

Modułowość zapalarki solarnej MZS100, a jej podatność na optymalizację

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących optymalizacji konstrukcji zapalarki solarnej MZS100 opracowanej w celu magazynowania energii pozyskanej z paneli fotowoltaicznych oraz jej wykorzystanie do zasilania specjalistycznego sprzętu (wojskowego oraz cywilnego, np. budownictwo czy górnictwo). Skonstruowano dwie wersje zapalarki solarnej umożliwiające odpalenie określonej ilości zapałów elektrycznych. Wykazano, iż modułowa budowa zapalarki solarnej wpływa korzystnie na modyfikację jej parametrów użytkowych.

Abstract. The article presents the results of research on the optimization of the construction of the MZS100 solar igniter in order to store energy obtained from photovoltaic panels and its use to power specialized equipment (military and civil, e.g. construction or mining). Two versions of the solar igniter were constructed, enabling the execution of a certain number of electric ignitions. It has been shown that the modular design of the solar igniter has a positive effect on the modification of its operational parameters. (**Modularity of the solar igniter MZS100 and its susceptibility to optimization**)

Słowa kluczowe: system magazynowania energii, cyfrowa transformacja procesów pomiarowych, modułowa zapalarka solarna

Keywords: energy storage system, digital transformation of measurements process, modular solar igniter

Wstęp

Szybki wzrost sprawności paneli fotowoltaicznych (od 14,7%-2010r. do 20,9%-2021r.)¹ związany jest obecnie z rozwojem nowych technologii dla urządzeń do pozyskiwania i magazynowania energii ze źródeł odnawialnych [1, 2]. Przy czym prowadzone są prace zarówno w kierunku polepszenia parametrów elektrycznych ogniw słonecznych jak i magazynów energii [3-7].

Celem niniejszej pracy było opracowanie i skonstruowanie dwóch wersji zapalarki solarnej MZS100 umożliwiającej odpalenie określonej ilości zapałów elektrycznych. Opracowane rozwiązania mogą znaleźć zastosowanie zarówno do zasilania specjalistycznego sprzętu (wojskowego oraz cywilnego, np. budownictwo czy górnictwo).

Zapalarka elektryczna może być stosowana przy wykonywaniu wyburzeń wysokich obiektów budowlanych (kominy, wieże) metodą strzałową (poprzez wywołanie serii kontrolowanych eksplozji w odpowiednio wyznaczonych miejscach obiektu, poprzez zastosowanie materiałów wybuchowych). Potrzeba optymalizacji konstrukcji zapalarki elektrycznej jest związana z występującymi zaletami wyburzeń metodą strzałową takimi jak: skrócenie czasu trwania prac rozbiórkowych, łatwość rozbiórki, optymalizacja kosztów, realizacja prac niewykonalnych inną technologią, oraz bezpieczeństwo (metoda bez udziału człowieka w otoczeniu wyburzanego obiektu).

Modułowość: czwórnik jako elementarny moduł

Modułowość zapalarki solarnej w niniejszej pracy definiujemy jako zestaw poszczególnych elementów składowych. Pojedynczy moduł zapalarki solarnej zbudowany jest z magazynu energii w postaci akumulatora (AKU), superkondensatora (SC) lub kondensatora (CS) i konwertera mocy (inwertora napięcia), który pełni rolę elementu umożliwiającego przekazywanie energii pomiędzy modułami. Ponadto w skład zapalarki solarnej wchodzi panele fotowoltaiczne definiowane zgodnie z normą IEC 61277 jako zestaw umocowanych wzajemnie modułów, wstępnie zmontowanych i okablowanych. Ważnym

pojęciem jest tzw. redundancja podnosząca niezawodność zapalarki solarnej, poprzez jej modułowość.



Rys.1. Prosty czwórnik aktywny, gdzie I_1 i I_2 to prądy na wejściu (1) i wyjściu (2) czwórnika, zaś U_1 i U_2 to napięcia na wejściu (1) i wyjściu (2) czwórnika

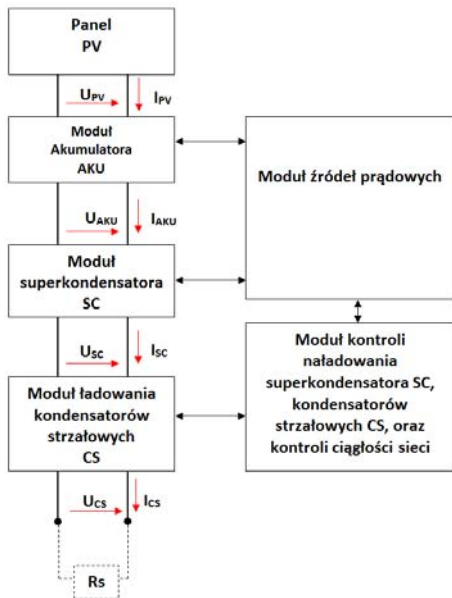
Na rysunku 1 przedstawiono przykładowo prosty czwórnik aktywny zdolny do gromadzenia, rozpraszania lub oddawania na zewnątrz energii pobranej ze źródła i zmagazynowanej. Realizowane jest to przez ustalanie wartości natężenia i prądu przy minimalnych stratach mocy zgodnie z zasadą, $I_{2n} = I_{1n+1}$, $U_{2n} = U_{1n+1}$ (n - numer modułu).

Projekty zapalarek solarnych MZS100 w postaci modułowej

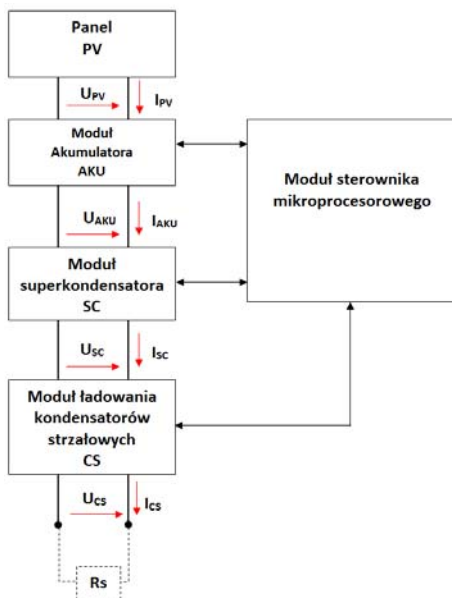
Pierwszą zaprojektowaną zapalarką modułową z serii MZS100 jest zapalarka MZS100.ver1, której schemat zastępczy z wydzieleniem modułów jako czwórników został przedstawiony na rys. 2a, a parametry elektryczne w stanach ustalonych przedstawione są w tabeli 1.

Z kolei w drugiej zoptymalizowanej modułowej zapalarkie solarnej oznaczonej jako MZS100.ver2, której schemat zastępczy z wydzieleniem modułów jako czwórników, został przedstawiony na rys. 2b, zastosowano wiele nowych podzespołów o mniejszych wymiarach i zmienionych parametrach elektrycznych z zachowaniem funkcjonalności modułu. Zmieniono też części konstrukcyjne obudowy, którą wykonano metodą druku 3D z biodegradowalnego polilaktydu PLA. Zachowano przy tym warunki ergonomiczności zapalarki solarnej MZS, jako bezpiecznego urządzenia do stosowania w trudnych warunkach środowiskowych. Parametry elektryczne w stanach ustalonych zapalarki solarnej MZS100.ver2 przedstawiono w tabeli 2.

¹ www.elektro.info.pl/artylut/fotowoltaika, Dr inż. Tomasz Bakoń, Technologia fotowoltaiczna-kierunki rozwoju, możliwości optymalizacji i magazynowania energii, Elektro.info, 12/2022



(a)



(b)

Rys. 2. Modułowa zapalarka solarna MZS100.ver1 (a) i MZS100.ver2 (b) w postaci czwórników połączonych łańcuchowo

TABELA 1. Wartości prądów i napięcia zapalarki modułowej MZS100.ver1 w stanach ustalonych

Wielkość	Stan pracy zapalarki solarnej MZS100.ver1				
	0	1	2	3	4
U_{PV} [V]	0	<10	<10	-	-
I_{PV} [A]	0	<0,14	<0,14	-	-
U_{AKU} [V]	0	<8,4	<8,4	-	-
I_{AKU} [A]	0	<0,14	<0,14	-	-
U_{SC} [V]	<5,2	<5,2	<5,2	4,13<<5,2	-
I_{SC} [A]	0	0	0,6	-1,9	-
U_{CS} [V]	0	0	0	<600	-
I_{CS} [A]	0	0	0	-	-
U_{RO} [V]	0	0	0	-	3,7*
I_{RO} [A]	0	0	0	0,005	3,7*

* 0- Przechowywanie; 1 - Ładowanie akumulatorów AKU z paneli słonecznych PV; 2- Ładowanie akumulatorów AKU z paneli słonecznych PV z jednoczesnym ładowaniem superkondensatorów SC; 3- Ładowanie kondensatorów strzałowych CS, Sprawdzenie ciągłości sieci strzałowej; 4- Odpalenie sieci, * wartość maksymalna

W zapalce solarnej MZS100.ver1 (rys. 3a) zastosowano następujące elementy magazynujące i przetwarzające energię w poszczególnych modułach:

- moduł akumulatora AKU:
 - 2 szt. akumulatora, typu AKYGA Li-Pol, 3,7V, 8.14Wh, połączenie szeregowe;
- moduł superkondensatora SC:
 - 2 szt. superkondensatora, typu SPSCAP, 500F, 2,7V, 0,566Wh, połączenie szeregowe;
- moduł ładowania kondensatorów strzałowych CS:
 - przetwornica DC/DC 5V/1000V,
 - 4 szt. kondensatorów 1 μ F/1000V, połączenie równoległe.

W zapalce solarnej MZS100.ver2 (rys. 3b) zastosowano następujące elementy magazynujące i przetwarzające energię w poszczególnych modułach:

- moduł akumulatora AKU:
 - akumulator, typu XTAR18650 Li-on, 3,7V, 9,8Wh;
- moduł superkondensatora SC:
 - przetwornica DC/DC 2,5V/5V,
 - 2 szt. superkondensatora, typu EATON XV Series, 400F, 2,7V, 0,41Wh, połączenie szeregowe;
- moduł ładowania kondensatorów strzałowych CS:
 - przetwornica DC/DC 5V/1500V,
 - 2 szt. kondensatorów 1 μ F/1500V, połączenie równoległe.

TABELA 2. Wartości prądów i napięcia w wybranych węzłach modułowej zapalarki MZS100.ver2 w stanach ustalonych

Wielkość	Stan pracy zapalarki solarnej MZS100.ver2				
	0	1	2	3	4
U_{PV} [V]	0	<6	<6	-	-
I_{PV} [A]	0	<0,24	<0,24	-	-
U_{AKU} [V]	0	<4,2	<4,2	-	-
I_{AKU} [A]	0	<0,36	-1,5	-	-
U_{SC} [V]	<5,4	<5,4	4,9<5,4	4,9<<5,4	-
I_{SC} [A]	0	0	2	-1,9	-
U_{CS} [V]	0	0	0	1200	-
I_{CS} [A]	0	0	0	-	-
U_{RO} [V]	0	0	0	-	29,9*
I_{RO} [A]	0	0	0	0,005	30*

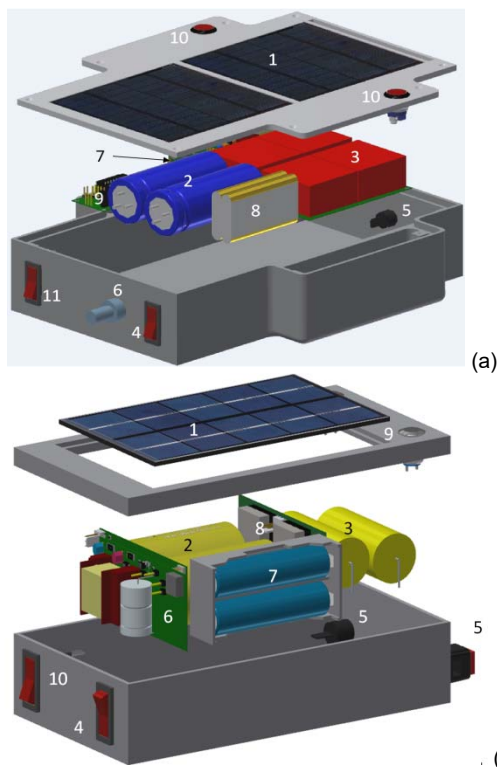
* 0- Przechowywanie; 1 - Ładowanie akumulatorów AKU z paneli słonecznych PV; 2- Ładowanie akumulatorów AKU z paneli słonecznych PV z jednoczesnym ładowaniem superkondensatorów SC; 3- Ładowanie kondensatorów strzałowych CS, Sprawdzenie ciągłości sieci strzałowej; 4- Odpalenie sieci, * wartość maksymalna

W module ładowania kondensatorów strzałowych CS zapalarki solarnej MZS100.ver2 zastosowano dwustopniowe przetwarzanie napięcia. Pierwszy stopień *STEP-UP* o sprawności 95% zapewnia odpowiedni współczynnik mocy, a drugi typu *flayback* w topologii quasi-rezonansowej minimalizuje straty związane z przełączaniem tranzystora MOSFET wprowadzane przez jego wyjściowe pojemności pasytywne.

Rozwiązanie takie cechuje niski poziom zakłóceń EMI (*Electro Magnetic Interference*) oraz jak przedstawiono na rys. 4d zapewnia naładowanie kondensatora strzałowego do napięcia $U_{CS} = 1200V$ w ciągu 3 sekund.

Porównując wartości prądów i napięcia zapalarki modułowej MZS100.ver1 do zapalarki MZS100.ver2 w stanach ustalonych (tabela 1 i tabela 2) można zaobserwować, że poprzez zwiększenie napięcia na kondensatorach strzałowych U_{CS} z 600V do 1200V otrzymano dużo wyższy prąd płynący w sieci strzałowej I_{RO} . Wpłynęło to na czas trwania impulsu odpalenia sieci strzałowej, który zmniejszył się prawie trzykrotnie (Rys. 5). Parametr ten wskazuje w jak krótkim czasie zapalarka może dostarczyć potrzebną energię do odpalenia sieci zapalników (główna cecha użytkowa).

W obu zapalarkach modułowych MZS100 zastosowano różne panele fotowoltaiczne, których podstawowe parametry przedstawiono w tabeli 3.



Rys. 3. Widok 3D modułowej zapalarki solarnej MZS100.ver1 (a) i MZS100.ver2 (b), gdzie dla (a) panel solarny, 2) moduł superkondensatora, 3) moduł kondensatorów strzałowych, 4) włącznik akumulatora, 5) zacisk do podłączenia magistrali strzałowej, 6) przełącznik trybów pracy, 7) moduł przetwornicy DC/DC 1000V, 8) moduł akumulatora, 9) moduł źródeł prądowych i kontroli, 10) przycisk odpalenia sieci, 11) włącznik superkondensatorów;
Dla (b) 1) panel solarny, 2) moduł superkondensatora, 3) moduł kondensatorów strzałowych, 4) włącznik akumulatora, 5) zacisk do podłączenia magistrali strzałowej, 6) moduł przetwornicy DC/DC 1000V, 7) moduł akumulatora, 8) moduł sterownika mikroprocesorowego, 9) przycisk odpalenia sieci, 10) włącznik superkondensatorów.

TABELA 3. Parametry paneli fotowoltaicznych zapalarek solarnych MZS100.ver1 i MZS100.ver2

Parametr, symbol	MZS100.ver1 / MZS100.ver2
Wymiar pola światłoczułego, S	210mm x 105mm / 142mm x 88mm
Prąd zwarciovy, I_{SC}	260mA / 380mA
Napięcie obwodu otwartego, U_{OC}	14V / 6V
Prąd maksymalny, I_{MAX}	250mA / 360mA
Napięcie maksymalne, U_{MAX}	11V / 5V
Moc maksymalna, P_{MAX}	2,7W / 1,9W

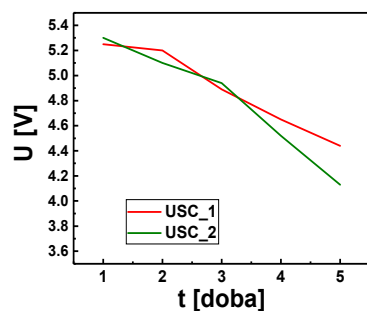
Panel PV zastosowany w zapalarkę MZS100.ver1 umożliwia wykonanie zapalarki solarnej o wymiarach 293mm x 213mm x 60mm (3,7dm³), a panel PV zastosowany w zapalarkę MZS100.ver2 pozwala na wykonanie zapalarki solarnej MZS100.ver2 o wymiarach 195mm x 95mm x 50mm (0,9dm³). Przy czym obudowa MZS100.ver2 stanowi 25% objętości zapalarki modułowej MZS100.ver.1. Skonstruowane dwie zapalarki solarne (rys. 3) ważyły odpowiednio 1,48kg oraz 0,8kg².

² Całkowita waga elektroniki wyniosła 416g, szacowana waga obudowy na podstawie zużytego filamentu PLA w programie INVENTOR wyniosła 360g

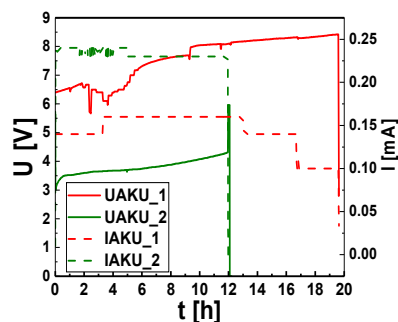
Porównanie parametrów elektrycznych zapalarek solarnych MZS100.ver1 i MZS100.ver2

Skonstruowane zapalarki solarne o różnej modułowości analizowano w celu określenia takich parametrów użytkowych jak:

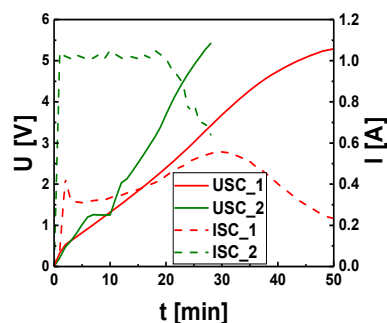
- spadek napięcia na superkondensatorach SC w wyniku samorozładowania podczas przechowywania;
- czas ładowania w pełni rozładowanego akumulatora AKU z panelu PV;
- czas ładowania w pełni rozładowanego superkondensatora SC z akumulatora AKU;
- spadek napięcia na superkondensatorach SC w wyniku ładowania kondensatorów strzałowych; CS – ilość możliwych odpaleń sieci strzałowej po jednokrotnym naładowaniu superkondensatorów SC;
- ilości energii przekazanej do pojedynczego zapału w czasie odpalenia sieci strzałowej.



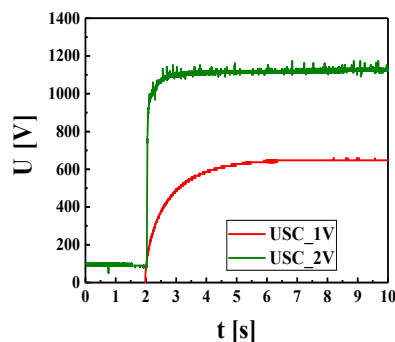
(a)



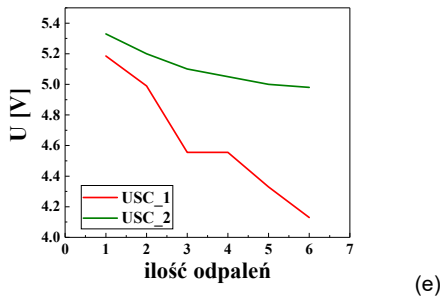
(b)



(c)



(d)



Rys. 4. (a) Wykres napięcia na zaciskach superkondensatora SC w wyniku samorozładowania, (b) Charakterystyki ładowania akumulatorów AKU z panelu PV, (c) Charakterystyki ładowania superkondensatora SC z akumulatora AKU, (d) Charakterystyki ładowania kondensatora strzałowego CS, (e) Charakterystyki rozładowania superkondensatora SC podczas ładowania kondensatora strzałowego CS i odpalania sieci strzałowej.

Badania dla skonstruowanych zapalarek solarnych przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem mikroprocesorowego systemu pomiarowego zbudowanego w oparciu o 32-bitowy procesor RISC, z zegarem 80MHz z czujnikami, prądu INA3221, temperatury i wilgotności ATH10, oraz promieniowania słonecznego MAX44009. Czujniki komunikują się z zarządzającym ich mikroprocesorem za pomocą szeregowej dwukierunkowej magistrali do przesyłania danych t^2C , a całość procesu pomiaru kontrolowana jest przez autorskie oprogramowanie na PC napisane w języku C#. Zastosowana procedura pomiarów poprawiła efektywność pomiarów jak i również zapewniła ich powtarzalność poprzez eliminację możliwości popełnienia błędów. Otrzymane wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 4 oraz na rys. 5. Dla wyróżnienia kolorem czerwonym oznaczono charakterystyki zapalarki MZS100.ver1, a kolorem zielonym zapalarki MZS100.ver2.

TABELA 4. Wartości prądów i napięć ładowania i rozładowania poszczególnych modułów

Parametr	Wersja modułu MZS100.	Moduł AKU	Moduł SC	Moduł CS
Napięcie ładowania	ver1	8,4V	5,29V	560V
	ver2	4,3V	5,42V	1200V
Prąd ładowania	ver1	0,16A	0,56A	-
	ver2	0,24A	1,05A	-
Napięcie rozładowania	ver1	6,25V	4,13V	-
	ver2	2,9V	4,98V	-
Prąd rozładowania	ver1	0,56A	-	6,3A
	ver2	1,05A	-	29,9A
Napięcie samorozładowania po 5 dobach	ver1	-	4,5V	-
	ver2	-	4,1V	-

Analizując poszczególne wyniki można stwierdzić, że wszystkie parametry zapalarki MZS100.ver2 są korzystniejsze niż parametry zapalarki MZS100.ver1. Poprzez zmianę akumulatora AKU modułu składającego się z dwóch szeregowo połączonych akumulatorów AKYGA Li-Pol, 3,7V; 8,14Wh na moduł AKU składający się z jednego akumulatora typu XTAR18650 Li-on, 3,7V; 9,8Wh obniżono zapotrzebowanie na moc dostarczaną z panelu PV w czasie ładowania akumulatora AKU z 1,3W do 1W. Skutkuje to zmniejszeniem czasu ekspozycji zapalarki solarnej na promieniowanie słoneczne o około 37%, z 19h do 12h. Zwiększono natomiast zapotrzebowanie na moc dostarczaną z modułu akumulatora AKU do modułu

superkondensatora SC z 2,9W do 5,7W. Takie rozwiązanie doprowadziło do skrócenia czasu ładowania modułu superkondensatora SC w czasie przygotowawczych prac minerskich z 50min do 30min. Podsumowując przeprowadzone badania i analizy można stwierdzić, iż zarówno zapalarką modułową MZS100.ver1 jak i MZS100.ver2 można odpalić 6-krotnie sieć strzałową bez doładowywania modułu superkondensatorów SC (rys. 4e). Jednak w zapalarkie modułowej MZS100.ver1 rozładowanie modułu superkondensatora SC jest głębsze, do poziomu $U_{SC} = 4,13V$ niż w zapalarkie modułowej MZS100.ver2, gdzie $U_{SC} = 4,98V$ (tabela 4).

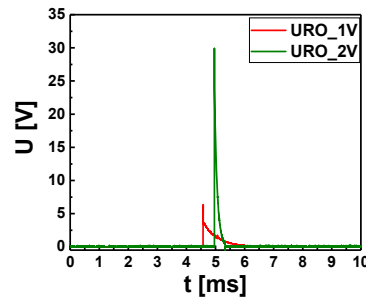
Tabela 5 przedstawia czasy ładowania wszystkich przebadanych podzespołów jak superkondensator SC, akumulator AKU oraz moduł kondensatorów strzałowych CS.

TABELA 5. Czasy ładowania SC, AKU i CS dla zapalarek solarnych MZS100.ver1 i MZS100.ver2

Parametr	Ładowarka	Czas ładowania
Ładowanie AKU z PV przy pełnym rozładowaniu	MZS100.ver1	19,6 h
	MZS100.ver2	12 h
Ładowanie SC z AKU przy pełnym rozładowaniu	MZS100.ver1	50 min
	MZS100.ver2	30 min
Ładowanie CS superkondensatora SC	MZS100.ver1	5 s
	MZS100.ver2	3 s*

* do 1200V

Analizując dane przedstawione w tabeli 5 należy podkreślić, iż skonstruowana ładowarka solarna MZS100.ver2 zapewnia naładowanie kondensatora strzałowego do napięcia $U_{CS} = 1200V$ w ciągu 3 sekund. Ponadto, także ładowanie AKU z PV oraz SC z AKU przy pełnym rozładowaniu jest także znacznie krótsze niż dla ładowarki MZS100.ver1.



Rys. 5. Charakterystyki impulsu odpalania zapalu zarejestrowane na ekwiwalencie zapalu $R_0 = 0,9\Omega$, rezystancja sieci strzałowej $R_s = 48\Omega$

Z kolei analizując dane przedstawione na rys. 5 można stwierdzić, że przy całkowitej rezystancji sieci $R_s = 48\Omega$, na ekwiwalencie zapalu $R_0 = 0,9\Omega$ otrzymujemy energię E_{RO} liczoną wg wzoru 1

$$(1) \quad E_{RO} = \frac{\sum_{t_0=0}^{t_n=n} (U_{RO}^2 * \Delta t_i)}{R_0} \quad)$$

gdzie: U_{RO} = napięcie próbki ; n- ilość próbek (przedziałów Δt_i) \rightarrow 10000; Δt_i - okres próbkowania $10^{-9}s$, $R_0 = 0,9\Omega$ - rezystancja ekwiwalentu zapalu,

dla zapalarki modułowej MZS100.ver1 $E_{RO} = 23mJ$ a dla zapalarki modułowej MZS100.ver $E_{RO} = 58mJ$.

Podsumowanie

Prace optymalizacyjne prowadzono nad poszczególnymi modułami traktując je jako aktywne czworniki zdolne do gromadzenia, rozpraszania lub oddawania na zewnątrz zmagazynowanej energii pobranej ze źródła. Takie podejście w zasadniczy sposób uprościło projektowanie, gdyż skupiało się na określeniu napięć i prądów na wejściu czwornika (U_{1,I_1}) oraz wymaganych napięć i prądów na wyjściu czwornika (U_{2,I_2}):

- dla AKU, $U_{AKU1} = U_{PV2}$, $I_{AKU1} = I_{PV2}$;
- dla SC, $U_{SC1} = U_{AKU2}$, $I_{SC1} = I_{AKU2}$;
- dla CS, $U_{CS1} = U_{SC2}$, $I_{CS1} = I_{SC2}$;

Podsumowując, otrzymane parametry zapalarki MZS100.ver2, wskazują, że optymalizacja zapalarki MZS100.ver1 zakończyła się sukcesem. Poprawiono parametry zapalarki solarnej w takich zakresach jak:

- czas ekspozycji na światło słoneczne (skrócono o 37%);
- przygotowanie zapalarki do prac minerskich (skrócono o 40%);
- energii dostarczonej do ekwiwalentu zapalu (zwiększono o 120%);
- objętość zapalarki (zmniejszono o 77%);
- wagę zapalarki (zmniejszono o 56%).

Są to parametry wymagane w warunkach taktyczno-technicznych urządzeń specjalnych według tzw. klucza, czyli jak najmniejsze, jak najlżejsze, jak najkrótszy czas przygotowań oraz jak najwięcej efektów.

Podziękowania dla Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) za wsparcie finansowe projektu „Wydajne i lekkie układy zasilające złożone z ogniwa słonecznego i baterii litowo-jonowej oraz ogniwa słonecznego i superkondensatora przeznaczone do zastosowań specjalnych” otrzymane w ramach Strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe”. (Nr TECHMATSTRATEG1/347431/14/NCBR/2018).

Autorzy: mgr inż. Ireneusz PLEBANKIEWICZ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, e-mail: plebankiewicz@witi.wroc.pl; mgr inż. Wojciech PRZYBYŁ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, e-mail: przybyl@witi.wroc.pl; dr Krzysztof A. BOGDANOWICZ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, e-mail: bogdanowicz@witi.wroc.pl; prof. dr hab. Agnieszka IWAN, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, E-mail: iwan@witi.wroc.pl

LITERATURA

- [1] Plebankiewicz, I.; Przybył, W. Solarny Magazyn Energii – rozwiązanie oparte na komercyjnych krzemowych ogniwach słonecznych i superkondensatorach, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 98 NR 1/2022.
- [2] Skunik-Nuckowska, M.; Raczka, P.; Lubera, J.; Mroziewicz, A.A.; Dyjak, S.; Kulesza, P.J.; Plebankiewicz, I.; Bogdanowicz, K.A.; Iwan, A. Iodide electrolyte-based hybrid supercapacitor for compact photo-rechargeable energy storage system utilizing silicon solar cells, *Energies*, 14 (2021) 2708.
- [3] Lamnatou, C.; Chemisana, D.; Cristofari, C. Smart grids and smart technologies in relation to photovoltaics, storage systems, buildings and the environment. *Renewable Energy*, 185 (2022) 1376.
- [4] Moreno Escobar, J.J.; Morales Matamoros, O.; Tejeida Padilla, R.; Lina Reyes, I.; Quintana Espinosa, H. A Comprehensive Review on Smart Grids: Challenges and Opportunities. *Sensors*, 21 (2021), 6978.
- [5] Bayazit, Y., Bakış, R., Koç, C.. A study on transformation of multi-purpose dams into pumped storage hydroelectric power plants by using GIS model. *International Journal of Green Energy*, 18(2020), 308.
- [6] Kaczorowska, D.; Rezmer, J.; Jasinski, M.; Sikorski, T.; Suresh, V.; Leonowicz, Z.; Kostyla, P.; Szymanda, J.; Janik, P. A Case Study on Battery Energy Storage System in a Virtual Power Plant: Defining Charging and Discharging Characteristics. *Energies*, 13 (2020) 6670.
- [7] Kampouris, K. P.; Drosou, V.; Karytsas, .; Karagiorgas, M. Energy storage systems review and case study in the residential sector *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 410 (2020) 012033.