

STAŁA CZASOWA JAKO MIARA CECH DYNAMICZNYCH AKUMULATORA KWASOWEGO

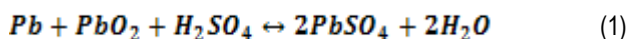
Streszczenie

W artykule scharakteryzowano SEM polaryzacji, jako wielkość reprezentującą cechy dynamiczne akumulatora. Opisano jej wpływ na procesy zachodzące w akumulatorze kwasowym podczas jego pracy. Wykazano, że intensywność jej zmian może być wyrażana za pomocą stałej czasowej. Przedstawiono schemat zastępczy akumulatora kwasowego, w którym jego cechy dynamiczne w warunkach zmiennego obciążenia prądowego reprezentuje obwód CR_C . Przedstawiono sposób wyznaczania stałej czasowej za pomocą wykładniczych funkcji regresji dla SEM polaryzacji. Wyniki obliczeń zestawiono w formie wykresów i dokonano ich interpretacji.

WSTĘP

Akumulator kwasowo-ołowiowy, w dużym uproszczeniu, składa się z ogniw wykonanych z ołowiu zanurzonych w elektrolicie, którym jest wodny roztwór kwasu siarkowego. Ze względu na to, że ogniwa akumulatora wykonane są z tego samego metalu w stanie początkowym (bez doprowadzenia energii z zewnątrz) nie jest on w stanie wytwarzać prądu. Dopiero doprowadzenie energii elektrycznej z obcego źródła zasilania powoduje zapoczątkowanie procesów prądowótórczych. Przepływ prądu elektrycznego przez płyty ogniw powoduje zmianę ich stanu i zapoczątkowanie przemian chemicznych na powierzchni elektrod (płyt). Reakcje te powodują, że elektrody stają się różne pod względem składu chemicznego. Na jednej z nich wydziela się gąbczasty ołów, na drugiej – tlenek ołowiu. Z chwilą zaniku energii zewnętrznej między płytami powstaje różnica potencjałów, której wartość nominalna dla nieobciążonego ogniwa wynosi około 2 V. Potencjał elektrody powstaje na granicy styku metalu z elektrolitem i związany jest z dążnością atomów metalu do przejścia do elektrolitu. Mechanizm powstawania potencjałów jest związany bezpośrednio z „pracą wyjścia”, jaką trzeba wykonać nad jonem, aby mógł on przejść z powierzchni metalu do elektrolitu. Inaczej mówiąc „praca wyjścia” to energia potrzebna do przejścia jonu z powierzchni metalu do elektrolitu. Źródło prądu, w którym do wytworzenia siły elektromotorycznej niezbędne jest wykonanie pracy powodującej przejście atomu w stan jonowy nazywa się źródłem chemicznym, natomiast źródła, w których siła elektromotoryczna powstaje na granicy styku metalu z elektrolitem noszą nazwę ogniw galwanicznych [1].

Procesy prądowótórcze w akumulatorze opisane są reakcją, której przebieg przedstawia równanie stechiometryczne:



Reakcje chemiczne podczas pracy akumulatora przebiegają dwukierunkowo, co oznacza, że akumulator jest odwracalnym, chemicznym źródłem prądu, a związek między ilością substancji ulegającej przemianie a wytworzonym ładunkiem elektrycznym dostarczonym do obwodu opisują prawa Faradaya. Ilość masy czynnej ulegającej przemianie podczas pracy akumulatora zależy od zdolności jonów do dyfuzji do wnętrza masy czynnej elektrod [4].

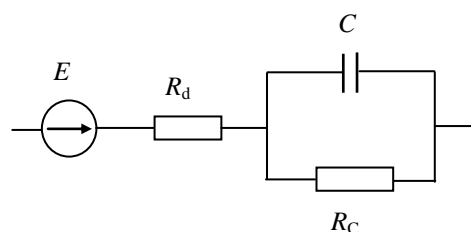
Odwracalność procesu pozwala na uzupełnianie energii elektrycznej wykorzystanej do zasilania odbiorników poprzez ponowne ładowanie akumulatora (dostarczenie energii z zewnątrz) co pozwala na podtrzymanie procesu prądowótórczego. Procesy prądowótórcze w akumulatorze związane z przemieszczaniem się jonów w

elektrolicie i elektronów w metalu elektrod powodują zmianę gęstości elektrolitu w otoczeniu płyt ogniwa. Zmiany te powodują powstawanie SEM polaryzacji nie związanej z przyjmowaniem przez elektrody potencjałów normalnych [2, 4].

W artykule podjęto próbę analizy intensywności zmian SEM polaryzacji po okresie wyładowania akumulatora.

1. SIŁA ELEKTROMOTORYCZNA POLARYZACJI

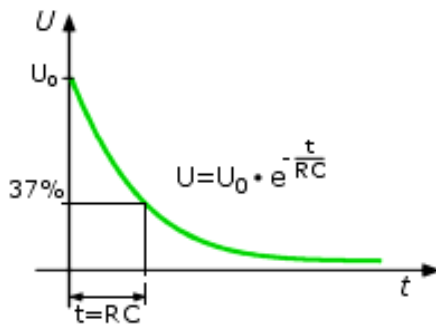
Zjawisko polaryzacji elektrod akumulatora związane jest ze zmianą siły elektromotorycznej (SEM) wywołaną ruchem cząstek (jonów) w otoczeniu płyt. Polaryzacja powstaje wskutek dyfuzji jonów w głąb masy czynnej oraz polaryzacji elektrolitu wywołanej lokalną zmianą gęstości podczas obciążenia prądowego. Istnienie procesów polaryzacji elektrod powoduje, że zmiana napięcia mierzona na zaciskach obciążonego akumulatora wykazuje brak proporcjonalności w stosunku do zmian natężenia prądu pobieranego podczas wyładowania. Wynikiem tego jest brak stałej wartości rezystancji wewnętrznej podczas zmiennego obciążania prądowego. Powoduje to, że akumulator w warunkach wyładowania powinien być analizowany jako obiekt dynamiczny. Autor w pracy [4] rozpatruje akumulator jako obiekt dynamiczny pierwszego rzędu, dla którego w warunkach obciążenia zmiennego podstawowe znaczenia ma siła elektromotoryczna polaryzacji. Wówczas na skokowo zadane obciążenie prądowe akumulatora jego odpowiedź w postaci zmian napięcia mierzonego na zaciskach będzie miała charakter wykładniczy. Schemat elektryczny akumulatora uwzględniający jego cechy dynamiczne przedstawia rysunek 1 [4].



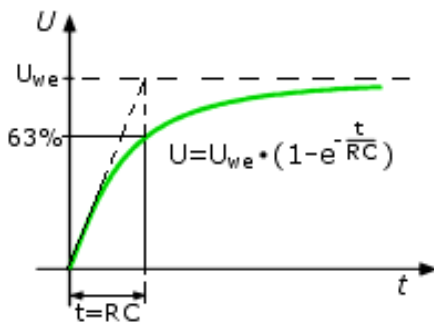
Rys.1. Schemat elektryczny akumulatora uwzględniający jego cechy dynamiczne: E – statyczna siła elektromotoryczna, R_d – opór wewnętrzny dynamiczny [4]

Na rysunku 1 człon opisujący cechy dynamiczne akumulatora składa się z pojemności oznaczonej C oraz rezystancji R_C . Podczas pracy akumulatora człon ten reprezentuje zmiany wartości siły elektromotorycznej polaryzacji. Z chwilą zaniku napięcia zewnętrznego kondensator zostanie rozładowany przez rezystor R_C , zgodnie

z przebiegiem krzywej rozładowania przedstawionej na rysunku 2. Podczas ładowania napięcie na zaciskach kondensatora będzie wzrastać wykładniczo, aż osiągnie wartość U_{we} , co obrazuje krzywa na rysunku 3.



Rys. 2. Krzywa rozładowania kondensatora przez rezystor R_c [3]



Rys. 3. Krzywa ładowania kondensatora przez rezystor R_c [3]

Przebiegi krzywych rozładowania kondensatora – rysunek 2 oraz ładowania kondensatora – rysunek 3 są podobne do przebiegu napięcia podczas pracy akumulatora przedstawionego na rysunku 5. W chwili włączenia obciążenia prądowego napięcie na zaciskach akumulatora maleje aż do ustalenia się wartości na stałym poziomie, natomiast po wyłączeniu obciążenia rośnie do ustalenia się jego wartości równej wartości napięcia występującego na zaciskach akumulatora. Potwierdza to poprawność schematu elektrycznego akumulatora przedstawionego na rysunku 1. Jako cechy związane z siłą elektromotoryczną polaryzacji uwzględni on pojemność kondensatora oraz rezystancję. Zatem na podstawie wartości pojemności oraz rezystancji akumulatora można by łatwo wyznaczyć stałą czasową obwodu związaną z SEM polaryzacji. W rzeczywistości nie jest to łatwe, gdyż nie są znane wartości wymienionych parametrów [4]. Z uwagi na to stała czasowa będzie, w równaniach linii trendu aproksymujących przebiegi napięcia akumulatora podczas wyładowania, podawana w postaci jawnej.

Ogólną postać równania aproksymującego, na podstawie drugiego prawa Kirchhoffa dla części obwodu C , R_c reprezentującego SEM polaryzacji, można zapisać w postaci (2) [4]:

$$U_c + U_{R_c} = 0 \quad (2)$$

Uwzględniając definicję pojemności kondensatora i prawo Ohma otrzymano [4]:

$$\frac{Q}{C} = -I \cdot R_c = -\frac{dQ}{dt} \cdot R_c \quad (3)$$

gdzie: Q – ładunek elektryczny kondensatora, I – natężenie prądu płynącego w obwodzie C , R_c .

Wiadomo, że natężenie prądu jest pochodną ładunku elektrycznego, dlatego też równanie (3) jest zapisane w postaci różniczkowej. Jego rozwiązaniem jest funkcja wykładnicza wyrażająca

zmianę ładunku Q zgromadzonego w kondensatorze. Uwzględniając warunki początkowe, w których wartość ładunku kondensatora wynosi Q_0 otrzymamy następujące równanie opisujące jego zmianę w czasie [4]:

$$Q = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (4)$$

gdzie: $\tau = CR_c$ jest stałą czasową.

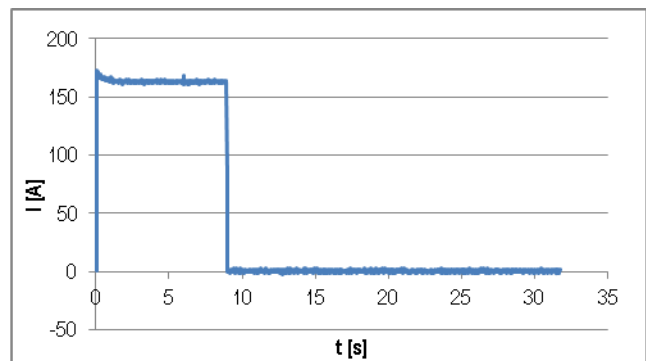
Na podstawie równania (4) zapisano wyrażenie opisujące zmiany napięcia na kondensatorze jako zmiany siły elektromotorycznej polaryzacji akumulatora U_p [4]:

$$U_p = U_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (5)$$

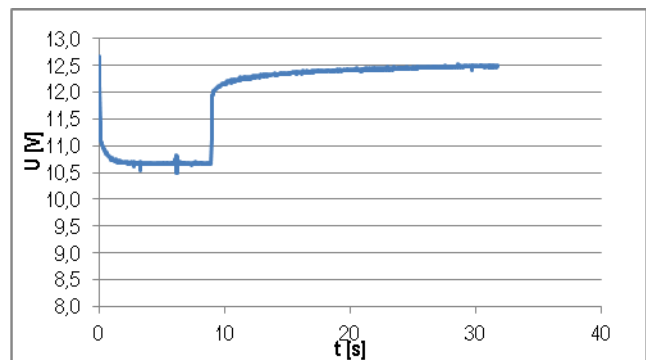
gdzie: U_0 – wartość początkowa SEM polaryzacji.

2. METODYKA WYZNACZANIA STAŁEJ CZASOWEJ

W celu wyznaczenia stałej czasowej przeprowadzono badania akumulatora o pojemności 54 Ah przy czterech różnych wartościach temperatury $T = [-5, 0, 10, 15]$ °C. Podczas badań akumulator umieszczono w komorze klimatycznej, która utrzymywała stałą wartość temperatury podczas całego cyklu. W każdej temperaturze akumulator obciążano prądem o natężeniu $I = 61,89$ A oraz $I = 167,15$ A. Do obciążania wykorzystywano opornicę wykonaną z siedmiu drutów oporowych, które połączone odpowiednio umożliwiały zmianę natężenia prądu wyładowania. W trakcie trwania obciążenia i bezpośrednio po jego zakończeniu rejestrowano przebiegi natężenia prądu wyładowania oraz napięcia – rysunek 4 i 5. Czas obciążenia akumulatora był równy około 10 s, zaś rejestracja parametrów około 30 s dla zaobserwowania zmian SEM polaryzacji.



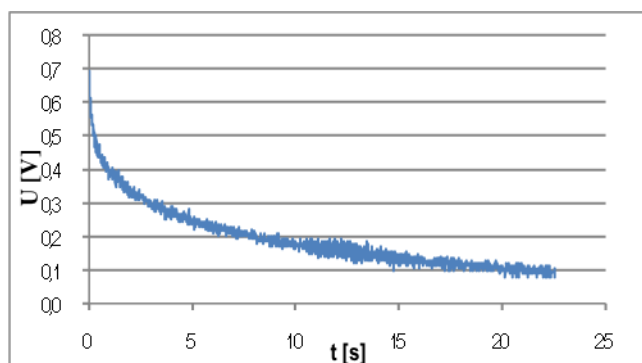
Rys. 4. Natężenie prądu obciążenia akumulatora podczas badań



Rys. 5. Przebieg napięcia mierzonego na zaciskach akumulatora podczas badań

Na podstawie badań przeprowadzonych przy poszczególnych wartościach temperatury i wszystkich obciążeniach wyodrębniono zmiany siły elektromotorycznej polaryzacji akumulatora, które zare-

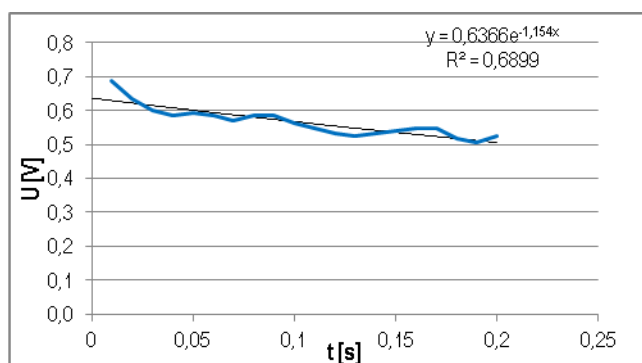
jestrowano po zakończeniu wyladowania. Aby możliwa była analiza otrzymanych wyników konieczne było odwrócenie przebiegów SEM polaryzacji. Przykładowy przebieg jej zmian po wyłączeniu obciążenia prądowego przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zmiana siły elektromotorycznej polaryzacji w funkcji czasu

Wykonane w ten sposób przebiegi zmian SEM polaryzacji poddano dalszej analizie w przedziałach czasu wynoszących odpowiednio: 0,2 s, 0,5 s, 1 s, 2 s od momentu wyłączenia obciążenia. Przedziały czasowe zostały dobrane tak, aby możliwe było przeanalizowanie szybko i wolnozmiennych składowych siły elektromotorycznej polaryzacji. Autor w pracy [4] wykazał znaczną różnicę wartości stałych czasowych dla składowej szybko- i wolnozmiennej. Wskazał również czynniki, które wpływają na wartość poszczególnych składowych: o składowej szybkozmiennej decydują procesy zachodzące w przyelektrodowej warstwie podwójnej, natomiast wolnozmienną procesy dyfuzji elektrolitu, których efektem jest wyrównywanie jego stężenia.

Przykładowe przebiegi zmian siły elektromotorycznej polaryzacji dla poszczególnych przedziałów czasu przedstawiają rysunki 7 ÷ 10. Na rysunku 7 widoczna jest zmiana SEM polaryzacji w najmniejszym przedziale czasu tj. do 0,2 s od momentu włączenia obciążenia.

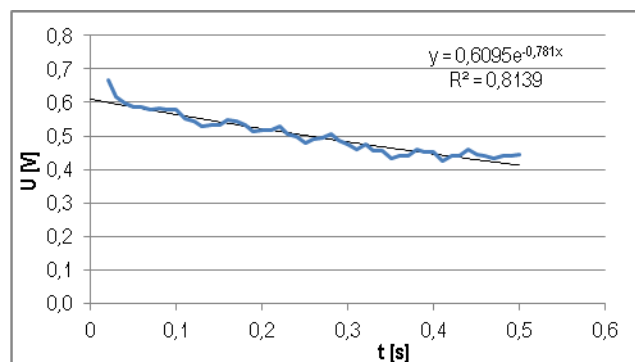


Rys. 7. Zmiana SEM polaryzacji dla przedziału czasu do 0,2 s

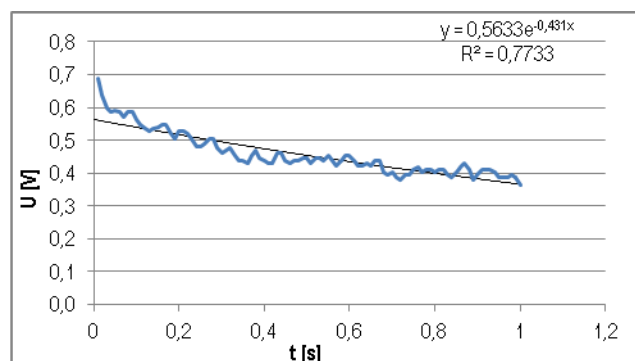
Rysunek 8 przedstawia zmiany siły elektromotorycznej polaryzacji wyodrębnione dla czasu do 0,5 s. Na rysunku, podobnie jak powyżej umieszczone zostały wyznaczone funkcje wykładnicze aproksymujące przebiegi.

Rysunki 9 i 10 przedstawiają analogicznie przebiegi zmian siły elektromotorycznej polaryzacji odpowiednio dla czasów do 1 s oraz do 2 s, tak jak poprzednio umieszczono również funkcje wykładnicze opisujące linie aproksymujące wyodrębnione przebiegi czasowe. Ponadto na wykresach podano wartość parametru R^2 , która jest wskaźnikiem dokładności odwzorowania przez funkcję wyników badań. Jak widać, wszystkie współczynniki R^2 mają dużą wartość, co oznacza, że funkcja dobrze odwzorowuje poddany analizie prze-

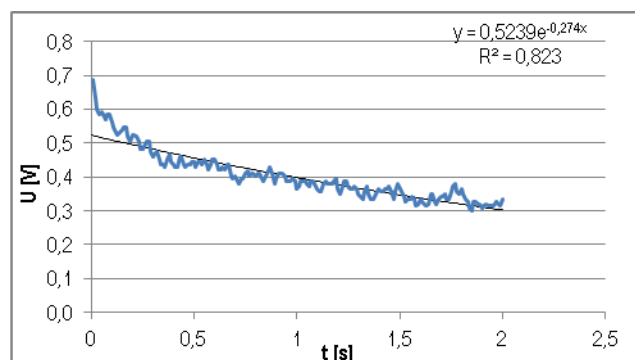
bieg, a tym samym może zostać wykorzystana do wyznaczenia stałej czasowej.



Rys. 8. Zmiana SEM polaryzacji dla przedziału czasu do 0,5 s



Rys. 9. Zmiana SEM polaryzacji dla przedziału czasu do 1 s



Rys. 10. Zmiana SEM polaryzacji dla przedziału czasu do 2 s

W tym celu równanie linii trendu wyznaczone za pomocą arkusza kalkulacyjnego np. z rysunku 10 zapisano w postaci wyrażenia (6).

$$U = 0,5239 \cdot \exp(-0,274 \cdot t) \quad (6)$$

Wiadomo, że stała czasowa jest odwrotnością wykładnika równania linii trendu, dlatego na podstawie równania (5) oraz (6) wyliczono wartość stałej czasowej, której wynik zapisano w (7).

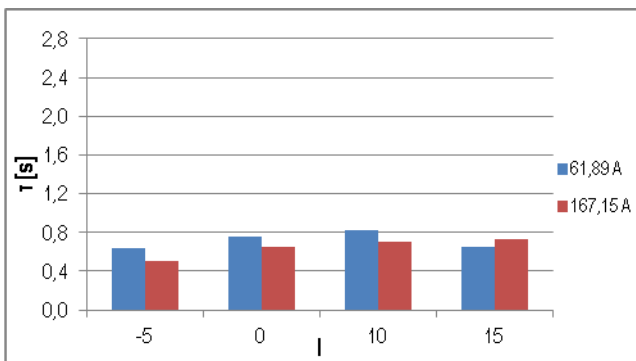
$$\frac{1}{\tau} = 0,274 \Rightarrow \tau = 3,650 \quad (7)$$

Takie same obliczenia wykonano dla pozostałych przebiegów zestawiając wyniki w formie wykresów kolumnowych, które zaprezentowano poniżej.

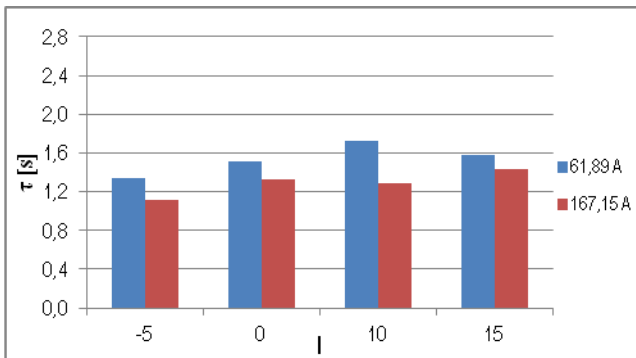
3. ZALEŻNOŚĆ STAŁEJ CZASOWEJ OD TEMPERATURY

Zmiana temperatury powoduje zmianę lepkości elektrolitu, przez co zmienia się ruchliwość jonów będących nośnikami ładunku elektrycznego w elektrolicie oraz szybkość dyfuzji jonów w głąb masy czynnej płyt akumulatora. Wzrost temperatury powoduje spadek lepkości elektrolitu i wzrost ruchliwości jonów, przyspiesza również procesy dyfuzji w głąb masy czynnej elektrody. Obniżenie wartości temperatury powoduje wzrost lepkości elektrolitu oraz spowalnia procesy dyfuzji, wydłuża przez to czas oczekiwania na uzyskanie przez akumulator potencjałów spoczynkowych po wyładowaniu. Jak widać temperatura ma istotny wpływ na procesy prądowórcze w akumulatorze zwiększając lub zmniejszając ich intensywność w zależności od jej wartości.

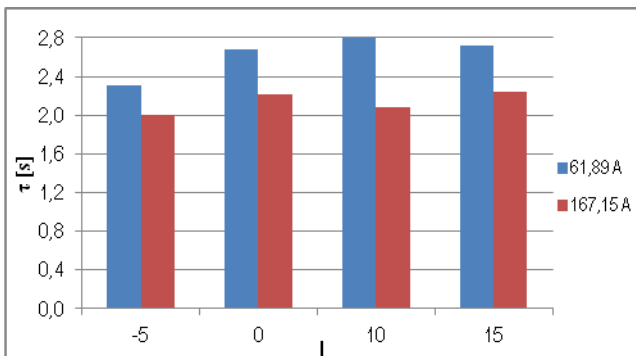
Na rysunkach 11 – 14 pokazano wartości stałej czasowej w funkcji temperatury elektrolitu. Na wykresach umieszczono stałe czasowe wyznaczone dla obciążenia prądowego $I = 61,89 \text{ A}$ oraz $I = 167,15 \text{ A}$ dla analizowanych wartości temperatury. Poszczególne wykresy różnią się między sobą przedziałem czasu, dla którego wyznaczono stałe czasowe.



Rys. 11. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla różnych wartości prądu obciążenia dla przedziału czasu do 0,2 s.

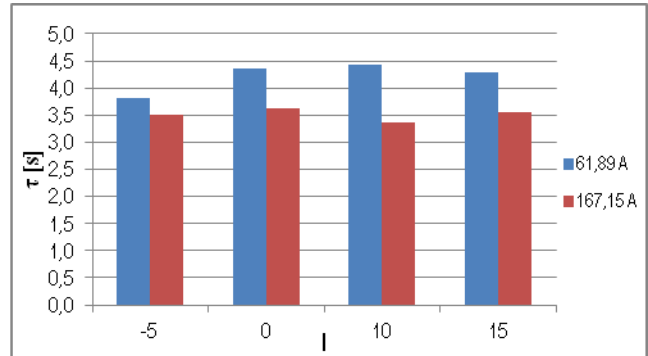


Rys. 12. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla różnych wartości prądu obciążenia dla przedziału czasu do 0,5 s.



Rys. 13. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla różnych wartości prądu obciążenia dla przedziału czasu do 1 s.

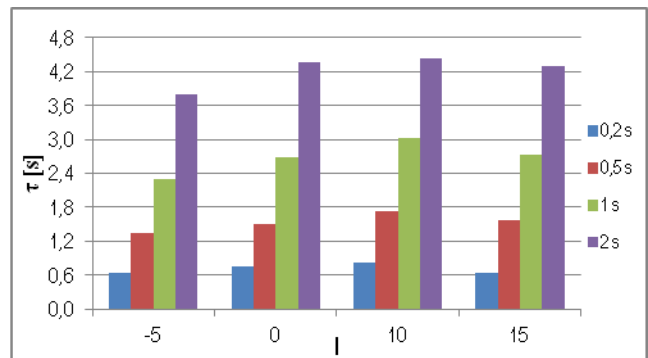
Wartość stałej czasowej nieznacznie rośnie wraz ze wzrostem temperatury prawie we wszystkich analizowanych przypadkach – niejednokrotnie stwierdza się odchylenia od tej tendencji. Jej wartość rośnie przede wszystkim wraz ze wzrostem czasu, jaki upłynął od chwili wyłączenia obciążenia. Najmniejsze wartości przyjmuje dla składowej szybkozmiennnej SEM polaryzacji (do 0,2 s), największe natomiast dla składowej wolnozmiennnej tj. dla przedziału czasu do 2 s.



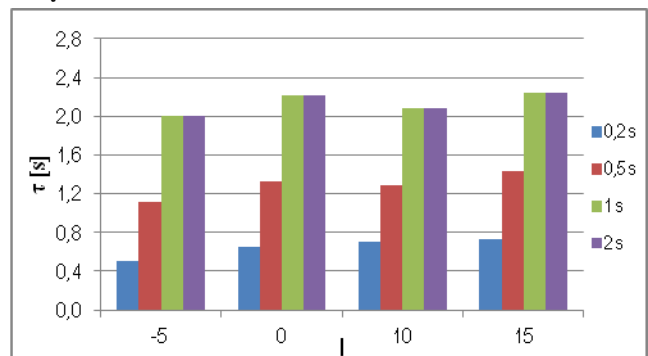
Rys. 14. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla różnych wartości prądu obciążenia dla przedziału czasu do 2s.

Wzrost wartości stałej czasowej wraz ze wzrostem temperatury jest wynikiem zmieniającej się lepkości elektrolitu, która maleje wraz ze wzrostem wartości temperatury, a przez to ruchliwość jonów przenoszących ładunek elektryczny rośnie. Powoduje to wzrost intensywności zmian SEM polaryzacji. Dokładne określenie charakteru zależności wymaga tu jednak dalszych badań, precyzyjnej analizy wyników wraz z charakterystyką przyczyn obserwowanych zmian.

Jak wynika z rysunków 11 ÷ 14 intensywność zmian SEM polaryzacji jest nieznacznie i niejednoznacznie zależna od wartości temperatury, w której prowadzono badania oraz od przedziału czasu, dla którego analizowano wyniki doświadczeń.



Rys. 15. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla natężenia prądu obciążenia $I = 61,89 \text{ A}$



Rys. 16. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla natężenia prądu obciążenia $I = 167,15 \text{ A}$

Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono wartość stałej czasowej w funkcji temperatury dla stałych warunków obciążenia prądowego. Kolejne serie przedstawiają dane dla odpowiadających im przedziałów czasu, w których analizowano wyniki.

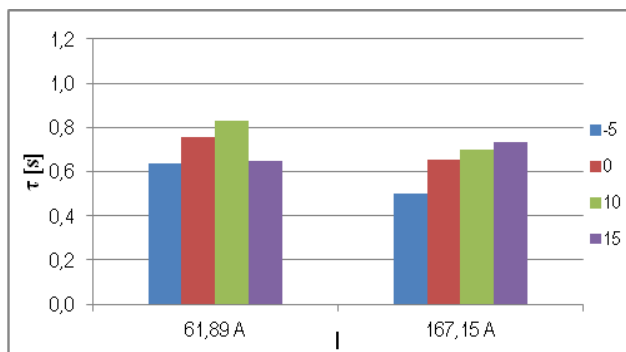
Wykresy te są potwierdzeniem tego, że wraz z wydłużaniem przedziału czasu, w którym dokonywano obliczeń wartość stałej czasowej rośnie. Największe jej wartości zaobserwowano dla składowej wolnozmiennnej, natomiast najmniejsze dla składowej szybkozmiennej niezależnie od temperatury i obciążenia prądowego. Wynika z tego, że intensywność zmian SEM polaryzacji zmniejsza się w dłuższym okresie analizy, co jest zasadne, gdyż na skutek zaniku obciążenia SEM polaryzacji maleje wykładniczo, aż do ustalenia się na stałym poziomie. Podkreślić należy obserwowaną tu zmianę stałej czasowej funkcji wykładniczej.

Niezależnie od temperatury oraz czasu, w większości analizowanych przypadków stała czasowa przyjmuje większe wartości dla akumulatora uprzednio obciążonego mniejszym natężeniem prądu w stosunku do natężenia prądu o większej wartości. Wynika z tego, że na intensywność zmian SEM polaryzacji wpływ ma także wartość obciążenia prądowego akumulatora.

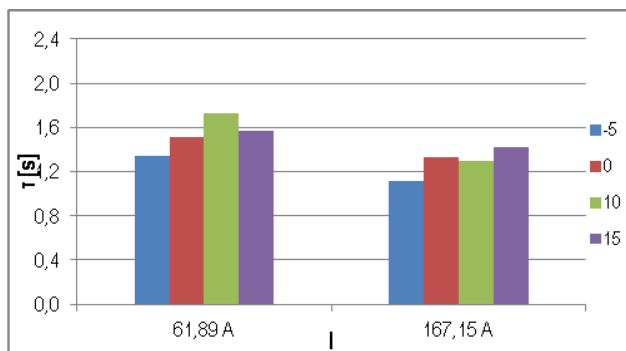
4. ZALEŻNOŚĆ STAŁEJ CZASOWEJ OD NATĘŻENIA PRĄDU OBCIĄŻENIA

Jak już wcześniej zauważono intensywność zmian SEM polaryzacji zależy również od wartości natężenia prądu wyładowania akumulatora.

Na rysunkach 17 ÷ 20 umieszczono zależności wartości stałej czasowej w funkcji natężenia prądu wyładowania wyznaczonej dla zmian napięcia zaraz po wyłączeniu obciążenia akumulatora.



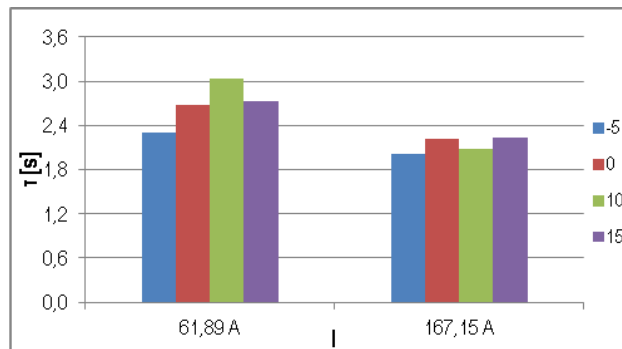
Rys. 17. Zależność stałej czasowej od natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury w przedziale czasu do 0,2 s.



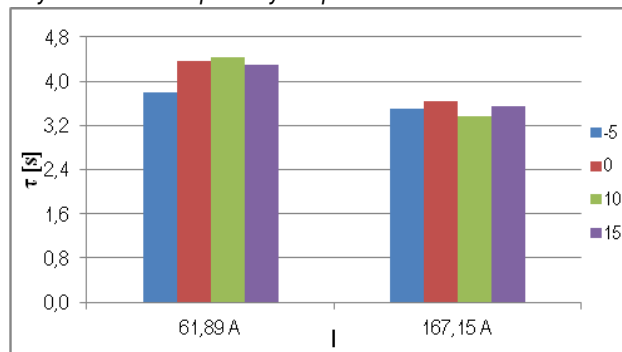
Rys. 18. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury dla przedziału czasu do 0,5 s.

Jak już zauważono, przedstawione wykresy nie dają podstaw do jednoznacznej oceny charakteru zależności stałej czasowej SEM polaryzacji od natężenia prądu rozładowania. Można wstępnie zauważyć, że przy rozładowaniu akumulatora mniejszą wartością

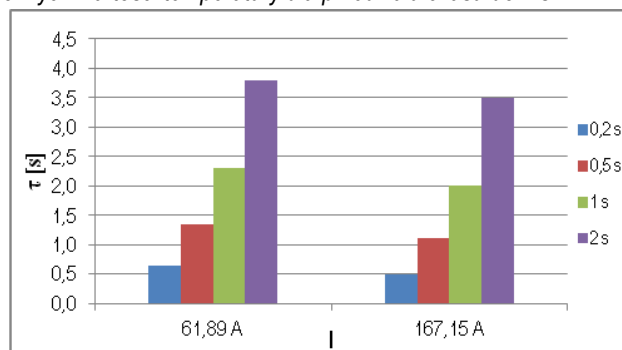
natężenia prądu stała czasowa przyjmuje większe wartości w stosunku do wartości w warunkach większego obciążenia. W warunkach większego obciążenia większa ilość jonów znajdujących się w masie czynnej ulega redukcji lub utlenianiu podczas pracy akumulatora. Pociąga to za sobą większe zróżnicowanie stężenia jonów w elektrolicie i wymusza intensywny ruch cząstek, co tłumaczy mniejszą wartość stałej czasowej.



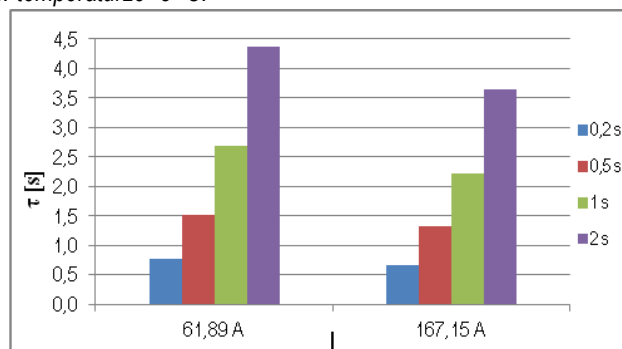
Rys. 19. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury dla przedziału czasu do 1 s.



Rys. 20. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury dla przedziału czasu do 2 s.

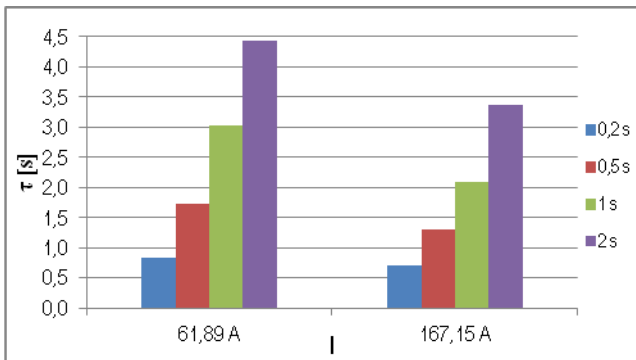


Rys. 21. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia w temperaturze -5 °C.

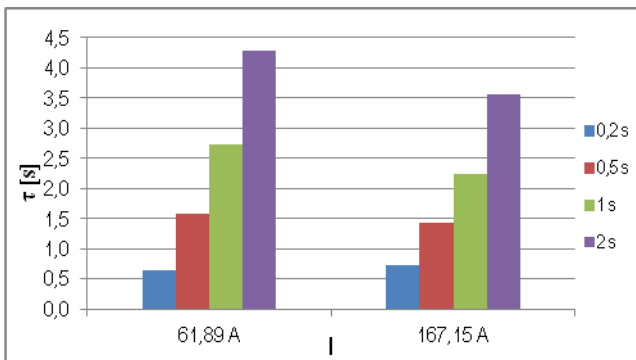


Rys. 22. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia w temperaturze 0 °C.

Na rysunkach 21 – 24 przedstawiono zależności stałych czasowych od natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury i różnych przedziałów czasu od chwili wyłączenia obciążenia. Analogicznie jak poprzednio można zauważyć korelację ujemną wartości stałej czasowej i natężenia prądu obciążenia. Im większa wartość obciążenia prądowego tym wartość stałej czasowej jest na ogół mniejsza niezależnie od przedziału czasu, w którym była wyznaczana. Szczególnie widoczny i istotny jest związek między wartością stałej czasowej i przedziałem czasu jej określania. Niemal we wszystkich przypadkach wartość stałej czasowej rośnie wraz ze wzrostem przedziału czasu, dla którego ją wyznaczano, niezależnie od wartości obciążenia prądowego oraz temperatury.



Rys. 23. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia w temperaturze 10 °C.



Rys. 24. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia w temperaturze 15 °C.

PODSUMOWANIE

Akumulator kwasowy, w czasie gdy nie działa alternator (wyłączony silnik), jest podstawowym źródłem energii elektrycznej samochodu. Jego dobry stan techniczny determinuje poprawną pracę układu elektrycznego. W warunkach obciążenia prądowego akumulator wykazuje znaczne cechy dynamiczne, które mogą być widoczne jako zmiana rezystancji wewnętrznej akumulatora lub przejawiają się w postaci powstawania siły elektromotorycznej polaryzacji. SEM polaryzacji odgrywa dużą rolę w procesach ładowania i wyładowania akumulatora. Poznanie charakteru jej zmian w czasie jest możliwe za pomocą wykładniczej funkcji regresji. Za pomocą funkcji możliwe jest wyznaczenie stałej czasowej, która jest miarą intensywności zmian SEM polaryzacji.

Przedstawione wyniki badań i wyznaczone na ich podstawie wartości stałych czasowych wykazują zależność intensywności zmiany siły elektromotorycznej polaryzacji wraz ze wzrostem przedziału czasu, w którym analizowane były wyniki pomiaru. Omawiane wyniki wykazały zależność SEM polaryzacji od temperatury w ten sposób, że wraz ze wzrostem temperatury intensywność jej zmian maleje przy stałych warunkach obciążenia.

Badania SEM polaryzacji wykazały jej zależność od temperatury elektrolitu oraz natężenia prądu wyładowania, a także związek SEM polaryzacji z przedziałem czasu, dla którego analizowano wyniki. Problematyka zmian SEM polaryzacji akumulatora wymaga jednak dalszych prac związanych analizą intensywności i rozszerzenie ich dla akumulatorów o zróżnicowanym stanie technicznym. Ponadto analizy wymaga również intensywność zmian siły elektromotorycznej polaryzacji w trakcie trwania obciążenia akumulatora, której ostatecznym efektem powinno być określenie jej wpływu na pracę rozrusznika elektrycznego silnika spalinowego.

BIBLIOGRAFIA

1. A. W. Astachow, Ju. M. Szirkow: Kurs fizyki. Pole elektromagnetyczne. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1990.
2. J. Gomółka, F. Kowalczyk, A. Franke: Współczesne chemiczne źródła prądu. Wydawnictwo MON. Warszawa 1977.
3. P. Horowitz: sztuka elektroniki. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1992.
4. J. Pszczółkowski Opis cech dynamicznych akumulatora kwasowego. PTNSS – 2009 – SC – 106.
5. J. Pszczółkowski: Charakterystyki rozruchowe silników o zapłonie samoczynnym. Stowarzyszenie Edukacyjne Pedagogów Praktyków „Cogito”, Zbąszynek, 2004.

TIME CONSTANT AS A MEASURE OF ACID BATTERY DYNAMIC CHARACTERISTICS

Abstract

The paper describes the electromotive force of polarization as the amount representing the dynamic characteristics of the acid battery and its impact on the battery processes during operation. It has been shown that the intensity of its changes can be expressed by the time constant. There is presented a diagram of acid battery replacement, where its dynamic properties represents the CR_C circuit. The paper presents a method for determining the time constant using exponential regression function for the electromotive force of polarization. The results of the calculations are presented in the form of charts and there is made their interpretation.

Autorzy:

mgr inż. **Grzegorz Dyga** - Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Wydział Mechaniczny: 00-908 Warszawa: ul. Gen. S. Kaliskiego 2. Tel 261 837 102, email: grzegorz.dyga@wat.edu.pl

dr hab. inż. **Józef Pszczółkowski**, prof. WAT - Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Wydział Mechaniczny: 00-908 Warszawa: ul. Gen. S. Kaliskiego 2. Tel 261 837 206, email: jozef.pszczolkowski@wat.edu.pl