

doi:10.15199/48.2019.11.12

Inteligentne pomiary szybkozmiennego prądu akumulatora trakcyjnego pojazdu elektrycznego wykorzystujące interwałowe zbiory rozmyte typu-2 o wnioskowaniu Takagi-Sugeno-Kanga

Streszczenie. W artykule przedstawiono układ służący do pomiaru prądu obciążenia zestawu baterii trakcyjnych przez energoelektroniczny układ napędowy osobowego pojazdu elektrycznego. Wartość szczytowa ww. sygnału zmienia się dynamicznie w całym zakresie pomiarowym toru prądowego. Pomiar tego typu sygnału wymaga zastosowania odpowiedniej techniki metrologicznej. Autor artykułu przedstawił układ pomiarowy zaprojektowany do pomiaru tego sygnału wykorzystujący inteligentny sterownik bazujący na zbiorach rozmytych typu 2.

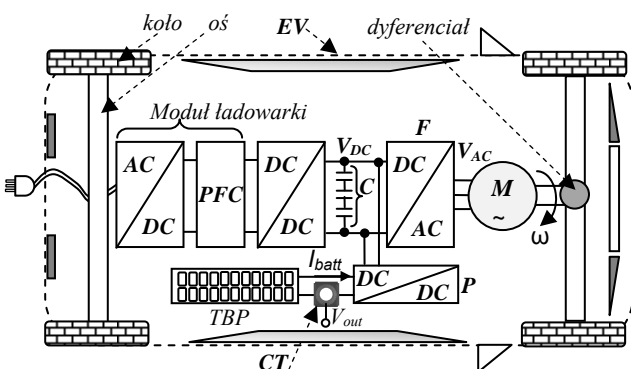
Abstract. The paper presents a system for measuring the load current of a set of traction batteries by the power electronic drive system of an electric vehicle. The peak value of the above signal changes dynamically in the whole measuring range of the current circuit. The measurement of this type of signal requires the use of appropriate metrological techniques. The author of the paper presented a measuring system designed to measure this signal using the intelligent controller based on fuzzy sets of type 2. (**Intelligent measurements of dynamic change current of traction battery of an electric vehicle using interval fuzzy sets of type-2 with the application Takagi-Sugeno-Kanga.**)

Słowa kluczowe: logika rozmyta, zbiory rozmyte typu 2, pomiar prądu akumulatora, pojazd elektryczny

Keywords: fuzzy logic, fuzzy set type-2, battery current measurement, electric vehicle

Wstęp

Pojazdy elektryczne EV (ang. Electric Vehicles) w jednostkach napędowych często wykorzystują elektryczne trójfazowe silniki synchroniczne z magnesami trwałymi PMSM (ang. Permanent Magnet Synchronous Motor) lub silniki z magnesami zagłębionymi w wirniku (ang. Interior Permanent Magnet Synchronous Motor, IPMSM) [1, 2]. Schemat konfiguracji układu napędowego osobowego samochodu elektrycznego przedstawiono na rysunku 1. Głównym źródłem zasilania silników elektrycznych w ww. pojeździe jest akumulator trakcyjny oznaczony symbolem TBP (ang. Traction Battery Pack). Do jego zacisków wyjściowych za pośrednictwem dwukierunkowej przetwornicy DC/DC (P - rysunek 1) podłączony jest kaskadowo obwód przekształtnikowy DC/AC (F - rysunek 1) sterujący pracą elektrycznego silnika napędowego oznaczonego symbolem - M.



Rys. 1. Schemat konfiguracji układu napędowego osobowego pojazdu elektrycznego - EV, gdzie: CT (ang. Current Transducer) – przetwornik prądu, moduł ładowarki składający się z: przetwornicy AC/DC oraz układu korekcji współczynnika mocy elektrycznej - PFC (ang. Power Factor Correction) [3]

Głównym zadaniem energoelektronicznego falownika napięciowego DC/AC w układzie napędowym osobowego pojazdu elektrycznego jest przekształcenie napięcia stałego (V_{DC}) na trójfazowe zmienne (V_{AC}) oraz sterownie prędkością obrotową (ω) silnika elektrycznego (M).

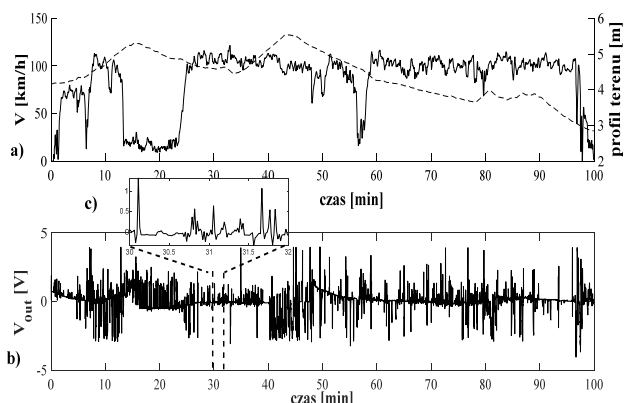
System zarządza energią w pojeździe elektrycznym, ze względu na różne chwilowe jego zapotrzebowanie na energię kinetyczną wynikające z rozruchu, hamowania rekuperacyjnego (z odzyskiem), jazdą ze stałą prędkością, monitoruje ją oraz steruje jej rozplywem do poszczególnych źródeł (baterie akumulatorów -TBP, superkondensator- C (rysunek 1)). Podczas hamowania i w samochodzie istnieje konieczność odebrania dużej ilości energii elektrycznej w krótkim czasie. Zostaje ona przesłana do superkondensatorów, które mogą ją przyjąć, zabezpieczając baterie akumulatora trakcyjnego od przeciążenia prądem. Informacja o wartości prądu w poszczególnych obwodach elektrycznych pojazdu pozwala na odpowiednią eksploatację źródeł zasilających je przez utrzymanie na ich zaciskach wyjściowych zadanej wartości napięcia [4]. W trakcie jazdy z ustaloną prędkością samochód elektryczny otrzymuje energię elektryczną z akumulatora trakcyjnego, natomiast w stanie dynamicznym (rozruch, hamowanie) energia dodatkowo jest pobierana z superkondensatorów.

Pomiar prądu w pojeździe EV jest także istotny w celu:

- określenia współczynnika SOC (ang. State of Charge) informującego o stopniu naładowania akumulatora trakcyjnego;
- pomiaru mocy i zużytej energii elektrycznej.

W technice motoryzacyjnej do pomiar prądu ładowania oraz rozładowania (obciążenia) akumulatora trakcyjnego wykorzystuje się nieinwazyjną metodę, bazującą na przetworniku wspomaganym elektronicznie z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego o/l (ang. open/loop). Przetwornik ten zapewnia izolację galwaniczną pomiędzy głównym obwodem prądowym po stronie akumulatora trakcyjnego, a niskonapięciowym systemem pomiarowym prądu. Zacisk wyjściowy ww. przetwornika prądowego podłączony jest do wejścia wzmacniacza operacyjnego o odpowiednio dobranym stałwartościowym wzmacnieniu, którego wyjście przekazuje wzmacniony mierzony sygnał do przetwornika analogowo-cyfrowego. Autor artykułu opracował model układu napędowego pojazdu elektrycznego w programie Matlab/Simulink. Przeprowadzając badania symulacji komputerowej ww. modelu dla zadanego kształtu terenu, warunków atmosferycznych bezwietrznych i bezopadowych oraz dla zadanej prędkości pojazdu przez kierowcę

(Rys. 2a) wygenerowany został w głównym obwodzie akumulatora trakcyjnego przebieg prądu, a następnie przetworzony przez indukcyjny przetwornik prądowy na sygnał napięciowy mieszczący się w zakresie bipolarnym $\pm 5V$. Ww. przebieg został przedstawiony na rysunku 2b.



Rys. 2. Przebiegi: a) profilu jazdy (linia przerywana) oraz prędkości pojazdu (linia ciągła) b) sygnału wyjściowego przetwornika prądowego oraz c) powiększony jego fragment, dla pojazdu elektrycznego EV małej mocy elektrycznej nie przekraczającego jego masy własnej 1700 kg

Dla przebiegu napięciowego z rysunku 2b nie jest możliwy dobór wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego dla zapewnienia dużej dokładności pomiarowej. Z tego względu firma LEM wyprodukowała przetwornik z otwartą wewnętrzną pętlą sprzężenia zwrotnego (np. typu DHAB S/24) przeznaczone dla techniki motoryzacyjnej, które przetwarzają mierzony prąd na sygnał napięciowy zgodnie z zał. [5]:

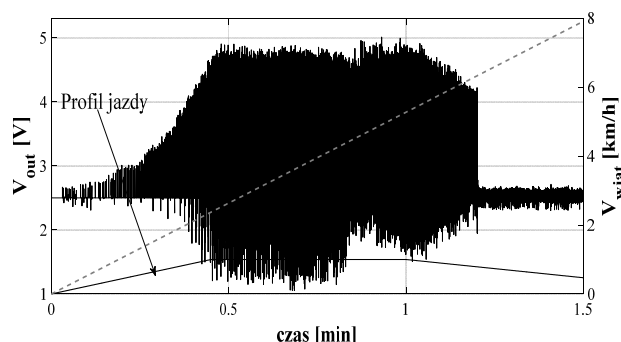
$$(1) \quad V_{out}(I_p) = \frac{V_{cc}}{5} (G \times I_p + V_{ref})$$

gdzie: V_{out} - napięcie na wyjściu przetwornika, I_p - prąd strony pierwotnej (I_{batt}), V_{cc} - wartość napięcia zasilająca przetwornik, V_{ref} - napięcie offsetu (przesunięcia o poziom), G - czułość wyrażona w [mV/A].

W warunkach eksploatacji auta o małej mocy napędowego silnika elektrycznego zastosowano przetwornik do pomiaru prądu głównego obwodu zasilającego, którego pracę odwzorowuje przydatne metrologicznie równanie, określone zał. (1). Wartość napięcia na zacisku wyjściowym ww. przetwornika oscyluje w okolicach połowy zakresu dynamicznego przetwornika ADC pracującego na końcu toru pomiarowego. Taki sygnał można wzmocnić stałowartościowo tak, aby uzyskać wartość bliską granicy napięcia zasilającego przetwornika analogowo-cyfrowego w celu powiększenia rozdzielczości systemu pomiarowego, co przekłada się na jego dokładność [6]. Dla silników elektrycznych montowanych w jednostkach napędowych pojazdów elektrycznych o dużej większej mocy ww. metoda bazująca na tym samym przetworniku prądu oraz jego rodzinie nie daje dobrych rezultatów powiększenia dokładności pomiarowej. Powodem tego jest znacznie większa wartość skuteczna prądu w obwodzie głównym akumulatora trakcyjnego. Na rysunku 3 przedstawiono próbę przetworzenia większego natężenia prądu dla pojazdu o większej maksymalnej mocy.

Przebieg napięciowy (V_{out}) na rysunku 3 powstał w oparciu o przejazd pojazdu elektrycznego, który w całym

odcinku pomiarowym przyspieszał liniowo pod nieznaczne wzniesienie i zjeżdżał z niego w warunkach frontowego wiatru (V_{wiatr}) zmieniającego się w czasie od wartości 0 do 8 km/h.



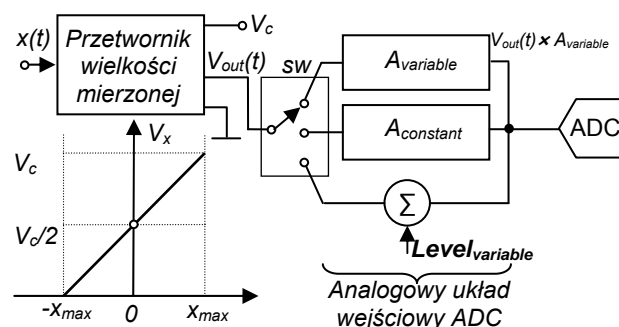
Rys. 3. Przebieg napięcia wyjściowego (V_{out}) przetwornika prądowego typu o/l dla pojazdu elektrycznego o dużej mocy elektrycznej

Kształt sygnału prądu akumulatora trakcyjnego wynika przede wszystkim z: nieliniowego sposobu sterowania elektrycznego silnika napędowego osobowego samochodu elektrycznego, geometrii terenu, warunków atmosferycznych oraz rodzaju ruchu pojazdu [7].

Pomiar prądu obciążenia akumulatora trakcyjnego jest istotnym sygnałem, który wskazuje kierowcy samochodu elektrycznego, w jaki sposób go eksploatuje. Ponadto odpowiednie wydatkowanie energii elektrycznej pojazdu pozwala na wykorzystanie optymalnego jego zasięgu.

Analogowy układ wejściowy przetwornika ADC pracującego w prądowym torze pomiarowym trakcyjnego akumulatora

Efektywnym sposobem powiększenia dokładności systemu pomiarowego przetwarzającego sygnały elektryczne jest odpowiednie wzmocnienie ich lub przesunięcie do danego poziomu mierzzonego sygnału wejściowego tak, aby wykorzystany został pełny zakres przetwornika ADC pracującego na jego końcu [6, 8, 9].



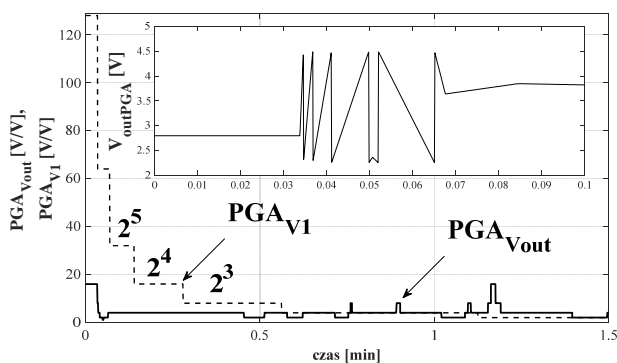
Rys. 4. Sposoby sterowania stałą przetwarzania w wejściowym analogowym torze układu ADC przy użyciu przetwornika wielkości mierzonej o przesuniętym poziomie napięcia odniesienia do połowy jego zakresu wyjściowego

Przetwornik wielkości mierzonej w układzie pomiarowym ma za zadanie przetworzenie wejściowego sygnału $x(t)$ po jego stronie wysokonapięciowej do zakresu pomiarowego elektronicznych układów współpracujących z nim po stronie wtórnej. Do realizacji tego celu wykorzystuje się różne funkcje przedstawione na rysunku 4, które można zrealizować przy użyciu wzmacniacza operacyjnego. Ww. układy można załączyć do układu pomiarowego przełącznikiem sw przez ustawienie go na odpowiednim

zaczeka. W obwodzie pomiarowym wielkości wejściowej funkcje te realizują: operację iloczynu przez wartość stałą ($V_{out}(t) \times A_{variable}(t)$) lub zmienną w czasie ($V_{out}(t) \times A_{constant}$). Zmienną stałą przetwarzania można uzyskać przez wykorzystanie specjalnego wzmacniacza programowalnego typu PGA lub VGA.

Wartość mierzona $V_{out}(t)$ można także przesunąć realizując funkcję $V_{out}(t) + level_{const}$ lub $V_{out}(t) + level_{variable}(t)$. Przesunięcie dużej wartości szczytowej $V_{out}(t)$ o wartość stałą może doprowadzić do utraty informacji mierzonej.

Wzmacniacze operacyjne z dobranym stałowartościowym wzmocnieniem napięciowym ($A_{constant}$) w pomiarach dynamicznych prądu akumulatora trakcyjnego nie są przydatne metrologicznie ze względu na zmianę wartości szczytowej sygnału mierzonego w całym zakresie pomiarowym. Podobny problem metrologiczny występuje przy próbie przesunięcia do żądanej poziomu napięcia za pomocą analogowego sumatora o wartości stałą ($level_{const}$). Układy o programowanym cyfrowo współczynniku wzmocnienia powodują skoki w napięciowym przebiegu wejściowym przetwornika ADC, ponieważ ich wzmocnienie zmienia się jako potęgą liczby 2, co może wywoływać błędy pomiarowe [10]. Skoki wartości we wzmocnionym przebiegu V_{outPGA} wyjściowym z przetwornika prądu przez układ PGA są przedstawione na rysunku 5.



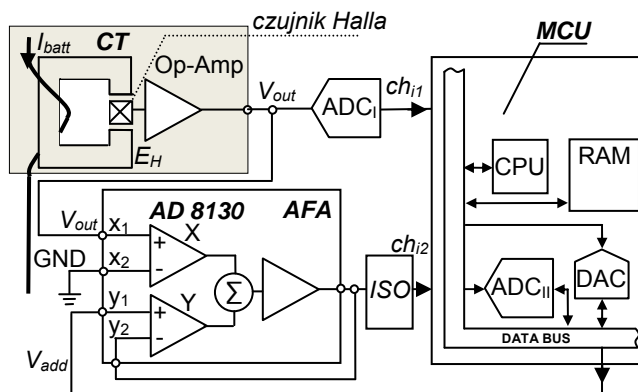
Rys. 5. Przebiegi wzmocnienia napięciowego wygenerowane przez układ PGA: PGA_{Vout} na sygnał wyjściowy z przetwornika monitorującego prąd akumulatora trakcyjnego oraz PGA_{V1} jako odpowiedź na funkcję liniową

W programie Matlab/Simulink zostały eksperymentalnie wygenerowane przebiegi wzmocnienia układu PGA: PGA_{V1} na zadany sygnał wejściowy $V1=t$ (gdzie: t - czas) oraz PGA_{Vout} będący odpowiedzią na sygnał przedstawiony na rysunku 2b. Na rysunku 5 przedstawiono także fragment sygnału V_{outPGA} wynikający z iloczynu wartości $PGA_{Vout} \times V_{out}$, który ujawnia skoki w wartości szczytowej napięcia na wyjściu wzmacniacza.

Autor pracy w proponowanym inteligentnym układzie pomiarowym prądu akumulatora trakcyjnego wykorzystał specjalną konstrukcję wzmacniacza operacyjnego z tzw. aktywnym sprzężeniem zwrotnym AFA (ang. Active Feedback Amplifier) realizującą sumę sygnałów wejściowych ($V_{out} + V_{add}$). Głównymi właściwościami metrologicznymi wzmacniacza z aktywnym sprzężeniem zwrotnym są: szeroki zakres wejściowych napięć sumacyjnych oraz duże tłumienie tego sygnału w zakresie dużych częstotliwości [10]. Ponadto konstrukcja ww. wzmacniacza zapewnia duży współczynnik SR (ang. Slew Rate) maksymalnej zmiany sygnału napięcia na jego wyjściu, który wyraża jego dynamikę (np. dla układu AD 8130 $SR=930$ V/ μ s). Podzespoły elektroniczne X, Y wewnątrz struktury układu scalonego AFA są dwoma oddzielnymi tranzystorowymi parami różnicowymi. Pierwsza (X) wykorzystana jest dla sygnału wejściowego, natomiast

druga (Y) dla sprzężenia zwrotnego [10]. Architektura tego układu zapewnia sumowanie dwóch dynamicznie zmieniających się sygnałów analogowych.

Struktura inteligentnego układu przesunięcia poziomu napięcia wykorzystująca wzmacniacz typu AFA do wartości żądanej (4V) przedstawiona została na rysunku 6.



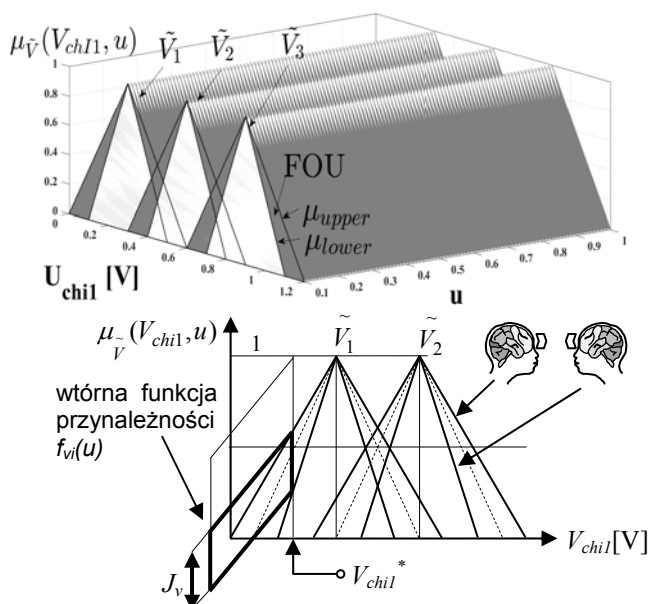
Rys. 6. Schemat dwukanałowego (ch_{11} , ch_{12}) układu inteligentnego przesunięcia poziomu napięcia

W układzie przedstawionym na rysunku 6 wartość wejściowa (I_{batt}) przetwornika CT typu o/l jest przetwarzana na napięcie (V_{out}), które następnie trafia na zaciski wejściowe układu ADC_I . Przetwornik ADC_I zamienia ją na sygnał cyfrowy ($V_{out}(nT)$, gdzie: n - numer próbki, T - okres próbkowania przetwornika ADC_I oraz ADC_{II}) i dostarcza tą wartość w postaci ciągu bitów na port wejściowy (ch_{11}) systemu procesora MCU. W ww. systemie realizowany jest algorytm sterownika rozmytego typu-2 o strukturze typu jedno wejście jedno wyjście - SISO (Single Input Single Output), który pobiera ciąg bitów pochodzących od przetwornika ADC_I . Inteligentny sterownik, z kosztem czasowym operacji t_{f2} wyznacza taką wartość napięcia ($V_{add}(nT)$), która po dodaniu do wartości szczytowej V_{out} będzie wynosić ok. 4V. W tym celu należy przetworzyć wielkość cyfrową napięciową $V_{add}(nT)$ na postać analogową ($V_{add}(t)$) przez przetwornik DAC znajdujący się w strukturze procesora MCU. Etapem końcowym w inteligentnym układzie przesunięcia poziomu napięcia jest suma sygnałów analogowych, wyjściowego z przetwornika CT ($V_{out}(t)$) wraz z wygenerowaną stałą ($V_{add}(t)$) za pomocą wzmacniacza (AFA) z aktywnym sprzężeniem zwrotnym. Suma ta wynosi około 80% $V_{ref}=5V$ przetwornika ADC_{II} , obniżenie zakresu pomiarowego o 20% ma zabezpieczyć przed utratą informacji mierzonej. Głównym zadaniem układu izolacyjnego (ISO) w inteligentnym układzie przesunięcia poziomu napięcia jest separacja potencjałów masy analogowej AGND (punkt odniesienia dla: przetwornika CT, wzmacniacza SA) od cyfrowej DGND (punkt odniesienia dla: mikroprocesora MCU) [11]. Układ izolacyjny proponowany przez autora wykorzystuje barierę izolacyjną za pomocą stopnia sprzęgającego wykorzystującego impulsowy toroidalny transformator. Dodatkowo układ ten cechuje się dużym współczynnikiem tłumienia sygnałów wspólnych [11].

Sterownik rozmyty typu 2

Autor artykułu do wyznaczenia cyfrowej wartości, o jaką należy przesunąć mierzony sygnał w prądowym torze pomiarowym wykorzystał sterownik rozmyty typu-2 oparty na wiedzy ekspertów wyrażonej za pomocą reguł. Wiedza pomiędzy ekspertami w zakresie eksploatacji źródeł zasilających pojazd elektryczny może różnić się. Zatem wyrażane przez nich opinie fachowe w tej branży nie są

spójne (inne wartości zmiennej lingwistycznej). Reguły znajdujące się w bazie sterownika rozmytego łączą przestrzeń wejściową (wartość napięcia wejściowego) z wyjściową (wartość napięcia, o jaką należy przesunąć sygnał mierzony - V_{add}) dzięki czemu powstaje powierzchnia odwzorowująca jego działanie. Zbiory rozmyte typu-2 mają możliwość wprowadzenia niepewności informacji pomiędzy ekspertami. Na rysunku 7 przedstawiono przykładowy interwałowy zbiór rozmyty typu-2 o funkcjach trójkątnych, pojawiających się w prostej przesłance reguły, które zostały wykorzystane w inteligentnym sterowniku przesunięcia poziomu napięcia do wartości zadanej.



Rys. 7. Interwałowe zbiory rozmyte typu-2 przestrzeni wejściowej sterownika rozmytego [12].

Zbiory rozmyte typu-2 przedstawione na rysunku 7 w postaci dyskretnej można określić zależnością [12]:

$$(2) \quad \tilde{V} = \sum_{i=1}^R \left[\sum_{v \in J_v} f_{vi}(u) / u \right] / v_i$$

gdzie: R – liczba reguł w bazie sterownika rozmytego, $f_{vi}(u)$ – drugorzędna funkcja przynależności, V_{chi1} – zmienna wejściowa (napięcie wyjściowe z przetwornika CT - V_{out})

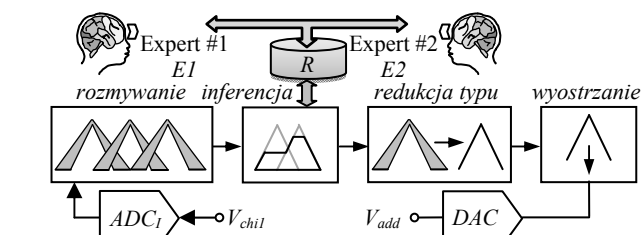
Dla przedziałowego zbioru rozmytego typu-2 wtórna funkcja $f_{vi}(u)$ w zal. (2) przyjmuje wartość 1. Ślad niepewności (FOU) wyznaczamy dla zbioru rozmytego \tilde{V} jako obszar - $\bigcup_{v \in J_v} J_v$, wszystkich nośników J_v dzięki czemu

otrzymujemy powierzchnię pomiędzy górną funkcją przynależności (μ_{upper}), a dolną (μ_{lower}) danego zbioru rozmytego. Ślad niepewności oraz wtórna funkcja przynależności modeluje różnice pomiędzy opiniami ekspertów, tworzących system kontrolno-sterujący dopasowania wartości sygnału mierzonego do 80% zakresu przetwornika ADC. Ze względu na niski nakład obliczeniowy do budowy sterownika rozmytego wykorzystane zostały reguły o wnioskowaniu typu TSK (Takagi-Sugeno-Kanga) o konstrukcji A2-C0 (reguła rozmyta zawierająca w przesłance A2 zbiór rozmyty typu-2 natomiast następnik C0 jest wartością ostrą) określone zal. [13]:

$$(3) \quad R_{TSK(i)}^{(j)} : IF \left(\overbrace{V_{in} \text{ is } \tilde{V}_{(i)}}^{A2} \right), \text{ THEN } \left(\overbrace{V_{add} \text{ is } c_{o(i)}}^{C0} \right)$$

gdzie: j – liczba reguł (R) w bazie sterownika, V_n , V_{add} – zmienna lingwistyczna wejściowa oraz wyjściowa, C_0 – wartość ostra

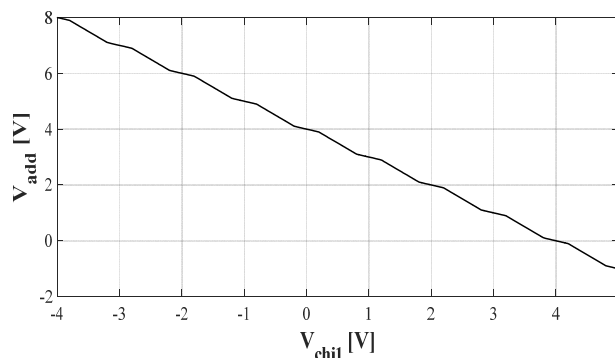
Liczbę reguł (j) rozmytych R znajdujących się w bazie regulowego sterownika (zal. (3)) ogranicza jedynie wydajność obliczeniowa procesora. Na podstawie eksperymentów polegających na symulacji komputerowej optymalna liczba reguł $j=25$ pozwoliła na dokładne odwzorowanie działania sterownika rozmytego. Schemat sterownika rozmytego typu-2, w którym zaimplementowane są reguły określone zal. (3) wykorzystujące zbiory typu-2 (zal. (2)) został przedstawiony na rysunku 8.



Rys. 8. Struktura sterownika rozmytego typu-2 [14]

Procesy decyzyjne w strukturze sterownika wyższego rzędu przedstawionego na rysunku 8 można przedstawić w czterech blokach połączonych kaskadowo: 1- rozmywania wartości wejściowej, 2-wnioskowania – wyciągnięcie wniosku na podstawie bazy reguł oraz implikacji, 3- redukcji typu – zredukowanie zbiorów wyższego rzędu do zbioru pierwszego rzędu, 4- wyostrzenia – na podstawie otrzymanych zbiorów typu-1 generowana jest wartość wyjściowa.

Na rysunku 9 przedstawiona została płaszczyzna sterownika rozmytego wygenerowana na podstawie reguł określonych zal (3).

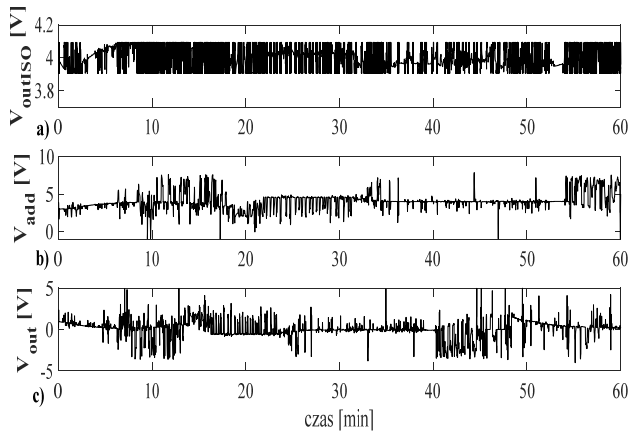


Rys. 9. Płaszczyzna odwzorowująca działanie sterownika rozmytego

Na rysunku 10c przedstawiono przebieg wyjściowy (V_{out}) z przetwornika prądu trakcyjnego akumulatora pojazdu elektrycznego, dla którego zweryfikowano przydatność sterownika rozmytego typu-2.

Otrzymany sygnał wyjściowy z sterownika rozmytego (Rys. 10b) V_{add} jest zależny od wartości szczytowej napięcia V_{out} (Rys. 10c) i przedstawiono go na rysunku 10c. W wyniku analogowej operacji dodawania przy użyciu wzmacniacza z aktywnym sprzężeniem zwrotnym

uzyskujemy przebieg napięcia (V_{outISO}) oscylujący w pobliżu żądanej wartości ok. 4V (rysunek 9a). Głównym przetwornikiem analogowo-cyfrowym jest układ ADC_{II} (rysunek 6), który służy do pomiaru prądu akumulatora trakcyjnego. Proponowany inteligentny układ pozwala na wykorzystanie jego zakresu dynamicznego. Uzyskany przebieg napięcia (rysunek 10a) potwierdza skuteczność proponowanej metody.



Rys. 10. Otrzymane przebiegi: a) wyjściowy z układu ISO, b) wygenerowana wartość o jaką należy przesunąć napięcie mierzone, c) napięcie wyjściowe z przetwornika prądu CT

Istotną cechą sterownika rozmytego jest generowanie poprawek wartości, o jaką należy przesunąć mierzone napięcie w sposób ciągły do wartości żądanej. Przydatną możliwością zbiorów typu 2 jest wykorzystanie informacji pochodzących od wielu ekspertów w tym również informacji niedoskonałych co pozwala na wierne odzwierciedlenie cech badanego sygnału.

Podsumowanie

W pomiarach dynamicznych istnieje konieczność kontroli wartości mierzonego sygnału tak, aby wykorzystać zakres dynamiczny przetwornika ADC, który ją mierzy. W tym celu autor wykorzystał sterownik inteligentny oparty na zbiorach rozmytych typu-2. Procedura ta pozwala uwzględnić w zbiorze rozmytym niepewność wynikającą z różnych doświadczeń ekspertów budujących ten system. Dużym udogodnieniem jest szybkość tworzenia systemu rozmytego ze względu na modelowanie go w oparciu o stwierdzenia i reguły o charakterze jakościowym bez konieczności używania opisu matematycznego. Algorytmy rozmyte cechują się dużo korzystniejszymi właściwościami dynamicznymi niż klasyczne systemy. Ponadto lepiej odwzorowują kształt założonej charakterystyki dopasowania

sygnału mierzonego do zakresu pomiarowego, niż układy analogowe typu PGA. Proponowana metoda pozwoliła na zwiększenie dokładności pomiarowej systemu pomiarowego prądu dzięki wykorzystaniu zakresu dynamicznego przetwornika ADC niezależnie od wartości szczytowej napięcia wejściowego (dla 12-sto bitowego ADC zasilanego napięciem +5V na 3276 poziomach kwantyzacji).

Autor: dr inż. Bartosz Dominikowski, Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej PŁ, ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, E-mail: bartosz.dominikowski@p.lodz.pl

LITERATURA

- [1] Jakubiec B., Napęd pojazdu elektrycznego z wielofazowym silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr.12, 125-128
- [2] Cisek M., Jarzębowski L., Porównanie algorytmów sterowania silnikiem IPMSM przy ograniczonym napięciu zasilania pod kątem zastosowania w samochodach elektrycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 92 (2016), nr.12, 260-264
- [3] Merkiś J., Pielacha I., Układy elektryczne pojazdów hybrydowych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2015
- [4] Fieć M., Strategia zarządzania rozpięciem mocy w napędzie hybrydowym o strukturze równoległej, *Maszyny Elektryczne*, 90 (2011), 111-116
- [5] Automotive current transducer open loop technology DHAB s/24, *LEM*, 1 (2015), 1-7
- [6] Kitchin Ch., Counts L., A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers, *Analog Devices*, 2006
- [7] Nowak M., Barlik R., Poradnik inżyniera energoelektronika. Tom 1, WNT, 2016
- [8] Bolikowski J., System pomiarowy do wyznaczania parametrów obwodów wejściowych inteligentnych przetworników mocy. *Metrologia i Systemy Pomiarowe*, Zielona Góra, 1992
- [9] Bolikowski J., Czarniecki L., Miłek M., Pomiary wartości skutecznej mocy w obwodach o przebiegach niesinusoidalnych, PWN 1990
- [10] E. Brunner, B. Gilbert., Miłek M., The active feedback amplifier. A versatile analog building block, *IEEE*, 2002, 131-136
- [11] Yi Zonga, Francisco J.Franco., Agapito J.A., Ana C. Fernandes, Marques J.G, Radiation tolerant isolation amplifiers for temperature measurement, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment*, 568 (2006), 869-876
- [12] Mendel J.M., Robert I. Bob John, Type-2 Fuzzy Sets Made Simple, *IEEE*, 2002, 177-127
- [13] Volkan Usilan, Huseyin Seker, Robert John, A support vector-based interval type-2 fuzzy system, *IEEE*, 2014
- [14] Thanh Nguyen, Abbas Khosravi, Douglas Creighton, Saeid Nahavandi, Medical data classification using interval type-2 fuzzy logic system and wavelets, *Applied Soft Computing*, 30 (2015), 812-822