

Andrzej Białoń, Mieczysław Laskowski

Poziomy zaburzeń elektromagnetycznych w sieci pokładowej niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych i wagonów pasażerskich

Kolejowe obiekty ruchome, takie jak lokomotywy elektryczne, elektryczne zespoły trakcyjne i wagony pasażerskie, stanowią specyficzne i złożone środowisko elektromagnetyczne. Pracujące w tym środowisku urządzenia nie powinny wpływać wzajemnie na siebie, a w szczególności urządzenia elektryczne zasilane napięciem 3 kV nie powinny wprowadzać nadmiernych zaburzeń elektromagnetycznych do obwodów pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia i obwodów przesyłania sygnałów w pokładowych urządzeniach elektronicznych.

Spełnienie tego warunku jest szczególnie istotne np. w przypadku instalowania sieci komputerowej, która zapewniałaby ciągły przepływ informacji wzdłuż całego pociągu. Informacje przesyłane byłyby między urządzeniami elektronicznymi zainstalowanymi w różnych wagonach, jak również między lokomotywą a składem pociągu. Rozpoczęło się również stosowanie elektronicznych tachografów i liczników energii elektrycznej w lokomotywach. Mogą one spełniać o wiele więcej funkcji w zależności od dostarczonego oprogramowania niż dotychczas stosowane urządzenia.

Nasywanie w coraz większym stopniu taboru urządzeniami elektronicznymi, w naturalny sposób wymusza konieczność współistnienia tych urządzeń w środowisku elektromagnetycznym. Urządzenia elektroniczne nie tylko nie mogą wytwarzać zaburzeń elektromagnetycznych o poziomach wyższych niż dopuszczalne, określone w normach, ale również muszą mieć określoną odporność na różnorodne zewnętrzne zaburzenia elektromagnetyczne. Cecha ta określana jest mianem kompatybilności elektromagnetycznej.

Podstawowym wymaganiem dla środowiska elektromagnetycznego w ruchomych obiektach kolejowych jest to, aby w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia poziom zaburzeń elektromagnetycznych nie wpływał negatywnie na pracę urządzeń zasilanych z tej sieci. Przez zaburzenia elektromagnetyczne rozumiemy wszelkie niepożądane sygnały elektryczne występujące w całym widmie częstotliwości, natomiast zaburzenia określane w niniejszym artykule mianem radioelektrycznych są zaburzeniami elektromagnetycznymi przewodzonymi, występującymi w paśmie częstotliwości od 0,15 MHz do 30 MHz.

Spśród wszystkich rodzajów zaburzeń elektromagnetycznych, na jakie mogą być narażone urządzenia elektroniczne, największe niebezpieczeństwo stwarzają impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne o dużej energii, zwane również przepięciami [3]. Należy także brać pod uwagę zaburzenia radioelektryczne wystę-

pujące w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia. Pomimo, że amplitudy tych zaburzeń są niewspółmiernie niższe od przepięć, jednak ze względu na ich szerokie pasmo częstotliwości mogą one również mieć negatywny wpływ na pracę urządzeń elektronicznych. Oba rodzaje zaburzeń stwarzają niebezpieczeństwo niepoprawnego funkcjonowania urządzeń.

Publikacja niniejsza jest próbą przedstawienia stanu środowiska elektromagnetycznego w pokładowej sieci zasilania pojazdów trakcyjnych i wagonów pasażerskich, wyposażonych w statyczne przetwornice DC-DC. Materiałem źródłowym do tej publikacji są wyniki z badań przeprowadzonych w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa w drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych [1]. Pomimo znacznego upływu czasu, zdaniem autorów, wyniki z tych badań nie straciły swojej aktualności, ponieważ wytypowane i przebadane obiekty znajdują się nadal w eksploatacji. W latach następnych nie prowadzono tak obszernych badań i na taką skalę. Pewne wycinkowe badania, prowadzone również w CNTK, dotyczyły wytypowanych nowych obiektów, pod kątem ich ewentualnego dopuszczenia do eksploatacji, bądź też przypadki obiektów ruchomych, gdzie były problemy z zapewnieniem kompatybilności elektromagnetycznej. Należy podkreślić, że problematyka ta obejmuje bardzo szeroki zakres zagadnień i ze względów praktycznych ograniczono się jedynie do problematyki badań zaburzeń elektromagnetycznych występujących w sieciach zasilania niskiego napięcia obiektów ruchomych, pomijając np. badania natężeń niepożądanych pól elektromagnetycznych, czy wpływ zakłóceń generowanych w taborze na urządzenia sterowania ruchem kolejowym i urządzenia łączności.

Obowiązujące normy i przepisy

Zaburzenia radioelektryczne oraz impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne, które występują w pokładowej sieci zasilającej elektrycznych pojazdów trakcyjnych i wagonów pasażerskich, mogą pochodzić od własnych, pokładowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych oraz przedostawać się do pokładowej sieci zasilania w wyniku sprzężeń z obwodem głównym pojazdu trakcyjnego, zasilanego napięciem 3 kV.

W zakresie oceny emisyjności zaburzeń elektromagnetycznych występujących w sieci zasilania, pomiary wykonuje się wyłącznie po stronie niskiego napięcia (w pokładowej sieci niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych i wagonów), tzn. nie wykonuje się, zgodnie z zaleceniami norm [5, 6], pomiarów napięcia zaburzeń w sieci trakcyjnej.

Norma zawierająca przepisy ogólne dotyczące wyposażenia elektronicznego pojazdów szynowych, będąca tłumaczeniem Pu-

blikacji IEC 771 z 1977 r., określa dopuszczalne udary przepięciowe dla urządzeń elektronicznych zasilanych z pokładowej sieci energetycznej niskiego napięcia [8].

Podstacje trakcyjne zasilane są z sieci energetycznej średniego napięcia. Sieć trakcyjna sama w sobie nie jest źródłem zaburzeń elektromagnetycznych, lecz jest linią transmitującą zaburzenia wytwarzane przez podstacje trakcyjne i pojazdy znajdujące się na szlaku. Ocenę emisyjności zaburzeń radioelektrycznych występujących w sieci trakcyjnej wykonuje się analogicznie jak dla podstacji trakcyjnych, tzn. mierzy się natężenie pola elektromagnetycznego, emitowanego przez sieć trakcyjną jako antenę.

Obowiązująca obecnie norma dla urządzeń kolejowych definiuje dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń w zakresie od 9 kHz do 1 GHz dla różnych rodzajów układów zasilających obowiązujących w danym kraju Unii Europejskiej [9]. W zakresie częstotliwości: 9–150 kHz dla szerokości pasma odbiornika pomiarowego 200 Hz oraz układu zasilania obowiązującego w Polsce (oznaczenie B: 15 kV ac, 3 kV dc), dopuszczalne poziomy emisji mieszczą się w zakresie: 60–35 dB.

Dla zakresu częstotliwości: 150 kHz–30 MHz (szerokość pasma odbiornika pomiarowego 9 kHz), dopuszczalne poziomy emisji mieszczą się w zakresie 70–20 dB.

Dla pasma 30 MHz–1 GHz (szerokości pasma odbiornika pomiarowego 120 kHz), dopuszczalne poziomy emisji mieszczą się w zakresie 95–70 dB. Metody pomiaru zaburzeń radioelektrycznych zawarte są w normie [4]. Wymieniona norma dotyczy zaburzeń radioelektrycznych promieniowanych przez pojazd trakcyjny.

Niektóre źródła wewnętrzne, jak np. wszelkie urządzenia wykorzystujące układy tyrystorowe, mają tendencje do generowania zaburzeń radioelektrycznych o znaczących poziomach. Mogą one wydostawać się na zewnątrz pojazdu przez obwód główny i oddziaływać także na urządzenia zainstalowane w pobliżu toru.

Poziomy dopuszczalne zaburzeń radioelektrycznych, które występują w niskonapięciowej sieci pokładowej, określone są w normie europejskiej [7]. Wymagania zawarte w wymienionej normie są znacznie łagodniejsze w stosunku do normy krajowej dotychczas obowiązującej, która po wprowadzeniu normy europejskiej została wycofana.

Odporność taboru na impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne oceniana jest jako odporność poszczególnych urządzeń elektronicznych zainstalowanych wewnątrz pojazdów, jak i na terenie podstacji trakcyjnej. Należy zaznaczyć, że odporność taboru i podstacji na wyładowania atmosferyczne nie jest tu rozważana, ponieważ w tym zakresie obowiązują odrębne przepisy dotyczące ochrony odgromowej obiektów.

Przyczyny występowania zaburzeń elektromagnetycznych o dużej energii w obwodach zasilania niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych

Elektryczny pojazd trakcyjny stanowi bardzo skomplikowany zespół różnorodnych urządzeń elektrycznych, umieszczonych w metalowym korpusie i zasilanych z sieci trakcyjnej prądem stałym o napięciu 3 kV. Obwody wysokiego napięcia zasilające silniki trakcyjne wprowadzane są do wnętrza lokomotywy przewodami wysokonapięciowymi nieekranowanymi.

Ze względu na stosunkowo małą przestrzeń wewnątrz lokomotywy, aparatura wysokonapięciowa i jej obwody znajdują się

w bliskim sąsiedztwie urządzeń niskonapięciowych zasilanych z własnego źródła, którym jest np. prądnica prądu stałego o napięciu 110 V i bateria akumulatorów. Istnieją zatem możliwości różnorodnych sprzężeń typu pojemnościowego, indukcyjnego, bądź mieszanego między obwodami wysokiego i niskiego napięcia dla przebiegów wielkiej częstotliwości.

W obwodach wysokiego napięcia występują potencjalne źródła zaburzeń elektromagnetycznych takie, jak: silniki trakcyjne, silnik wentylatora napędzający prądnicę prądu stałego, styki styczników liniowych i grupowych, styk odbieraka prądu z przewodem jezdnym.

Dla obwodów niskiego napięcia istnieją inne istotne źródła zaburzeń radioelektrycznych i impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych takie, jak np.: prądnica prądu stałego o napięciu 110 V, styki styczników niskonapięciowych, silniki napędów pomocniczych.

W wymienionych urządzeniach i ich obwodach komutowane są lub przerywane prądy o znacznych natężeniach. Są one źródłem przebiegów elektrycznych wielkiej częstotliwości. Ze względu na występowanie sprzężeń między obwodami wysokiego i niskiego napięcia, do obwodów niskiego napięcia mogą przenikać zaburzenia o znacznych amplitudach, generowane w obwodzie wysokiego napięcia. Ze względu na występowanie znaczących indukcyjności w obwodach wysokiego i niskiego napięcia, w trakcie przelączania tych obwodów lub ich fragmentów generowane są przebiegi oscylacyjne tłumione, które mają charakter przepięć. Istotne znaczenie będą miały przepięcia generowane w obwodach wysokiego napięcia, które w wyniku istnienia sprzężeń mogą przedostawać się do obwodów niskiego napięcia. Jak wykazały wcześniej przeprowadzone badania w elektrycznych zespołach trakcyjnych EN57, przepięcia generowane w obwodzie wysokiego napięcia i przedostające się drogą sprzężeń do obwodów niskiego napięcia przekraczają dopuszczalne tolerancje określone dla sieci pokładowej [2]. W toku badań stwierdzono również, że pojemność, jaką sobą przedstawiają akumulatory, nie stanowi zwarcia dla przebiegów wysokiej częstotliwości, ponieważ dla tego zakresu częstotliwości impedancja akumulatora ma charakter indukcyjny. Biorąc pod uwagę otrzymane rezultaty badań uznano za celowe, dla zobrazowania stanu środowiska elektromagnetycznego wewnątrz pojazdu trakcyjnego, wykonanie pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i poziomów przepięć w obwodach niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych.

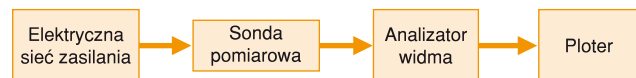
W obwodach niskiego napięcia występują zaburzenia radioelektryczne, które są generowane przez urządzenia elektryczne dołączone do tych obwodów oraz występują zaburzenia przenikające drogą sprzężeń z obwodów wysokiego napięcia. Wobec powyższego pomiary prowadzono w miarę możliwości przy załączonych wszystkich urządzeniach elektrycznych zarówno w obwodach nisko-, jak i wysokonapięciowych.

Metodyka pomiaru zaburzeń elektromagnetycznych w obwodach niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych i wagonów

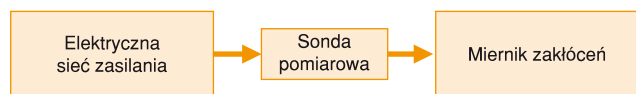
Pomiar poziomu zaburzeń radioelektrycznych w obwodzie zasilania niskiego napięcia pojazdu trakcyjnego i wagonu pasażerskiego

Pomiary składowej niesymetrycznej napięcia zaburzeń radioelektrycznych występujących w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonano za pomocą sondy pomiarowej typ

SLMZ-150, stanowiącej wyposażenie kompletu pomocniczego do pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz analizatora widma, którego parametry spełniają wymagania CISPR. Pomiaru wykonywane były zgodnie z zaleceniem normy [4] według załącznika E, punkt E4 w zakresie częstotliwości od 0,15 MHz do 30 MHz. Schemat blokowy układu pomiarowego pokazano na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do pomiaru poziomu zaburzeń radioelektrycznych



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do pomiaru poziomu zaburzeń radioelektrycznych metodą bezpośrednią

Zawsze na początku cyklu pomiarowego rejestrowano charakterystykę widma zaburzeń w całym paśmie pomiarowym (0–30 MHz), przy załączonym detektorze wartości szczytowej. Pozwalało to na szybkie poznanie przebiegu charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości, ponieważ czas pomiaru w tym przypadku wynosi tylko 10 s. Zgodnie z zaleceniami normy [4] pomiary zaburzeń radioelektrycznych należy wykonywać przy załączonym detektorze quasi-szczytowym oraz przy ściśle określonej szerokości pasma częstotliwości pośredniej dla danego zakresu pomiarowego. Powoduje to jednak znaczące wydłużenie czasu wykonywania pomiaru (np. dla podzakresu 150 kHz–3 MHz czas pomiaru wynosi 1000 s). Z przebiegu wstępnie zdjętej charakterystyki można zorientować się, w jakim paśmie należy wykonać pomiary używając detektora quasi-szczytowego.

Na rysunkach przedstawiających wyniki pomiarów, wykreślonych przez ploter, naniesiono skalę, w której uwzględniono tłumienie wnoszone przez następujące elementy:

- tłumik zewnętrzny włączany doraźnie w razie potrzeby (np. 20 dB);
- sondę pomiarową (wartość współczynnika tłumienia sondy wynosząca 21 dB w całym paśmie pomiarowym od 150 kHz do 30 MHz).

Całkowite tłumienie wymienionych składników wynosiło najczęściej 47 dB. W takim przypadku, odczytując z charakterystyki wartość poziomu znacznika MKR, np. 11 dB, należy dodać wartość 47 dB, co w wyniku daje 58 dB (jest to właściwa wartość, która może być odczytana bezpośrednio ze skali opisanej na osi Y). Skala ta powstała w wyniku dodania tej samej wartości 47 dB do poziomu odniesienia *RL* (*Reference Level*) – np. dla $RL = 33$ dB górny kres skali wynosi 80 dB. Wartość zmierzonego napięcia U w woltach można wyliczyć przyjmując, że poziom 0 dB odpowiada wartości $1 \mu V$.

Pomiar amplitudy i częstotliwości występowania zaburzeń elektromagnetycznych o dużej energii w obwodach zasilania niskiego napięcia elektrycznych pojazdów trakcyjnych i wagonów pasażerskich

Pomiary amplitudy i częstotliwości występowania zaburzeń elektromagnetycznych objawiających się w formie przebiegów wymaga-

ją zastosowania specjalistycznej aparatury. Oscylograficzne metody pomiaru przebiegu wartości chwilowych przebiegów są bardzo trudne do przeprowadzenia i kosztowne, a jednocześnie pod względem zakresu, czasokresu obserwacji, liczebności próbek mocno ograniczone. Nie pozwalają na określenie rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości szczytowych przebiegów. Są one bardzo przydatne w specyficznych warunkach, tam gdzie potrzebna jest pełna informacja o przyczynach wywołujących przebiegi, np. w trakcie manewrowania nastawnikiem jazdy w lokomotywie, bądź w chwili włączania i wyłączania poszczególnych obwodów.

Informacje o rozkładzie amplitud przebiegów, częstotliwości występowania można uzyskać stosując analogowe rejestratory z wbudowanym przetwornikiem przebiegów, który zamienia szybkozmienny przebieg napięcia na wejściu, na sygnały wartości proporcjonalnej do wartości szczytowej napięcia wejściowego. Czas trwania przetworzonego impulsu musi być na tyle długi, aby był zarejestrowany przez kompensacyjny rejestrator napięcia stałego.

Do rejestracji przebiegów występujących w trójfazowej sieci zasilania 3×400 V 50 Hz, jednofazowej sieci zasilania 230 V 50 Hz oraz w obwodach prądu stałego może służyć trójkanałowy rejestrator przebiegów. Umożliwia on zarejestrowanie przebiegów o czasie trwania $1,2/50 \mu s$ na taśmie papierowej. Przebiegi rejestrowano za pomocą licznika przebiegów, który umożliwia zliczanie impulsów o biegunowości dodatniej i ujemnej.

Do badań zastosowano również oscyloskop cyfrowy LS-140 firmy Le Croy. Jest to czterokanałowy oscyloskop umożliwiający rejestrację przebiegów w paśmie częstotliwości do 100 MHz. Najmniejsza podstawa czasu 500 ps/dz. Urządzenie ma wewnętrzną pamięć 170 MB. Dzięki temu jest możliwość rejestrowania przebiegów w pamięci tego oscyloskopu w celu późniejszego ich odtwarzania i obróbki za pomocą dowolnego komputera.

Wyniki pomiarów zaburzeń elektromagnetycznych w obwodach zasilania niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych i wagonów pasażerskich

Wytypowanie obiektów do badań

Do badań wytypowano następujące obiekty: lokomotywy elektryczne, lokomotywy spalinowo-elektryczne oraz wagony pasażerskie wyposażone w przetwornice statyczne.

Spośród obecnie eksploatowanych na PKP lokomotyw elektrycznych do badań wytypowano najpopularniejsze typy, mianowicie: EU07, ET22, EP09. Do badań wytypowano również następujące lokomotywy spalinowo-elektryczne: SU45, SM42, ST44.

Biorąc pod uwagę całą gamę wagonów pasażerskich eksploatowanych na PKP, do badań wytypowano wagony, które obecnie eksploatowane są w składach pociągów – głównie ekspresowych. Wagony te są wyposażone w przetwornice statyczne służące do zasilania obwodów niskiego napięcia 24 V. Postanowiono przebadać wagony następujących typów: 144A, 136A, 111AR, XB.

Wyniki pomiarów poziomu zaburzeń radioelektrycznych w niskonapięciowych obwodach zasilania elektrycznych pojazdów trakcyjnych

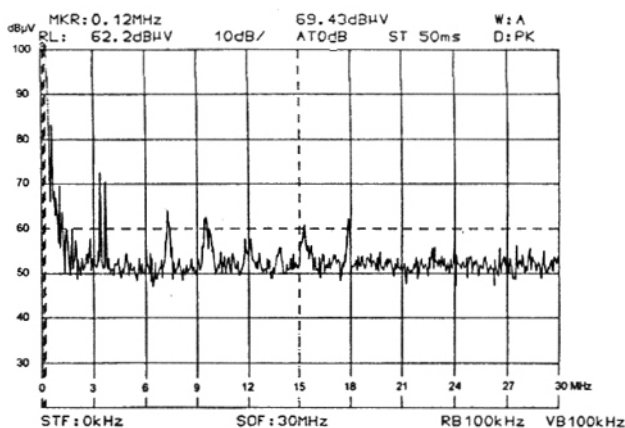
1. Lokomotywy spalinowo-elektryczne SU45, SM42, ST44
Badanie lokomotyw prowadzono w czasie jazdy manewrowych. Pomiary zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonywano dla wybranych typów lokomotyw przeprowadzono na kilku egzemplarzach. Przykładowe wyniki

pomiarów przedstawiono w tabelach 1, 2, 3. W celu uzyskania więcej informacji o wpływie niektórych urządzeń elektrycznych pomiary przeprowadzono z załączanym doraźnie wentylatorem (w) i przetwornicą (p).

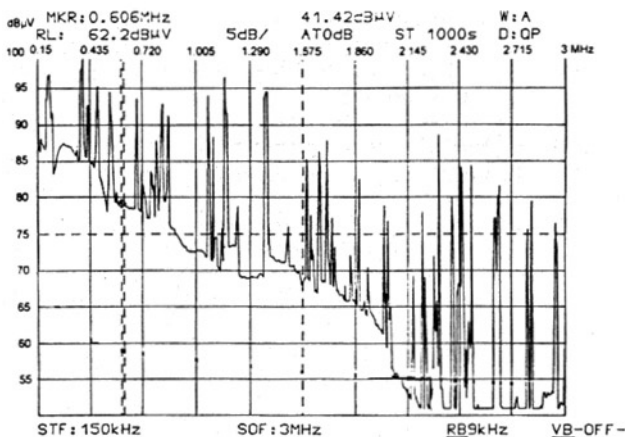
2. Lokomotywy elektryczne ET22, EU07, EP09

Badania dla lokomotyw EU07 i EP09 zostały przeprowadzone w czasie jazdy pociągu, natomiast dla lokomotyw ET22 w czasie jazd manewrowych. Pomiary zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonywano zgodnie z obowiązującą metodyką na kilku egzemplarzach przy załączonej przetwornicy. Wyniki z pomiarów podano w tabeli 4.

Dla lokomotywy EU07 badania wykonano w czasie jazdy wagonu pomiarowego w składzie pociągu pospiesznego przy prędkości od 60 do 100 km/h. Badany był poziom zaburzeń radioelektrycznych w obwodzie niskiego napięcia zasilania sieci pokładowej w czterech wytypowanych lokomotywach. Pomiary wykonano za pomocą analizatora widma, z uwzględnieniem sumarycznego tłumienia obwodu pomiarowego wynoszącego 37,8 dB. Przykładowe rezultaty z pomiarów przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



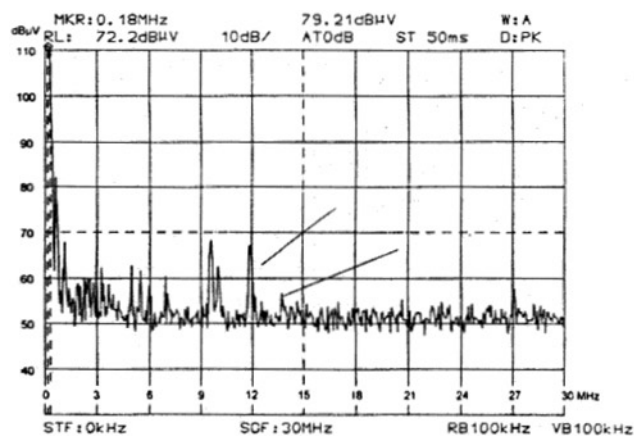
Rys. 3. Charakterystyka widma zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia (lokomotywa EU07) w paśmie 0–30 MHz



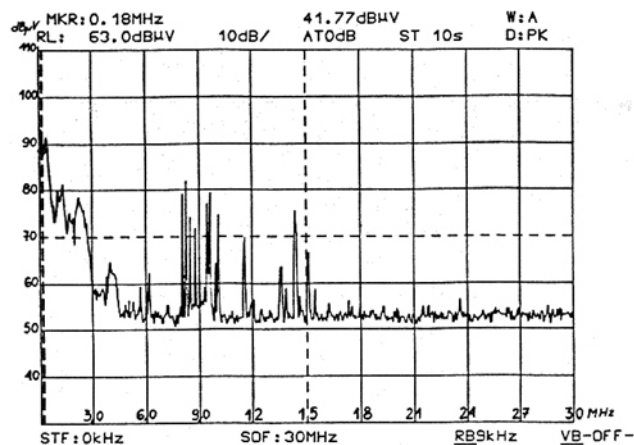
Rys. 4. Charakterystyka widma zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia (lokomotywa EU07) w paśmie 0,15–3 MHz

Pomiary napięcia zaburzeń radioelektrycznych w obwodzie niskiego napięcia lokomotywy EP09 wykonano analogiczną jak poprzednio metodą w czasie jazdy za lokomotywą w składzie po-

ciągu. Sumaryczne tłumienie obwodu pomiarowego wynosiło 47dB. Wyniki z pomiarów zamieszczono na rysunkach 5 i 6.



Rys. 5. Charakterystyka widma zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania (lokomotywa EP09) w paśmie 0–30 MHz podczas postoju



Rys. 6. Charakterystyka widma zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania (lokomotywa EP09) w paśmie 0–30 MHz w czasie jazdy

Wyniki pomiarów amplitudy impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych o dużej energii w obwodzie zasilania niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych

Do badań impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych na lokomotywach spalinowo-elektrycznych zdecydowano się na użycie wyłącznie oscyloskopowej metody analizy. Do tego celu użyty został oscyloskop cyfrowy Le Croy LS 140. Wyniki pomiarów były rejestrowane w pamięci oscyloskopu i później odtwarzane i przetwarzane w komputerze. W artykule zamieszczono jedynie przykładowe przebiegi.

Badania zostały przeprowadzone na tych samych egzemplarzach lokomotyw, na których badano zaburzenia radioelektryczne. Wykonywano pomiary w obwodzie zasilania sieci pokładowej niskiego napięcia w oraz w obwodzie zasilania radiotelefonu pokładowego po wstępnym filtrze.

1. Lokomotywy spalinowo-elektryczne SU45, SM42, ST44
Przykładowe wyniki pomiarów dla lokomotyw spalinowych pokazane są na rysunkach 7–10.

Tabela 1

Wyniki pomiarów zaburzeń radioelektrycznych w paśmie 0,15–30 MHz dla lokomotywy typu SU45

f [MHz]		0,15	0,25	0,5	1	1,5	3	4	6	10	15
U _z [db]	w., p.	90	99	82,5	62	63	41	39	42	27	24
U _z [db]	s.	88	89	82	68	67	74	42	26	17	16
U _z [db]	s., w., p.	80	88	74	75	74	43	32	42	27	23

Tabela 2

Wyniki pomiarów zaburzeń radioelektrycznych w paśmie 0,15–30 MHz dla lokomotywy typu SM42

f [MHz]		0,15	0,25	0,5	1	1,5	3	6
U _z [db]	p. w	75,8	81,8	84,8	62,8	52,8	39,8	37,8

Tabela 3

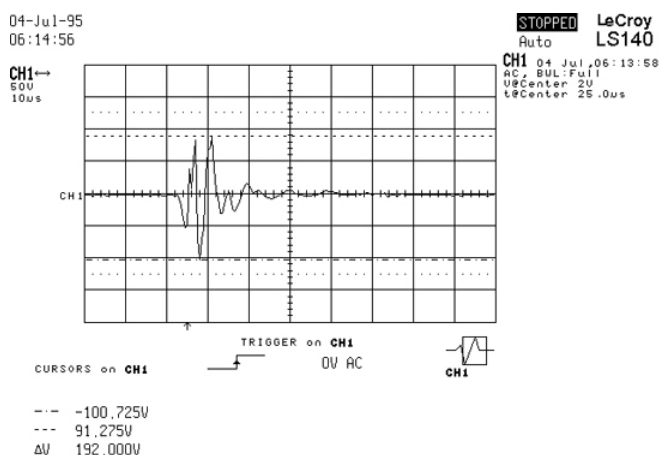
Wyniki pomiarów zaburzeń radioelektrycznych w paśmie 0,15–30 MHz dla lokomotywy typu ST44

f [MHz]		0,15	0,25	0,5	1	1,5	3	6
U _z [db]	p. w	94,8	94	91,8	74,3	68,8	48,8	35,3

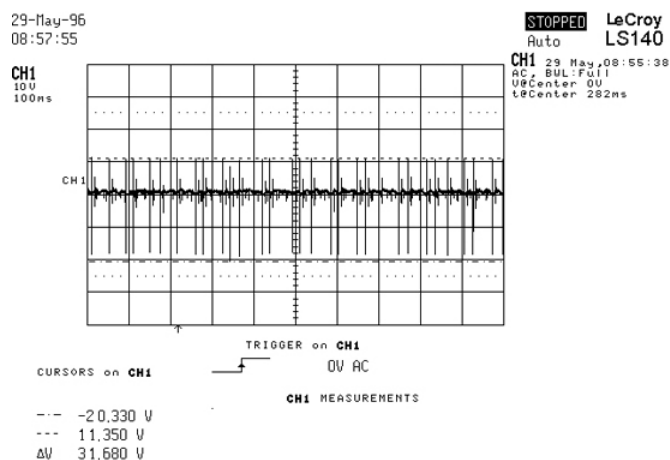
Tabela 4

Wyniki pomiarów zaburzeń radioelektrycznych w paśmie 0,15–30 MHz dla lokomotywy typu ET22

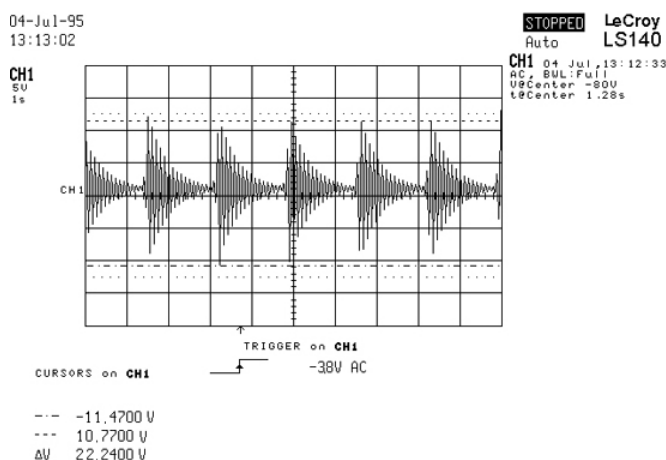
f [MHz]		0,15	0,25	0,5	1	1,5	3	6	10
U _z [db]	kab. A	92,8	96,8	77,8	60,8	48,8	52,8	33,8	29,8
U _z [db]	kab. B	93,8	96,8	79,8	68,8	70,8	63,8	30,8	



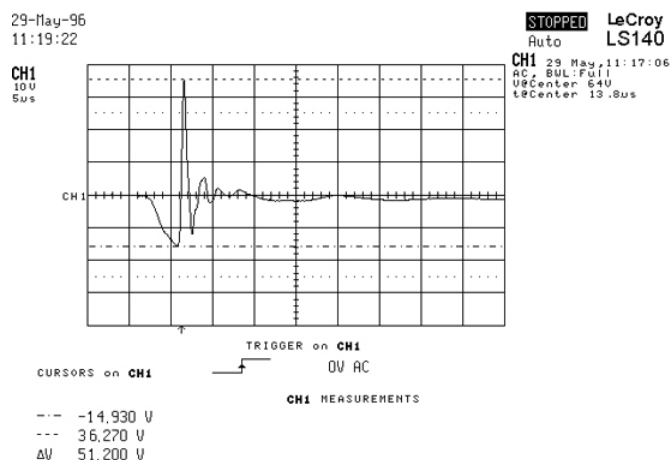
Rys. 7. Lokomotywa SU45 – przepięcia na zaciskach 110 V; przykładowy impuls zaburzeń elektromagnetycznych przy rozruchu



Rys. 9. Impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne w lokomotywie SM42 podczas biegu jałowego przy załączonym wentylatorze



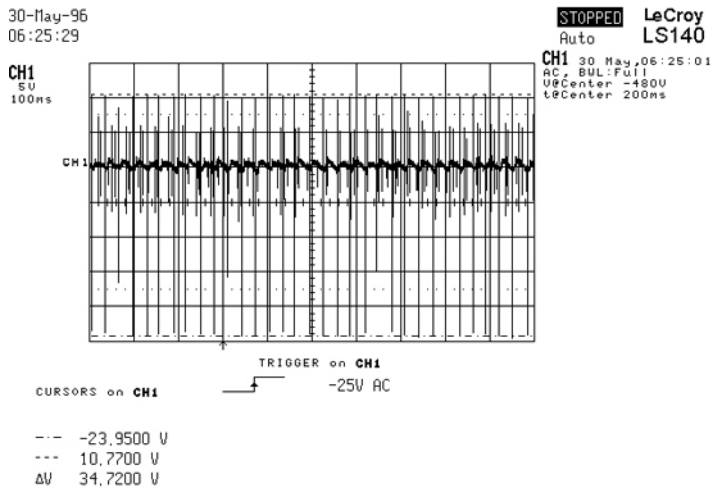
Rys. 8. Lokomotywa SU45 – przepięcia na zaciskach 110 V; rejestracja za filtrem radiotelefonu, podczas biegu jałowego silnika i przy załączonej prądniczy grzewczej i wentylatorach



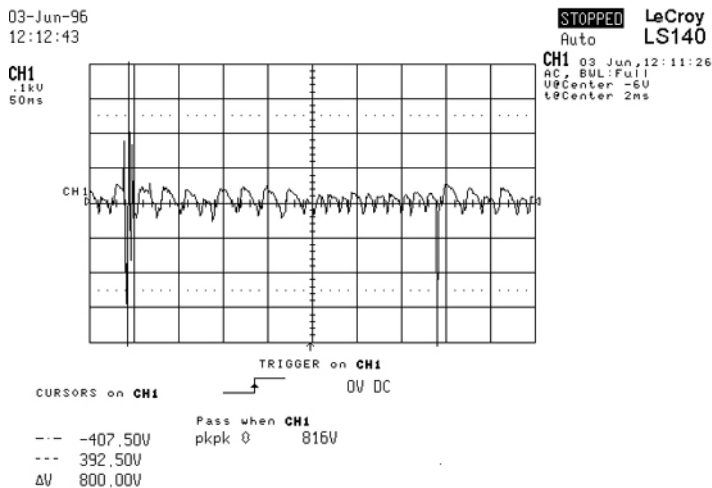
Rys. 10. Impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne w lokomotywie ST – przepięcia rejestrowane po filtrze radiotelefonu podczas biegu jałowego

2. Lokomotywy elektryczne ET22, EU07, EP09

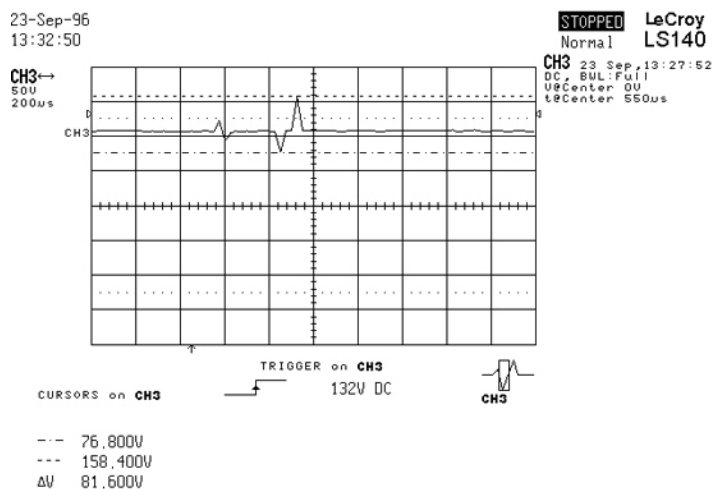
Przykładowe wyniki pomiarów dla lokomotyw elektrycznych pokazane są na rysunkach 11–13.



Rys. 11. Lokomotywa typu ET22; charakterystyka impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych po filtrze radiotelefonu przy pracującej przetwornicy



Rys. 12. Przepięcia w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia, lokomotywa EU07 – przepięcia zarejestrowane w czasie jazdy



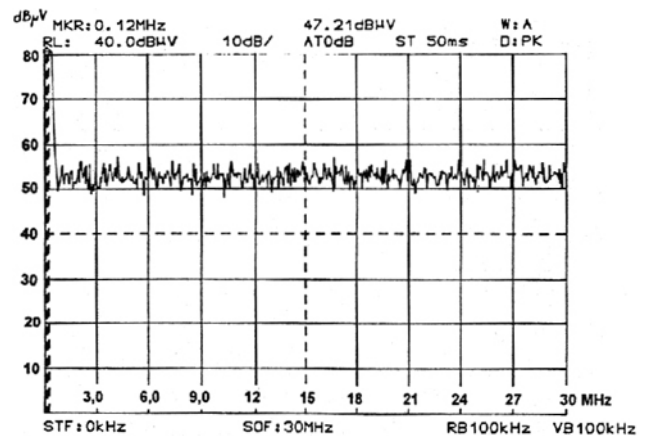
Rys. 13. Przepięcia w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia lokomotywy EP09 – przepięcia zarejestrowane w czasie postoju

Pomiary zaburzeń radioelektrycznych oraz impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych w niskonapięciowych obwodach zasilania wagonów pasażerskich

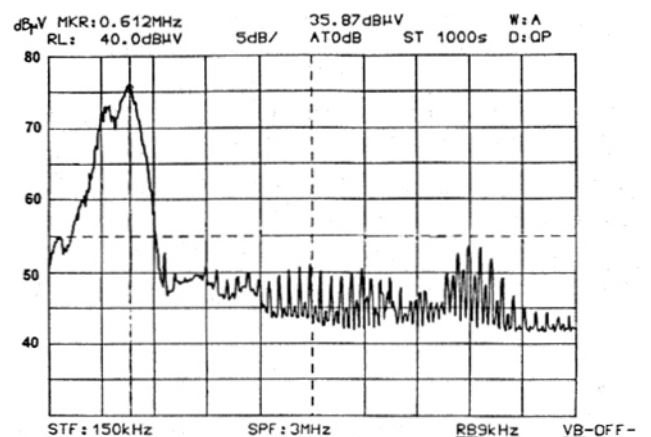
1. Wyniki pomiarów poziomu zaburzeń radioelektrycznych
Wykonano pomiary zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez przetwornice statyczne i wprowadzanych do pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia.

Do badań wytypowano następujące typy przetwornic statycznych, które są zamontowane w wagonach pasażerskich przeznaczonych do pociągów międzynarodowych i ekspresowych:

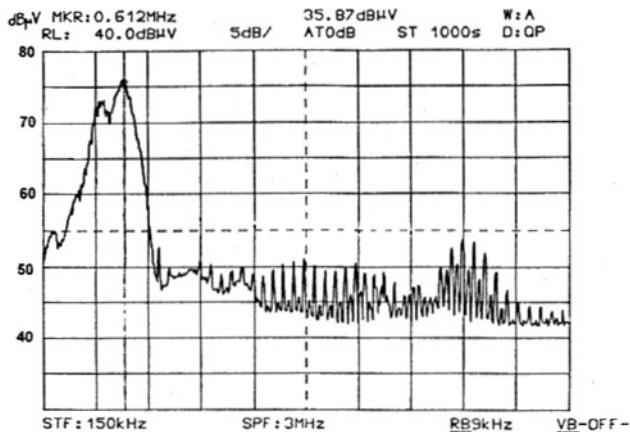
- przetwornica typu SAB WAPCO - DC-AC-DC (3 kV/3 × 380 V / 24 V) o mocy 47 kW, instalowana na wagonie typu 144A; wyniki z pomiarów przedstawiono na rysunku 14;
- przetwornica typu SAB WAPCO - DC-DC o mocy 5,5 kW, instalowana na wagonie typu 136 A; wyniki z pomiarów przedstawiono na rysunkach 15 i 16.



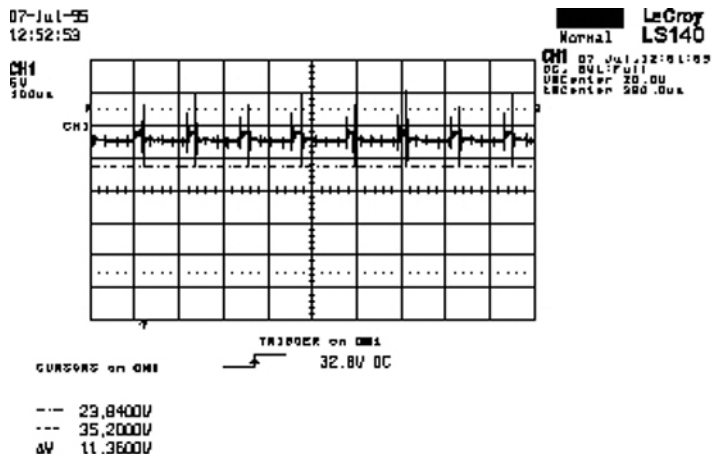
Rys. 14. Charakterystyka widma zaburzeń radioelektrycznych na wyjściu przetwornicy SAB WAPCO-DC-DC w paśmie 0–30 MHz



Rys. 15. Charakterystyka widma zaburzeń radioelektrycznych na wyjściu przetwornicy SAB WAPCO-DC-DC w paśmie 0,15–3 MHz przy obciążeniu przetwornicy obwodem oświetlenia i wentylacji



Rys. 16. Charakterystyka poziomu zaburzeń radioelektrycznych na wyjściu przetwornicy SAB WABCO - DC-DC w paśmie 0,15–3 MHz; przetwornica na biegu jałowym (bez obciążenia)



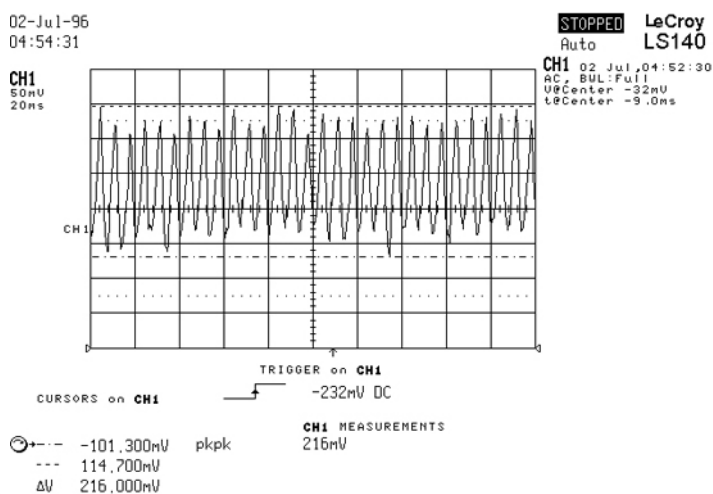
Rys. 18. Oscylogram napięcia zaburzeń radioelektrycznych na wyjściu przetwornicy UWA 3000/28/6,5 dla układu zasilania napięciem 3 kV DC przy minimalnym obciążeniu

2. Wybrane wyniki pomiarów impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych na wyjściu przetwornicy

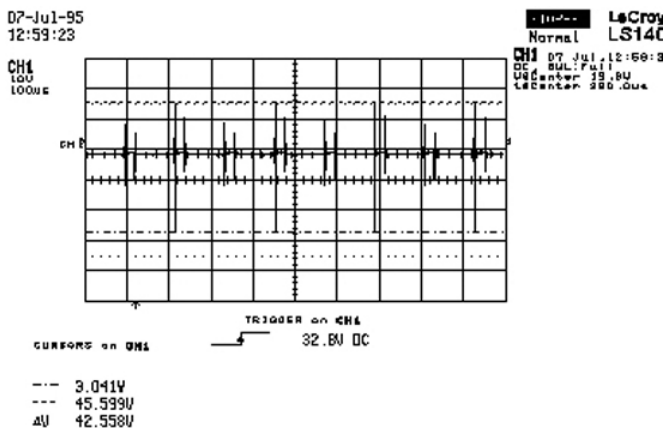
Wykonano pomiary zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez przetwornice statyczne i wprowadzanych do pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia.

Do badań wytypowano następujące typy przetwornic statycznych, które są zamontowane w wagonach pasażerskich przeznaczonych do pociągów międzynarodowych i ekspresowych:

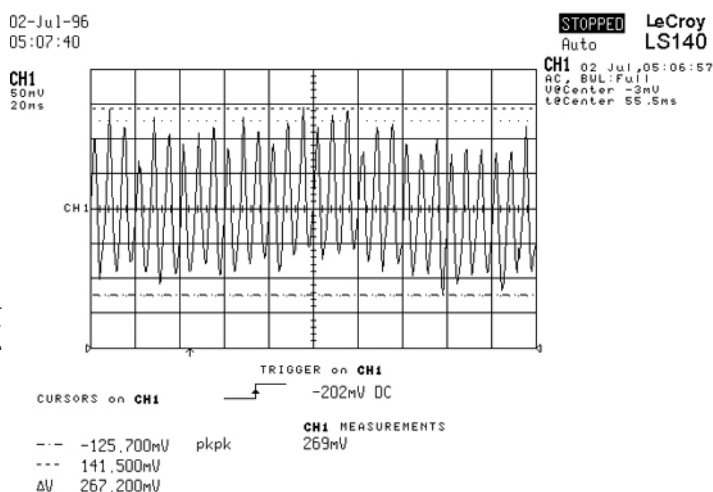
- przetwornica typu U/WA-3000/28/6,5 DC-DC o mocy 6,5 kW, instalowana na wagonie typu 111 AR; wyniki z pomiarów przedstawiono na rysunkach 17 i 18;
- przetwornica typu SAB WABCO - DC-AC-DC (3 kV/3 × 380 V/24 V) o mocy 47 kW, instalowana na wagonie typu 144A; wyniki z pomiarów przedstawiono na rysunkach 19 i 20.



Rys. 19. Oscylogram napięcia wyjściowego w sieci pokładowej niskiego napięcia wagonu typu 144A dla przetwornicy SAB WABCO - DC-AC-DC (3 kV/3 × 380 V/24 V) o mocy 47 kW przy pracy na biegu jałowym



Rys. 17. Oscylogram napięcia zaburzeń radioelektrycznych na wyjściu przetwornicy UWA 3000/28/6,5 dla układu zasilania napięciem 3 kV DC przy maksymalnym obciążeniu



Rys. 20. Oscylogram napięcia wyjściowego w sieci pokładowej niskiego napięcia wagonu typu 144A dla przetwornicy SAB WABCO - DC-AC-DC (3 kV/3 × 380 V/24 V) o mocy 47 kW przy pełnym obciążeniu

Podsumowanie wyników pomiarów

W energetycznych sieciach zasilania elektrycznych pojazdów szynowych występują zaburzenia elektromagnetyczne spowodowane różnymi czynnikami, w których następstwie powstają również zaburzenia radioelektryczne o określonym widmie częstotliwości. Szerokość widma częstotliwości uzależniona jest od czasów propagacji impulsów. Poziom zaburzeń radioelektrycznych zależy od mocy źródła, tłumienności linii przesyłowej oraz odległości od linii przesyłowej dla zaburzeń indukowanych.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że wysoki poziom zaburzeń radioelektrycznych zanotowano dla lokomotywy SU45 dla częstotliwości 0,25 MHz. Miało to miejsce dla wszystkich przypadków pomiarowych, tj. zarówno przy pracującej przetwornicy, jak i silnikach. Analizując charakter przebiegu charakterystyki poziomu zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości można stwierdzić, że są to typowe przebiegi w przypadku zaburzeń radioelektrycznych generowanych przez komutatorowe maszyny elektryczne. Zauważone różnice w przebiegach charakterystyk zmierzonych dla innych egzemplarzy lokomotyw wynikają prawdopodobnie z różnego stanu technicznego komutatorów i szczotek w maszynach elektrycznych.

Podobne rezultaty uzyskano podczas pomiarów w lokomotywach ET22. Przyczyną podwyższonych poziomów zaburzeń w niektórych zakresach widma była przetwornica wirująca. Zanotowano przekroczenie poziomu dopuszczalnego dla częstotliwości również 0,25 MHz dla dwóch egzemplarzy lokomotyw (wartości średnie z pomiarów wynosiły 101,8 dB oraz 103,8 dB), co oznacza przekroczenie poziomu dopuszczalnego o 2,8 dB i 3,8 dB.

W przebadanych pięciu egzemplarzach lokomotyw EU07 stwierdzono przekroczenie poziomu dopuszczalnego. Przekroczenia poziomu granicznego nie odnosiły się tylko do jednej częstotliwości, jak to miało miejsce w przypadku lokomotyw ET22, lecz obejmowało przeważnie pasmo 0,15–1,5 MHz. Czyniono próby wyjaśnienia tego zjawiska. W czasie jazdy obserwowano, czy wykonywane manewry urządzeniami pokładowymi przez maszynistę (nastawnik jazdy, włączanie/wyłączanie ogrzewania) mają wpływ na przebieg charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości. Nie zaobserwowano bezpośredniego związku między wykonywanymi manewrami a przebiegiem charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości. Można przypuszczać, że przyczyną była wadliwa współpraca odbieraka prądu z siecią trakcyjną i przenikanie zaburzeń radioelektrycznych z obwodu głównego w wyniku sprzężeń.

Wyniki pomiarów poziomu zaburzeń radioelektrycznych w sieci zasilania niskiego napięcia lokomotyw EP09 nie różnią się w sposób istotny od wyników dla lokomotyw EU07. Zauważono natomiast większy wpływ jakości współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną na poziom zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia lokomotyw typu EP09. Na rysunkach 5 i 6 pokazano przebiegi charakterystyki poziomu zaburzeń radioelektrycznych w sieci pokładowej niskiego napięcia w paśmie od 0,15 MHz do 30 MHz dla lokomotywy EP05, uzyskane w czasie postoju i czasie jazdy. Wynika z nich zdecydowany wpływ obwodu głównego na obwód zasilania niskiego napięcia.

Przetwornice typu U/WA-3000/28/6,5 DC-DC o mocy 6,5 kW i U/WA-3000/28/6,5 DC-DC o mocy 6,5 kW oraz SAB WABCO o mocy 47 kW, instalowane w wagonach pasażerskich, nie generują w obwodzie wyjściowym zaburzeń radioelektrycznych prze-

kraczących poziom dopuszczalny określony w normie europejskiej [7].

W przebadanych lokomotywach spalinowo-elektrycznych najwyższy poziom impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych zarejestrowano dla lokomotywy SU45. Źródłem tych impulsów są pokładowe urządzenia sterujące (np. nastawnik jazdy powodujący załączanie styczników). Znacznie niższe poziomy przebieg (rzędu kilkudziesięciu woltów) zanotowano w sieci pokładowej niskiego napięcia lokomotywy SM42. Najwyższe amplitudy przebiegów powoduje praca wentylatorów i prądnicy.

Podobne wyniki uzyskano podczas pomiarów w lokomotywach ET22. Najwyższe poziomy zanotowano podczas rozruchu lokomotyw. Pomiary wykonywano w warunkach postoju lokomotywy ET22 i załączano i wyłączano poszczególne obwody po stronie wysokiego napięcia.

Amplitudy zaburzeń o tym poziomie można uznać za mało groźne dla urządzeń typu radiotelefon pokładowy, ponieważ jego zasilacz jest wyposażony w skuteczny filtr o wejściu indukcyjnym.

Pomiary przebiegów w pokładowej sieci zasilania lokomotywy EU07 i EP09 wykonano w warunkach dynamicznych przy zastosowaniu rejestratora i oscyloskopu. Najwięcej zaburzeń impulsowych zanotowano podczas pomiarów w lokomotywie EP09. Były to jednak impulsy o małej amplitudzie około 60 V. Natomiast podczas pomiarów w lokomotywach EU07 zanotowano mniejszą liczbę impulsów przebiegów, ale o zdecydowanie wyższej amplitudzie (powyżej 390 V). Podczas obserwacji prowadzonych oscyloskopem zanotowano osiem przebiegów o amplitudzie powyżej 800 V. Jest to zjawisko niepokojące, ponieważ pojedynczy impuls o dużej amplitudzie może spowodować negatywne skutki w obwodzie zasilania wrażliwego urządzenia elektronicznego.

W trakcie prowadzonych obserwacji nie zanotowano związku między amplitudami przebiegów a określonymi czynnościami wykonywanymi przez maszynistę. Zarejestrowane impulsy były prawdopodobnie wynikiem chwilowego pogorszenia współpracy odbieraka z siecią trakcyjną i powstania znaczących przebiegów w obwodzie głównym lokomotywy i następnie przedostania się przebiegów w wyniku istniejących sprzężeń obwodu głównego z obwodem zasilania niskiego napięcia.

Badania amplitud przebiegów na wyjściu niskonapięciowym przetwornic statycznych wykonywano za pomocą oscyloskopu cyfrowego dla różnych warunków pracy przetwornicy. W przypadku przetwornicy UWA-3000/28/6,5 stwierdzono, że impulsy przebiegów mają amplitudę przekraczającą niemal dwukrotnie poziom napięcia stałego występującego na wyjściu przetwornicy. Częstotliwość występowania impulsów przebiegów wynika z podstawowej częstotliwości pracy przetwornicy.

Bateria akumulatorów współpracująca z przetwornicą buforowo nie stanowi filtra w tym zakresie częstotliwości, ponieważ impedancja akumulatora ma w tym zakresie częstotliwości charakter indukcyjny.

Przetwornica SAB WABCO na przykład na wyjściu miała poziom przebiegów rzędu 270 mV, a więc zdecydowanie mniej niż inne przetwornice.

Wnioski

1. Wyniki badań przedstawione w artykule potwierdzają potrzebę i zasadność wykonywania pomiarów w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej w procedurze nadawania świadectw kwa-

lifikacji dla urządzeń elektrycznych i elektronicznych instalowanych w pojazdach trakcyjnych i wagonach pasażerskich. Dotyczy to szczególnie nowych typów taboru o dużej mocy oraz taboru z przekształtnikami półprzewodnikowymi w układzie sterowania napędem.

2. Stan techniczny urządzeń elektrycznych, a szczególnie przetwornic wirujących, ma decydujące znaczenie o poziomie zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci energetycznej niskiego napięcia lokomotyw i wagonów pasażerskich.

3. Istotny wpływ na poziom zaburzeń radioelektrycznych ma stan kontaktu odbierak prądu – sieć trakcyjna.

4. Podczas prowadzenia prac projektowych nad nowymi pojazdami i pojazdami modernizowanymi należy zwrócić szczególną uwagę na konieczność separacji elektrycznej obwodów wysokiego i niskiego napięcia w celu zmniejszenia pasożytniczych sprzężeń pojemnościowych i indukcyjnych.



Literatura

- [1] Laskowski M., Malesa R., Wróbel Z.: *Określenie istniejących poziomów zakłóceń elektromagnetycznych w ruchomych i stacjonarnych obiektach kolejowych*. Praca CNTK nr 1049/24-97 r.
- [2] Laskowski M., Kulawiak A.: *Pomiary zakłóceń impulsowych na elektrycznych zespołach trakcyjnych EN94 linii WKD oraz opracowanie sposobu zabezpieczenia urządzeń przewoźnych ZFM 90*. Temat 1001/24 1994 r.

- [3] Sowa A.: *Ochrona odgromowa i przeciwprzebiegowa*. Poradnik. Wyd. VESALIUS - Kraków 2000.
- [4] PN-93/T-06450 *Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Urządzenia i metody pomiarów zakłóceń radioelektrycznych*.
- [5] EN 50121-1 *Railway applications – Electromagnetic compatibility*. Part 1: General.
- [6] EN 50121-4 *Railway applications – Electromagnetic compatibility*. Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle.
- [7] EN 50121-4 *Railway applications – Electromagnetic compatibility*. Part 3-2: Rolling stock – Apparatus.
- [8] PN-83/E-06122 *Pojazdy trakcyjne. Wyposażenie elektroniczne. Przepisy ogólne*.
- [9] PN-EN 50121-2: 2004 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna*. Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie.

Autorzy

dr inż. Andrzej Białoń

dr inż. Mieczysław Laskowski

Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej MET'2007

Nowoczesna trakcja elektryczna w zintegrowanej Europie

27–29 września 2007 r.

Tematyka

- Modelowanie i symulacja systemów trakcji elektrycznej
- Systemy elektromechaniczne w transporcie
- Automatyka i sterowanie pojazdami i urządzeniami infrastruktury
- Kompatybilność w systemach trakcji elektrycznej
- Zelektryfikowany transport w zintegrowanej Europie – problemy techniczne, ekologiczne i organizacyjne

Organizatorzy

- Zakład Trakcji Elektrycznej, Instytut Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej
- Polska Akademia Nauk Komitet Elektrotechniki Sekcja Trakcji Elektrycznej
- IEE – Sekcja Polska Oddział Warszawski
- Instytut Elektrotechniki Warszawa
- CNTK Warszawa

Przyjęcie referatu do prezentacji i opublikowania w materiałach konferencyjnych – do 31 lipca 2007 r.

Sekretariat konferencji MET'2007

Instytut Maszyn Elektrycznych, Zakład Trakcji Elektrycznej

Plac Politechniki 1, 00-661 Warszawa

tel. 48 022 234 76 16, fax 48 022 234 75 51, 48 022 629 98 17

aszelag@nov.iem.pw.edu.pl