

ELEKTRONICZNY UKŁAD POBUDZANIA SPŁONKI DO JEDNOSTOPNIOWEGO I TANDEMOWEGO POCISKU KUMULACYJNEGO

Przedstawiono wybrane problemy związane z projektowaniem i konstrukcją elektronicznego układu pobudzającego spłonkę zintegrowanego zapalnika do jednogłowicowego i tandemowego pocisku kumulacyjnego. Ze względu na zastosowaną w zapalniku wysokonapięciową spłonkę typu IED wystąpiła konieczność magazynowania energii uzyskanej z piezoelementu przez wymagany okres czasu i dostarczenie jej do spłonki. Przedstawiono koncepcję i wykonanie układu, w którym zastosowano magazynowanie energii o niskim potencjale w baterii kondensatorów i jej przetworzenie do wymaganego poziomu po ustalonym czasie. Wykonano modele użytkowe układu elektronicznego oraz przeprowadzono badania, które potwierdziły koncepcję magazynowania ładunku i przetwarzania go do wymaganej postaci.

1. Wstęp

Skuteczne działanie pocisku kumulacyjnego, przeznaczonego do niszczenia obiektów opancerzonych, w dużej mierze zależy od precyzyjnie zainicjowanej detonacji jego głowicy. Musi to nastąpić w takim momencie czasu, aby uformowany ładunek został skoncentrowany na powierzchni pancerza. Jego działanie penetracyjne jest wówczas optymalne. Kumulacyjny pocisk tandemowy przeznaczony jest do niszczenia obiektów opancerzonych, wyposażonych w tzw. kasety reaktywne. Jego działanie podzielone jest na dwie fazy. Pierwszą, w której mały ładunek kumulacyjny wykonuje w kasecie reaktywnej otwór nie inicjując detonacji materiału wybuchowego w niej zawartego, i drugą, w której pobudzony po precyzyjnie określonym czasie główny ładunek, przez utworzony w kasecie otwór, przemieszcza się i dokonuje penetracji właściwego pancerza [1÷3]. Potrzeba precyzji momentu pobudzenia głowicy kumulacyjnej wymusza stosowanie zapalników z tzw. „szybkimi” spłonkami. Ten warunek spełniają spłonki iskrowe i elektrodetonacyjne o czasie zadziałania rzędu pojedynczych mikrosekund. Spłonki te jednak wymagają do pobudzenia impulsu energii elektrycznej. W większości stosowanych zapalników stosowane są obecnie spłonki elektrodetonacyjne [8÷10], jednak występuje problem z ich uzyskaniem.

Przyjęto założenie, do projektowanego elektronicznego układu pobudzającego zastosuje się dostępną, iskrową spłonkę IED. Jako źródło energii w zapalniku wykorzystywany jest piezoelement, przekształcający energię kinetyczną pocisku w ładunek elektryczny. Zastosowanie w zapalniku wysokonapięciowej spłonki wymaga dostarczenia do jej pobudzenia wysokiego napięcia (ok. 3 kV). Podstawowym problemem, który należało rozwiązać, to „przechowanie” energii do czasu jej dostarczenia do spłonki. Rozwiązanie tego zagadnienia związane z projektowaniem układu pobudzającego spłonkę i jego wykonaniem przedstawiono poniżej.

2. Założenia do projektowanego układu elektronicznego

Zakładane parametry elektronicznego układu pobudzania spłonki wynikają z wymagań na uzyskanie niezbędnego napięcia i energii pobudzenia, czasu opóźnienia pobudzenia drugiego stopnia pocisku tandemowego, wymaganą jego stabilność, bezpieczeństwo, niezawodność eksploatacji oraz ograniczenia wymiarowe, a także parametry techniczne podzespołów elektronicznych.

Wymagana minimalna wartość energii pewnego pobudzenia spłonki IED wynika z jej danych katalogowych, potwierdzonych również w trakcie własnych badań [4]. Definiowana jest jako energia zgromadzona w kondensatorze o pojemności 100 pF naładowanym do napięcia 3 kV.

Pracę wykonaną podczas ładowania kondensatora o pojemności C do napięcia U określa zależność:

$$W = \int_0^U C u_c du_c = \left[\frac{C u_c^2}{2} \right]_0^U ;$$
$$W = \frac{CU^2}{2} ; \quad (2.1)$$

gdzie: W – całkowita energia zgromadzona w kondensatorze [J]; C – pojemność [F]; u_c – chwilowa wartość napięcia; U – napięcie [V].

Podstawiając do wzoru 2.1 przyjęte wartości otrzymuje się

$$W = \frac{100 \cdot 10^{-12} (3 \cdot 10^3)^2}{2} = 0,00045 \text{ J} .$$

Tak więc nominalna energia zapewniająca pobudzenie spłonki wynosi

$$W = 0,00045 \text{ J} .$$

Do dalszych obliczeń za wyjściową przyjmujemy energię z 100% nadmiarem,

$$W = 0.001 \text{ J} .$$

Sposób działania pocisku tandemowego wymaga zastosowania oddzielnego pobudzenia obu stopni pocisku. Pierwszy stopień pocisku powinien działać natychmiastowo, tj. z minimalnym możliwym czasem zwłoki. Drugi stopień, powinien zostać pobudzony w precyzyjnie ustalonym, wynikającym z konstrukcji pocisku, odstępie czasu.

Pobudzenie pierwszego stopnia nie nastęrcza trudności. Stosując przetwornik piezoceramiczny, możliwe jest bezpośrednie połączenie przez układy zabezpieczające przetwornika z obwodem spłonki. Problemy mogą występować jedynie ze względu na niezbędne wytworzenie wysokiego napięcia (3 kV) i przesyłanie go przez układy zabezpieczające do spłonki. Konieczne jest zastosowanie odpowiedniej izolacji napięciowej przewodów i bezpiecznych odstępów między niez izolowanymi stykami układów zabezpieczających. Mogą wystąpić ograniczenia związane z wymiarami całego zapalnika, uniemożliwiające wytworzenie przyjętych za bezpieczne odstępów 1 mm/kV, a w tym przypadku 3 mm.

Zgodnie z wzorem (2.1), energia zgromadzona i przekazywana z pojemności zastosowanego, dostępnego przetwornika piezoceramicznego jest równa

$$W = \frac{2 \cdot 10^{-9} (3 \cdot 10^3)^2}{2} = 0,009 J$$

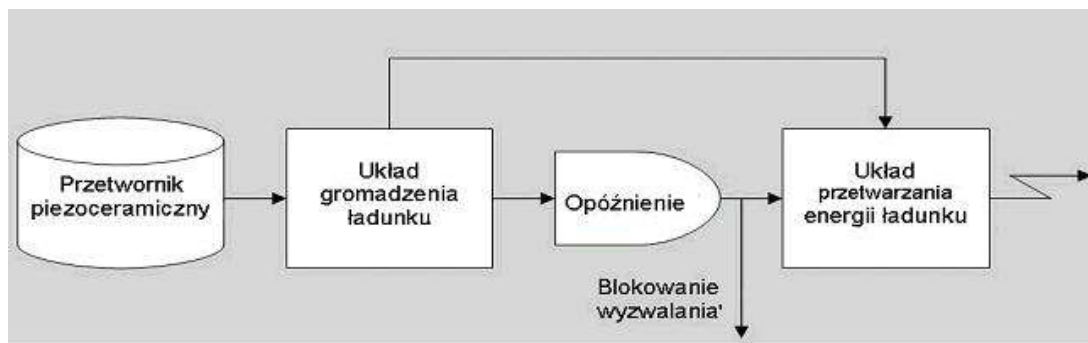
i jest o rząd wielkości większa od wymaganej.

Tak, więc bezpośrednie pobudzenie spłonki JED z przetwornika piezoceramicznego zapewnia wystarczającą energię do jej uaktywnienia.

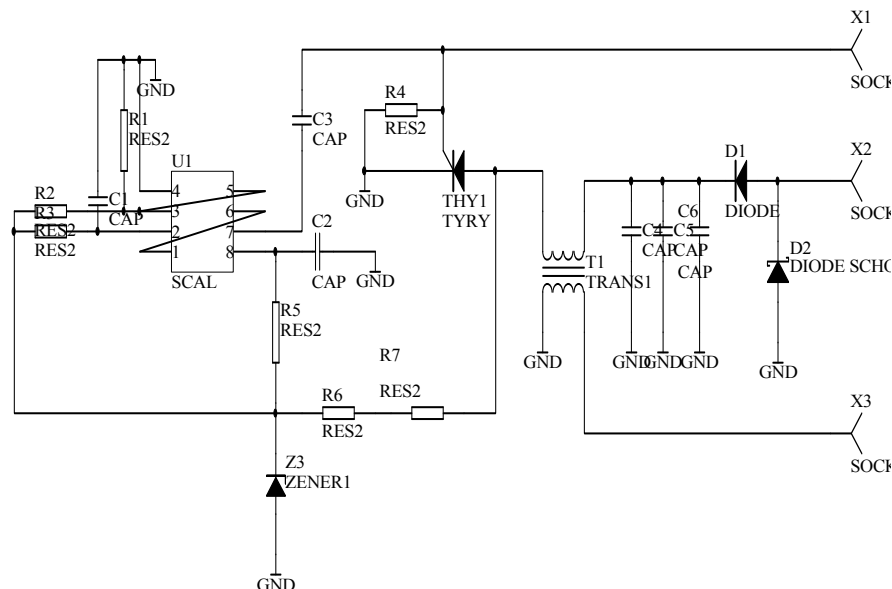
W przypadku projektowanego zapalnika nie jest jednak możliwe bezpośrednie wykorzystanie energii uzyskiwanej z piezoelementu. Małe wymiary zapalnika uniemożliwiają bezpieczne elektrycznie doprowadzenie napięcia do wybranej spłonki. Brak jest również małych wymiarowo, szybkich, sterowanych układów mogących załączać wysokie napięcie w wybranym momencie czasu. Konieczne jest zastosowanie rozwiązania alternatywnego, obniżającego stosowane napięcia.

3. Projekt układu elektronicznego

Zgodnie z określonymi wcześniej wymaganiami opracowany został układ elektroniczny z przetwarzaniem energii. Układ ten pozwala na gromadzenie i przechowywanie ładunku o niższym napięciu i przetwarzanie go do pożądanej wielkości w ustalonym czasie. Schemat blokowy tego układu przedstawiono na rysunku 1, a ideowy na rysunku 2.



Rys. 1. Pierwsza wersja blokowego schematu układu opóźnionego pobudzenia spłonki iskrowej



Rys. 2. Ideowy schemat modelowego układu opóźnionego pobudzenia spłonki iskrowej
Przedstawiony na rysunkach schemat był praktyczną realizacją koncepcji.

Układ gromadzenia energii połączony jest z elementem piezoceramicznym. Zawiera baterię kondensatorów gromadzących energię i ogranicznik napięcia, zabezpieczający układ przed zniszczeniem wskutek przebiecia elektrycznego podzespołów. Bateria kondensatorów separowana jest od elementu piezoceramicznego diodą, zabezpieczającą przed rozładowaniem kondensatorów po ustaniu działania siły na piezoelement lub w przypadku jego mechanicznego zniszczenia. Z baterii kondensatorów zasilany jest układ formowania czasu opóźnienia przetwarzania energii. Po ustalonym czasie do elementu wyzwalającego dostarczany jest impuls sterujący zamykający obwód rozładowania baterii kondensatorów przez uzwojenie pierwotne transformatora impulsowego. Narastający w pierwotnym uzwojeniu transformatora impulsowego prąd, indukuje strumień magnetyczny skojarzony z uzwojeniem wtórnym, powodujący powstanie na nim napięcia o zadanej wielkości.

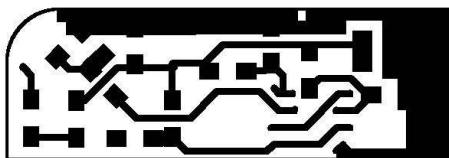
Ze względu na dostępne podzespoły, napięcie ładowania kondensatorów zostało ograniczone do 400 V. Przyjmując 50% sprawność przetwarzania energii, jej zasób zgromadzony w kondensatorach powinien być nie mniejszy od 0,002 J. należy uwzględnić również zużycie energii w układzie zasilania obwodu opóźnienia i wynikający z tego spadek napięcia o 10%. Wielkość ta jest podstawą do obliczenia minimalnej pojemności kondensatorów.

$$C_{\min} = 2W/U^2; \quad (2.2)$$

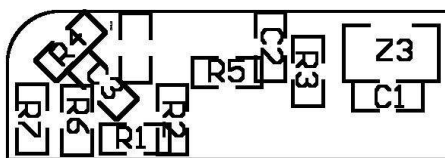
$$C_{\min} = 2 \cdot 0,002 / 360^2 = 30,9 \text{ nF}.$$

Uwzględniając możliwość wpływu innych czynników na sprawność gromadzenia i przetwarzania energii, przyjęto z nadmiarem wartość pojemności $C = 44 \text{ nF}$.

Na podstawie przyjętych założeń i dopasowując układ elektroniczny do dostępnego miejsca, zaprojektowano i wykonano układ elektroniczny, którego elementy przedstawiono na kolejnych rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Rysunek druku płytki układu opóźnionego pobudzenia spłonki iskrowej, (skala 2:1)



wyzwoleniem tyrystora pozwoliło również na zwiększenie pewności wysterowania oraz zmniejszenie poboru energii w czasie zwłoki.

Zastąpiono transformator impulsowy autotransformatorem. Dało to poprawę sprawności przetwarzania o ok. 10%, w wyniku bezpośredniego wykorzystania części energii zgromadzonej w baterii kondensatorów.

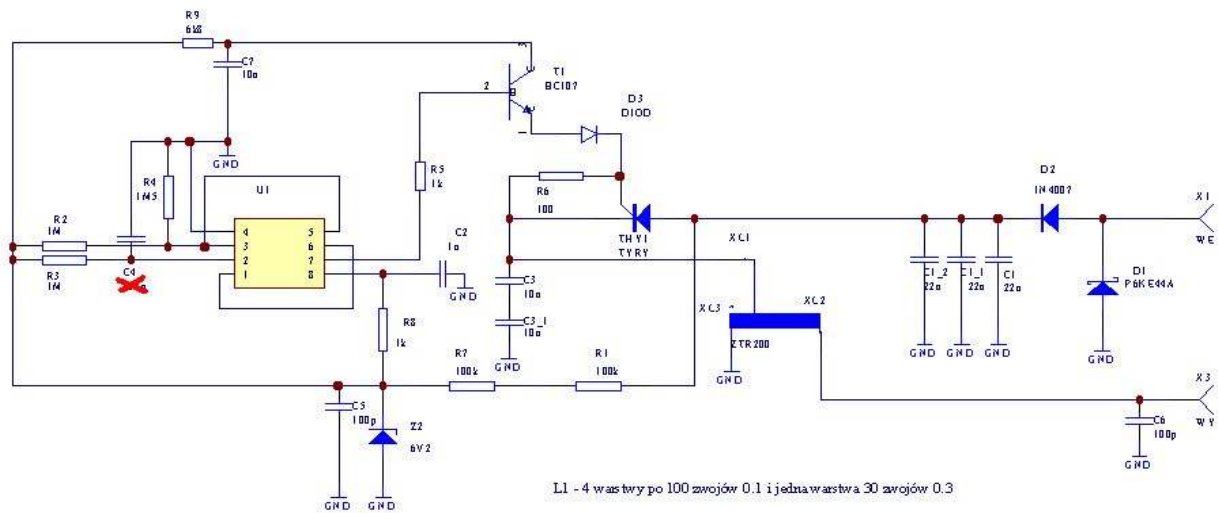
Zwiększono pojemność gromadzącą ładunek do 66 nF. Możliwość taka powstała po zakupie małych gabarytowo kondensatorów o napięciu roboczym 500 V.

Podwyższono napięcie początkowe ładowania kondensatorów do 450 V.

Dodatkowo, na wyjściu wysokonapięciowym autotransformatora dołączono kondensator 100 pF. W momencie przebiecia iskrowego spłonki, umożliwia on przepływ dodatkowego ładunku w nim zgromadzonego z jednoczesnym wykorzystaniem energii pola magnetycznego, zgromadzonej w indukcyjności autotransformatora.

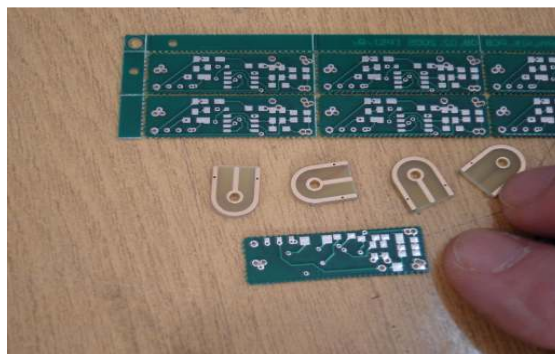
Poprawiono również niezawodność układu elektronicznego, który mógł zostać uszkodzony ładunkiem statycznym przez wejście zabezpieczające. Zabezpieczenie elektroniczne przed uruchomieniem zapalnika przeniesiono do części mechanicznej. Połączono obwód zasilania z piezoelementu ze stykiem rozwieranym po uzbrojeniu przez mechanizm czasowy zapalnika. W zapalniku nieuzbrojonym obwód ten jest zwarty.

Nowy układ zaprezentowany jest na rysunku 5.



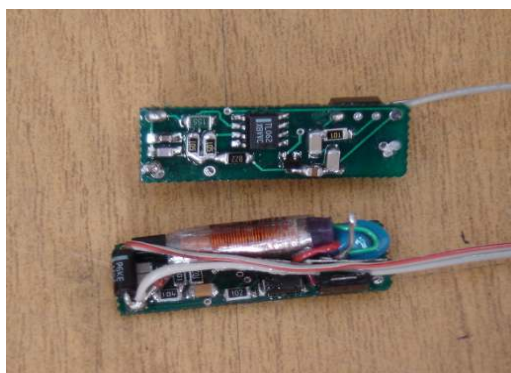
Rys. 5. Schemat ideowy prototypowego układu opóźniającego

Ze względów konstrukcyjnych i wykonawczych zastosowano oddzielną płytkę stykową, łączącą wyjście wysokonapięciowe z elektrodą pobudzania spłonki. Daje to możliwość instalacji układu elektronicznego po kompletnym mechanicznym montażu zapalnika. Płytki stykowe są pokazane na rysunku 6, razem z płytkami układu elektronicznego opóźnienia.



Rys. 5. Widok drukowanych płytek stykowych i układu elektronicznego pobudzania spłonki

Do wykonania wersji modelowej zastosowano ręczny montaż płytek. Wygląd zmontowanej płytki, gotowej do zalania masą poliuretanową pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Widok zmontowanych płytek układu opóźniającego

Tak przygotowane płytki umieszczone zostały w formie, odwzorowującej przestrzeń w zapalniku przeznaczoną na umieszczenie części elektronicznej. Widok formy z zalanymi układami elektronicznymi pokazano na rysunku 8.

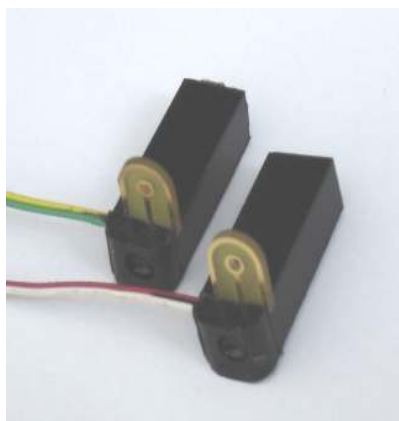


Rys. 8. Widok formy z umieszczonymi układami elektronicznymi - w górnej części widoczne otwory zalewowe

Niestety, ta metoda jest bardzo czasochłonna i może być stosowana tylko do jednostkowego wykonania. Czas utwardzania stosowanego preparatu wynosi ok. 24 godzin. Uciążliwe jest również przygotowywanie formy, zabezpieczanie przed przywieraniem żywicy i jej składanie z umieszczonym układem.

Do produkcji na większą skalę niezbędne będzie wykonanie cienkościennych form z twardego tworzywa elektroizolacyjnego i bezpośrednie zalewanie żywicą poliuretanową umieszczonych w nich układów elektronicznych. Tworzywo formy będzie stanowiło zewnętrzną powłokę układu elektronicznego.

Wyjęte z formy, gotowe układy elektroniczne pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Widok gotowych układów elektronicznych z umieszczonymi płytkami stykowymi

4. Wnioski

1. Koncepcja zastosowania układu z przetwarzaniem napięcia sprawdziła się w praktycznej realizacji. Uzyskane wyniki są zgodne z założeniami.
2. Możliwe jest zmniejszenie wymiarów układu i ułatwienie montażu po zakupie kondensatorów SMD 100 pF na 4 kV. Niestety, dostępne są tylko w ilościach od 5000 szt. W produkcji seryjnej takie zakupy byłyby konieczne.
3. Niezbędne jest opracowanie i wykonanie form z twardego elektroizolacyjnego tworzywa na obudowy układów elektronicznych, ułatwiających seryjną produkcję.

Wyniki badań układów będą zaprezentowane w 2007 roku.

Literatura

- [1] Wiśniewski A., Kowalewski J.: *The problems of using of different kinds of fuses in tandem shaped charges*. Problemy Techniki Uzbrojenia, Zeszyt **82**, 2002, s. 69÷82.
- [2] Derecki S., Stor E.: *Podstawy projektowania zapalników artyleryjskich*; WAT, 1983.
- [3] Kowalewski J., Wiśniewski A.: *The usefulness of different kinds of electric detonators in fuses of shaped charges*. Problemy Techniki Uzbrojenia, Zeszyt **86**, 2003, s. 35÷44.
- [4] Wiśniewski A., Kowalewski J., Podgórzak P., Jarzowski J.: *Prace badawczo-konstrukcyjne i badania zakładowe zintegrowanego zapalnika piezoelektrycznego do amunicji kumulacyjnej*. WITU – zadanie 16036, 2003.
- [5] Varosh R.: *Electric Detonators: EBW and EFI*; Propellants, Explosives, Pyrotechnics 21, 1996, pp. 150÷154.
- [6] Tietze U., Schenk Ch.: *Układy Półprzewodnikowe*, WNT, 1997.
- [7] Horowitz Paul, Hill Winfield: *Sztuka elektroniki, cz. I*, WKŁ, 2005.
- [8] Voss A., Poetes W.: *Tandem warhead with piezoelectric percussion fuses*. US patent 5415105, 1995
- [9] Held M.: *Combination projectile for combating armored targets*. US patent 5303654, 1994.
- [10] Cornelius C.S., Vessels C.M.: *Missile-borne explosive activated grenade release device*. S patent 7044060, 2005.