

Krzysztof JANKOWSKI

SPRAWNOŚĆ ELEKTRYCZNA AKUMULATORA SAMOCHODOWEGO W WARUNKACH CYKLICZNEGO ROZŁADOWANIA ROZRUCHOWEGO

W artykule omówione zostało zagadnienie wpływu wartości prądu pobieranego z akumulatora samochodowego na jego sprawność elektryczną. Sformułowane zostało pojęcie sprawności elektrycznej rozruchowej.

WSTĘP

Akumulator samochodowy jest urządzeniem magazynującym energię elektryczną dzięki zachodzącym w nim procesom elektrochemicznym. Razem z alternatorem tworzy obwód zasilania instalacji elektrycznej pojazdu.

W obwodach zasilania samochodowych instalacji elektrycznych są stosowane powszechnie akumulatory rozruchowe ołowiowe (kwasowe), o napięciu znamionowym 12V. W instalacjach, o napięciu znamionowym 24V, stosuje się po 2 akumulatory 12V połączone szeregowo.

W początkowym okresie rozwoju motoryzacji duża wartość pojemności znamionowej akumulatora pozwalała, przy małym wydatku prądowym najpierw prądnicą a później alternatora, zasilać z niego odbiorniki instalacji elektrycznej podczas jazdy.

Obecnie najważniejszym zadaniem akumulatora jest zasilanie rozrusznika podczas uruchamiania silnika oraz zasilanie, podczas jazdy, coraz większej liczby odbiorników „impulsowych” tzn. takich, które pobierają relatywnie duże wartości prądu często i przez krótki okres czasu (np. elektryczne wspomaganie układu kierowniczego). Zdarza się, że silnie obciążony alternator nie zawsze może przejąć w pełni takie obciążenie. W takich sytuacjach akumulator spełnia funkcję swoistego bufora.

Rozładowywany impulsowo akumulator w podobny sposób jest doładowywany z alternatora. Wartości prądów ładowania są oczywiście wtedy mniejsze a czasy ładowania dłuższe. Jednak duża częstotliwość takich doładowań uzasadnia postawienie problemu sprawności elektrycznej akumulatora samochodowego zarówno w aspekcie kosztów jak i jego trwałości.

Negatywne doświadczenia wielu firm samochodowych z trwałością akumulatorów już w okresie gwarancyjnym, w szczególności w samochodach wyposażonych w systemy start-stop, nakazują dokładniejsze rozeznanie tego zagadnienia.

1. PODSTAWOWE PARAMETRY SAMOCHODOWYCH AKUMULATORÓW ROZRUCHOWYCH

Akumulatory samochodowe są charakteryzowane przez wiele parametrów określających ich cechy konstrukcyjne i użytkowe.

Z eksploatacyjnego punktu widzenia do najważniejszych z nich należą:

- napięcie znamionowe akumulatora,
- pojemność akumulatora,
- prąd rozruchowy.

Wartości tych trzech parametrów są trwale umieszczane na obudowach akumulatorów - rys. 1.



Rys.1. Typowy samochodowy akumulator rozruchowy a) wygląd, b) podstawowe parametry akumulatora umieszczone na jego obudowie

Napięcie znamionowe akumulatora określa jego przydatność do określonego rodzaju (konstrukcji) instalacji elektrycznej samochodu.

Pojemność znamionowa i prąd rozruchowy określają przydatność akumulatora odpowiednio do powolnego i szybkiego (rozruchowego) jego rozładowywania.

Umieszczane na obudowach wartości pojemności znamionowych i prądów rozruchowych dotyczą akumulatorów nowych i w pełni naładowanych.

W przypadku akumulatorów wyeksploatowanych, bądź nie w pełni naładowanych, rzeczywiste wartości tych parametrów są niższe.

Pojemność akumulatora maleje ze wzrostem wartości prądu wyładowania, ponieważ szybciej osadzająca się na płytach warstwa siarczanu ołowiowego ogranicza ilość masy czynnej wchodzącej w reakcję z elektrolitem.

Sposób określania tych parametrów określają normy [6], [7].

2. PRĄD ROZRUCHOWY AKUMULATORA

Zgodnie z obowiązującą w Polsce normą [6] prąd rozruchowy jest to prąd wyładowania I_{cc} , określony przez producenta, jaki akumulator jest w stanie dostarczyć w temperaturze $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez 10 s do minimalnego napięcia $U_w = 7,5\text{ V}$ [6]. Przed takim badaniem akumulator jest umieszczany w komorze chłodniczej z wymuszonym obiegiem powietrza, w temperaturze $(-18 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$, tak długo, aż temperatura w jednym ze środkowych ogniw nie osiągnie temperatury $(-18 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Przyjmuje się, że wymagana temperatura zostaje osiągnięta po minimum 24 godzinach przebywania akumulatora w takiej komorze.

W praktyce na rynku występują akumulatory, które prąd rozruchowy jest określany według różnych norm - tab.1.

Tab. 1. Sposób określania prądu rozruchu I_{cc} wg różnych norm

Norma	DIN	IEC	EN1	SAE	JIS
Temp. akumulatora podczas pomiaru	- 18°C	- 18°C	- 18°C	- 18°C	- 15°C
Czas pomiaru	30s (150s)	60s	10s	30s	10s/300A 30s/150A
Minimalne napięcie końcowe wyładowania	9 V (6V)	8,4 V	7,5 V	7,2 V	6V

Normy:

DIN (Standard Niemiecki) – norma nie daje jasnej informacji o zdolnościach rozruchowych akumulatora.

IEC (Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna) - w Europie norma wychodzi z użycia.

EN1 (Norma Europejska): 50342-1:2016-01 - poprzednio EN50342.1 2006 oraz wcześniej EN 60095-1.

SAE (Standard Amerykański) – norma powszechnie stosowana w Wielkiej Brytanii.

JIS (Japoński Standard Przemysłowy) – norma w Europie rzadko stosowana.

Przeliczanie wartości prądów rozruchowych na poszczególne normy jest możliwe za pomocą empirycznych wzorów [9]:

$$DIN = 0,85IEC \quad (1)$$

$$IEC = \frac{DIN}{0,85} \quad (2)$$

$$DIN = (SAE - 40) \cdot 0,66 \quad (3)$$

$$SAE = 3 \frac{DIN}{2} + 40 \quad (4)$$

$$EN = \frac{DIN}{0,6} \quad (5)$$

3. SPRAWNOŚĆ ELEKTRYCZNA AKUMULATORA

Sprawnością elektryczną η_{el} określa się stosunek pojemności C_w pobranej z naładowanego akumulatora, przy wyładowaniu w określonych warunkach, do pojemności C_i potrzebnej do jego ponownego całkowitego naładowania [8]:

$$\eta_{el} = \frac{C_w}{C_i} \quad (6)$$

W praktyce sprawność elektryczna akumulatora η_{el} jest określana dla prądu znamionowego (dwudziestogodzinnego) i końcowego napięcia wyładowania 10,5V (1,75V/ogniwo).

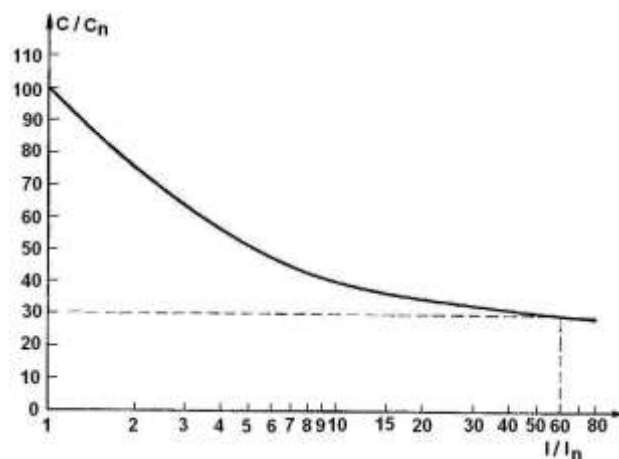
W takich warunkach pomiarowych, przy temperaturze elektrolitu w przedziale 20-25 °C, sprawność η_{el} wynosi (80 ÷ 90) % [8].

Praktyczna przydatność tak określonej sprawności elektrycznej jest ograniczona, gdyż rozładowywanie akumulatora prądem znamionowym w praktyce nie występuje.

Przy określaniu sprawności elektrycznej η_{el} nie unormowane są:

- prąd wyładowania I ,
- temperatura elektrolitu podczas wyładowania T ,
- stan naładowania akumulatora C .

Wpływ prądu wyładowania akumulatora na jego rzeczywistą pojemność przedstawia rys.2.

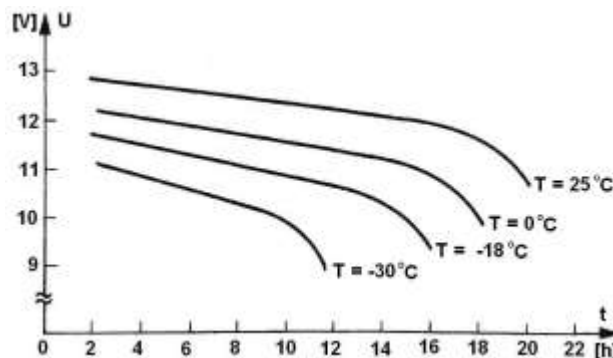


Rys. 2. Zmiana pojemności akumulatora w zależności od prądu wyładowania [8]

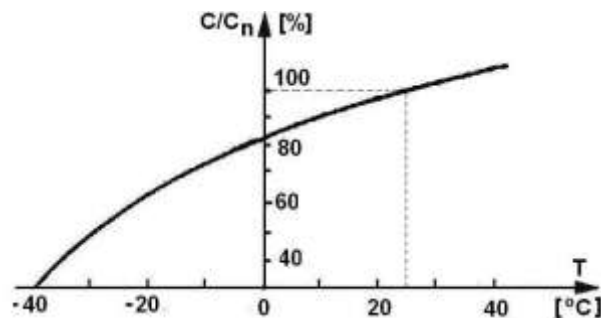
Z rysunku 2 jasno wynika bezcelowość określania sprawności elektrycznej akumulatora dla wartości stosunku I/I_n poniżej 60, gdyż każdej niewielkiej zmianie wartości prądu obciążenia akumulatora towarzyszyć będzie duża zmiana jego rzeczywistej pojemności a tym samym i obliczonej sprawności.

W celu osiągnięcia poprawności metodologicznej oraz zbliżenia się do wartości rzeczywistych prądów pobieranych z akumulatora w warunkach rozruchu autor proponuje przyjęcie do badań prądu $I = 3C_n$, co odpowiada stosunkowi $I/I_n = 60$.

Pojemność i czas wyładowania akumulatora zależą również od temperatury elektrolitu w celach - rys. 3 i 4.



Rys. 3. Zmiana napięcia na zaciskach akumulatora w zależności od temperatury elektrolitu, podczas rozładowywania prądem I_n [8]



Rys. 4. Zmiana pojemności akumulatora w zależności od temperatury elektrolitu [8]

Autor proponuje, dla nowoczesnych akumulatorów, w szczególności wykonywanych w technologii AGM (Absorbent Glass Mat) i

EFB (Enhanced Flooded Battery) wprowadzenie **sprawności elektrycznej rozruchowej**.

4. SPRAWNOŚĆ ROZRUCHOWA AKUMULATORA

Autor proponuje określanie **sprawności rozruchowej stosunkiem ładunku pobranego podczas cyklicznego rozruchowego rozładowania do ubytku pojemności akumulatora**.

Kluczowym zagadnieniem jest określenie:

- wartości prądu pobieranego podczas próby
- czasu rozruchu oraz
- przerw czasowych między rozruchami (częstotliwość rozruchów)
- końcowej wartości napięcia pod obciążeniem.

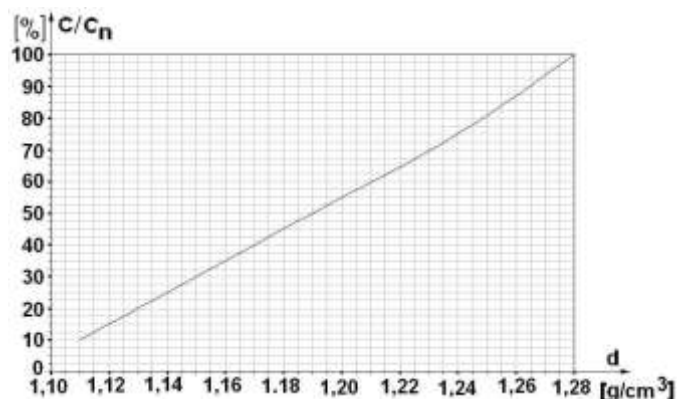
W normie [6] prąd rozruchowy akumulatora jest określany w temperaturze $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ przy obciążeniu go przez 10 s do minimalnego napięcia $U_w = 7,5\text{ V}$.

Zarówno temperatura akumulatora jak i czas jego rozładowania nie oddają typowych, rzeczywistych warunków jego obciążenia podczas rozruchu silnika.

Autor proponuje zatem **przyjęcie procedury rozładowywania prądem $I_r \approx 3C_n$, przez 5s, w cyklu 30-sekundowym, do chwili osiągnięcia przez akumulator pod obciążeniem napięcia 7,5V, w temperaturze $20\text{ }^{\circ}\text{C}$** .

4.1. Proponowana procedura badań

1. Przed wykonaniem pomiarów zmierzyć i zanotować gęstości oraz temperatury elektrolitu w poszczególnych celach badanego akumulatora.
Na podstawie wykresu przedstawionego na rys.3 określić wartość pojemności początkowej badanego akumulatora C_p .



Rys.3. Zależność stopnia naładowania akumulatora od gęstości elektrolitu [5]

2. Obciążać cyklicznie akumulator prądem $I_r \approx 3C_n$, przez 5s, w cyklu 30-sekundowym (obciążenie przez 5s i 25s przerwy).
3. Po osiągnięciu przez akumulator stanu, w którym podczas kolejnego obciążenia napięcie na zaciskach akumulatora wyniesie 7,5V przerwać badania i ponownie z wykresu przedstawionego na rys.3 określić wartość pojemności końcowej akumulatora C_k .
4. Obliczyć ubytek ładunku akumulatora ΔC ze wzoru (7):

$$\Delta C = C_p - C_k \quad (7)$$

5. Obliczyć pobrany ładunek (w Ah) podczas cyklicznego rozładowania ze wzoru (8)

$$C_r = \frac{5}{3600} \sum_{i=1}^n I_{ri} \quad (8)$$

gdzie:

C_r - ładunek pobrany z akumulatora w czasie sprawdzania cyklicznej zdolności rozruchowej w Ah,

I_{ri} - średni prąd pobrany z akumulatora w i-tym pomiarze w A.

n - liczba wykonanych cykli obciążenia akumulatora.

Stała 5/3600 we wzorze (8) wynika z przeliczenia czasu załączenia obciążenia, wyrażonego w sekundach, na godziny.

6. Wyznaczyć sprawność rozruchową akumulatora podczas cyklicznego obciążania prądem $I_r \approx 3C_n$ według wzoru:

$$\eta_r = \frac{C_r}{\Delta C} \quad (9)$$

5. SPRAWNOŚĆ ELEKTRYCZNA ROZRUCHOWA AKUMULATORA

W niniejszym artykule autor proponuje wprowadzenie do kryteriów ocen parametrów eksploatacyjnych akumulatorów samochodowych pojęcia **sprawności elektrycznej rozruchowej**.

Określenie sprawności elektrycznej rozruchowej akumulatora pozwoli oceniać jak duże wartości prądów obciążenia akumulatora wpływają na jego przydatność do częstych rozruchów.

Określona wzorem (9) sprawność rozruchowa akumulatora pokazuje tylko sprawność gospodarowania ładunkiem akumulatora już naładowanego.

Aby utrzymać filozofię pojęcia sprawności elektrycznej akumulatora wyrażoną wzorem (6) należałoby uwzględnić konieczność jego ponownego naładowania.

Gdyby zatem przyjąć, że sposób określania wartości pojemności C_w pobranej z naładowanego akumulatora - wzór (6) - może być podobny jak ubytek pojemności akumulatora ΔC wyliczony ze wzoru (7), wówczas

$$\Delta C = C_w \quad (10)$$

Wzór (9) przyjmie zatem postać:

$$\eta_r = \frac{C_r}{C_w} \quad (11)$$

Filozofia będąca podstawą formułowania wzoru (6) pozwala autorowi zaproponować analogiczną zależność dla rozładowań rozruchowych - **sprawność elektryczną rozruchową akumulatora** - wyrażoną stosunkiem ładunku pobranego podczas cyklicznego rozładowania rozruchowego do pojemności C_i potrzebnej do jego ponownego całkowitego naładowania

$$\eta_{elr} = \frac{C_r}{C_i} \quad (12)$$

Po uwzględnieniu wzorów (6) i (11) zależność (12) przyjmie ostatecznie postać:

$$\eta_{elr} = \eta_r \eta_{et} \quad (13)$$

PODSUMOWANIE

Sformułowany przez autora i przedstawiony w artykule problem **sprawności** elektrycznej **rozruchowej** jest wstępem do podjęcia szerszych badań w tym zakresie w sytuacji kiedy akumulatory stosowane we współczesnych samochodach są stale obciążane przez rozruszniki (układy start-stop) oraz przez odbiorniki pobierające relatywnie często duże wartości prądów w krótkim czasie.

Analiza wzoru (13) oraz przebiegu charakterystyk przedstawionych na rysunkach 3 i 4 potwierdza znaczące zmniejszanie się sprawności akumulatora podczas rozruchowego obciążania.

Wpływa to na zwiększony pobór prądu z alternatora a tym samym na wzrost zużycia paliwa i poziomu emisji szkodliwych składników spalin.

Występujące w eksploatacji współczesnych samochodów problemy z trwałością akumulatorów, również tych wykonywanych w technologiach AGM i EFB, wskazują na zasadność wprowadzenia pojęcia **sprawności elektrycznej rozruchowej** jako parametru przydatnego do oceny zarówno samych akumulatorów jak i przy porównywaniu różnych ich konstrukcji oraz technologii wykonania przez ich poszczególnych producentów.

Obowiązująca w całej Unii Europejskiej norma [6] nie odnosi się do tego zagadnienia.

BIBLIOGRAFIA

1. Czerwiński A.: Akumulatory baterie ogniwa. WKiŁ, Warszawa 2005.

2. Dziubiński M.: Laboratorium elektrotechniki i elektroniki samochodowej. WUPL, Lublin 1996.
3. Glinka T., Kulesz B., Setlak R.: Laboratorium elektrotechniki i elektroniki samochodowej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
4. Jankowski K.: Laboratorium elektrotechniki samochodowej. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2006.
5. Jankowski K.: Elektrotechnika samochodowa. Ćwiczenia laboratoryjne. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej 2010.
6. PN-EN 50342-1:2016-01: Akumulatory ołowiowe rozruchowe - Wymagania ogólne i metody badań.
7. PN-EN 60095-1: Akumulatory ołowiowe rozruchowe. Wymagania ogólne i metody badań. 1999.
8. Ziętkiewicz Z.: Akumulatory samochodowe i motocyklowe. Wyd. 7. WKiŁ, Warszawa 1983.
9. www.akumar.pl.
10. www.akumulator.pl.

Ampere-hour efficiency of car battery during periodical starting discharges

Paper discussed the problem of influence value load current on the starting efficiency of the car batteries. Author defines concept of starting efficiency of car batteries.

Autor:

dr inż. **Krzysztof Jankowski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, e-mail: info@jankowski.biz