

Andrzej Białoń, Juliusz Furman, Paweł Gradowski, Andrzej Kazimierczak

Zakłócenia generowane przez lokomotywę HUSARZ i ich wpływ na urządzenia srk

Z doświadczeń własnych i literatury fachowej można wnioskować, że poziom zakłóceń generowanych przez pojazdy trakcyjne zwiększa się wraz i ich mocą.

Współczesne pojazdy trakcyjne, szczególnie pojazdy przeznaczone do jazdy z prędkościami 200 km/h i więcej, mają moce powyżej 6 MVA. Przykładem takiego pojazdu jest lokomotywa ES64U, zakupiona przez PKP Intercity. Stosowanie tak dużej mocy lokomotyw wiąże się ze zwiększeniem poziomu zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej. Jednocześnie wiadomo, że urządzenia sterowania ruchem kolejowym przy wykorzystywaniu tego typu pojazdów pozostają takie same – ich odporność na zakłócenia nie zmienia się. W związku z tym problem tłumienia zakłóceń musi być realizowany na lokomotywie poprzez zastosowanie odpowiednich filtrów, powodujących obniżanie poziomu zakłóceń do wymaganego przez Zarząd Kolei (np. PKP).

ES64U (fot. 1) jest lokomotywą 4-systemową o parametrach podanych w tabeli 1.

Tabela 1

Podstawowe parametry techniczne lokomotywy ES64U

Systemy zasilania trakcyjnego	AC 15 kV 16,7 Hz AC 25 kV 50 Hz DC 3 kV i 1,5 kV
Moc ciągła (maks.)	6000 kW przy DC 3 kV 6000 ÷ 6400 kW przy AC 25 kV i AC 15 kV 3000 ÷ 4200 kW przy DC 1,5 kV
Prędkość maksymalna	Sieć AC – 230 km/h Sieć DC – 200 km/h
Układ zestawów kołowych	Bo'Bo'
Masa w stanie służbowym	87 t
Nacisk zestawu kołowego	22,5 t
Elektryczny system napędu	cztery silniki trakcyjne, dwa przekształtniki czterokwadrantowe (4QS) od strony sieci na każdy wózek, dwa falowniki impulsowe, pośredni obwód napięcia
Hamowanie	podstawowe hamowanie elektryczne (rekuperacyjne bądź na rezystor), hamowanie pneumatyczne (hamulce tarczowe) sterowane komputerowo, sprężynowe hamulce postojowe

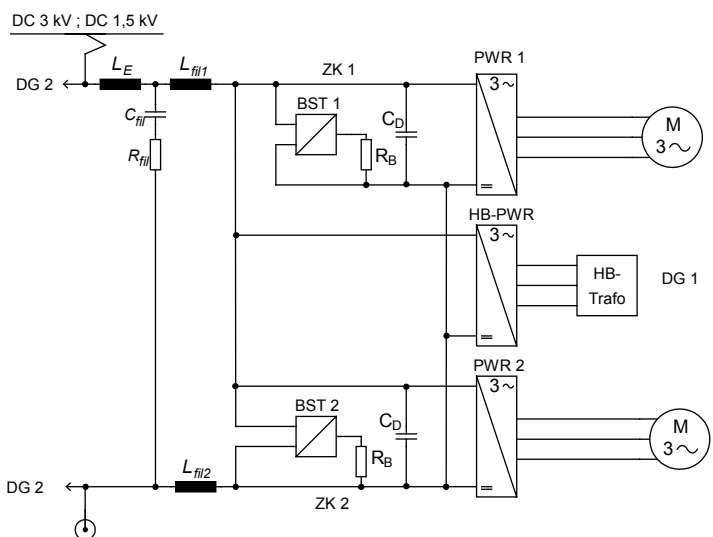
Układ sterowania napędem lokomotywy pokazano na rysunku 1.

Zastosowany układ sterowania napędem, zwłaszcza jego filtry, powodują dostateczne tłumienie zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej. Wielkość filtrów wejściowych (duże indukcyjności – rzędu kilkudziesięciu mH i duże pojemności – rzędu kilkudziesięciu mF) umożliwia tłumienie zarówno wysokich, jak i niskich harmonicznych. W praktyce przy takich parametrach filtrów



Fot. 1. Wielosystemowa lokomotywa typu ES64U4 Husarz

wejściowych lokomotywy wszystkie harmoniczne, będące produktem działania układu sterującego (przede wszystkim przekształtników), nie są przez te filtry przepuszczane. Stąd też, co jest widoczne na wykresach zamieszczonych w dalszej części artykułu, jedynymi harmonicznymi zmierzonymi w sieci trakcyjnej są harmoniczne podstawicy trakcyjnych (300 Hz dla podstawicy 6-pulsowych i 600 Hz dla podstawicy 12-pulsowych i oczywiście ich harmoniczne).



Rys. 1. Schemat układu napędowego w trakcji DC (dla jednego wózka)

BST – nastawnik hamowania, LE – indukcyjność wejściowa, C_{fil} – pojemność filtra, L_{fil} – indukcyjność filtra, CZK – pojemność obwodu pośredniego, PWR – falownik impulsowy, DG – wózek kołowy, R_B – rezystor hamowania, HB – urządzenia pomocnicze, R_{fil} – rezystancja filtra, HB-PWR – falownik do urządzeń pomocniczych, ZK – obwód pośredni

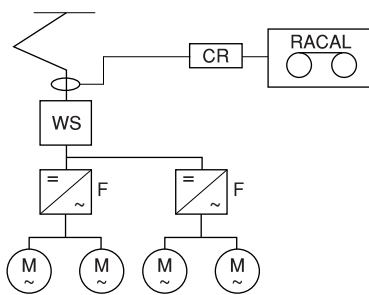
Badania zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej

Lokomotywa ES 64 U *Husarz* przeznaczona jest w Polsce do ruchu pasażerskiego z prędkościami do 200 km/h. Jej wprowadzenie na sieci PKP w ramach homologacji zostało poprzedzone wieloma niezbędnymi badaniami. Jednymi z nich są badania zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej, niezbędne do oszacowania możliwości wpływu lokomotywy na pracę urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Badania te są wykonywane zawsze przed wykonaniem badań wpływu na urządzenia srk.

Badania zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej przeprowadzono na pojeździe dla następujących kombinacji:

- lokomotywa w stanie normalnym;
- lokomotywa z symulowanym uszkodzeniem jednego, dwóch lub trzech silników;
- urządzenia wygładzające na podstacji trakcyjnej włączone lub wyłączone;
- jazdy z obciążeniem lub bez obciążenia;
- rozruchy oraz jazdy z ustalonymi prędkościami.

Schemat układu pomiarowego na lokomotywie przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Układ pomiarowy do rejestracji zakłóceń na pojeździe
WS – wyłącznik szybki, F – falownik, M – silnik, CR – cewka Rogowskiego, RACAL – rejestrator magnetyczny

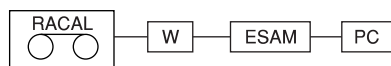
Cewkę Rogowskiego umieszczono na przewodzie zasilania 3 kV DC w szafie wysokiego napięcia w miejscu zabudowy czujników pomiarowych prądu trakcyjnego lokomotywy.

Na pojeździe rejestrowano składową pręmienną prądu trakcyjnego.

Pomiary z prędkością do 140 km/h wykonywano na poligonie badawczym Okręgu Doświadczalnego w Żmigrodzie. W celu zmniejszenia harmonicznych pochodzących od podstacji trakcyjnej załączono filtry w jednym z torów rejestracji.

Jazdy z prędkością powyżej 140 km/h wykonywano na linii CMK na szlaku Psary – Góra Włodowska.

Analizę zarejestrowanej na pojeździe składowej pręmienną dla harmonicznych prądu wykonano w układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku 3.

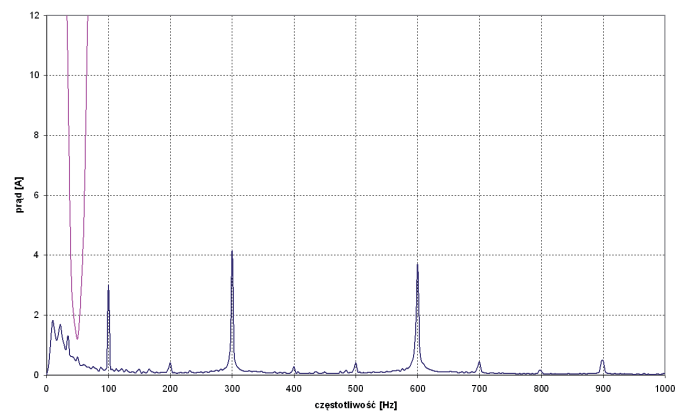


Rys. 3. Układ pomiarowy do analizy zakłóceń generowanych przez jazdę do sieci trakcyjnej
RACAL – rejestrator magnetyczny, W – wzmacniacz pomiarowy, ESAM – przetwornik, PC – komputer

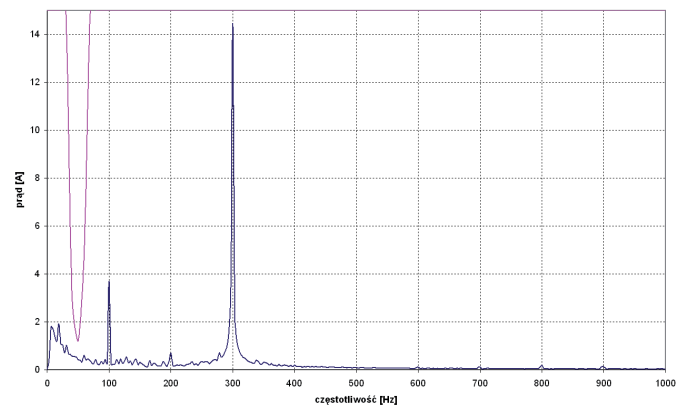
Wymagania dla PKP Polskich Linii Kolejowych zawarto w opracowaniu CNTK 6915/23. Do analizy harmonicznych wykorzystano specjalny program komputerowy obliczający transformatę Fouriera FFT z zarejestrowanych na taśmie magnetycznej przebiegów składowej pręmienną prądu trakcyjnego oraz filtr środkowo przepustowy do analizy poziomu sygnału strojony na częstotliwości pracy filtrów wejściowych obwodów torowych. Analizę wykonano dla czterech zakresów częstotliwości 0–1 kHz, 1–3 kHz, 3–20 kHz oraz 20–50 kHz.

W analizie w sposób znaczący zredukowano udział zakłóceń pochodzenia komutacyjnego, które ze względu na krótkotrwały czas trwania nie powodują istotnych zakłóceń, a w sposób znaczący zwiększają obliczone wartości harmonicznych w stosunku do wartości wyliczonych w warunkach ustalonych.

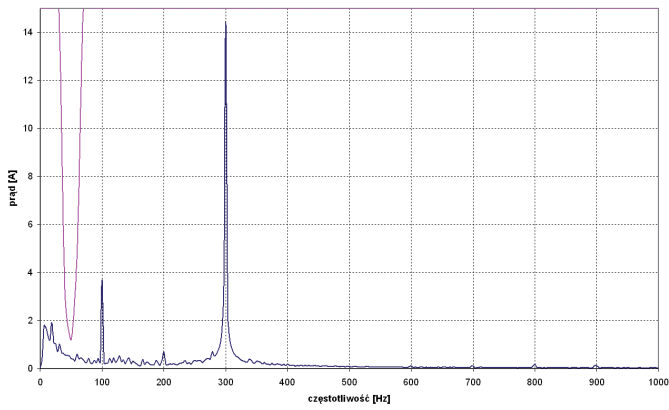
Wyniki badań przedstawione są w postaci wykresów w funkcji częstotliwości: harmonicznych 0–1 kHz, harmonicznych 1–3 kHz, harmonicznych 3–20 kHz i harmonicznych 20–50 kHz. Na wykresach (rys. 4–16) kolorem czerwonym zaznaczono wartości dopuszczalne.



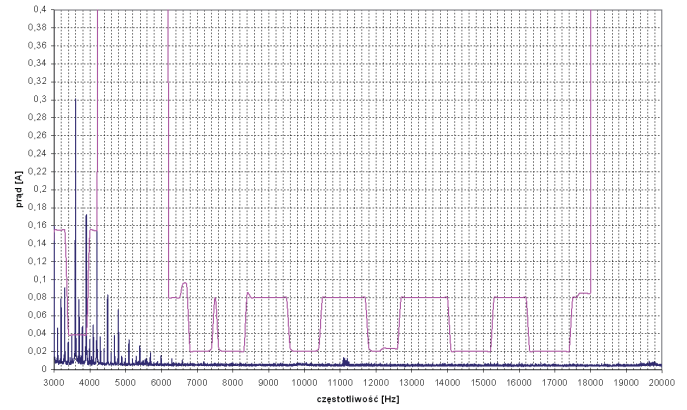
Rys. 4. Maksymalne harmoniczne w paśmie 0–1 kHz zarejestrowane na pojeździe – filtry w podstacji wyłączone



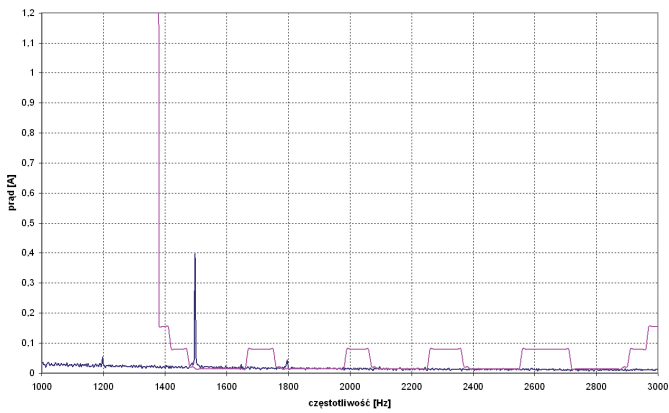
Rys. 5. Maksymalne harmoniczne w paśmie 0–1 kHz zarejestrowane na pojeździe – filtry w podstacji załączone



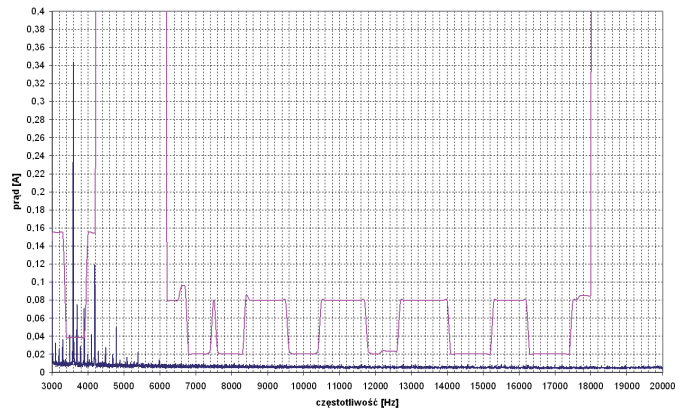
Rys. 6. Maksymalne harmoniczne w paśmie 0–1 kHz zarejestrowane na pojeździe na szlaku Psary – Góra Włodowska (jazdy z prędkościami 160–210 km/h)



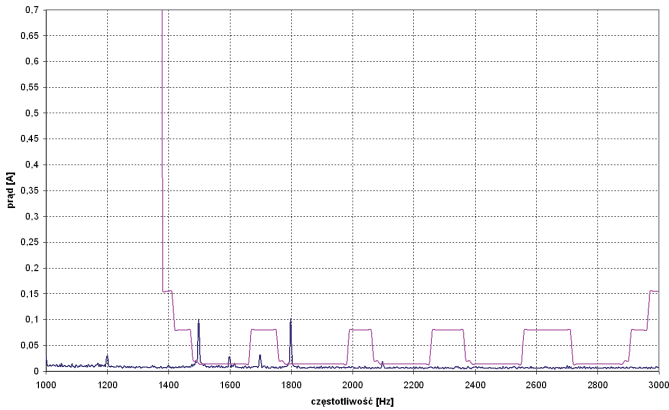
Rys. 9. Maksymalne harmoniczne w paśmie 3–20 kHz zarejestrowane na pojeździe – filtry w podstacji wyłączone



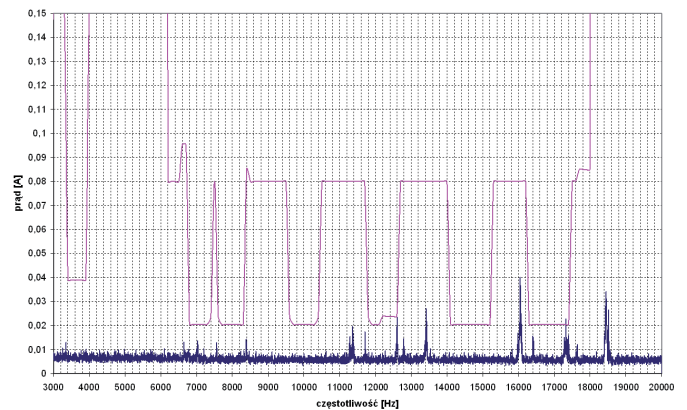
Rys. 7. Maksymalne harmoniczne w paśmie 1–3 kHz zarejestrowane na pojeździe – filtry w podstacji załączone



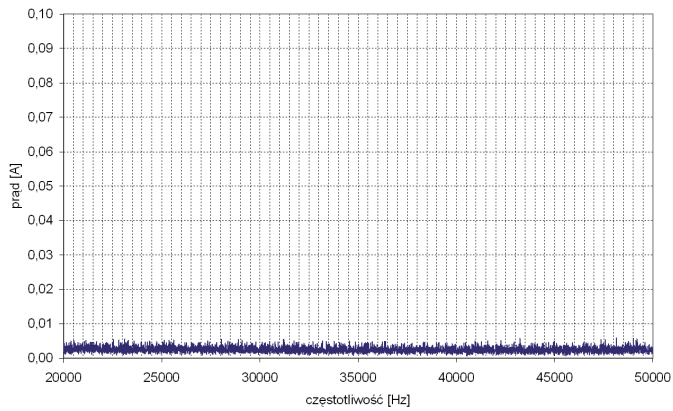
Rys. 10. Maksymalne harmoniczne w paśmie 3–20 kHz zarejestrowane na pojeździe – filtry na podstacji załączone



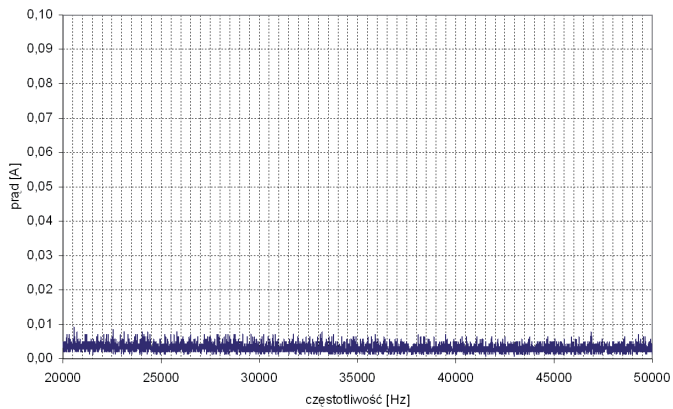
Rys. 8. Maksymalne harmoniczne w paśmie 1–3 kHz zarejestrowane na pojeździe na szlaku Psary – Góra Włodowska



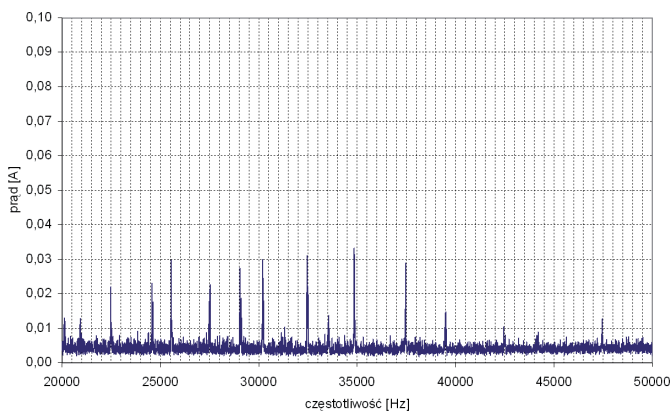
Rys. 11. Maksymalne harmoniczne w paśmie 3–20 kHz zarejestrowane na pojeździe na szlaku Psary – Góra Włodowska



Rys. 12. Maksymalne harmoniczne w paśmie 20–50 kHz zarejestrowane na pojeździe – filtry w podstacji wyłączone

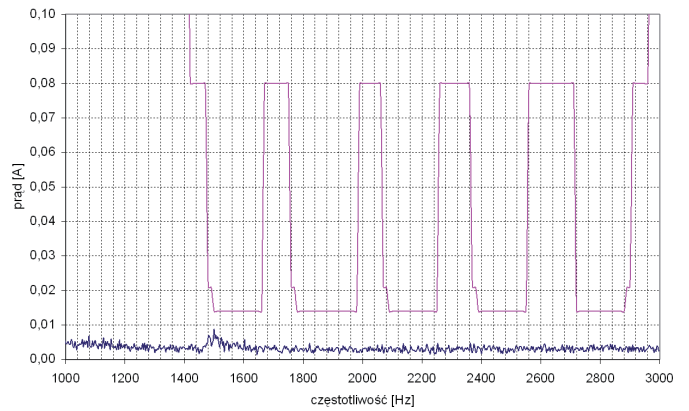


Rys. 13. Maksymalne harmoniczne w paśmie 20–50 kHz zarejestrowane na pojeździe – filtry w podstacji załączone

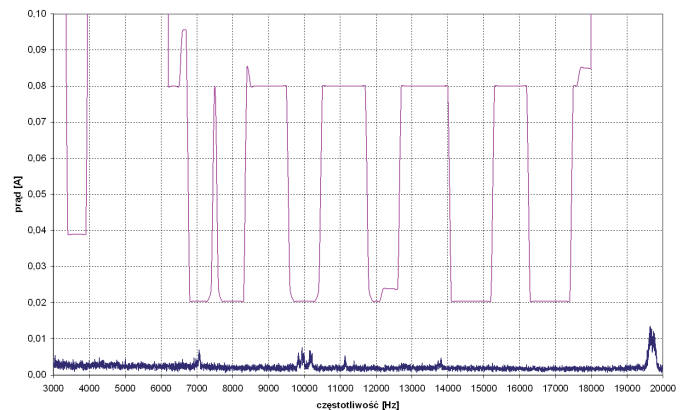


Rys. 14. Maksymalne harmoniczne w paśmie 20–50 kHz zarejestrowane na pojeździe na szlaku Psary – Góra Włodowska

Wartości maksymalne prądów zakłócających przedstawione na rysunkach 5–14 z uwzględnieniem tła (rysunki 15 i 16) zarejestrowanych na lokomotywie ES64U4 przekraczają dopuszczalne wartości zakłóceń dla szeregu częstotliwości (pochodzących z podstacji trakcyjnej) w paśmie częstotliwości 1–3 kHz. Po uwzględnieniu zakłóceń generowanych przez podstację trakcyjną (np. przy ekwiwalentnym obciążeniu rezystancyjnym) można stwierdzić, że lokomotywa spełnia wymagania na dopuszczalne poziomy zakłóceń zawarte w opracowaniu CNTK 6915/23.



Rys. 15. Maksymalne wartości harmonicznych tła w paśmie 1–3 kHz



Rys. 16. Maksymalne wartości harmonicznych tła w paśmie 3–20 kHz

Badania wpływu zakłóceń na urządzenia srk

Badanie oddziaływania zakłóceń generowanych przez wielosystemową lokomotywę typu ES64U4 na obwody torowe przeprowadzono na okręgu doświadczalnym w Żmigrodzie. Badania oddziaływania zakłóceń polegały na rejestracji napięcia na przełączniku torowym i jednoczesnej rejestracji prądu powrotnego płynącego szynami podczas rozruchu i przejazdów z ustaloną prędkością wielosystemowej lokomotywy typu ES64U4. Podczas rozruchu lokomotywy typu ES64U4 do V_{max} dopuszczalnej na okręgu doświadczalnym oceniano stabilność napięcia na przełączniku, gdy obwód torowy jest niezajęty, a przy zajętej obwodzie poziom napięcia, który gwarantuje bezpieczną kontrolę zajętości.

Badanie oddziaływania zakłóceń generowanych przez wielosystemową lokomotywę, typu ES64U4 na czujniki koła przeprowadzono na okręgu doświadczalnym w Żmigrodzie. Badania oddziaływania zakłóceń polegały na rejestracji napięcia na wyjściu czujników koła podczas rozruchu i jazdy lokomotywy typu ES64U4. Podczas rozruchu i jazdy lokomotywy ES64U4 oceniano stabilność napięcia na wyjściach czujników koła, z uwzględnieniem reakcji na osie lokomotywy.

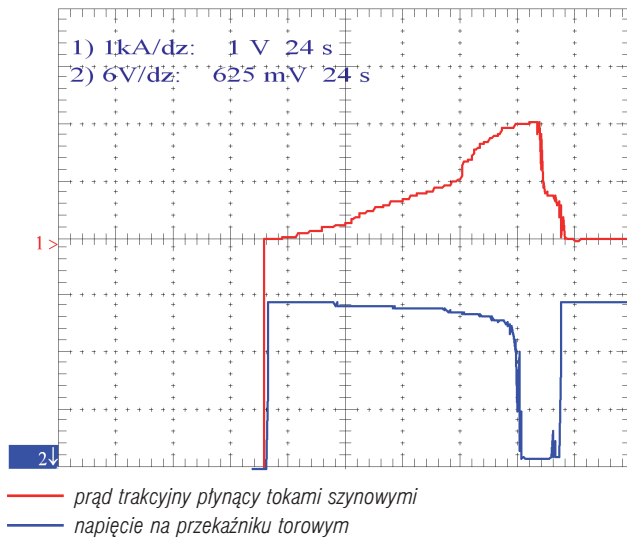
Wyniki badań oddziaływania zakłóceń na obwody torowe

Badania oddziaływania zakłóceń generowanych przez lokomotywę ES64U4 na obwody torowe wykonano dla bezzłączowych obwodów torowych SOT-1 i SOT-2 na wszystkich kanałach częstotli-

wości pracy, a także dla klasycznych obwodów torowych (obwo-
dy ze złączami izolowanymi pracujące na częstotliwości 50 Hz).
Przykładowe wyniki rejestracji oddziaływania zakłóceń na pracę
obwodu torowego przedstawiono na rysunkach 17 i 18.

Na rysunku 17 przedstawiono wynik rejestracji oddziaływania
zakłóceń na bezzłączowy obwód torowy SOT-1, charakteryzujący
się następującymi parametrami:

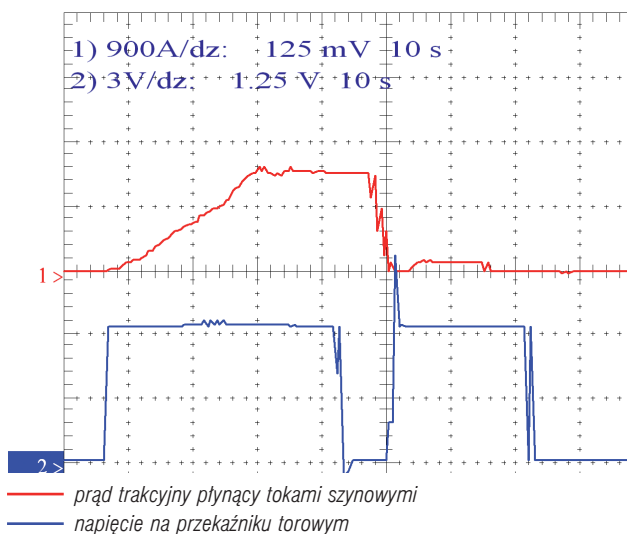
- częstotliwość pracy 1580 Hz,
- prąd sygnału w szynie 150 mA,
- napięcie na przełączniku torowym 16,7 V.



Rys. 17. Wynik rejestracji oddziaływania zakłóceń na pracę obwodu torowego

Na rysunku 18 przedstawiono wynik rejestracji oddziaływania
zakłóceń na bezzłączowy obwód torowy SOT-2, charakteryzujący
się następującymi parametrami:

- częstotliwość pracy 7 kHz,
- prąd sygnału w szynie 130 mA,
- napięcie na przełączniku torowym 7,47 V.

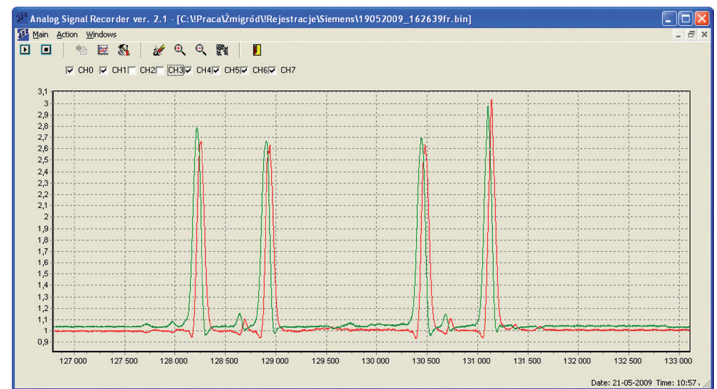


Rys. 18. Wynik rejestracji oddziaływania zakłóceń na pracę obwodu torowego

Po analizie wszystkich wyników rejestracji oddziaływania za-
kłóceń generowanych przez lokomotywę ES64U4 na obwo-
dy torowe nie stwierdzono wahań napięcia na przełączniku torowym,
gdy obwód torowy jest niezajęty. Gdy obwód torowy jest zajęty,
poziom napięcia na przełączniku torowym jest na poziomie za-
pewniającym bezpieczną kontrolę zajętości odcinka toru. Nie
stwierdzono oddziaływania zakłóceń na obwo-
dy torowe SOT-1, SOT-2 i klasyczne obwo-
dy torowe.

Wyniki badań wpływu na czujniki liczników osi

Na rysunku 19 pokazano rejestrację na wyjściach czujników ELS
93 i ELS 95 produkcji firmy Bombardier ZWUS.



Rys. 19. Sygnały F1Level i F2Level czujnika ELS-93 przy przejeździe lokomotywy

Jak widać z rysunków, oddziaływanie lokomotywy ES64U4 na
czujniki koła wykorzystywane w licznikach osi jest zgodne z ocze-
kiwaniami, to znaczy wykrywane są osie, natomiast brak jakiego-
kolwiek innego oddziaływania na czujniki koła.

Podsumowując, można stwierdzić, że lokomotywa ES64U
Husarz z punktu widzenia zakłóceń spełnia wymagania kolei pol-
skich.

Literatura

- [1] *Wielosystemowa uniwersalna platforma lokomotyw wysokiej mocy ES64U4 w wielu wariantach. Opis techniczno-eksploatacyjny.* Siemens 2008.
- [2] *Badania kompatybilności elektromagnetycznej wielosystemowej lokomotywy dużej mocy typu ES64U4 produkcji firmy Siemens. Badania zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej. Badania wpływu zakłóceń na urządzenia srk. Pomiary impedancji osi.* Praca CNTK nr 3647/21/10 Warszawa 2009 r.

dr inż. Andrzej Białoń
Instytut Kolejnictwa, Politechnika Śląska, Wydział Transportu
abialon@ikolej.pl, andrzej.bialon@polsl.pl

mgr inż. Juliusz Furman
Instytut Kolejnictwa, jfurman@ikolej.pl,

mgr inż. Paweł Gradowski
Instytut Kolejnictwa, pgradowski@ikolej.pl

inż. Andrzej Kazimierczak
Instytut Kolejnictwa, akazimierczak@ikolej.pl