

EWOLUCJA ZAPALNIKÓW CZASOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono rozwój zapalników czasowych w kontekście zmieniającego się pola walki, rozwoju technicznego i technologicznego broni na przestrzeni lat. Pokazany został postęp w technologii pomiaru czasu przez układy odporne na siły występujące podczas strzału.

Słowa kluczowe: rezonatory, kondensatory, stabilność, programowanie.

EVOLUTION OF TIME FUSES

Abstract: In the paper the evolution of time fuses against the background of changing battlefield, technical and technological advancements in armament over a span of years was presented. The development in the technology of time measurement with the use of the systems resistant to the forces occurring during firing was also shown.

Keywords: resonators, capacitors, stability, programming

1. Wstęp

Pierwszymi zapalnikami czasowymi były zapalniki pirotechniczne. Opóźnienie zadziałania uzyskiwano poprzez regulację długości spalającej się ścieżki ze sprasowanego prochu czarnego. Sprasowany pod odpowiednim ciśnieniem proch czarny miał tą właściwość, że spalał się równomiernie, warstwami, co pozwalało na oszacowanie czasu palenia się ścieżki o odpowiedniej długości.

Konieczność zwalczania przez artylerię samolotów spowodowała zapotrzebowanie na zapalniki czasowe o większej precyzji odmierzenia czasu. Powstały mechaniczne zapalniki czasowe, oparte o działanie zegara mechanicznego oraz elektryczne wykorzystujące zależność $U(t)$ podczas ładowania się kondensatora przy znanej stałej czasu RC (rezystancja i pojemność kondensatora).

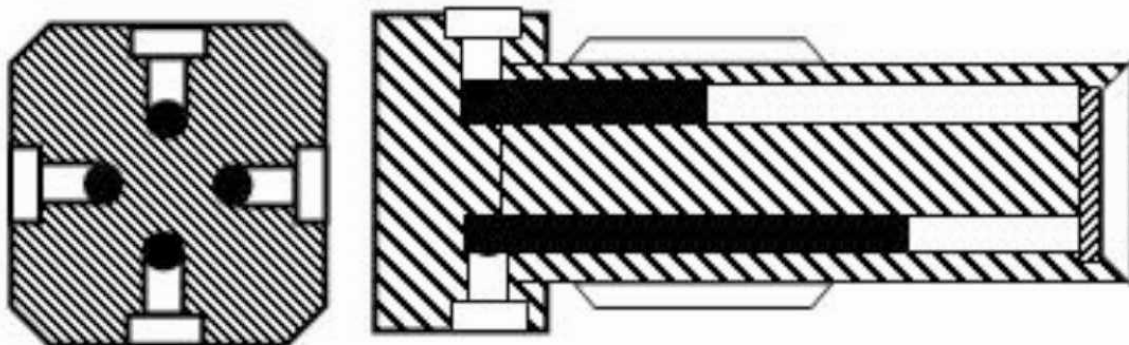
Wraz z powstaniem i rozwojem elektroniki zwiększyły się możliwości osiągnięcia znacznie większej dokładności odmierzenia czasu przez zapalnik.

2. Rozwój zapalników czasowych

Rozwój zapalników czasowych jest procesem determinowanym stanem techniki i technologii. Zapalniki czasowe ze względu na budowę układu mierzącego czas zmieniały się od zapalników pirotechnicznych przez mechaniczne, elektryczne aż do współczesnych elektronicznych.

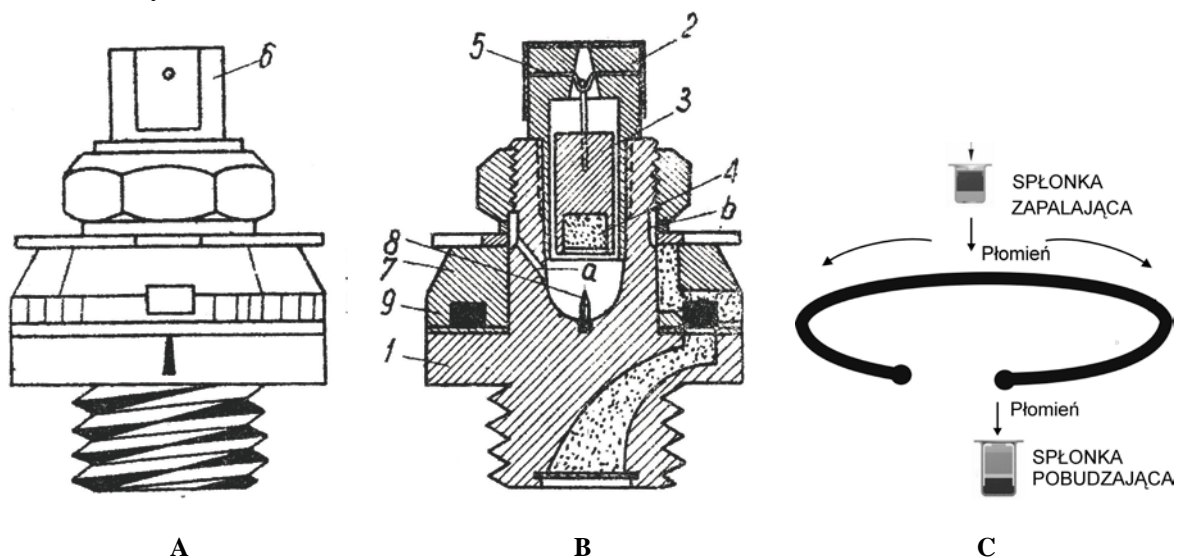
2.1. Zapalniki czasowe pirotechniczne

Czasowy zapalnik pirotechniczny miał konstrukcję niezwykle prostą. Był to trzpień o odpowiedniej średnicy, zawierający kilka otworów, w których znajdowały się słupki sprasowanego prochu czarnego o różnej wysokości. Otwory ze słupkami zamykane były zatyczkami. Nastawa czasu działania zapalnika polegała na usunięciu zatyczki przy jednym ze słupków. Wówczas podczas wystrzału od gazów ładunku miotającego zapalał się wybrany słupek i po wypaleniu się przekazywał płomień do ładunku prochu w pocisku. Zapalnik taki posiadał tylko kilka nastaw. Zasadę budowy takiego zapalnika przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Zapalnik czasowy pirotechniczny z elementami w postaci słupków wg [1]

Niedogodności związane z ograniczoną ilością nastaw czasów rozwiązano poprzez zamianę słupków prochowych na zaprasowane ścieżki w pierścieniu nastawczym. Pozwoliło to na dowolne nastawy w przewidzianym zakresie czasów zadziałania. Jednak podobnie jak w przypadku zapalników słupkowych maksymalne opóźnienie było stosunkowo małe. Przekrój i schemat działania zapalnika z pierścieniem nastawczym z maksymalnym opóźnieniem 7,5 s przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Zapalnik czasowy pirotechniczny 7 ½ sekundowy z pierścieniem nastawczym wg [1]

A – widok zapalnika; B – przekrój zapalnika; C – schemat działania.

1 kadłub; 2 wkrętka bojowa; 3 bezwładnik; 4 sponka zapalająca; 5 zawlecza;
6 wkrętka „ślepa”; 7 pierścień nastawczy; 8 iglica; 9 ścieżka prochowa.

Tak małe opóźnienia nie pozwalały na wykorzystanie rosnącego zasięgu pocisków artyleryjskich. Próbowano temu zaradzić przez zwiększanie do dwóch czy nawet trzech pierścieni ze ścieżkami prochowymi. Jednocześnie wprowadzono skalę nastawczą na obudowie zapalników. Pozwalało to na wybór opóźnienia zapalnika.

Dzięki zwiększeniu ilości pierścieni ze ścieżkami prochowymi oraz doskonaleniu materiałów pirotechnicznych na ścieżki zaprasowywane w pierścieniach znacznie zwiększono możliwe do osiągnięcia opóźnienie zapalnika, nawet do 45 s. Jednak pozostał problem dokładności i powtarzalności odmierzenia czasu.

Dla zapalników czasowych z początku XX wieku, według warunków technicznych, średnie uchylenie czasu odmierzanego powinno być nie większe niż 1,5%. Taki uchylenie przy prędkości pocisku 500 m/s i nastawie czasu opóźnienia 20 s powoduje rozrzut działania pocisków ± 150 m.

2.2. Zapalniki czasowe mechaniczne

Zwiększenie wymagań co do dokładności i powtarzalności odmierzenia czasu spowodowało powstanie nowych konstrukcji zapalników czasowych, w których wykorzystywano zespoły mechaniczne.

Zapalniki czasowe mechaniczne wyposażone są w dwa podstawowe zespoły: regulujący czas działania i napędzający.

Zespół regulujący czas działania we wszystkich typach zapalników czasowych mechanicznych jest podobny, wykorzystujący zasadę działania wahadła (lub balansu), gdzie czas wychylenia się o określony kąt zależy od momentu obrotowego i dla danego momentu jest wartością stałą. Wychylenia tego balansu poprzez koło wychwytowe regulują prędkość obracania się osi głównej mechanizmu. Obrót mechanizmu o kąt nastawiony podczas wprowadzania nastawy czasowej determinuje opóźnienie zadziałania zapalnika.

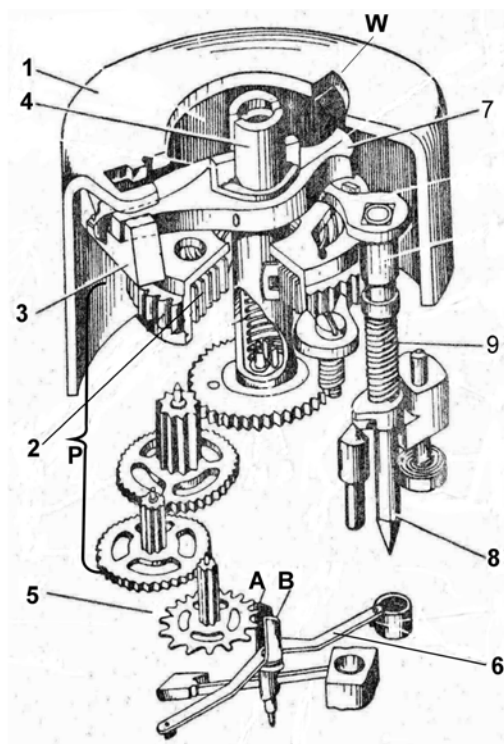
W zespołach napędzających wykorzystuje się siły odśrodkowe działające w wirującym na torze lotu pocisku lub sprężyny. Przy czym sprężyny te mogą być napinane w chwili strzału, podczas wprowadzania nastaw czasowych lub być stale napięte. Mechanizm zapalnika czasowego ze stale napiętą sprężyną przedstawia rysunek 3.

Nastawę zapalnika na żądany czas działania uzyskuje się przez obrócenie główki zapalnika wraz z pokrywą nastawczą 1.

W chwili wystrzału dźwignia spustowa 3 przemieszcza się do dołu i zwalnia oś główną mechanizmu zegarowego. Jednocześnie za pomocą bezwładników następuje zablokowanie pokrywy nastawczej, uniemożliwiając jej niekontrolowany obrót.

Po wylocie pocisku z lufy ustają siły bezwładności i oś główna 4 napędzana napiętą sprężyną napędową 2 zaczyna się obracać. Jednostajny obrót osi zapewnia regulator 6. Współpracuje on z kołem wychwytowym za pomocą zaczepów A i B, powodując za każdym wahnięciem obrót tego koła o kąt określony ilością zębów na obwodzie. Obrót koła wychwytowego poprzez zespół kółek zębatych przekładni P steruje obrotem osi głównej.

Obrót osi głównej o kąt nastawiony w czasie wprowadzania nastawy czasowej powoduje, że kotwica 7 pod działaniem swojej sprężyny zostaje wtłoczona w wycięcie pokrywy nastawczej i umożliwia ruch iglicy w kierunku spłonki. Sprężyna iglicy 9 powoduje ruch iglicy 8 i nakłucie spłonki. Następuje zadziałanie zapalnika.



**Rys. 3. Zapalnik czasowy mechaniczny z napędem sprężynowym ze sprężyną stale napiętą wg [2]
 1 pokrywa nastawcza; 2 sprężyna napędowa; 3 dźwignia spustowa;
 4 oś główna mechanizmu zegarowego; 5 kółko wychwytowe; 6 regulator (wahacz);
 7 kotwica; 8 iglica; 9 sprężyna iglicy; A, B - zaczepy wahacza; P. - przekładnia zębata;
 W - wycięcie łączące kotwicę z pokrywą nastawczą.**

Wprowadzanie nastaw i działanie mechanizmów regulujących we wszystkich rodzajach zapalników czasowych mechanicznych jest zbliżone.

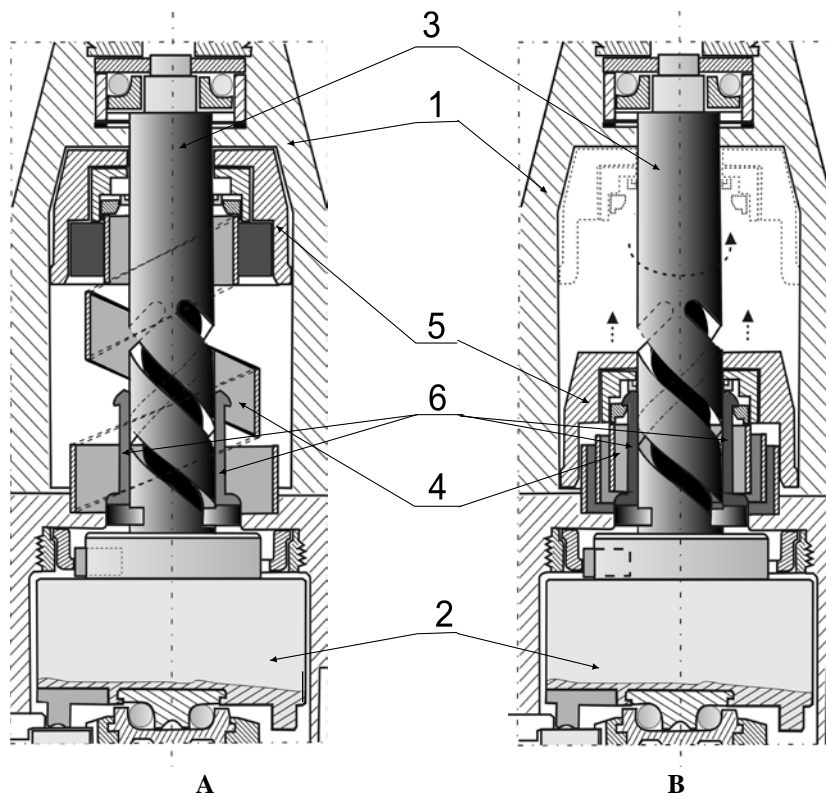
Na rysunku 4 przedstawiony jest zapalnik z mechanizmem zegarowym napędzanym sprężyną, która napinana jest w chwili wystrzału.

Nastawę czasu wprowadza się poprzez obrót główki zapalnika. Przy tym obraca się także cały mechanizm zapalnika o kąt odpowiadający żądanej nastawie czasowej.

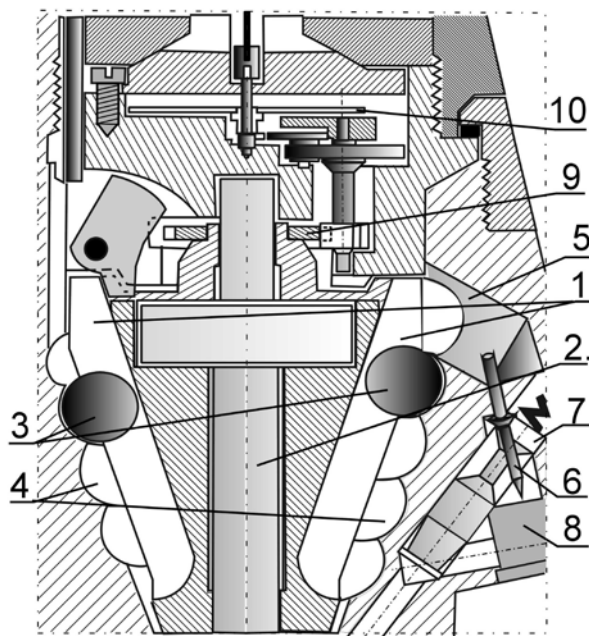
W chwili wystrzału bezwładnik 5 osiada, ściskając (napinając) sprężynę napędową 4. Jednocześnie bezwładnik łączy się z wodzikami 6 poprzez ich zaczepy. Wodziki te są prowadzone w rowku śrubowym osi głównej 3.

Po wylocie pocisku z lufy napięta sprężyna unosi bezwładnik, który przez występy wodzików obraca oś główną mechanizmu. Szybkość obrotu osi głównej sterowana jest mechanizmem zegarowym 2, w podobny sposób jak w zapalniku ze sprężyną napędową stale napiętą, opisanym powyżej.

Po obróceniu mechanizmu o nastawiony kąt (odpowiadający nastawie czasowej) następuje odblokowanie mechanizmu uderzeniowego iglicy i zadziałanie zapalnika.



Rys. 4. Zapalnik czasowy mechaniczny z napędem sprężynowym ze sprężyną napinaną podczas wystrzału wg [2]
A – zapalnik przed wystrzałem; B – zapalnik po wylocie pocisku z lufy
1 korpus; 2 mechanizm zegarowy; 3 oś główna (napędowa); 4 sprężyna napędowa;
5 bezwładnik; 6 wodziki z zaczepami.



Rys. 5. Zapalnik czasowy mechaniczny z napędem wykorzystującym siłę odśrodkową wg [2]
1 obsada kulek; 2 oś obsady kulek; 3 kulki; 4 rowek śrubowy; 5 gniazdo iglicy; 6 iglica;
7 bezwładnik odśrodkowy; 8 splonka; 9 koło zębate napędowe przekładni; 10 regulator.

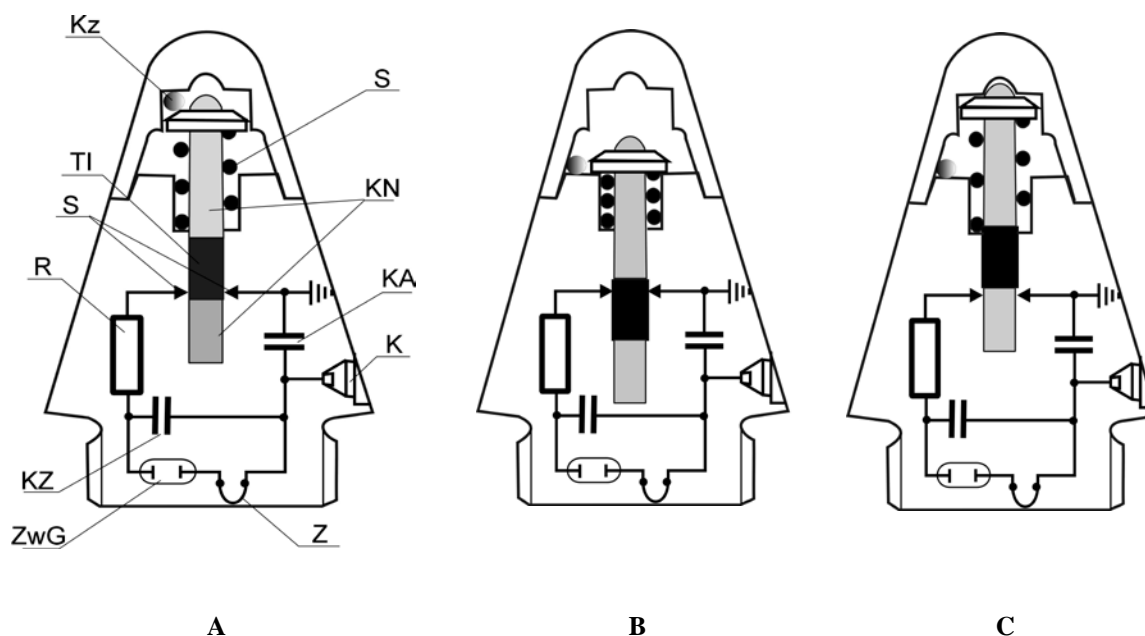
Mechaniczny zapalnik czasowy z napędem wykorzystującym siłę odśrodkową przedstawia rysunek 5.

Po wylocie pocisku z lufy kulki przesuwają się w rowku śrubowym aż do chwili, gdy jedna z nich wpadnie do gniazda 5. W gnieździe tym znajduje się iglica 6 zabezpieczona bezwładnikiem odśrodkowym 7. Po wystrzale bezwładnik ten odbezpiecza iglicę i wpadająca kulka powodując nakłucie przez iglicę 6 spłonki zapalającej 8, a tym samym zadziałanie zapalnika.

Mimo różnic w konstrukcji zespołów napędzających we wszystkich zapalnikach czasowych mechanicznych do odmierzenia czasu wykorzystywano mechanizm zegarowy. Dokładność odmierzenia czasu zależała głównie od precyzji wykonania tego mechanizmu. O dokładności działania oraz rozdzielczości nastaw decydowała także precyzja wykonania mechanizmów nastawczych.

2.3. Zapalniki czasowe elektryczne

Zapalniki czasowe elektryczne są najprostsze konstrukcyjnie i jednocześnie najbardziej ekonomiczne. Konstrukcje zapalnika czasowego elektrycznego kondensatorowego obrazuje rysunek 6.



Rys. 6. Zapalnik elektryczny kondensatorowy wg [4]

A – przed wystrzałem; B – w czasie wystrzału; C – po wylocie pocisku z lufy.

KN kontakt nurnikowy; Kz kulka zabezpieczająca; S sprężyna kontaktu nurnikowego; TI tulejka izolująca; K kontakt programowania; KA kondensator akumulujący; S styki; R rezystor obwodu czasowego; KZ kondensator zapłonowy; ZwG zwieracz gazowany; Z zapłonnik elektryczny.

Opóźnienie czasowe takiego zapalnika oparte jest o stałą czasu „RC”, którą stanowi rezystor R w połączeniu z pojemnością kondensatora zapłonowego KZ. Rolą drugiego z kondensatorów KA jest magazynowanie energii dostarczonej podczas wprowadzania nastaw czasowych.

Wprowadzanie nastaw czasowych polega na naładowaniu kondensatora KA do odpowiadającej nastawie wartości napięcia. Po wylocie pocisku z lufy kondensator ten jest dołączany poprzez styki S na kontakcie nurnikowym KN z kondensatorem zapłonowym KZ. Kondensator ten ładowany jest w obwodzie o ustalonej stałej czasowej „RC” aż do chwili gdy

napięcie na nim osiągnie wartość zapłonu zwieracza gazowego ZwG. Wówczas kondensator zapłonowy rozładuje się poprzez zwieracz i zapłonnik elektryczny. Przepływ prądu przez zapłonnik powoduje jego zadziałanie i wybuch pocisku.

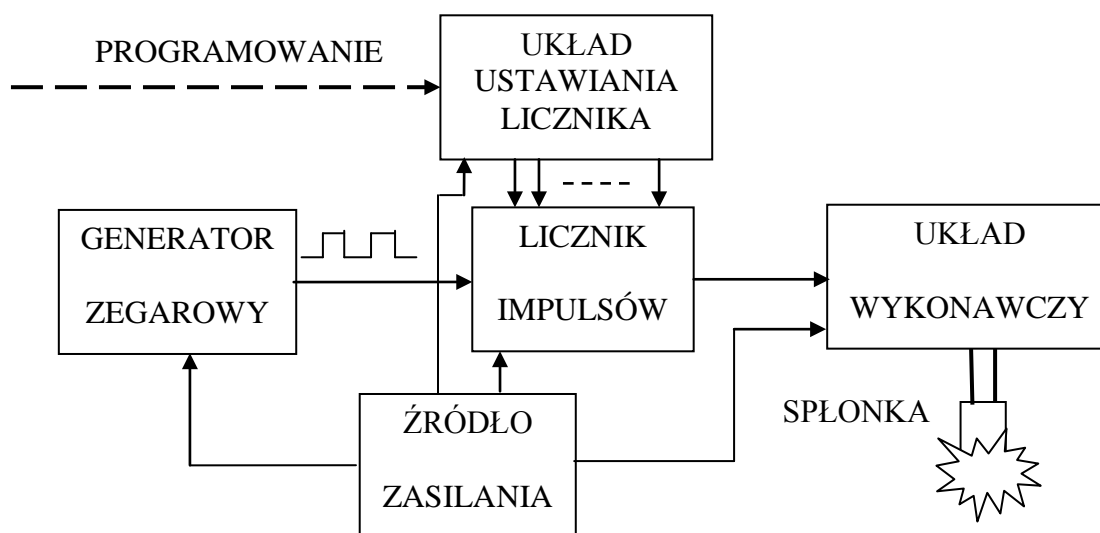
Z przedstawionej zasady działania wynika, że układ ten nie jest dokładny, gdyż odmierzony czas zależy od:

- dokładności napięcia programującego;
- upływności kondensatora akumulującego KA;
- stabilności rezystancji R i pojemności kondensatora zapłonowego KZ (czyli stałej czasowej RC);
- stabilności wartości napięcia zapłonu zwieracza gazowego ZwG.

2.4. Zapalniki czasowe elektroniczne

Działanie elektronicznych układów czasowych do zapalników zdecydowanie różni się od przedstawionych wyżej układów elektrycznych. Przede wszystkim pomiar czasu zamiast w systemie analogowym dokonuje się w systemie cyfrowym. Polega to na wytworzeniu stabilnego w czasie ciągu impulsów elektrycznych i ich zliczanie. O stabilności pracy decyduje generator przebiegów prostokątnych, a okres jego pracy wpływa na rozdzielczość nastaw czasowych. Pozostałe elementy mają pomijalny wpływ na stabilność odmierzenia czasu.

Schemat blokowy elektronicznego układu czasowego przedstawia rysunek 7.



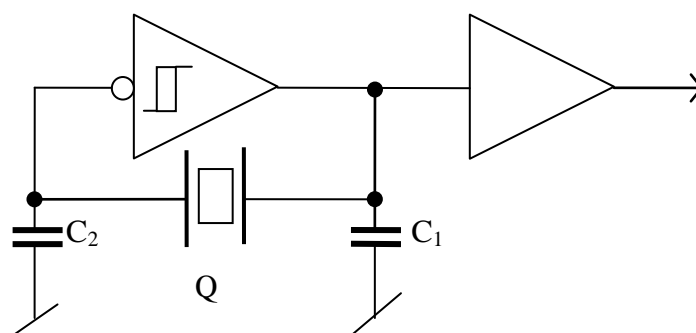
**Rys. 7. Schemat blokowy elektronicznego układu czasowego.
(opracowanie własne).**

Wprowadzanie nastawy czasowej w zapalnikach czasowych elektronicznych polega na wstępnym ustawieniu licznika impulsów. Podczas wystrzału następuje uruchomienie generatora zegarowego. Impulsy z generatora są zliczane do chwili osiągnięcia ilości ustawionej w trakcie wprowadzania nastawy (programowania). Wówczas następuje podanie impulsu na element wykonawczy pirotechniczny zapalnika.

Istotnym problemem jest stabilność odmierzenia czasu oraz zbudowanie generatora zegarowego odpornego na oddziaływania mechaniczne powstające podczas wystrzału. Dlatego pierwsze zapalniki czasowe elektroniczne o odpowiedniej stabilności zbudowano dla pocisków artylerii raketowej. Wielkości przyspieszeń występujących podczas startu pocisku raketowego pozwalała na zastosowanie w generatorze zegarowym rezonatorów kwarcowych.

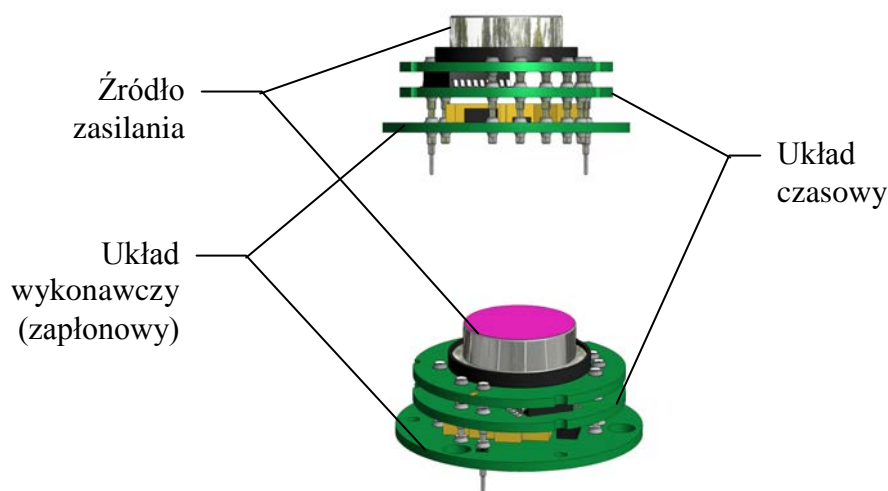
Pozwalały one na uzyskanie dokładności odmierzenia czasu rzędu 0,005%. Jednak ich wytrzymałość i odporność na wymuszenia mechaniczne występujące podczas wystrzału ze środków ogniowych artylerii lufowej były niewystarczające.

Początkowo zastępowano generator kwarcowy układem generatora RC, którego stabilność krótkoterminowa była wystarczająca do spełnienia wymagań stawianych przed zapalnikami czasowymi. Dokładność wykonania elementów, a więc i częstotliwość podstawową kompensowano za pomocą porównania z częstotliwością wzorca w programatorze i wprowadzeniu poprawki. Zasadniczym przełomem stało się opracowanie oscylatorów i generatorów MEMS. Generatory takie, przy stabilności porównywalnej z generatorami kwarcowymi (50 ppm czyli 0,005% w całym zakresie temperatur pracy) odporne są na przyspieszenia rzędu 30 000g. Schemat ideowy generatora MEMS jest identyczny jak generatora kwarcowego. Schemat ten przedstawia rysunek 8.



**Rys. 8. Schemat generatora z rezonatorem mechanicznym (kwarcowym lub MEMS).
(opracowanie własne).**

Miniaturyzacja podzespołów elektronicznych oraz coraz większa skala integracji pozwoliły na miniaturyzację układów czasowych. Układ czasowy zapalnika to pojedynczy mikroprocesor sterowany stabilnym zegarem. Elementy dodatkowe związane są wyłącznie z układem programowania i wykonawczym zapalnika. Nowoczesny, o wysokiej stabilności, układ czasowy przedstawiony jest na rysunku 9.



**Rys. 9. Elektroniczny układ czasowy do zapalnika artyleryjskiego.
(opracowanie własne).**

3. Wnioski końcowe

Przedstawiona w artykule ewolucja zapalników czasowych dobitnie obrazuje postęp techniczno-technologiczny, jaki dokonał się w dziedzinie amunicji artyleryjskiej. Obrazuje też tendencje w rozwoju amunicji artyleryjskiej, dążące do coraz większej precyzji w jej użyciu. Jednocześnie zwiększenie precyzji działania amunicji jest czynnikiem zwiększającym efektywność amunicji i zmniejszającym przypadkowe straty.

Literatura

- [1] Tretiakow G. M. Amunicja artyleryjska. Wydawnictwo MON, Warszawa 1954. Wydanie I
- [2] Ostaszkiewicz Cz. Zasady konstrukcji i dokładność działania zapalników mechanicznych (zegarowych) Wydawnictwo MON 1956
- [3] Wasiliew M Teoria projektowania zapalników, Wydawnictwo MON, W-wa, 1955
- [4] Z zagadnień techniki wojennej. Wydawnictwo MON, Warszawa 1960