu technologicznego podczas seryjnej produkcji modułów. Istnieje jeszcze możliwość dalszego podniesienia precyzji działania, jednak wymaga to dodatkowych nakładów pracy związanych z selekcjonowaniem i dostrajaniem zegarów systemowych, zainstalowanych w modułach. Na tym etapie prac trudno jest oszacować celowość takiego podejścia.



Z przeprowadzonych badań poligonowych wynika natomiast problem z zespołem zabezpieczająco-uzbrajającym. Konstrukcja tego zespołu stosowana w zapalnikach AZR-96M nie spełnia podwyższonych wymogów wytrzymałościowych. Jej bezwładność niweczy całkowicie uzyskane efekty, zarówno pod względem dokładności działania, jak i możliwości stosowania w warunkach większych przeciążeń. Układ zdawał egzamin w zapalnikach AZR-96M, przeznaczonych do amunicji haubicznej. Przewiduje się, że w przypadku amunicji czołgowej i haubicznej większych kalibrów nie spełni swoich zadań. Dlatego uważa się za niezbędne prowadzenie prac nad mechanizmem zabezpieczająco-uzbrajającym nowej generacji, będącym zespołem uniwersalnym i odpowiadającym warunkom narzuconym przez moduł czasowy.

*Praca została wykonana w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr OR00004804 pt. „Czasowy zapalnik artyleryjski o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej i precyzji działania” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

## **Electronic Time Modules of the Enhanced Mechanical Resistance and the Precision of Action**

Rafał BAZELA, Lech CYKIER

**Abstract.** In the Military Institute of Armament Technology in Zielonka, Poland, the works on the improvement of the mechanical resistance and the precision of action of the artillery fuses with electronic time modules were taken up. In the paper the information about the results of these works was presented.

**Keywords:** electronics, ammunition, artillery fuse, tests