

Jerzy Wojciechowski

Aspekt zmienności obciążenia w wyznaczaniu strat mocy w systemie zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego

JEL: L94 10.24136/atest.2018.507
 Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówiono zagadnienia związane ze zmiennością obciążenia trakcyjnego i jego wpływem na straty mocy w podstacjach trakcyjnych prądu stałego. Przedstawiono sposób określania wpływu uśredniania prądu, który ma często miejsce w obliczeniach trakcyjnych. Wykazano, że uśrednianie prądu ma znaczący wpływ na niedokładność obliczeń bądź pomiarów mocy i energii w układach zasilania trakcji prądu stałego. Przedstawiono zagadnienia zmienności obciążenia trakcyjnego.

Słowa kluczowe: zmienność obciążenia, system zasilania trakcji, starty mocy i energii elektrycznej.

Wstęp

Jednym z trzech stosowanych obecnie systemów zasilania kolejowej trakcji elektrycznej (SZTE) jest system napięcia stałego DC (3kVDC lub 1,5kVDC). Struktura takiego systemu obejmuje następujące podsystemy: elektrownie, linie i stacje WN i SN, podstacje trakcyjne oraz układy sieciowe na liniach i stacjach kolejowych. Podstacje trakcyjne są elementem łączącym trójfazowy system prądu przemiennego z systemem trakcji kolejowej prądu stałego. Procesy przemian i transformacji energii elektrycznej w nich występujące wpływają z jednej strony na sposób zasilania taboru, a z drugiej na zjawiska elektroenergetyczne w systemie zasilania elektroenergetyki zawodowej. [3],[7],[8],[9],[10],[11],[14],[15]

System zasilania trakcji prądu stałego jest bardzo specyficznym rodzajem układu elektroenergetycznego. Wynika to ze zjawisk energetycznych i elektrycznych, które w nim powstają. Przyczyną ich występowania jest z jednej strony budowa podstacji trakcyjnych prądu stałego i charakter obciążenia trakcyjnego, a z drugiej strony wartość energii elektrycznej zużywanej przez system kolejowy. [1],[2],[4],[17],[18]

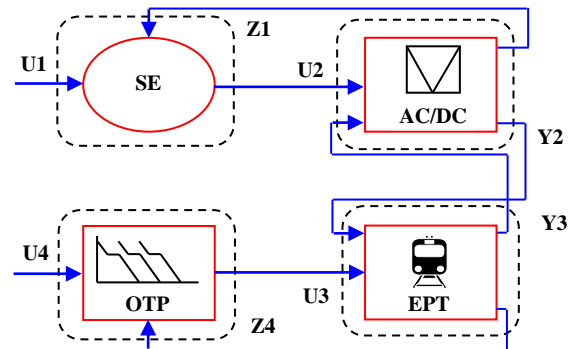
1. Zmienność obciążenia trakcyjnego systemu prądu stałego

Negatywne konsekwencje wynikające ze specyfiki systemu zasilania trakcji prądu stałego DC obejmują [6],[12],[13],[16]:

- deformację sinusoidalnego kształtu prądu pobieranego z systemu elektroenergetycznego - spowodowana jest ona nieliniowym charakterem podstacji trakcyjnych (współczynnik TDD),
- wahania napięcia w systemie zasilającym GPZ (Główny Punkt Zasilania) - wywołane zmiennością obciążeń trakcyjnych, określone współczynnikami P_{st} i P_{It} ,
- ponadnormatywny wzrost pobieranej mocy elektrycznej - spowodowany przede wszystkim procesem uruchomienia urządzeń kolejowych,
- zmniejszenie wartości współczynnika mocy $\cos\phi$ - spowodowane pracą podstacji trakcyjnych,
- straty mocy ΔP i energii elektrycznej ΔE w systemie.

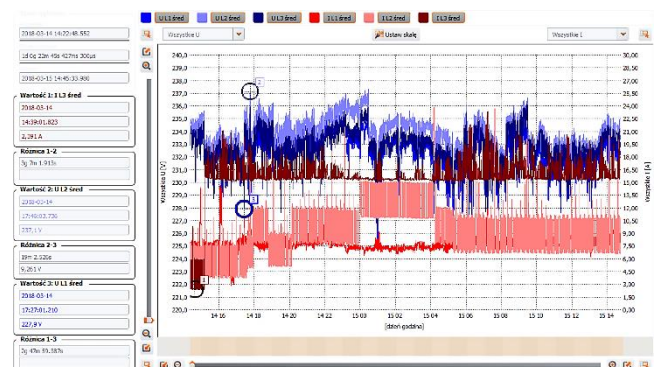
Wymienione czynniki powstają przede wszystkim z powodu nieliniowego charakteru zespołów prostownikowych, ale także zmienności obciążenia trakcyjnego.

Schemat blokowy oddziaływania poszczególnych elementów systemu trakcyjnego na system energetyki zawodowej pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu zasilania trakcji SZTE z podziałem na podsystemy: SE - energetyki zawodowej, AC/DC - transformacji energii, OTP - organizacji i technologii przewozów, EPT - taboru kolejowego. U - zmienne wejściowe, Y - zmienne wyjściowe, Z - zaktócenia

Na całkowite obciążenie podstacji trakcyjnych składają się: obciążenie wynikające z ruchu pojazdów kolejowych, obciążenie odbiorników nietrakcyjnych oraz obciążenie odbiorców pozatrakcyjnych. Przykładowe przebiegi zmienności prądów i napięć w obiekcie podstacji trakcyjnej prezentuje rys. 2.



Rys. 2. Przebiegi prądów i napięć w linii LPN kolejowej podstacji trakcyjnej prądu stałego

Specyficzna właściwość systemu elektroenergetycznego, jakim jest znaczna zmienność obciążenia, ma fundamentalne odzwierciedlenie w zjawiskach związanych z eksploatacją układów tego typu, a jedną z tych właściwości są straty mocy i energii elektrycznej.

2. Wpływ zmienności obciążenia trakcyjnego na straty mocy

Podstawą określenia wpływu zmian obciążenia na straty mocy w systemie zasilania trakcji jest analiza porównawcza strat powstających w wyniku przepływu prądu I_{TRz} , o wartości narastającej liniowo w funkcji czasu, ze stratami powstającymi w wyniku przepływu prądu I_{TRs} , o nieziennej wartości.

Koncepcja taka została przedstawiona w pracy [6]. Wartość prądu o stałym charakterze jest równa sumie wartości początkowej i połowie wartości z różnicy granic zmiany prądu o charakterze zmiennym w czasie. Przy takim podziale wartość średnia dla obu prądów jest jednakowa, a więc wartość średnia dostarczonych przez nie mocy i przeniesionych energii do odbiorników trakcyjnych jest również jednakowa. Przyjęty sposób liniowej reprezentacji prądów systemu SZTE jest równoznaczny z rozpatrywaniem obwodów prądu stałego, a więc z przetransformowaniem parametrów i wielkości systemu zasilania trakcji na jego stronę stałoprądową.

Krzywą prądu I_{TRz} o zmiennej wartości opisano [6] następującą zależnością czasową:

$$I_{TRz}(t) = I_{TRp} + \frac{t}{T}(I_{TRk} - I_{TRp}) \quad (1)$$

gdzie:

$I_{TRz}(t)$ - prąd o zmiennej wartości w funkcji czasu, I_{TRp} , I_{TRk} - wartości początkowe i końcowe prądu $I_{TRz}(t)$ w rozpatrywanym okresie czasu

Odpowiadającą prądowi I_{TRz} jego wartość średnią wyraża się prądem I_{TRs} o przedstawionej zależności [6]:

$$I_{TRs}(t) = I_{TRp} + \left(\frac{I_{TRk} - I_{TRp}}{2} \right) \quad (2)$$

gdzie:

$I_{TRs}(t)$ - prąd o stałej wartości w funkcji czasu

Dla obu przypadków zmienności prądów (1) i (2) ich wartości średnie są jednakowe $I_{TRzsr}(T) = I_{TRs}(T)$ oraz jednakowe są wartości średnie mocy i energii dostarczonych przez nie do obwodu $E_{TRzsr}(T) = E_{TRs}(T) = (U_{TR} \cdot I_{TR})T/2$

Bilans strat energii powstających w SZTE przedstawiono w postaci sumy strat powstających w poszczególnych jego blokach i podano wyrażeniem:

$$\Delta E_{SZTE} = \sum \Delta E_{PTRi} + \sum \Delta E_{ZASi} = \Delta E_{PTR(TP)} + \Delta E_{PTR(ZD)} + \Delta E_{PTR(F)} + \Delta E_{ZAS(LZ)} + \Delta E_{ZAS(ST)} \quad (3)$$

gdzie:

ΔE_{SZTE} - całkowite straty energii w systemie zasilania trakcji, ΔE_{PTRi} - straty w podsystemie AC/DC, ΔE_{ZASi} - straty w podsystemie SE i EPT, $\Delta E_{PTR(TP)}$ - straty transformatora prostownikowego, $\Delta E_{PTR(ZD)}$ - straty zestawu diodowego, $\Delta E_{PTR(F)}$ - straty filtra stacyjnego, $\Delta E_{ZAS(LZ)}$ - straty linii zasilających, $\Delta E_{ZAS(ST)}$ - straty sieci trakcyjnej

Straty energii elektrycznej ΔE_{TRz} , wywołane prądem I_{TRz} określono zależnością:

$$\Delta E_{TRz} = T \left[a + bk_l \left(\frac{I_{TRp} + I_{TRk}}{2} \right) + ck_l^2 \left(\frac{I_{TRp}^2 + I_{TRk}^2 + I_{TRp}I_{TRk}}{3} \right) \right] \quad (4)$$

gdzie:

ΔE_{TRz} - straty energii wywołane przepływem prądu I_{TRz} , T - rozpatrywany okres zmiany prądu

Przepływ prądu I_{TRs} , odpowiadający prądowi I_{TRz} i stanowiący jego wartość średnią, wywołuje w obwodzie zasilania straty energii ΔE_{TRs} określone zależnością:

$$\Delta E_{TRs} = T \left[a + bk_l \left(\frac{I_{TRp} + I_{TRk}}{2} \right) + ck_l^2 \left(\frac{I_{TRp} + I_{TRk}}{2} \right)^2 \right] \quad (5)$$

gdzie:

ΔE_{TRs} - straty energii wywołane przepływem prądu I_{TRs}

Określając stosunek strat energii ΔE_{TRz} do ΔE_{TRs} otrzymano wskaźnik s [6], opisujący wpływ uśredniania prądu.

$$s = \frac{\Delta E_{TRz}}{\Delta E_{TRs}} = \frac{\Delta P_{TRz}}{\Delta P_{TRs}} = \frac{a + bk_l \left(\frac{I_{TRp} + I_{TRk}}{2} \right) + ck_l^2 \left(\frac{I_{TRp}^2 + I_{TRk}^2 + I_{TRp}I_{TRk}}{3} \right)}{a + bk_l \left(\frac{I_{TRp} + I_{TRk}}{2} \right) + ck_l^2 \left(\frac{I_{TRp} + I_{TRk}}{2} \right)^2} \quad (6)$$

gdzie:

s - wskaźnik określający wpływ zmian prądu obciążenia na straty mocy

Jest to jednocześnie wskaźnik proporcji strat energii elektrycznej wynikającej z przepływu prądu o liniowo zmiennej wartości w funkcji czasu i prądu o wartości stałej I_{TRs} , równej wartości średniej prądu I_{TRz} . Ze względu na równość przedziałów czasu T wskaźnik s jest parametrem, określającym stosunek strat mocy ΔP_{TRz} i ΔP_{TRs} .

3. Aplikacja sposobu określania wpływ zmienności obciążenia

Sposób wyznaczania wartości wskaźnika s oraz strat mocy ΔP_{TRz} powstających przy zmiennym w czasie obciążeniu opiera się na analizie pojedynczych zmian prądu trakcyjnego. Rzeczywiste przebiegi stanowią jednak zbiór rosnących i malejących wartości prądu, występujących w określonych przedziałach czasu. Opierając się na aproksymacji ich kształtu odcinkami prostoliniowymi można uważać rozpatrywane przebiegi I_{TR} za zbiór pojedynczych zmian prądu trakcyjnego o charakterze liniowych. Można więc zastosować rozwinięcie w celu rozpatrywania strat SZTE wywołanych przez prąd trakcyjny o określonym przebiegu. Rozwinięcie to opiera się na próbkowaniu przebiegu prądu I_{TR} oraz sumowaniu wartości strat mocy dla danych przedziałów czasu z wykorzystaniem wskaźnika s . Sumowanie strat mocy zostało określone w oparciu o ogólną zależność wynikającą z bilansu energii dla dwóch odcinków aproksymujących prąd trakcyjny:

$$\Delta E_{TRz} = \Delta E_{TRz1} + \Delta E_{TRz2} \quad (7)$$

gdzie:

ΔE_{TRz} - straty energii przy wzroście prądu trakcyjnego od wartości I_{TRp} do I_{TRk} , ΔE_{TRz1} - straty energii przy wzroście prądu trakcyjnego od I_{TRp} do I_{TR0} , ΔE_{TRz2} - straty energii przy wzroście prądu trakcyjnego od I_{TR0} do I_{TRk}

Starty ΔE_{TRz1} oraz ΔE_{TRz2} związane są z prądem o zmiennej wartości od I_{TRp} do I_{TR0} oraz od I_{TR0} do I_{TRk} , a ich wartości opisano wyrażeniami o następującej postaci:

$$\Delta E_{TRz1} = R_p T_1 \frac{I_{TRp}^2 + I_{TR0}^2 + I_{TRp}I_{TR0}}{3} \quad (8)$$

$$\Delta E_{TRz2} = R_p T_2 \frac{I_{TR0}^2 + I_{TRk}^2 + I_{TR0}I_{TRk}}{3} \quad (9)$$

gdzie:

I_{TR0} - prąd trakcyjny o dowolnej wartości z zakresu I_{TRp} I_{TRk} , T_1 oraz T_2 - czas odpowiadający narastaniu prądu trakcyjnego odpowiednio od wartości I_{TRp} do I_{TR0} oraz od I_{TR0} do I_{TRk}

W celu wyznaczenia wartości wskaźnika s dla przebiegu prądu cały analizowany odcinek czasu T został podzielony na okresy o równej długości ΔT , w sposób przedstawiony na rys. 3. Wskaźnik s wyrażono stosunkiem strat energii ΔE_{TRz} do ΔE_{TRs} .

Jednak w tym przypadku energia ΔE_{TRz} stanowi sumę strat energii dla poszczególnych okresów ΔT i została podana wyrażeniem:

$$\Delta E_{TRz} = \sum_n \Delta E_{TRzn}(I_{TRz}) = c \Delta T \sum_n I_{TRzn}^2 \quad (10)$$

gdzie:

ΔE_{TRz} - straty energii dla przebiegu prądu trakcyjnego I_{TRz} i okresu T ,
 n - liczba przedziałów wynikająca z T i ΔT , ΔT - okres cząstkowy zliczania energii

Energia ΔE_{TRs} stanowi stratę energii, jaka powstaje w analizowanym przedziale czasu T dla wartości średniej prądu w tym okresie. Energię tą określono poniższym wyrażeniem:

$$\Delta E_{TRs} = \sum_n \Delta E_{TRsn}(I_{TRs}) = c \frac{\Delta T^2}{T} \left(\sum_n I_{TRsn} \right)^2 \quad (11)$$

gdzie:

ΔE_{TRs} - straty energii dla przebiegu prądu trakcyjnego I_{TRs} i okresu T ,
 n - kolejny przedział wynikający z T i ΔT , ΔT - okres cząstkowy zliczania energii.

Po wyznaczeniu stosunku ΔE_{TRz} do ΔE_{TRs} otrzymano wyrażenie na wskaźnik s dla przebiegu prądu w następującej postaci:

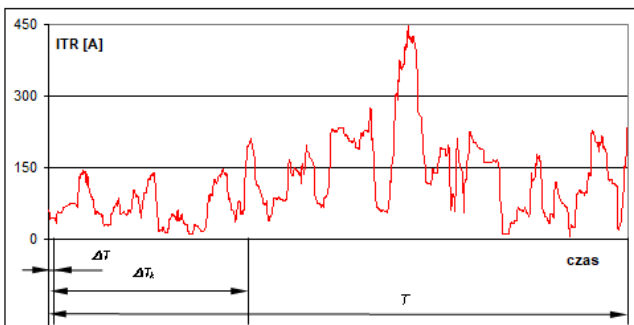
$$s_1 = \frac{\Delta E_{TRz}}{\Delta E_{TRs}} = \frac{T \sum_n I_{TRzn}^2}{\Delta T \left(\sum_n I_{TRsn} \right)^2} = \frac{4}{3} \cdot \frac{T \sum_n (I_m^2 + I_{m+1}^2 + I_m I_{m+1})}{\Delta T \left(\sum_n I_m + I_{m+1} \right)^2} \quad (12)$$

gdzie:

s_1 - wskaźnik wpływu zmian prądu obciążenia na straty mocy w okresie T , I_m, I_{m+1} - prąd trakcyjny w okresach czasu ΔT .

We wzorze (12) wprowadzono wielkości I_m, I_{m+1} określające wartości prądu trakcyjnego w kolejnych chwilach czasu. Odpowiadają one wartości początkowej I_{TRp} i końcowej I_{TRk} prądu trakcyjnego. Wprowadzenie ich było związane z analizą całego przebiegu prądu, a nie pojedynczych jego zmian. Wskaźnik s podany wyrażeniem (12) daje informację, w jaki sposób zmiana prądu trakcyjnego wpływa na straty mocy powstające w zadanym okresie czasu T .

Straty energii są zwykle obliczane na podstawie wartości uśrednionej prądu za wybrany okres czasu [5]. Zagadnieniem znajdującym odpowiedź jest to, w jaki sposób wybór długości odcinka uśredniania prądu trakcyjnego wpływa na wartość wskaźnika s , a tym samym jaka jest różnica pomiędzy rzeczywistą wartością strat energii i wyznaczoną z wartości uśrednionej prądu. W tym celu przebieg prądu o czasie T został podzielony na kilka przedziałów o różnych czasach uśredniania. Wprowadzono wielkości: $T, \Delta T$ oraz ΔT_k , które zostały przedstawione na przykładzie przebiegu prądu trakcyjnego, na rys. 3.



Rys. 3. Przebieg prądu trakcyjnego z zaznaczonymi wielkościami czasu: $T, \Delta T$ i ΔT_k

Odcinek T wyznacza czas trwania rozpatrywanego przebiegu, ΔT_k okres uśredniania prądu, a ΔT czas wyznaczania kolejnych wartości prądu trakcyjnego I_m .

Wskaźnik s wyrażono stosunkiem strat energii ΔE_{TRz} do ΔE_{TRs} . Stratę energii ΔE_{TRz} podano wyrażeniem (10), natomiast ΔE_{TRs} wyznaczono jako sumę strat energii poszczególnych przedziałach uśredniania ΔT_k . Ostatecznie wskaźnik s otrzymał następującą postać:

$$s_2 = \frac{\Delta T_k}{\Delta T} \cdot \frac{\sum_n I_{TRzn}^2}{\sum_h \left(\sum_n I_{TRsn} \right)^2} = \frac{4}{3} \cdot \frac{\Delta T_k}{\Delta T} \cdot \frac{\sum_n (I_m^2 + I_{m+1}^2 + I_m I_{m+1})}{\sum_h \left(\sum_n I_m + I_{m+1} \right)^2} \quad (13)$$

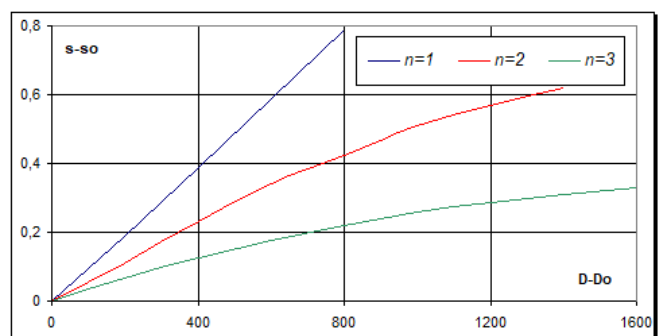
gdzie:

s_2 - wskaźnik wpływu zmian prądu obciążenia na straty mocy w okresie T , ΔT - okres wyznaczania kolejnych wartości prądu trakcyjnego I_m , ΔT_k - okres uśredniania prądu, n - kolejny przedział ΔT , h - kolejny przedział ΔT_k

Analizując wpływ zmian prądu trakcyjnego na straty mocy w zadanym okresie czasu T - wyrażenie (12), przyjęto przebieg prądu wyrażony zależnością $I_{TR}(t) = I_{TR} \pm \Delta I_{TR}(t)$. Sygnał piłokształtny wybrano jako przykładowy przebieg testujący.

Dla zmian o stałej wartości $\Delta I_{TR}(t)$ wskaźnik s , obliczony dla przebiegu o okresie T , przyjmuje wartości równe wyznaczonym dla pojedynczych zmian prądu, wynikające ze wzoru (6). Przykładowo: dla $I_{TR}(t) = 450 \pm 350$ [A] wskaźnik $s_1 = 1,202$ oraz dla $I_{TRp} = 100$ [A] i $I_{TRk} = 800$ [A] wskaźnik $s = 1,202$. Podobnie, jak w przypadku wskaźnika s największa wartość s_1 wynosiła $s_1 = 1,33$.

Różniące się między sobą wartości wskaźników s i s_1 otrzymano w przypadku, gdy parametr $\Delta I_{TR}(t)$ miał zmienną wartość. Dla wartości prądu przedstawionych w powyższym przykładzie przyjęto $T=8$ i $\Delta T=1$ oraz zmiany wartości prądu w kolejnych przedziałach ΔT . W analizie posłużono się odchyleniem standardowym, jako miarą rozproszenia wartości prądu. Wyniki przedstawiono na rys. 4, przy czym wielkości dla obu osi układu współrzędnych opisują różnice pomiędzy daną wielkością, a wielkością odniesienia. Za wielkości odniesienia przyjęto wartości przy niezmiennym parametrze $\pm \Delta I_{TR}(t)$.



Rys. 4. Charakterystyki różnicy $\Delta s = s - s_0$ w funkcji różnicy odchylenia standardowego $\Delta D = D - D_0$

Z rysunku wynika, że największą wartość przyjmuje wskaźnik s dla najmniejszej liczby zmian - $n=1$ w badanym przebiegu. Błąd wnioskowania o stratach mocy na podstawie wartości średniej jest więc w tym przypadku największy. Dla opisanego przykładu przyjęto prądy z zakresu obciążeń trakcyjnych, jednak największe wartości jakie może osiągnąć wskaźnik s_1 wynosi $s_1 = 5,33$.

Podobną analizę wpływu przyjętego okresu uśredniania ΔT_k przeprowadzono na podstawie wyrażenia (13). Przyjęto w nim: $I_{TR}(t) = 150 \pm 150$ [A], $T=20$, $\Delta T=1$ oraz $\Delta T_k = 1, 2, 5, 10$. Dla kolejnych wartości

przedziału ΔT_k otrzymano wskaźnik $s_2=1,12; 1,165; 1,316, 1,321$. Z wykonanych obliczeń wynika, że wraz ze wzrostem czasu uśredniania prądu wzrasta wartość wskaźnika s_2 . Zwiększenie parametru s_2 określa różnicę pomiędzy stratami wyznaczonymi na podstawie prądu I_{TRs} i I_{TRz} .

Podsumowanie

Zmiennosc obciążenia trakcyjnego jest charakterystyczną cechą układów trakcyjnych. Wpływa ona na wiele procesów fizycznych, które bezpośrednio oddziałują na techniczne i ekonomiczne problemy systemu elektroenergetycznego. Dynamika obciążenia odgrywa kluczową rolę w określaniu parametrów jakości energii. Dotyczy to zwłaszcza zjawisk: spadków napięcia, generowania prądów harmonicznych, a także nadwyżki mocy elektrycznej. W artykule przedstawiono sposób określania wpływu uśredniania prądu, który ma często miejsce w obliczeniach trakcyjnych. Wykazano, że uśrednianie prądu ma znaczący wpływ na niedokładność obliczeń bądź pomiarów mocy i energii w układach zasilania trakcji prądu stałego.

Opracowany sposób daje możliwość poszerzenia analizy wpływu zmian obciążenia trakcyjnego na koszty transferu energii elektrycznej oraz na poziom zamawianej mocy i zapotrzebowanej energii. Szczególnie odnosi się to do opłat, jakie spółki energetyczne naliczają za tzw. straty energii w liniach i transformatorach, wynikające z umiejscowienia liczników energii elektrycznej.

Bibliografia:

1. Arrillaga J., Smith B., Watson N., Wood A., Power system harmonics analysis, John Wiley & Sons 1997.
2. Battistelli L., Caramia P., Carpinelli G., Proto D., Power quality disturbances due to interaction between AC and DC traction systems, Power Electronics, Machines and Drives, 2004.
3. Frontczak F., Podstawy trakcyjne i ich zasilanie, KOW, Warszawa 1994.
4. Kawalkowski K., Młyńczak J., Olczykowski Z., Wojciechowski J., A Case Analysis of Electrical Energy Recovery in Public Transport, Advances in Intelligent Systems and Computing, 631, 2017.
5. Laudyn D., Rachunek ekonomiczny w elektroenergetyce, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
6. Люфт М., Войчеховски Е., Оценка влияния переменной нагрузки на потери мощности на тяговых подстанциях постоянного тока, Вестник МИИТ-а, № 18, Москва 2008.
7. Łukasik Z., Kozyra J., Kuśmińska-Fijałkowska A., Efektywne ograniczanie zużycia energii elektrycznej w zakładach przemysłowych, „TTS Technika Transportu Szybowego” 2015, nr 12.
8. Łukasik Z., Nowakowski W., Kuśmińska-Fijałkowska A., Zarządzanie bezpieczeństwem infrastruktury krytycznej, „Logistyka” 2014, nr 4.
9. Mierzejewski L., Szeląg A., Gałuszewski M., System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
10. Olczykowski Z., Kozyra J., Wojciechowski J., Awaryjne zagrożenie dla sprawnego funkcjonowania transportu samochodowego, „Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 6.
11. Polska Norma PN-75/E-06073. Przekształtniki półprzewodnikowe z komutacją zewnętrzną. Ogólne wymagania i badania.
12. Szeląg A., Increasing the Energy Efficiency of Railway Transport, „TTS Technika Transportu Szybowego” 2008, nr 12.
13. Szeląg A., Maciolek T., A 3 kV DC electric traction system modernisation for increased speed and trains power demand – problems of analysis and synthesis, „Przegląd Elektrotechniczny” 2013, R.89 3a.
14. Szeląg A.: Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji, OWPW, Warszawa 2002.
15. Wdowiak J., Mierzejewski L., Szeląg A., Projektowanie układów zasilania trakcji elektrycznej systemu prądu stałego, WPW, Warszawa 1993.
16. Wojciechowski J., European Electricity Clearing Systems, Proceedings of the 17th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences, Rajceke Teplice, Slovakia, part VI, 2017.
17. Wojciechowski J., Lorek K., Nowakowski W., An Influence of a Complex Modernization of the DC Traction Power Supply on the Quality Parameters of the Electrical System's Electrical Energy. MATEC Web of Conferences, vol. 180, 2018, 13th International Conference Modern Electrified Transport – MET'2017, Warsaw 2017.
18. Wojciechowski J., Traction Power Substation Modeling at its Dynamic Load, 5-th International Scientific Conference MET 2001.

Aspect of load variability in determining power losses in the DC electric traction power supply system

The article discusses issues related to the variability of traction load and its impact on power losses in DC traction substations. Presented is the method of determining the influence of current averaging, which often happens in traction calculations. It has been shown that the averaging of the current has a significant impact on the inaccuracy of calculations or measurements of power and energy in DC traction power systems. The issues of variability of traction load are presented.

Keywords: load variability, traction power system, power and electricity losses.

Autor:

dr inż. **Jerzy Wojciechowski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu.
j.wojciechowski@uthrad.pl