

**Jerzy Bakalarczyk**

PAŃSTWOWA UCZELNIA ZAWODOWA we WŁOCŁAWKU

## UKŁADY SZYBKIEGO ŁADOWANIA BATERII AKUMULATORÓW W SYSTEMACH FOTOWOLTAICZNYCH

### THE CIRCUITS FOR FAST CHARGING OF THE BATTERIES IN THE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

**Streszczenie:** W ostatnim czasie dużo uwagi poświęca się systemom wytwarzającym energię odnawialną – w tym z wykorzystaniem fotowoltaiki. Powstało wiele różnych rozwiązań technicznych zarówno w sferze teoretycznej jak i praktycznej. Systemy te bardzo często zawierają akumulatory do przechowywania energii. Istnieje duża różnorodność tych akumulatorów. Niektóre typy akumulatorów nie nadają się do zastosowań fotowoltaicznych. Znacznym problemem podczas ładowania akumulatorów w tych instalacjach jest szybkość ich ładowania. W artykule przedstawiono niektóre rodzaje akumulatorów znajdujących zastosowanie w układach fotowoltaicznych, podano ich zalety oraz wady. Podano również różne układy oraz metody szybkiego ich ładowania. W referacie ujęto własne rozwiązanie układu szybkiego ładowania baterii fotowoltaicznej wraz z jego badaniami symulacyjnymi oraz jego rozwiązaniem konstrukcyjnym. Przedstawiona konstrukcja oparta została na układzie regulatora dwustawnego pracującego w trybie regulacji prądu obciążenia. Badania symulacyjne wykonano przy wykorzystaniu programu PSpice ver. 9.1. Przedstawiono wyniki badań w postaci przebiegów prądu obciążenia dla różnych nastaw wartości zadanych. Pracę zakończono wnioskami nasuwającymi się podczas badań i konstruowania.

**Abstract:** Recently, much attention has been devoted to renewable energy systems - including those using photovoltaics. Many different technical solutions have been created, both in theoretical and practical areas. These systems very often contains batteries for energy storage. There is a wide variety of these batteries. Some battery types are not suitable for photovoltaic applications. A significant problem when charging batteries in these installations is the their rate of charging. The article presents some types of batteries used in photovoltaic systems, their advantages and disadvantages are given. Various systems and methods of fast charging of the batteries are also given. The paper presents our own solution of a fast solar battery charging system together with its simulation tests and its design solution. Presented construction of the circuit is based on bang – bang controller working in current control mode. Simulating tests one has done by using of Pspice ver. 9.1 program. The testing results are given in the form of current waveforms for different signal references. The work was ended with conclusions that emerged during research and construction.

**Słowa kluczowe:** szybkie ładowanie akumulatorów, układy fotowoltaiczne, badania symulacyjne

**Keywords:** fast battery charging, photovoltaic circuits, simulation tests

#### 1. Wstęp

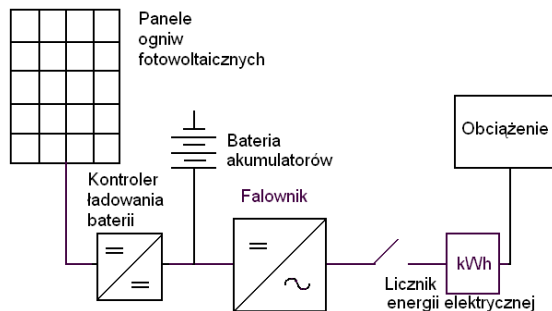
Układy fotowoltaiczne są bardzo popularne w obecnym czasie. Tendencje ich rozwoju są opisywane szeroko w literaturze [1]. Znajdują one różne zastosowania [2], [5], [7]. Między innymi wykorzystywane są one do zasilania silników elektrycznych [8]. Jednym bardzo ważnym elementem tych układów są akumulatory. Istnieje bardzo dużo wykonanych akumulatorów jednak nie wszystkie mogą spełniać wymagań stawianych przez systemy fotowoltaiczne. Jednym z wymagań to możliwość szybkiego ładowania oraz możliwość głębokiego rozładowania.

#### 2. Układ fotowoltaiczny

Przykładowy układ fotowoltaiczny przedstawiono na Rys.1. Składa się on z paneli wytwarzających napięcie ze światła słonecznego, kontrolera ładowania baterii, baterii akumulatorów, falownika, licznika energii elektrycznej. Do wyjścia tego układu podłączone jest obciążenie (odbiorcy energii elektrycznej). Podczas wytwarzania napięcia z paneli fotowoltaicznych doładowywana jest bateria akumulatorów oraz zasilany falownik wytwarzający napięcie przemiennie zasilające odbiorcy energii elektrycznej.

## 2.1 Bateria akumulatorów

Akumulatory lub złożona z nich bateria, w przypadku braku napięcia z paneli fotowoltaicznych, ma za zadanie dostarczanie napięcia elektrycznego do falownika. Falownik stanowi przekształtnik napięcia stałego na napięcie przemiennie. Akumulatorom, stanowiącym w tym układzie źródło napięcia, stawia się twarde wymagania. Jednym z wymagań to odporność na wielokrotne przeładowania oraz zwarcia. Typowe akumulatory ołowiowo-kwasowe stosowane w samochodach nie spełniają tutaj wymagań.



Rys. 1. Przykładowy układ fotowoltaiczny

## 3. Rodzaje akumulatorów

Akumulatory najczęściej stosowane w instalacjach (układach) fotowoltaicznych:

1. Akumulatory bezobsługowe VRL kwasowo-ołowiowe:

a. żelowe GL (ang. Gel),

Zalety: są odporne na wibracje, brak wycieku elektrolitu, pracują w dowolnej pozycji.

Wady: mniejsze moce podczas rozładowania dużymi prądami.

b. suche AGM (ang. Absorbed Glass Mat).

Zalety: wysoka szczelność i wytrzymałość, brak konieczności wymiany elektrolitu.

Wady: wrażliwe na głębokie rozładowania.

2. Akumulatory litowo – jonowe,

Zalety: mała masa, długa żywotność możliwość bardzo szybkiego ładowania, wysoka cena.

Wady: głębokie rozładowanie może doprowadzić do uszkodzenia akumulatorów.

## 4. Techniki ładowania akumulatorów

Ogólnie wyróżnić można następujące techniki ładowania akumulatorów:

1) Ładowanie przy stałym napięciu (ang. Constant Voltage),

2) Ładowanie stałym prądem (ang. Constant Current),

3) Ładowanie o zmiennych parametrach (hermetycznym akumulatorem kwasowo-ołowiowym SLA wyłącznie) (ang. Taper Current),

4) Ładowanie impulsowe (ang. Pulsed charge) [12],

5) Ładowanie impulsowe z prądem ujemnym (ang. burp charge)

6) z przemienną stabilizacją prądu i napięcia ładowania, Ładowanie IUI, (ang. IUI Charging)

7) Ładowanie podtrzymujące, ciągłe, (ang. Trickle charge),

8) Ładowanie konserwacyjne, (ang. Float charge),

9) Ładowanie nieregularne, losowe (ang. Random charging).

## 5. Szybkość ładowania akumulatorów

Szybkość ładowania akumulatorów określana jest parametrem C. Odnosi się do ich pojemności.

Szybkość ładowania akumulatorów (ang. Charging Rates) można podzielić na kilka grup:

1) Powolne ładowanie (ang. Slow Charge = Overnight), całonocne -14 -16 godzinne z tempem ładowania 0.1C, (akumulatory nikielowo-kadmowe NiCd stosowane m.in. w urządzeniach pomiarowych i sterowania wypierane przez akumulatory nikielowo-metalowo-wodorkowy NiMH z zastosowaniem w samochodach hybrydowych) z kontrolą temperatury akumulatora.

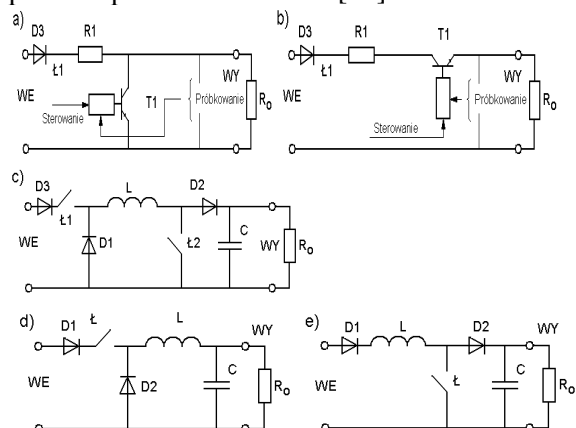
2) szybkie ładowanie pod kontrolą (ang. Quick Charge) lub 3-6 godzinne z tempem ładowania 0.3C,

3) bardzo szybkie ładowanie (ang. Fast Charge) lub poniżej 1 godziny z tempem ładowania 1.0C. Przy szybkim i bardzo szybkim ładowaniu istnieje możliwość przegrzania akumulatorów. Należy zapewnić kontrolę temperatury akumulatorów podczas procesu ich ładowania [10].

Jedną z metod sterowania procesem szybkiego ładowania akumulatorów (1 – 2 godz.) jest metoda przerywania ładowania po wykryciu ujemnych przyrostów napięcia na zaciskach akumulatora (ang. Negative delta V (NDV) Cut-off charge). Szczególnie przeznaczona dla akumulatorów nikielowo-kadmowych.

### 6. Układy ładowania akumulatorów

W instalacjach fotowoltaicznych podstawowymi topologiami układów ładowania (kontrolerów) są przedstawione na Rys.2. W układach akumulatorowych uwzględnia się zmianę irradiancji słonecznej oraz temperaturę podczas procesu ładowania [10].



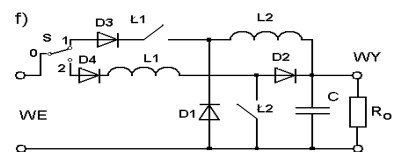
Rys.2. Schematy topologiczne kontrolerów ładowania w systemach fotowoltaicznych: a) równoległy o działaniu ciągłym, b) szeregowy o działaniu ciągłym c), obniżająco – podwyższający o działaniu przerywnym, d) obniżający o działaniu przerywnym, e) podwyższający o działaniu przerywnym

Można dokonać podziału istniejących topologii układów (kontrolerów) ładowania na dwa podstawowe rodzaje:

- 1) o działaniu ciągłym (niska sprawność)
  - a) w układzie równoległym (obniżanie napięcia)
  - b) w układzie szeregowym (obniżanie napięcia)
- 2) o działaniu przerywnym (wysoka sprawność)
  - a) w układzie równoległym (podwyższanie napięcia)
  - b) w układzie szeregowym (obniżanie napięcia)
  - c) w układzie szeregowo-równoległym (zarówno obniżanie jak i podwyższanie napięcia).

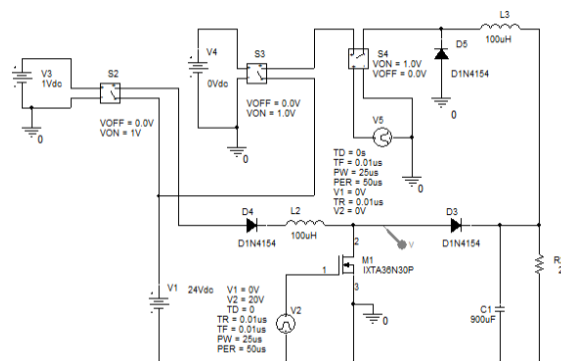
### 7. Opracowany układ ładowania akumulatorów

W obecnej pracy przyjęto układ ładowania przedstawiony na Rys. 3.



Rys.3. Opracowany układ ładowania

Schemat symulacyjny tego układu dla programu PSpice przedstawiono na Rys.4.

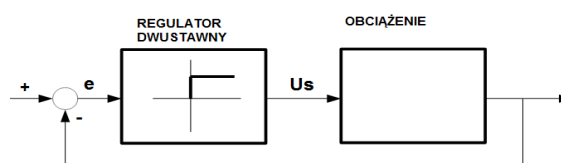


Rys.4. Schemat symulacyjny opracowanego układu ładowania pracujący w trybie podwyższania napięcia (S w poz. 2)

Przyjęto proces ładowania prądem stałym, który może mieć zastosowanie w przypadku akumulatorów nikielowo-kadmowych NiCd i w akumulatorach nikielowo - metalowo wodorkowych NiMH (ang. Nickel – Metal –Hybride) mające obecnie zastosowanie w samochodach hybrydowych. Może mieć również zastosowanie w ładowaniu akumulatorów nikielowo – żelazowych NiFe [11].

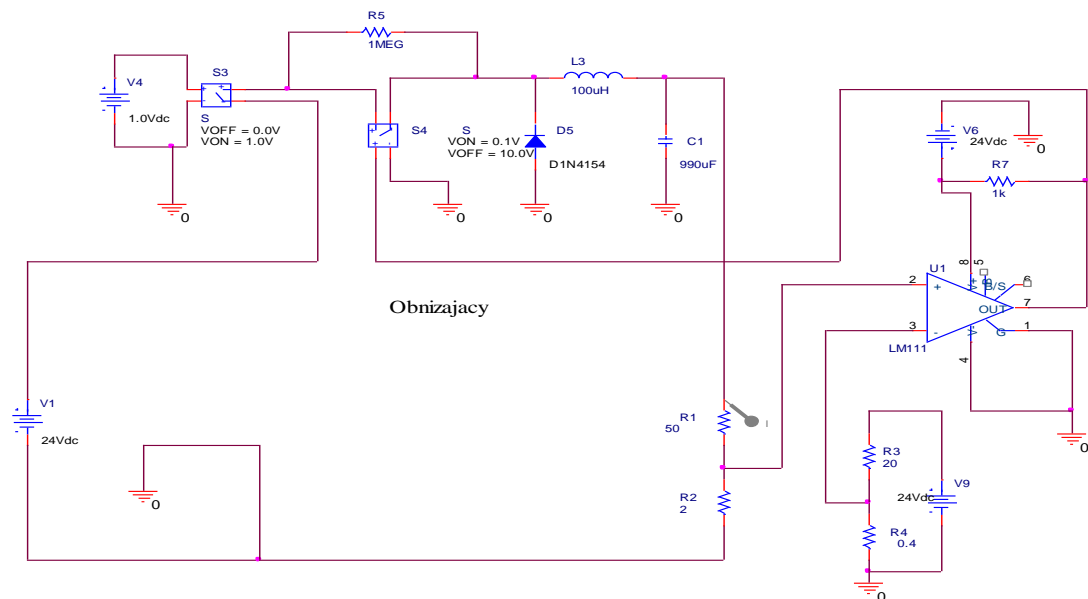
### 8. Badania układu szybkiego ładowania akumulatorów

Schemat blokowy zrealizowanego układu regulacji dwustawnej przedstawiono na Rys.5



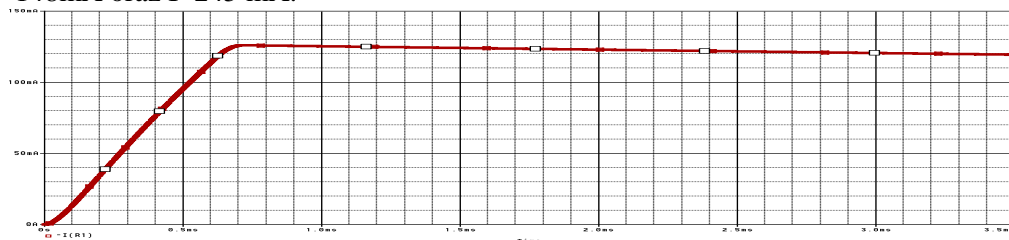
Rys.5. Schemat blokowy regulacji dwustawnej

Opracowany układ symulacyjny szybkiego ładowania prądem stałym przy wykorzystaniu programu PSpice przedstawiono na Rys. 6. Stanowi on część górną obniżającą napięcie układu przedstawionego na Rys.4. Zawiera on układ komparatora analogowego U1 służącego do porównywania sygnału zadanej wartości prądu pochodzącego z dzielnika napięcia R3 i R4 oraz sygnału prądu próbkowanego z bocznika R2. Napięcie pochodzące z panelu fotowoltaicznego

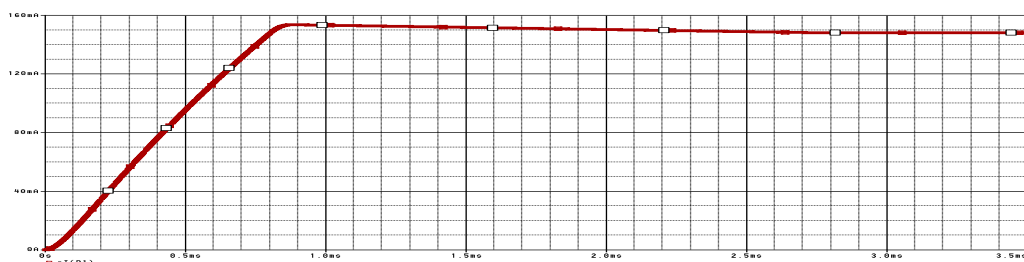


Rys. 6. Opracowany układ szybkiego ładowania baterii stałym prądem w programie PSpice

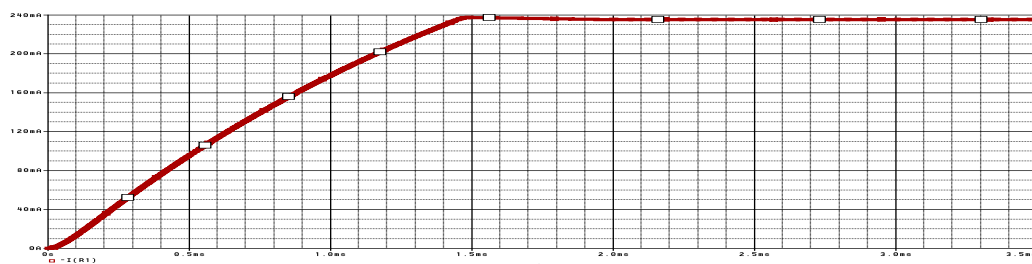
zastąpiono źródłem V1 a obciążenie układu stanowi rezystor R1. Wyniki badań symulacyjnych podano na Rys. 7, 8 i 9, kolejno przy wymuszonych wartościach prądów obciążenia:  $I=118\text{mA}$ ,  $I=148\text{mA}$  oraz  $I=245\text{mA}$ .



Rys. 7. Przebieg prądu ładowania  $I=118\text{mA}$ ; oś  $X(\text{czasu})=0,1\text{ms/dz}$ , oś  $Y = 10\text{mA/dz}$



Rys. 8. Przebieg prądu ładowania  $I=148\text{mA}$ ; oś  $X(\text{czasu})=0,1\text{ms/dz}$ , oś  $Y = 10\text{mA/dz}$



Rys. 9. Przebieg prądu ładowania  $I=245\text{mA}$ ; oś  $X(\text{czasu})=0,1\text{ms/dz}$ , oś  $Y = 10\text{mA/dz}$

## 9. Zakończenie i wnioski

Opracowany układ szybkiego ładowania daje możliwość ustawiania dowolnej wartości prądu ładowania. Wynika to z badań symulacyjnych wykonanych z wykorzystaniem programu PSpice. Przedstawione badania symulacyjne potwierdzają przydatność opracowanego układu w praktyce.

## 10. Literatura

- [1]. K. Piech, P. Dybowski, J. Kozik, E. Ciesielka, T. Siostrzonek K, W. Milej, J. Wójcik, M. Rad, T. Lerch, T. Drabek "Fotowoltaika – tendencje i prognozy", *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe*, nr 2 (122), str. 57 - 62, 2019,
- [2]. M. Ornowski, M.Szymańska, R. Kerschke, W. Moćko "Analiza wykorzystania wiaty postojowej wyposażonej w panele fotowoltaiczne do codziennego ładowania pojazdu elektrycznego", *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe*, nr 2 (102), str. 85 - 88, 2014,
- [3]. K. Kolano, J. Kolano "Problemy rozruchu układów napędowych prądu przemiennego zasilanych z baterii ogniw fotowoltaicznych", *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe*, nr 82, str. 1- 6, 2009,
- [4]. M.Niechaj "Numeryczny model fotowoltaicznego systemu napędowego z maksymalizacją mocy opartą na dodatnim sprzężeniu zwrotnym", *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe*, Nr 86, str. 17 -22, 2010,
- [5]. A. Polak "Eksperymentalna elektrownia solaro – wiatrowa", *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe*, Nr 2 (106), str. 235 - 237, 2015,
- [6]. K. Kolano, J. Kolano: "Praktyczna realizacja układów napędowych z trójfazowym silnikiem indukcyjnym zasilanym z baterii ogniw fotowoltaicznych" – *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 75, str. 223 - 228, 2006,
- [7]. M. Szczepaniak, S. Maleczek "Systemy fotowoltaiczne do zastosowania w aplikacjach militarnych", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 1 (113), str. 73 – 79, 2017,
- [8]. M. Niechaj: "Autonomiczny fotowoltaiczny system napędowy bez elektrycznego źródła bufo - rowego z silnikiem indukcyjnym jednofazowym", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 1 (98), str. 189 – 194, 2013,
- [9]. M. Niechaj "Numeryczny model fotowoltaicznego systemu napędowego z maksymalizacją mocy opartą na dodatnim sprzężeniu zwrotnym" *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 86/2010, str. 17 -22, 2010,
- [10]. S. Yoomak, C. Jettanasen, Atthapol Ngao-pitakkul " Design of solar charger challenging various solar irradiance and temperature levels for energy storage " *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol-

ume 14, Number 6, December 2018, str. 2071 – 2090, 2018,

[11]. C. Luersen, T. M. Walsh, P. Adelman "Use of NI-FE batteries in solar PV systems", *31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, str. 2384-2389, 2015.

[12]. Liang-Rui Chen "A Design of an Optimal Battery Pulse Charge System by Frequency - Varied Technique" *IEEE transactions on industrial electronics*, vol. 54, no. 1, February 2007, str. 398-405.