

DRAPIK Sławomir¹
 KUZNETSOV Valeriy²
 MARKOWSKI Paweł³
 PRUSAK Janusz⁴
 WOSZCZYNA Bartosz⁵

Badanie skali zmienności obciążeń wybranej tramwajowej podstacji trakcyjnej na podstawie rzeczywistych wyników pomiarowych dla spójnego okresu czasowego obejmującego szesnaście tygodni.⁶

Wstęp

Znaczna zmienność w czasie obciążeń trakcyjnych [6][8][9][10][11][12][15][16][17] jest istotną trudnością przy projektowaniu i budowie układów zasilania dla nieautonomicznego elektrycznego taboru szynowego (elektryczne lokomotywy kolejowe, elektryczne pojazdy trakcyjne, tramwaje, pojazdy metra).

Podstawowe rozwiązania układowe, także metody projektowe dotyczące układów zasilania pochodzą z pierwszej połowy XX wieku [3][14][18]. Sprawne funkcjonowanie trakcji elektrycznej przez kolejne dziesięciolecia potwierdziło, że są to prawidłowe rozwiązania oraz dobre metody.

Zainwestowane środki finansowe w badania oraz prace konstruktorskie spowodowały istotny jakościowy rozwój taboru szynowego. Poprawiła się nie tylko jego estetyka, ale przede wszystkim wyposażenie m.in. w zakresie napędów trakcyjnych. Dzięki temu tabor ten stał się bardziej energooszczędny niż poprzednio stosowany. Raczej nie budzi wątpliwości, w chwili obecnej, stwierdzenie, że współczesne lokomotywy elektryczne, czy tramwaje są odzwierciedleniem możliwości naukowych i technicznych pierwszej połowy XXI wieku.

W artykule przedstawiono niektóre wyniki badań zmienności obciążeń wybranej tramwajowej podstacji trakcyjnej w ciągu kolejnych 16 tygodni jej eksploatacji, czyli 112 dni (30,68% roku kalendarzowego)[22].

Intencją autorów jest poszukiwanie możliwości doskonalenia systemu zasilania, w tym przypadku trakcji tramwajowej, w kierunku jego lepszego dostosowania do występujących obciążeń. Dzięki temu powinna m.in. wzrosnąć sprawność podstacji trakcyjnych, a więc transport ten powinien się stać jeszcze bardziej energooszczędny i proekologiczny. Podstawowym krokiem w tym kierunku jest rozpoznanie specyfiki zmian rzeczywistych obciążeń trakcyjnych wynikających z realizowanych przewozów.

Tramwajowa podstacja trakcyjna „CZYŻYNY” w Krakowie

W [4][7][12] przedstawiono krótki opis wyposażenia w zespoły prostownikowe i wyniki badań obciążeń m.in. tramwajowej podstacji trakcyjnej „Czyżyny” w Krakowie. Podstacja ta zasilą sieć trakcyjną na trasach przelotowych. Jest ona zlokalizowana w miarę centralnie w obszarze miasta, w złożonym węźle komunikacji szynowej jak i drogowej o znacznym natężeniu ruchu.

Na rys. 1 przedstawiono przebiegi chwilowych wartości prądów trakcyjnych obciążających zespoły prostownikowe omawianej podstacji. Wzięto pod uwagę jeden dzień powszedni (23.10.2013 – środa)

¹mgr inż. Sławomir Drapik, *niezależny specjalista*

²Dr hab. prof. Direktor of project management department, Dniepropetrovsk National University of Railway Transport, Ukraine

³Paweł Markowski, student, Wydział Mechaniczny, kierunek Energetyka, Politechnika Krakowska

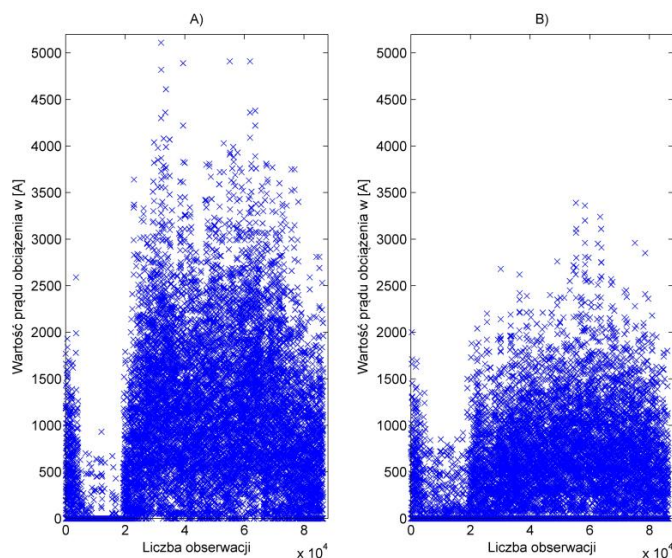
⁴dr inż. Janusz Prusak, Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Politechnika Krakowska

⁵mgr inż. Bartosz Woszczyzna, Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Politechnika Krakowska

⁶ Artykuł recenzowany.

i jeden dzień świąteczny (27.10.2013 – niedziela). Przedstawione wyniki pomiarów dotyczą 2-ch dni, co stanowi ok. 0,55% roku kalendarzowego. Metody projektowe opierają się na ocenie zużycia energii właśnie w skali jednego roku.

W oparciu o te wyniki można było stwierdzić, że we wziętych pod uwagę dniach podstacja trakcyjna „Czyżyny” nie była w pełni obciążona. Przykładowo tylko przez ok. 6 minut (w ujęciu sumarycznym), w dzień powszedni, występujące obciążenie odpowiadało mocy ciągłej czterech zespołów prostownikowych, które znajdują się na jej wyposażeniu. Również w ujęciu sumarycznym, przez prawie 5 godzin podstacja (zespoły prostownikowe) nie była w ogóle obciążona. Przez ten czas wszystkie cztery transformatory zespołów prostownikowych pobierały energię z systemu energetyki zawodowej tylko na pokrycie straty biegu jałowego.



Rys. 1. Zarejestrowane chwilowe wartości prądu obciążenia podstacji trakcyjnej „Czyżyny” w dniach: A) 23.10.2013 (środa); B) 27.10.2013 (niedziela)

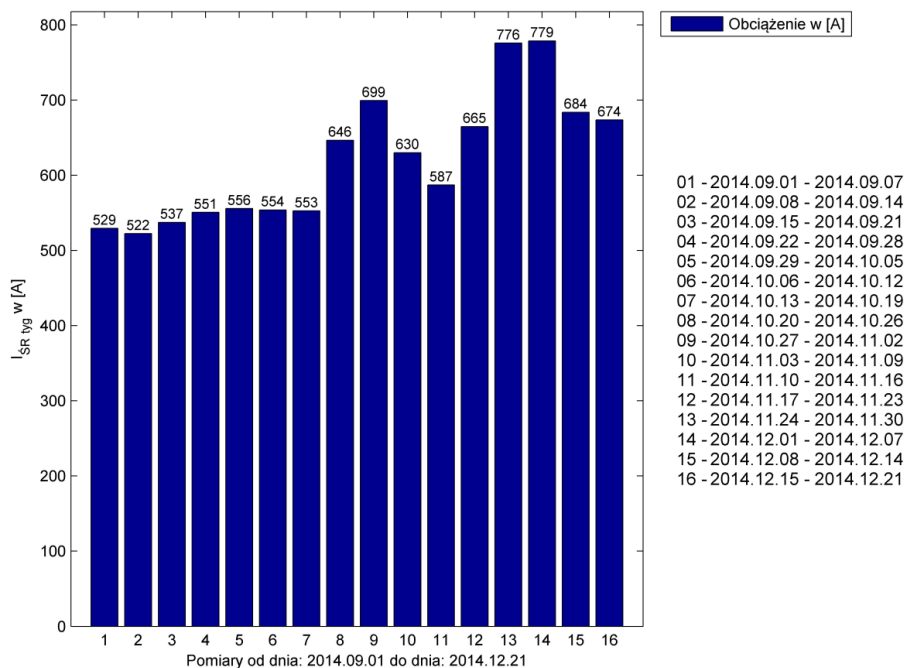
Źródło: [13].

Specyfika zmienności obciążeń tramwajowych podstacji trakcyjnych jest inna niż podstacji kolejowych prądu stałego (PKP), z kilku powodów. Oczekiwany zakres tej zmienności powinien być mniejszy z następujących przyczyn: trakcja tramwajowa realizuje tylko przewozy pasażerskie, odległości międzyprzystankowe wszystkich tramwajów są identyczne, prędkości poruszania są zbliżone, zbliżone są również parametry elektryczne taboru, a rozkłady jazdy przez znaczną część dnia realizowane są ze stałym następstwem. W kolejnych tygodniach rozkłady jazdy są identyczne. Wstępnie można było przypuszczać, że pomiary i analiza prądów obciążenia w skali jednego tygodnia powinny wystarczyć do wiarygodnej oceny np. poprawności doboru liczby i mocy zespołów prostownikowych. Przedstawiony poniżej materiał ilustruje na ile to oczekiwanie było prawdziwe.

Analiza wyników pomiarowych

Przedstawione wyniki pomiarów i wybrane aspekty ich analizy dotyczą odcinka czasowego [22] obejmującego 16 następujących po sobie tygodni w sezonie jesienno zimowym (od 01.09.2014 do 21.12.2014).

Na rysunku 2 przedstawiono średnie wartości prądów obciążeń trakcyjnych w poszczególnych tygodniach wziętego pod uwagę okresu badań.



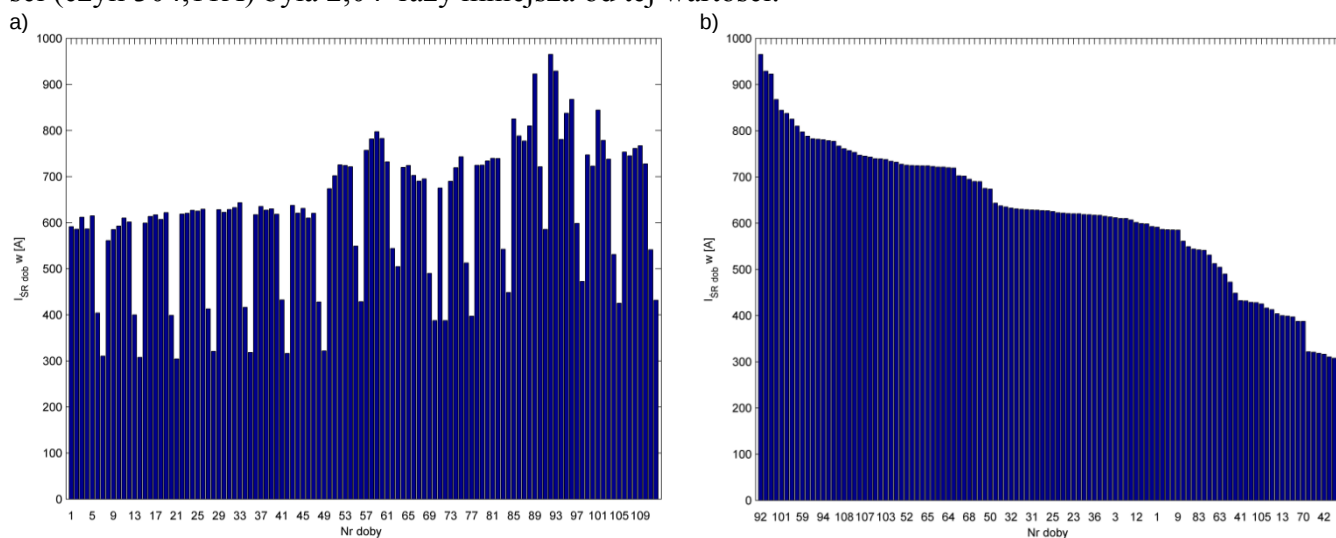
Rys. 2. Średnie wartości prądów obciążeń trakcyjnych w poszczególnych tygodniach.

Źródło: opracowanie własne.

Z powyższego rysunku widać, że podstacja ta w skali kolejnych tygodni była różnie obciążana. Największa średnia wartość prądu (największy pobór energii) wystąpił w czternastym tygodniu i wynosił 778,74A. Jest to 1,25 razy więcej niż średnia za ten okres wynosząca 621,61A.

Na rysunku 3a przedstawiono średnie wartości prądów obciążeń trakcyjnych w poszczególnych dniach (w pełnym zakresie 24h). Natomiast na rysunku 3b pokazano wykres uporządkowany tych obciążeń: od wartości największej (965,38 A) do najmniejszej (304,11 A).

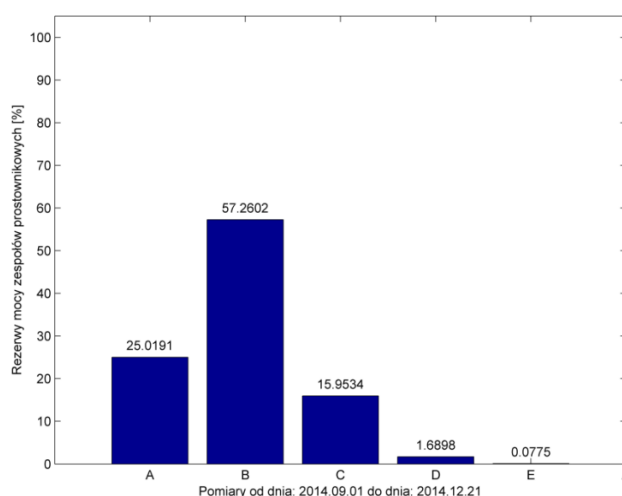
Skala zróżnicowania obciążeń poszczególnych dni (w pełnym zakresie 24h) była znaczna: od 304,11A (wartość minimalna) do 965,38A (wartość maksymalna). Ponieważ średnia wartość prądu, za okres pomiaru (16 tygodni) wynosiła, jak wspomniano powyżej, 621,61A, to średnia wartość prądu w dobie o największej wartości (czyli 965,38A) była 1,55 razy większa, a w dobie o najmniejszej wartości (czyli 304,11A) była 2,04 razy mniejsza od tej wartości.



Rys. 3. Średnie wartości prądów obciążeń trakcyjnych w poszczególnych dniach; a) w porządku chronologicznym, b) uporządkowany wykres obciążeń.

Źródło: opracowanie własne.

Na rys. 4 przedstawiono bilans czasowy występowania chwilowych obciążeń trakcyjnych [4][7][8][22] w skali analizowanego czasu (16 tygodni = 112 dni = 2688 godzin) z uwzględnieniem parametrów znamionowych zainstalowanych zespołów prostownikowych [5][19]. Opis przyjętych oznaczeń przedstawiono w tekście pod tym rysunkiem.



Rys. 4. Bilans czasowy chwilowych obciążeń trakcyjnych w skali 16-u tygodni.

Źródło: opracowanie własne.

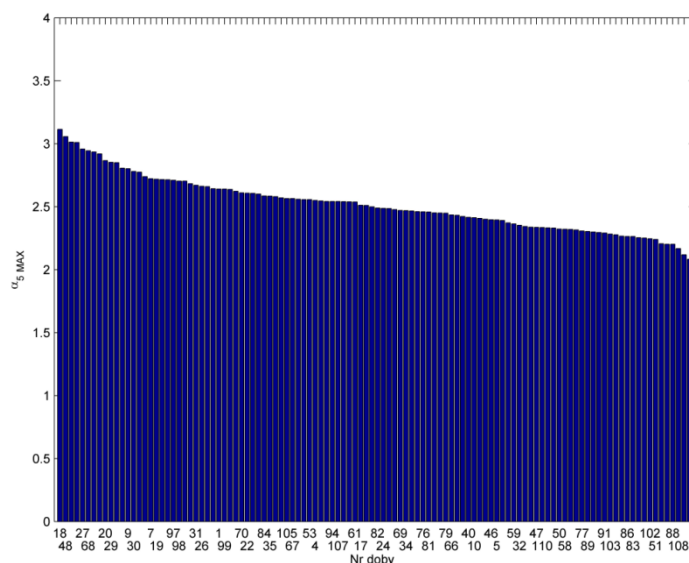
Literą A: oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia 0 A (czyli brak obciążenia). Literą B: oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia o wartościach większych niż 0 A i nie większych niż obciążenie długotrwałe jednego zespołu prostownikowego (tu: $0 \text{ A} < I_{\text{obc}} \leq 1,2 \text{ kA}$). Literą C: oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia o wartościach większych niż prąd obciążenia długotrwałego jednego zespołu prostownikowego i nie większych niż obciążenie długotrwałe dwóch zespołów prostownikowych (tu: $1,2 \text{ kA} < I_{\text{obc}} \leq 2,4 \text{ kA}$). Literą D: oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia o wartościach większych niż prąd obciążenia długotrwałego dwóch zespołów prostownikowych i nie większych niż obciążenie długotrwałe trzech zespołów prostownikowych (tu: $2,4 \text{ kA} < I_{\text{obc}} \leq 3,6 \text{ kA}$). Literą E: oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia o wartościach większych niż prąd obciążenia długotrwałego trzech zespołów prostownikowych i nie większych niż obciążenie długotrwałe czterech zespołów prostownikowych (tu: $3,6 \text{ kA} < I_{\text{obc}} \leq 4,8 \text{ kA}$).

Widać (rys. 4), że sumaryczny czas braku obciążenia zespołów prostownikowych wynosi w ujęciu względnym 25,0191% (słupek A) co stanowi 672,51 godz. Podstacja trakcyjna „Czyżyny” wyposażona jest w cztery zespoły prostownikowe [4] cały czas włączone do pracy. Moc strat biegu jałowego, każdego transformatora prostownikowego wynosi 2 kW. Energia zużyta na pokrycie strat biegu jałowego tych transformatorów, dla omawianego przypadku wyniosła 5.380,10 kWh w skali 16 tygodni.

Tylko w przypadku pełnego obciążenia czterech zespołów prostownikowych (słupek E) nie występuje zjawisko zbędnych strat energii wynikających z biegu jałowego. W analizowanym przypadku sumaryczny czas trwania takiego stanu to 2,08 godz. (0,0775% czasu pracy).

W [12] przedstawiono wyniki obliczeń dotyczące wielkości zużycia energii na pokrycie strat biegu jałowego, ilości zbędnie spalonego węgla (w elektrowni), ilości wydzielonego CO₂ (również w elektrowni), oraz kosztów pokrycia strat biegu jałowego m.in. dla podstacji trakcyjnej „Czyżyny” w jednym wybranym dniu roboczym (23.20.2013) i jednym wybranym dniu świątecznym (27.10.2013) – patrz rys. 1. W analizowanym przypadku przedstawione dane (rys. 4) pozwalają przeprowadzić analogiczne obliczenia, ale prezentacja tych wyników nie jest celem niniejszego artykułu.

Na rys. 5 pokazano kształtowanie się współczynnika przeciążeń pięciominutowych w poszczególnych dobach. Współczynnik ten był określany jako iloraz maksymalnej średniej wartości prądu występującej w ciągu 5 minut w danej dobie do średniej wartości prądu w skali całej doby. Jak widać współczynniki te przedstawiono w sposób uporządkowany od wartości największej (3,11) do najmniejszej (ok. 2,08).



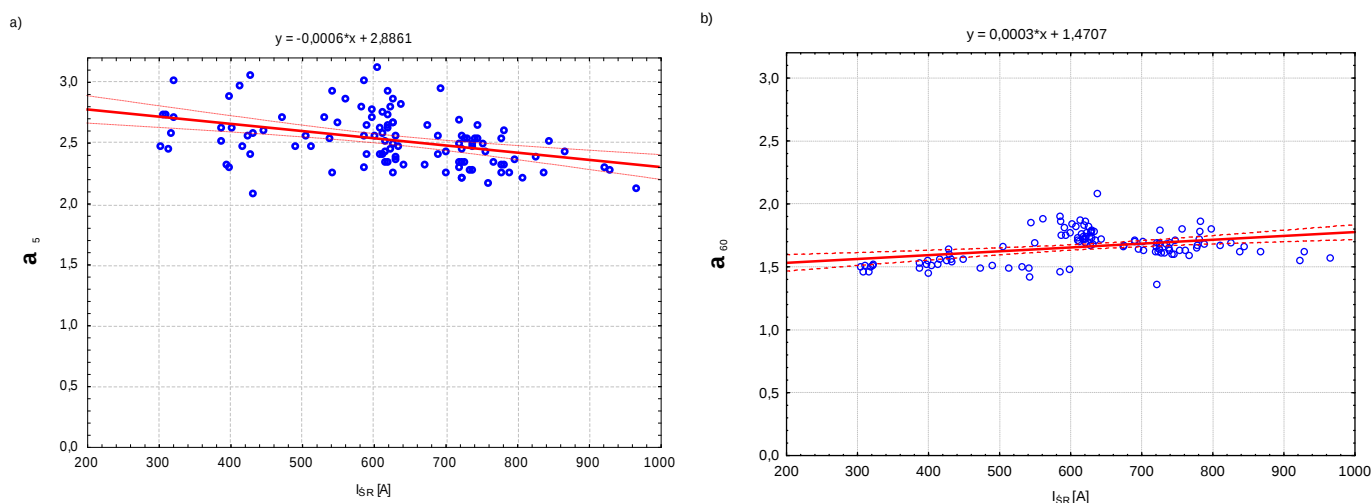
Rys. 5. Maksymalne przeciążenia 5 minutowe uporządkowane od wartości największej do najmniejszej (dla 112 dob).

Źródło: opracowanie własne.

Analiza statystyczna przeciążeń trakcyjnych

Ważne znaczenie przy doborze mocy (ilości) zespołów prostownikowych dla podstacji trakcyjnych DC ma ocena przez projektantów wartości przeciążeń trakcyjnych [3][14][18][19]. Poniżej przedstawiono statystyczne analizy maksymalnych wartości współczynników przeciążeń dla różnych odcinków czasowych w kolejnych dobach eksploatacji tramwajowej podstacji trakcyjnej „Czyżyny”.

W tabelach numer 1, 2 i 3 zamieszczono podstawowe wskaźniki statystyczne dla współczynników przeciążeń (α) 5, 10, 15, 30 oraz 60 minut. W tabelach zamieszczono odpowiednio wyniki dla badanego całego okresu, wyłącznie dni świątecznych oraz tylko dni roboczych. W artykule skupiono się na analizie rozkładu współczynników przeciążenia dla 5 minut oraz 1 godziny. Na rysunku 6 przedstawiono maksymalne współczynniki przeciążeń 5 minutowych i 60 minutowych w funkcji prądu średniego dobowego. Dla otrzymanego wykresu wyznaczono linie trendu wraz z funkcją opisującą, gdzie x- prąd średni dobowy, y- maksymalny współczynnik przeciążenia [20].



Rys. 6 Maksymalny współczynnik przeciążenia w funkcji prądu średniego dobowego: a) 5 minutowy ; b) 60 minutowy.

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 1. Wyniki analizy statystycznej dla danych pochodzących z całego okresu pomiarowego.

	a₅	a₁₀	a₁₅	a₃₀	a₆₀
Miara położenia					
<i>Średnia</i>	2,36	2,05	1,92	1,815	1,685
<i>Dominanta</i>	2,54	2,03	1,98	1,69	1,69
<i>Mediana</i>	2,495	2,130	1,950	1,780	1,670
Miara zmienności					
<i>Rozstęp</i>	1,030	0,920	0,730	0,630	0,720
<i>Wariancja</i>	0,047	0,026	0,022	0,016	0,015
<i>Odchylenie standardowe</i>	0,216	0,161	0,148	0,125	0,123
<i>Odchylenie przeciętne</i>	0,2064286	0,140982	0,12	0,102857	0,098839
<i>Współczynnik zmienności V</i>	0,0916987	0,078407	0,076867	0,069124	0,073241
Miara Spłaszczenia i asymetrii					
<i>Kurtoza</i>	-0,036896	0,8185	0,260532	0,281564	0,214751
<i>Eksces</i>	-3,036896	-2,1815	-2,73947	-2,71844	-2,78525
<i>Skośność</i>	-0,832	0,124	-0,407	0,996	-0,041
<i>Maksimum</i>	3,110	2,730	2,410	2,130	2,080
<i>Minimum</i>	2,080	1,810	1,680	1,500	1,360

Tab. 2. Wyniki analizy statystycznej dla danych wyłącznie z dni świątecznych

	a₅	a₁₀	a₁₅	a₃₀	a₆₀
Miara położenia					
<i>Średnia</i>	2,350	1,920	1,775	1,645	1,535
<i>Dominanta</i>	2,72	2,03	1,98	1,64	1,51
<i>Mediana</i>	2,575	2,145	1,875	1,660	1,510
Miara zmienności					
<i>Rozstęp</i>	0,980	0,920	0,730	0,530	0,490
<i>Wariancja</i>	0,052	0,034	0,025	0,011	0,008
<i>Odchylenie standardowe</i>	0,229	0,183	0,158	0,104	0,088
<i>Odchylenie przeciętne</i>	0,2575	0,231563	0,140469	0,072344	0,060469
<i>Współczynnik zmienności V</i>	0,0974281	0,095422	0,089144	0,063249	0,057443
Miara spłaszczenia i asymetrii					
<i>Kurtoza</i>	-0,077474	2,283679	2,837901	3,296482	5,05557
<i>Eksces</i>	-3,077474	-0,71632	-0,1621	0,296482	2,05557
<i>Skośność</i>	-1,616	-0,600	-1,296	0,048	0,284
<i>Maksimum</i>	3,060	2,730	2,410	2,030	1,850
<i>Minimum</i>	2,080	1,810	1,680	1,500	1,360

Tab. 3. Wyniki analizy statystycznej dla danych wyłącznie z dni roboczych

	α_5	α_{10}	α_{15}	α_{30}	α_{60}
Miara położenia					
<i>Średnia</i>	2,49	2,12	1,98	1,84	1,71
<i>Dominanta</i>	2,54	2,26	1,92	1,86	1,72
<i>Mediana</i>	2,475	2,130	1,995	1,810	1,700
Miara zmienności					
<i>Rozstęp</i>	0,996	0,634	0,585	0,504	0,548
<i>Wariancja</i>	0,043	0,023	0,017	0,011	0,008
<i>Odchylenie standardowe</i>	0,207	0,152	0,130	0,107	0,092
<i>Odchylenie przeciętne</i>	0,1635	0,123875	0,106875	0,083125	0,070375
<i>Współczynnik zmienności V</i>	0,0833167	0,071668	0,065474	0,058437	0,053766
Miara spłaszczenia i asymetrii					
<i>Kurtoza</i>	0,2741323	-0,15294	-0,01923	0,685757	2,02462
<i>Eksces</i>	-2,725868	-3,15294	-3,01923	-2,31424	-0,97538
<i>Skośność</i>	-0,266	-0,921	0,463	-0,233	-0,109
<i>Maksimum</i>	3,110	2,560	2,400	2,130	2,080
<i>Minimum</i>	2,120	1,920	1,820	1,620	1,530

Analiza wykazała, że badane dane mają charakter asymetryczny. W dni robocze oraz w przeciągu całego okresu przyjęły skośność lewostronną (większość wyników występowała poniżej dominanty), natomiast w okresie świątecznym współczynnik α_{60} przyjął skośność prawostronną.

W przeciągu całego okresu badanego (tabela 1) zaobserwowano, że rozkład wyników jest bardziej spłaszczony od rozkładu normalnego. Maksymalny współczynnik przeciążenia dla α_5 wynosi 3,11, natomiast dla α_{60} 2,08. Minima wyniosły odpowiednio 2,08 i 1,36. Prawdopodobieństwo wystąpienia danego współczynnika przeciążenia jest bardzo zbliżone.

W przeciągu dni świątecznych okresu badanego (tabela 2) zaobserwowano, że rozkład wyników jest bardziej spłaszczony od rozkładu normalnego dla współczynnika przeciążenia α_5 , dla współczynnika α_{60} występuje sytuacja odwrotna. Maksymalny współczynnik przeciążenia dla α_5 wynosi 3,06, natomiast dla α_{60} 1,85. Minima wyniosły odpowiednio 2,08 i 1,36. Rozstęp wynosi odpowiednio 0,98 i 0,49. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia współczynnika przeciążenia dla współczynnika α_{60} jest dla wartości dominanty.

W przeciągu dnia roboczego (tabela 3) zaobserwowano, że rozkład wyników jest spłaszczony w stosunku do rozkładu normalnego. Maksymalny współczynnik przeciążenia dla α_5 wynosi 3,11, natomiast dla α_{60} 2,08. Minima wyniosły odpowiednio 2,12 i 1,53. Rozstęp wynosi odpowiednio 0,996 i 0,548. Prawdopodobieństwo wystąpienia danego współczynnika przeciążenia jest bardzo zbliżone.

Zawarte w tabelach wyniki analiz statystycznych stanowić mogą dodatkowy materiał porównawczy w przypadku kontynuacji badań w celu doprecyzowania metod obliczeniowych związanych z określaniem (doborem) właściwych wartości współczynników przeciążeń trakcyjnych.

Uwagi końcowe

W artykule przedstawiono skalę zmienności obciążenia wybranej tramwajowej podstacji trakcyjnej. Wykorzystano wyniki pomiarów [22] dotyczące spójnego okresu czasowego obejmującego szesnaście tygodni nieprzerwanej eksploatacji. Uwagę zwrócono m.in. na wartości współczynników przeciążeń dla różnych odcinków czasowych. Przeprowadzone analizy w oparciu o rzeczywiste wyniki pomiarów mają

szczególnie dużą wartość ponieważ żadne metody symulacyjne nie są w stanie odzwierciedlić w pełni charakteru i różnorodności zmienności obciążeń trakcyjnych.

Przedstawione wyniki potwierdziły występowanie znacznych odcinków czasowych, w których moce zespołów prostownikowych nie są w pełni wykorzystywane.

Zdaniem autorów stosowane obecnie rozwiązania układowe dotyczące podstacji trakcyjnych DC (tu tramwajowych) nie dają zbyt szerokiej możliwości wyrażnej poprawy ich sprawności. Wynika to z tego, że m.in. moc zespołów prostownikowych włączonych na stałe (!) do eksploatacji musi być dobrana tak, aby była wystarczająca dla największego obciążenia trakcyjnego, które jak pokazały wyniki pomiarów może pojawiać się bardzo rzadko, przez krótki okres czasu.

W [13] przedstawiono propozycję rozwiązania technicznego ograniczającego straty energii w zespołach prostownikowych podstacji trakcyjnych DC nowego typu. Polega to na tym, że liczba (moc) czynnych zespołów prostownikowych powinna być dostosowana do aktualnego poboru energii wynikającego z ruchu pojazdów trakcyjnych.

Streszczenie

Zmienność obciążeń trakcyjnych powoduje, że projektanci muszą dobierać moc zespołów prostownikowych dla podstacji trakcyjnych DC ze znacznym przewymiarowaniem. W artykule, na podstawie wyników pomiarowych eksploatowanej tramwajowej podstacji trakcyjnej, przedstawiono skalę przewymiarowania mocy zespołów prostownikowych tej podstacji. Stwierdzono występowanie znacznych odcinków czasowych, w których moce zespołów prostownikowych nie są wykorzystywane. Obliczono współczynniki przeciążeń chwilowych dla różnych odcinków czasowych, następnie przeprowadzono ich analizę statystyczną. Zwrócono uwagę na rozwiązanie techniczne mogące w przyszłości ograniczyć straty energii w podstacjach trakcyjnych DC.

Słowa kluczowe: tramwajowa podstacja trakcyjna, zmienność obciążeń trakcyjnych

The variability scale study of traction loads for the selected tram traction substation based on real measurement results for a coherent period of time covering sixteen weeks

Abstract

Traction load variation causes that designers need to choose the power rectifier units for DC traction substations with significant overcapacity. In the article, based on the measurement results of the exploited tram traction substation, was presented the scale of power oversizing of rectifier units for that substation. Has been identified significant time intervals in which the powers of the rectifier units are not used. Was also calculated instantaneous overload coefficients for the different time intervals, and then base on the results was carried out the statistical analysis. Attention was drawn for the technical solution that could in future reduce energy loss in the DC traction substations..

Keywords: Tramway traction substation, traction load variability

LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

- [1]. Białoń A., Chrabąszcz I., Hudym W., Kaczmarczyk A., Prusak J.: Wpływ odległości kolejowych podstacji trakcyjnych na rozkład obciążeń między nimi – symulacyjna ocena wybranych przypadków. Artykuł przesłany do redakcji TTS Technika Transportu Szynowego w 2015r.
- [2]. Białoń A., Chrabąszcz I., Hudym W., Kaczmarczyk A., Prusak J.: Wstępna ocena rozkładu obciążeń prądowych kolejowych podstacji trakcyjnych w układzie zasilania DC. Materiały w wersji

- drukowanej XVI Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej z zakresu Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2014, Zakopane 15 – 17 października 2014 (str. 149 – 156).
- [3]. Chrabąszcz I., Prusak J., Drapik I.: Trakcja elektryczna prądu stałego. Układy zasilania. Podręcznik INPE dla elektryków, Zeszyt nr 27, Kraków – Bełchatów 2009.
 - [4]. Dokumentacja podstacji tramwajowej nr "01" ("Czyżyny"), materiały udostępnione przez ZIKIT w Krakowie.
 - [5]. Dokumentacja Techniczno – Ruchowa: Prostownik Diodowy PD-12/0,8 dds (w4) do zasilania trakcji tramwajowej i trolejbusowej; Zakłady Aparatury Elektrycznej WOLTAN.
 - [6]. Drapik S., Dudzik M., Kobielski A., Prusak J.: Komparatywna ocena zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych. 11th International Conference „Modern ElectricTraction” MET’2013, Poland Warsaw, October 10 – 12. 2013; materiały konferencyjne (str 62 – 67).
 - [7]. Drapik S., Kaczmarczyk A., Kobielski A., Prusak J.: Charakter of loadvariability of tram tractionsubstation, thatsupplies lines with differentspecifity of traffic; XVI Ogólnopolska Konferencja Naukowa z Zakresu Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2014, Zakopane, październik 2014; drukowane materiały konferencyjne str. 185 – 194.
 - [8]. Drapik S., Kaczmarczyk A., Kobielski A., Prusak J.: Charakter zmienności obciążeń tramwajowych podstacji trakcyjnych zasilających linie o różnej specyfice ruchu pojazdów. TTS Technika Transportu Szynowego 5–6/2015, str. 43–48.
 - [9]. Drapik S., Kobielski A., Prusak J.: Fluktuacja obciążeń podstacji trakcyjnych w ujęciu teorii szeregów czasowych. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 7 – 8/2010, str. 59.
 - [10]. Drapik S., Kobielski A., Prusak J.: Selected issues of traction substation load variability. Modern Electrictraction. Power Supply, (ed. K. Karwowski, A. Szelaąg), Chapter 5, Gdański University of Technology, Gdańsk 2009, str. 47.
 - [11]. Drapik S., Kobielski A., Prusak J.: Wybrane aspekty zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 4/2010, str. 27.
 - [12]. Drapik S., Markowski P., Prusak J., Woszczyna B.: Tramwajowe podstacje trakcyjne – wybrane problemy bezpieczeństwa ekologicznego w świetle oceny ich obciążeń. Logistyka 4/2015.
 - [13]. Jagiełło A.S., Chrabąszcz I., Drapik S., Dudzik M., Kobielski A., Prusak J.: System do aktywnej regulacji obciążenia zespołów prostownikowych kolejowej podstacji trakcyjnej i sposób aktywnej regulacji obciążenia zespołów prostownikowych kolejowej podstacji trakcyjnej. Rozwiązanie zarejestrowane w Urzędzie Patentowym RP na rzecz Politechniki Krakowskiej pod numerem zgłoszeniowym P.411511, objęte ochroną prawną od dnia 10.03.2015.
 - [14]. Kałuża E., Bartodziej G., Ginalski Z.: Układy zasilania i podstacje trakcyjne, Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985.
 - [15]. Kobielski A., Drapik S., Dudzik M., Prusak J.: Niektóre problemy analizy i modelowania zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych. Monografia 450: Elektrotechnika w Zastosowaniach Trakcyjnych; seria: Inżynieria Elektryczna i Komputerowa; Praca zbiorowa pod redakcją Adama ST. Jagiełły, Politechnika Krakowska, Kraków 2014 (str. 237 – 249). ISSN 0860-097X.
 - [16]. Kobielski A., Drapik S., Dudzik M., Prusak J.: Time Series as an Aid to Research of tractionSubstationLoad. JEPE Journal of Energy and Power Engineering, Volume 7, Number 5, May 2013 (Serial Number 66), David Publishing Company, El Monte, USA, pages 979 – 986, (ISSN 1934-8975 (Print)).

- [17]. Kobielski A., Drapik S., Dudzik M., Prusak J.: Wstępne studium efektywności zastosowania sieci neuronowych w badaniach obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 10/2014, (str. 40 – 43).
- [18]. Mierzejewski L., Szelaż A., Gałaszewski M.: System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
- [19]. Polska Norma PN-IEC 146-1-1+AC: Przekształtniki półprzewodnikowe. Wymagania ogólne i przekształtniki o komutacji sieciowej. Wymagania podstawowe.
- [20]. Sobczyk M.: Statystyka: aspekty praktyczne i teoretyczne, Lublin, 2006.
- [21]. Wojcieszak J.: Komunikacja tramwajowa w Polsce; TTS Technika Transportu Szynowego 9/2003; str. 31 – 50.
- [22]. Wyniki pomiarów prądów obciążeń trakcyjnych kabli zasilających podstacji tramwajowej nr "01" ("Czyżyny"), materiały udostępnione przez ZIKIT w Krakowie.