

# Model elektryczny ładowania akumulatorów trakcyjnych za pomocą energii z ogniw fotowoltaicznych

dr inż. WOJCIECH MOĆKO<sup>1,2</sup>, inż. MAGDALENA SZYMAŃSKA<sup>1,3</sup>, dr inż. MAŁGORZATA KALISZ<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Transportu Samochodowego, Warszawa, <sup>2</sup>Instituto Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa

<sup>3</sup> Politechnika Warszawska, Instituto Mikroelektroniki i Optoelektroniki

Współczesny rozwój przemysłu samochodowego stymulowany jest m.in. ciągle zaostrzonymi przepisami dotyczącymi ochrony środowiska. Działania regulacyjne związane są przede wszystkim z wymogiem oszczędnego gospodarowania energią i ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> [1]. Rosnące zapotrzebowanie na energię spowodowane dynamicznym rozwojem cywilizacyjnym wraz z wymogami redukcji emisji gazów cieplarnianych i ograniczonymi zasobami złóż paliw kopalnianych są powodem wzmożonego zainteresowania odnawialnymi źródłami energii.

W niniejszej pracy przedstawiono koncepcję ładowania akumulatorów trakcyjnych za pomocą energii pochodzącej z paneli fotowoltaicznych. W porównaniu ze standardowym użytkowaniem samochodu emisja CO<sub>2</sub> została ograniczona zarówno przez zastosowanie źródła energii charakteryzującego się znikomą emisją gazów cieplarnianych (zerową bez uwzględniania CO<sub>2</sub> powstałego w trakcie produkcji ogniw) oraz ze względu na brak produktów spalania paliwa w trakcie jazdy samochodem elektrycznym [2–4]. Podstawowe elementy stacji ładowania akumulatorów stanowiły: system paneli fotowoltaicznych przeznaczony do dostarczania energii do ładowania akumulatorów oraz przetwarzania energii pełniący funkcję regulatora energii dostarczanej do ładowanego pakietu akumulatorów oraz pakiet akumulatorów trakcyjnych. Dla zachowania jak największej żywotności i parametrów akumulatory powinny być ładowane w ściśle określonych warunkach [5, 6], a energia pochodząca z ogniw fotowoltaicznych zależy od wielu czynników i jej poziom jest niezwykle zróżnicowany. Konstrukcja układu odbierania energii z ogniw fotowoltaicznych i ładowania baterii pojazdów została poprzedzona wykonaniem pełnego modelu regulatora. W celu symulacji i walidacji urządzenia w trakcie projektowania został wykorzystany model ładowania akumulatorów kwasowo-ołowiowych omawiany w niniejszej pracy.

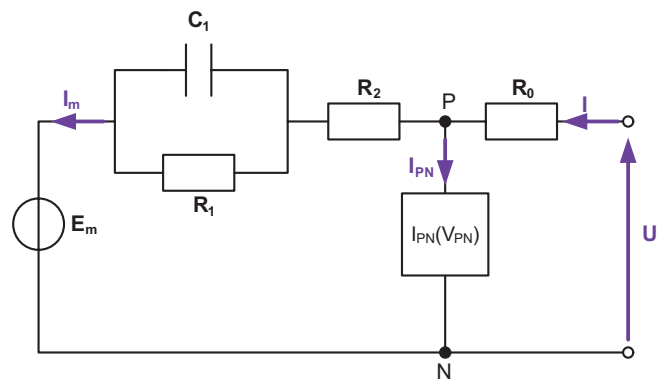
## Model żelowego akumulatora kwasowo-ołowiowego

Model żelowego akumulatora kwasowo-ołowiowego VRLA został opracowany na podstawie pomiarów przeprowadzonych na hamowni podwozowej [7, 8] firmy AVL-Zoellner. Przedmiotem badań był samochód elektryczny marki Zilent Courant wyposażony w komplet dziesięciu akumulatorów trakcyjnych firmy Victron Energy [6] o napięciu nominalnym pojedynczego akumulatora równym 12 V i pojemności 110 Ah. Natężenie prądu i napięcie na zaciskach akumulatorów podczas ładowania mierzono z częstotliwością 1 Hz.

Zastępczy model elektryczny ogniw przedstawiono na rysunku 1. Pojemność ogniw w funkcji natężenia prądu ( $I$ ) oraz temperatury ogniw ( $T_e$ ) definiowana jest za pomocą wzoru [9]:

$$C(I, T_e) = \frac{K_c C_0 \left(1 + \frac{T_e}{-T_z}\right)^\epsilon}{1 + (K_c - 1) \left(\frac{I}{I_n}\right)^\delta} \quad (1)$$

gdzie  $K_c$ ,  $C_0$ ,  $\epsilon$ ,  $\delta$  – stałe wyznaczone za pomocą zależności pojemności od temperatury,  $T_e$  – temperatura elektrolitu,  $T_z$  – temperatura zamrażania elektrolitu,  $I_n$  – natężenie prądu ogniw w danym zastosowaniu.



Rys. 1. Elektryczny schemat zastępczy ogniw kwasowo-ołowiowego VRLA [9]

Fig. 1. Lead-acid VRLA electrical equivalent network

Ładunek dostarczony do ogniw opisano wzorem [9]:

$$Q_e = \int_0^t I_m(\tau) d\tau \quad (2)$$

gdzie  $t$  – krok pomiaru (1s). Natomiast stan naładowania akumulatora (SOC, ang. State of Charge) oraz rzeczywisty poziom naładowania akumulatora (DOC, ang. Depth of Charge) określono następującymi zależnościami [9]:

$$SOC = 1 - \frac{Q_e}{C(0, T_e)} \quad (3)$$

$$DOC = 1 - \frac{Q_e}{C(I_{avg}, T_e)} \quad (4)$$

Temperatura ogniw w zależności od czasu wynosiła [10]:

$$T_e(t) = \int_0^t \frac{1}{C_t} \left( P_s - \frac{T_e - T_a}{R_t} \right) dt \quad (5)$$

gdzie  $P_s$  – moc strat na rezystancjach  $R_0$  i  $R_2$ ,  $T_a$  – temperatura otoczenia,  $C_t$ ,  $R_t$  – termiczna pojemność i rezystancja ogniw. Pozostałe elementy schematu zastępczego wyznaczono za pomocą następujących wzorów [9]:

$$E_m = E_{m0} - K_E (273 + T_e) (1 - SOC) \quad (6)$$

$$R_1 = -R_{10} \ln(DOC) \quad (7)$$

$$C_1 = \frac{R_1}{\tau} \quad (8)$$

$$R_0 = R_{00} (1 + A_0 (1 - SOC)) \quad (9)$$

Natężenie prądu płynącego przez obwód pasożytniczy wynosi [10]:

$$I_{PN} = U_{pn} G_{p0} \exp \left( \frac{U_{pn}}{U_{p0}} + A_p \left( 1 + \frac{T_e}{-T_z} \right) \right) \quad (10)$$

gdzie  $U_{pn}$  – napięcie na obwodzie pasożytniczym,  $G_{p0}$ ,  $A_p$ ,  $U_{p0}$  – współczynniki modelu (tabela 1). Elementy zastępczego obwodu elektrycznego ogniw są funkcją m.in. stanu naładowania akumulatora, temperatury i natężenia prądu płynącego przez ogniwo.

wo, ale także wielu parametrów zależnych od rodzaju modelowanego akumulatora i jego właściwości. Wartości poszczególnych parametrów wyznaczono za pomocą symulacji przeprowadzonych w programie MATLAB. Charakterystyka ładowania (napięcie na zaciskach akumulatorów przy zadanym profilu natężenia prądu ładowania) została aproksymowana do pomiarów przeprowadzonych na hamowni podwoziowej. Wartości poszczególnych parametrów występujących we wzorach (1–10) zostały przedstawione w tabeli.

Parametry modelu ogniwa kwasowo-ołowiowego VRLA

Parameters of lead-acid VRLA battery model

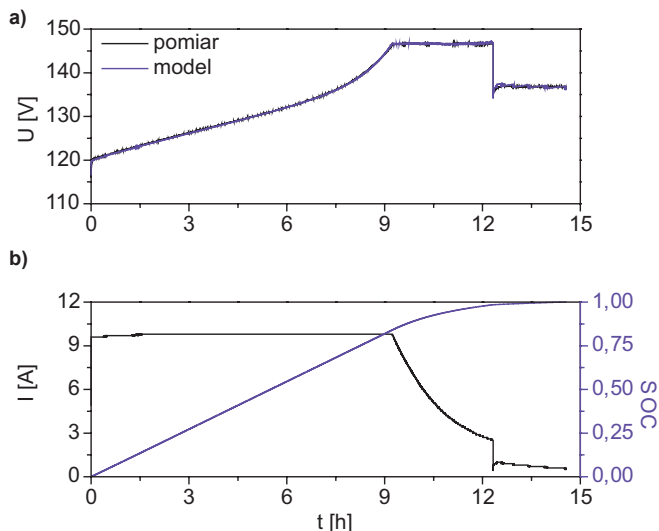
$I_n = 10 \text{ A}; C_0 = 83,74 \text{ Ah}; K_c = 1,20; T_f = -40^\circ\text{C}; \varepsilon = 0,40; \delta = 0,67$
$E_{m0} = 2,2\text{V}; K_E = 1,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}; R_{00} = 2 \text{ m}\Omega; A_0 = -8,5; R_{10} = 134,2\Omega;$
$R_{20} = 76,8 \text{ m}\Omega; A_{21} = -11,7; A_{22} = -3,8; \tau = 77060 \text{ s}; T_a = 25^\circ\text{C}$
$V_{p0} = -1,6 \text{ V}; G_{p0} = 72,4 \text{ mS}; A_p = 2,1$
$R_t = 0,7 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}; C_t = 12 \text{ Wh}/^\circ\text{C}$

Na rysunku 2 przedstawiono porównanie charakterystyk ładowania kompletu akumulatorów trakcyjnych prądem o zadanym profilu. Przebieg napięcia w trakcie ładowania zmierzony (czarna linia) i otrzymany w trakcie symulacji (fioletowa linia) przedstawiono na rys. 2a. W trakcie całego czasu ładowania różnice między przebiegami napięć są niewielkie – bezwzględny błąd dopasowania krzywych wynosi 0,1%. Przebieg natężenia prądu ładowania o zadanym profilu (czarna linia) wraz ze zmianą stanu naładowania akumulatorów (SOC, fioletowa linia) przedstawiono na rys. 2b.

## Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono model elektryczny żelowego akumulatora kwasowo-ołowiowego opracowany na podstawie danych katalogowych producenta i pomiarach charakterystyki ładowania na hamowni podwoziowej. Opracowany model charakteryzuje się dużą dokładnością (błąd bezwzględny dopasowania poniżej 1%) względem pomiarów. Model elektryczny akumulatorów trakcyjnych znajduje zastosowanie w demonstratorze stacji ładowania akumulatorów za pomocą energii z ogniw fotowoltaicznych. Dzięki zastosowaniu symulatora zamiast akumulatorów trakcyjnych możliwe było znaczne usprawnienie procesu badania i projektowania urządzeń współpracujących z akumulatorami, przede wszystkim systemu przetwarzania energii.

Niniejsza praca była finansowana przez NCBiR (numer projektu: NR10-0020-10)



Rys. 2. Przebiegi napięcia (U), natężenia prądu (I) oraz stanu naładowania akumulatora w funkcji czasu (t) w trakcie ładowania 10 akumulatorów trakcyjnych

Fig. 2. Voltage (U), current (I) and state of charge (SOC) in the time (t) function in the course of charging 10 traction batteries

## Literatura

- [1] Hamelinck C.N., Faaij A.P.C., Outlook for advanced biofuels, Energy Policy, 34/17, 2006, 3268–3283.
- [2] Moćko W., Wojciechowski A., Staniak P., Zastosowanie odnawialnych źródeł energii w transporcie, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, 2, 2012, 99–105.
- [3] Staniak P., Moćko W., Wojciechowski A., Well-To-Wheel CO2 Emission of electric Vehicle in Poland, Journal of Kones, 19(4), 2012, 139–148.
- [4] Staniak P., Moćko W., Wojciechowski A., Application of Green Energy for EC Battery Charging Station, Journal of Kones, 19(1), 2012, 371–376.
- [5] Staniak P., Iwański G., Moćko W., Konceptcja modułowego elektronicznego systemu przekształcania energii paneli fotowoltaicznych dla stacji wymiany akumulatorów trakcyjnych. Elektronika, 7, 2012, 99–100.
- [6] Vicron Energy, Gel and AGM Batteries, www.vicronenergy.com, nota aplikacyjna.
- [7] Chłopek Z i in., Praca ITS nr 6110/COŚ/2011-2012.
- [8] Gis W., Żółtowski A., Bocheńska A., Testing of the Electric Vehicle in Driving Cycles, Journal of KONES, 19/4, 2012, 207–221.
- [9] Ceraolo M., New Dynamical Models Of Lead-Acid Batteries, IEEE Transactions On Power Systems, 15, 2000, 1184–1190.
- [10] Barsali S., Ceraolo M., Dynamical Models Of Lead-Acid Batteries; Implementation Issues, IEEE Transactions On Energy Conversion, 17, 2002, 16–23.

www.sigma-not.pl

Największa baza artykułów technicznych online!