

Metoda badania kompatybilności elektromagnetycznej samochodowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych w warunkach środowiska pracy

Streszczenie. W artykule opisano koncepcję sposobu sprawdzania urządzeń elektronicznych i elektrycznych pojazdów samochodowych w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej w warunkach środowiska pracy uwzględniających takie czynniki jak rodzaj i typ pojazdu, miejsce montażu, warunki klimatyczne, napięcia zasilania elektrycznego. W zakresie EMC według podanego sposobu sprawdzania podlegają: odporność na pole elektromagnetyczne oraz emisja elektromagnetyczna szerokopasmowa i wąskopasmowa. Te parametry są sprawdzane m.in. w obligatoryjnych badaniach urządzeń elektronicznych i elektrycznych do instalowania w pojazdach samochodowych, na zgodność z obowiązującymi aktami prawnymi w UE (Dyrektywy i Regulaminy). Podane w dokumentach normatywnych wartości parametrów stanowią wymagania minimalne i w niektórych przypadkach znacząco odbiegają od rzeczywistych. Zaletą proponowanej metody jest możliwość sprawdzenia EMC urządzeń w warunkach środowiska ich pracy w pojeździe symulowanym w laboratorium.

Abstract. The article describes the concept of how to check the electronic and electrical devices of motor vehicles for electromagnetic compatibility in an operating environment taking into account such factors as type and type of vehicle, place of installation, climatic conditions, electrical supply voltages. In terms of EMC, according to the specified method, the following parameters are checked: immunity to electromagnetic fields and broadband and narrowband electromagnetic emissions. These parameters are checked, among others, in obligatory tests of electronic and electrical devices to be installed in motor vehicles, for compliance with valid legal acts in EU (Directives and Regulations). Parameter values given in normative documents are minimum requirements and in some cases significantly differ from the real ones. The advantage of the proposed method is the possibility to check the EMC of devices in the conditions of their work environment in the vehicle simulated in the laboratory. (How to check the electronic and electrical devices of motor vehicles for electromagnetic compatibility)

Słowa kluczowe: EMC w pojazdach samochodowych, środowisko pracy urządzeń samochodowych, badania EMC

Keywords: EMC in automotive vehicles, operating environment of automotive equipment, EMC testing of automotive equipment

Wstęp

Postęp techniczny, jaki nastąpił w ciągu ostatnich kilkunastu lat w elektronice i elektrotechnice spowodował, że znacznie wzrósł udział tych urządzeń w zastosowaniach do pojazdów samochodowych, zwłaszcza samochodów osobowych. Zapotrzebowanie na urządzenia elektryczne i elektroniczne wymuszone zostało przez dążenie producentów pojazdów do podnoszenia komfortu jazdy, bezpieczeństwa ruchu drogowego, uproszczenia obsługi i serwisu pojazdu. W tej sytuacji ważne jest zapewnienie wysokiego poziomu niezawodności i trwałości wyposażenia elektrycznego i elektronicznego w oparciu o najnowsze technologie. Niezbędne jest prowadzenie bardzo wnikliwych badań wyposażenia dla spełnienia tych wymagań. Tematyka badań pojazdów i urządzeń samochodowych zwłaszcza w zakresie wyposażenia elektronicznego i elektrycznego jest bardzo obszerna. Zakres tych badań ulega ciągłemu rozszerzaniu ze względu na postępujący rozwój techniki oraz coraz ostrzejsze wymagania zwłaszcza w zakresie bezpieczeństwa, niezawodności i komfortu jazdy. Szczególnego znaczenia w ostatnim okresie nabierają badania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC – electromagnetic compatibility), choć były one prowadzone od dawna (lata 50-te ub. wieku). W projekcie badawczym [25] została przedstawiona ogólna klasyfikacja i zakres badań EMC w motoryzacji co ilustruje rysunek 1.

Przedstawiono dotychczas stosowane metody badań EMC w oparciu o trzy podstawowe kategorie:

- badania na poligonie badawczym,
- badania w komorze semibezodbiowej,
- badania metodami alternatywnymi.

Dwie pierwsze kategorie są opisane w stosownych dokumentach normatywnych, m. in. w [4, 5, 6, 11, 12, 13, 28] Wprowadzono następujący podział metod badań EMC w pojazdach samochodowych:

1. metody antenowe (MA)
2. metody bezantenowe (MB)
3. metody mieszane (MH)

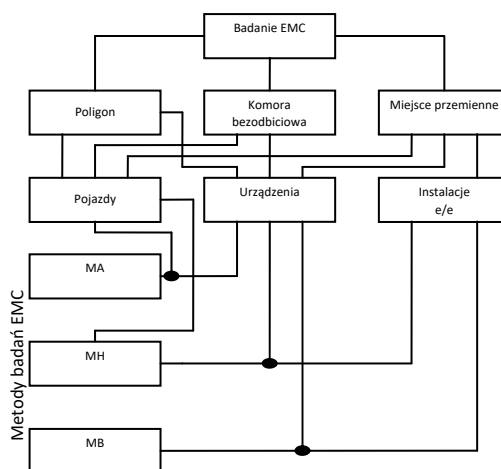
Przedstawione metody badań z podziałem na specyfikacje i sposoby badań umożliwiają prowadzenie badań pojazdów i ich wyposażenia elektrycznego i elektronicznego zarówno w zakresie Regulaminu jak też Dyrektywy [28].

Metoda antenowa (MA) jest metodą klasyczną i umożliwia prowadzenie badań EMC pojazdów i urządzeń.

Metoda bezantenowa (MB) umożliwia badania EMC urządzeń i instalacji elektrycznych i elektronicznych.

Metoda mieszana (MH) jest metodą umożliwiającą badania EMC pojazdów, urządzeń i instalacji elektrycznych i elektronicznych pojazdu.

Obecnie w laboratoriach są prowadzone prace w dziedzinie badań EMC umożliwiających coraz lepsze odwzorowanie parametrów rzeczywistych, co znacząco wypynie na podniesienie jakości dostarczanego producentom wyposażenia elektrycznego i elektronicznego [1, 2, 3, 8, 9, 10, 14, 27, 29].



Rys. 1. Klasyfikacja i zakres stosowania metod badań EMC w motoryzacji

Znane są sposoby sprawdzania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektronicznych i elektrycznych w komorach TEM i GTEM oraz na wolnej przestrzeni bez możliwości uwzględnienia warunków środowiskowych pracy i z monitorowaniem działania w ograniczonym zakresie. Znany jest też sposób sprawdzania w zakresie EMC urządzeń samochodowych opisany w patencie Pat.216803 [21]. Według tego opisu badane urządzenie umieszcza się w komorze umieszczonej obok pojazdu i łączy dodatkowymi wiązkami z instalacją elektryczną pojazdu.

Ze względu na ochronę środowiska elektromagnetycznego oraz zdrowia badania odporności na pole elektromagnetyczne mogą odbywać się w wolnej przestrzeni tylko przy małych natężeniach pola elektrycznego (do 7 V/m) zupełnie nieodpowiednich do wymagań dla urządzeń pojazdów samochodowych (30 V/m).

W znanych sposobach sprawdzania w zakresie EMC brak było możliwości kontroli działania badanej próbki z monitorowaniem jej stanu w czasie rzeczywistym i uwzględnieniem warunków środowiska pracy. Niedogodności tych nie posiada sposób opisany w niniejszym opracowaniu.

W artykule opisano koncepcję sposobu sprawdzania urządzeń elektronicznych i elektrycznych pojazdów samochodowych w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej w warunkach środowiska pracy uwzględniających takie czynniki jak rodzaj i typ pojazdu, miejsce montażu, warunki klimatyczne, napięcia zasilania elektrycznego. W zakresie EMC według podanego sposobu sprawdzania podlegają: odporność na pole elektromagnetyczne oraz emisja elektromagnetyczna szerokopasmowa i wąskopasmowa. Te parametry są sprawdzane m.in. w obowiązkowych badaniach urządzeń elektronicznych i elektrycznych do instalowania w pojazdach samochodowych, na zgodność z obowiązującymi aktami prawnymi w UE (Dyrektywy i Regulaminy).

W proponowanej metodzie w artykule wykorzystano znaną aparaturę badawczą, jednocześnie proponowane oprogramowanie do badań jest nowe. Korzyści wynikające z zastosowania proponowanej metody badań polegają głównie na uwzględnieniu rzeczywistych warunków środowiska pracy urządzeń w pojeździe, czego nie zapewniają dotychczasowe metody przedstawione w dokumentach normatywnych. Badania dzięki zastosowaniu oprogramowania zapewniają dobrą powtarzalność i odtwarzalność i są krótkotrwałe. Do badań wykorzystuje się dwie próbki danego urządzenia.

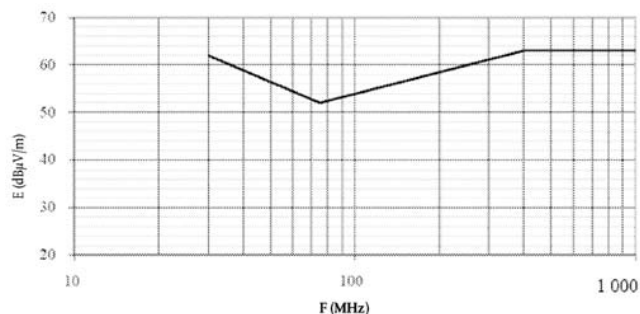
Cel opracowania

Celem pracy jest opracowanie sposobu sprawdzania urządzeń elektrycznych i elektronicznych pojazdów samochodowych w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) obejmującej sprawdzenie odporności na pole elektromagnetyczne oraz emisję elektromagnetyczną szerokopasmową i wąskopasmową w warunkach środowiska pracy z ciągłym monitorowaniem ich działania w czasie rzeczywistym i oceną po zakończeniu sprawdzeń.

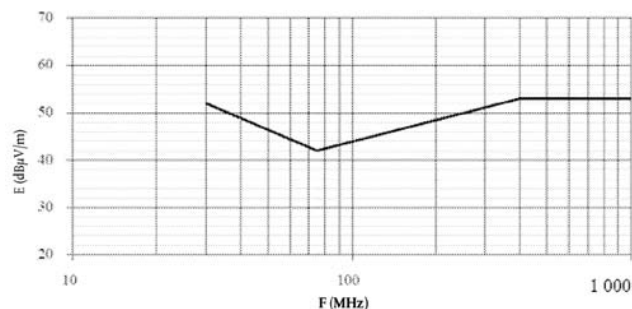
Dopuszczalne wartości graniczne dla samochodowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych przewidziane w regulaminie nr 10 EKG ONZ dla emisji szerokopasmowej i wąskopasmowej przedstawiają wykresy na rysunkach 2 i 3.

Sprawdzenie odbywa się w dwóch komorach: klimatycznej i elektromagnetycznej, w których wytworzone są warunki odpowiadające najważniejszym parametrom występującym w środowisku pracy po zainstalowaniu w pojeździe samochodowym. W czasie sprawdzania

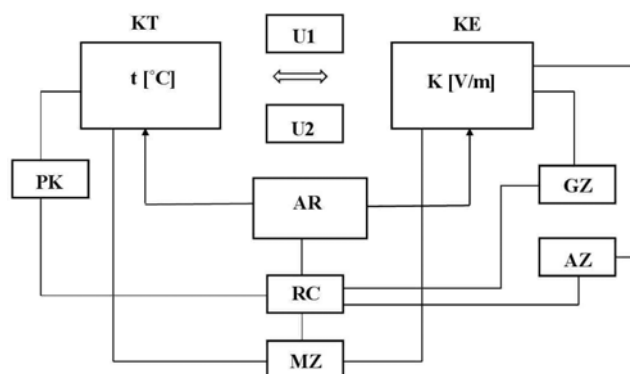
urządzeń są one zasilane z zasilacza stabilizowanego-programowanego, napięciem o różnych wartościach jakie mogą wystąpić w czasie rzeczywistej eksploatacji. Schemat blokowy zestawu urządzeń badawczych do realizacji proponowanego sprawdzania EMC przedstawia rysunek 4.



Rys. 2. Wartość graniczna emisji promieniowanych z PZE. Granica homologacji typu dla pomiaru szerokopasmowego. Detektor quasi-szczytowy, szerokość pasma 120kHz



Rys. 3. Wartość graniczna emisji promieniowanych z PZE. Granica homologacji typu dla pomiaru wąskopasmowego. Detektor wartości średniej, szerokość pasma 120kHz

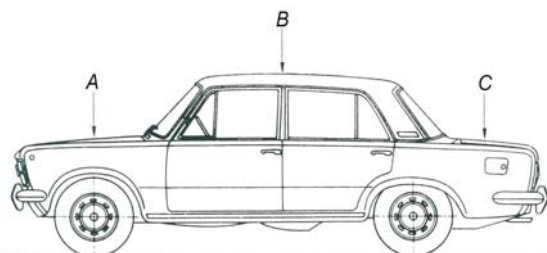


Rys. 4. Zestaw urządzeń badawczych do sprawdzania samochodowych urządzeń elektronicznych i elektrycznych w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) w warunkach środowiska pracy (objaśnienia w tekście).

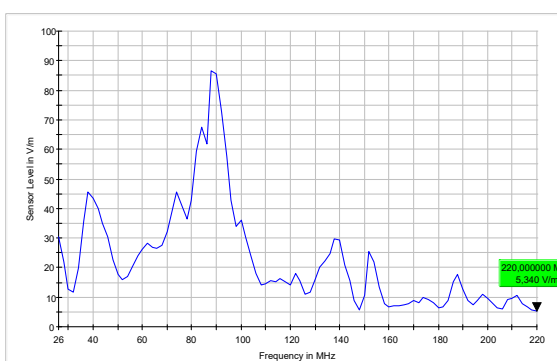
Istota i przebieg sprawdzania EMC

Istota opracowanego sposobu sprawdzenia urządzeń elektronicznych pojazdów samochodowych w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) w warunkach środowiska ich pracy polega na tym, że określa się wartości parametrów badań, określa się ich napięcie pracy w pojeździe, programuje stanowisko badawcze, pobiera do sprawdzeń dwie próbki sprawdzanych urządzeń U1 i U2 i montuje w komorach klimatycznej KT i elektromagnetycznej KE do których przyłącza się programator komory klimatycznej PK, generator zaburzeń elektromagnetycznych GZ, system akwizycji danych AR, analizator widma AZ, zasilacz stabilizowany-programowany MZ oraz komputer stanowiska PC, po czym przeprowadza się sprawdzenia według poniżej opisanych czterech etapów czasowych:

W etapie I ustala się parametry badań stanowiskowych przez określenie na podstawie dostarczonych do sprawdzeń obiektów i dokumentów normatywnych. Dla dostarczonych próbek urządzeń ustala się ich miejsce montażu w pojeździe w jednej z trzech stref: A – komora silnika, B – kabina kierowcy i pasażerów, C – przestrzeń bagażowa. Przykładowe rozmieszczenie stref montażu w samochodzie osobowym ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Rozmieszczenie stref montażu A, B, C urządzeń e/e w samochodzie osobowym



Rys. 6. MSP2 - Samochód Lanos. Natężenie pola elektrycznego w komorze silnika

Dla urządzeń do instalowania w pojeździe proponuje się obliczanie natężenie pola elektrycznego z zależności:

$$(1) \quad K_s = K_n(p + wk_x)$$

w której: K_s – natężenie pola elektrycznego do sprawdzeń [V/m]; K_n – natężenie pola elektrycznego według normy [V/m]; k_x – współczynnik kształtu nadwozia; p – stała zależna od materiału poszycia; w – wskaźnik wzrostu zależny od rodzaju pojazdu i miejsca przy czym dla urządzeń samochodu osobowego w strefie A przyjmuje się:

$$p = 2, \quad w = 3$$

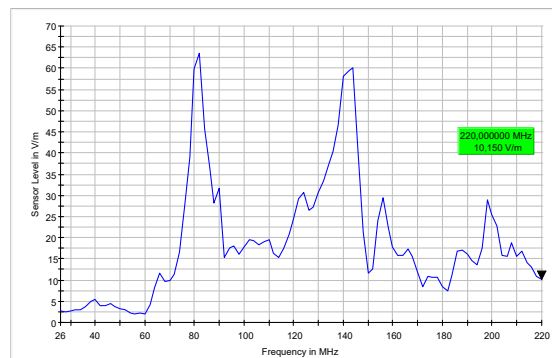
dla urządzeń pojazdu jw. w strefie B przyjmuje się:

$$p = 1,7 \quad w = 2$$

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że przy sprawdzaniu odporności na pole elektromagnetyczne zmierzone wartości natężenia tego pola w poszczególnych strefach (A, B, C) są bardzo różne, co stanowi podstawę do określenia jego wartości w poniższych zależnościach analitycznych. Przykłady przebiegu natężenia pola elektrycznego badań przedstawiono na rysunkach 6 i 7 dla samochodu Daewoo Lanos. Samochód ten był produkowany przez ponad 10 lat w FSO na Żeraniu przy współpracy z firmami ukraińskimi. Był wielokrotnie modernizowany. Badany egzemplarz pochodził z pierwszej serii. Przy badaniach sonda była umieszczona w środku komory silnikowej oraz nad miejscem kierowcy na wysokości środka koła kierownicy.

W strefie A prawie trzykrotnie przekracza wartość dopuszczalną wg regulaminu nr 10 EKG ONZ (30 V/m).

Natomiast wartość przekroczenia w strefie B jest nieco ponad dwukrotna.



Rys. 7. MSP2 - Samochód Lanos. Natężenie pola elektrycznego nad siedzeniem kierowcy

Dla urządzeń pojazdu jw. w strefie C natężenie pola elektrycznego przyjmuje się

$$(2) \quad K_c = K_n$$

zgodnie z wymaganiami minimalnymi przyjętymi w dokumentach normatywnych dla całej przestrzeni pojazdu.

Współczynnik kształtu nadwozia k_x przyjmuje się jako równy znanemu w literaturze współczynnikowi oporu powietrza (c_x). Dla danego pojazdu lub rodziny pojazdów określa się jego wartość na podstawie badań. Jeżeli jego wartość nie jest podana lub jest trudno dostępna możemy obliczyć k_x z zależności:

$$(3) \quad k_x = k_0 + \alpha(m_x - m_0)$$

w której: k_x – współczynnik kształtu nadwozia; k_0 – wartość początkowa współczynnika k_x ; m_x – współczynnik mechaniki ruchu; m_0 – wartość początkowa współczynnika m_x ; α – wskaźnik intensywności.

Współczynnik mechaniki ruchu m_x oblicza się z zależności podanej w opisie patentowym PL 237481 [23] (wzór 1). Po przyjęciu $V_0 = V$, $S = 100$ oraz $R = 1$ obliczamy z wzoru uproszczonego wartość m_x :

$$(4) \quad m_x = 0,01(N - V) + 1$$

w którym: m_x – współczynnik mechaniki ruchu; N – moc silnika w [KM] lub $1,36 \cdot N$ [kW]; V – prędkość maksymalna pojazdu; $0,01$ – stała przeliczeniowa.

Ustalone wartości natężenia pola elektrycznego K_a i K_b na podstawie podanej zależności we wzorze (1) i przy ewentualnym wykorzystaniu wzorów (3) i (4) zostają następnie zaprogramowane w stanowisku badawczym.

W etapie II do układów sterowania komory klimatycznej KT wprowadza się poprzez programator komory PK wartości temperatur skrajnych od najniższej – ujemnej, do najwyższej – dodatniej, oraz wartość wilgotności powietrza, do układów sterowania komory elektromagnetycznej KE wprowadza się poprzez generator zaburzeń elektromagnetycznych GZ wartość natężenia pola elektrycznego, do zasilacza elektrycznego MZ wprowadza się zaprogramowane wartości napięć: minimalne i maksymalne dla prób w komorze klimatycznej KT oraz napięcie konstrukcyjne do prób w komorze elektromagnetycznej KE. Do monitorowania pracy sprawdzanej próbki wprowadza się parametry kontroli temperatur, napięć, prądów poprzez system akwizycji danych AR połączony z badanymi próbkami U1, U2 w komorach badawczych KT i KE, następnie sprawdza się działanie najpierw próbki U1 umieszczonej w komorze elektromagnetycznej KE i poddaje działaniu pola

elektrycznego K_a , K_b lub K_c (zależnie od umiejscowienia w pojeździe). Po tej próbie sprawdzane są emisja elektromagnetyczna szerokopasmowa i wąskopasmowa. Próbkę sprawdzaną umieszcza się następnie w komorze klimatycznej KT i poddaje działaniu temperatur i wilgotności granicznych przy zasilaniu napięciami: najniższym i najwyższym ustanowionymi przez dokumenty normatywne.

W etapie III przeprowadza się sprawdzenie próbki U2 w warunkach określonych w etapie II przy zachowaniu odwrotnej kolejności sprawdzeń, najpierw w komorze klimatycznej KT a następnie w komorze elektromagnetycznej KE.

W etapie IV ocenia się wyniki sprawdzeń próbek U1 i U2 w komputerze stanowiska PC do którego zostały dostarczone dane z komory klimatycznej KT, komory elektromagnetycznej KE poprzez system akwizycji danych, oraz programator komory klimatycznej PR, generator zaburzeń elektromagnetycznych GZ, analizator widma AZ i moduł zasilacza z programatorem MZ.

Wynik sprawdzenia uważa się za pozytywny, jeżeli każda z próbek w czasie monitorowania podczas sprawdzenia według opisu w etapach poprzednich (II i III) nie zmieniła stanu funkcjonowania przewidzianego w środowisku pracy.

Przykłady określenia parametrów do badań

Przy sprawdzeniu urządzeń w zakresie odporności na pole elektromagnetyczne zostały określone parametry badań dla trzech urządzeń elektronicznych: EU1, EU2 i EU3.

EU1. Urządzenie przeznaczone do samochodu osobowego, montaż w komorze silnika (strefa A), (prędkość maksymalna 150 km/h, moc silnika 75 KM (55 kW)), współczynnik kształtu nadwozia – brak danych, napięcie znamionowe 12V, napięcie konstrukcyjne 13,5V. Urządzenie ma pracować w środowisku określonym według opisu.

Obliczamy składową elektryczną pola elektromagnetycznego z zależności (1) przyjmując z dokumentu normatywnego $K_n=30$ V/m. Współczynnik kształtu k_x obliczamy z zależności (3) przyjmując $k_o=0,3$, $\alpha=0,2$, $m_o=0,15$, współczynnik mechaniki ruchu m_x z zależności (4) dla w/w pojazdu wyniesie:

$$m_x = 0,01(75-150)+1=0,25$$

po podstawieniu tej wartości do zależności (3) współczynnik kształtu

$$k_x = 0,3+0,2(0,25-0,15)=0,32$$

Natężenie pola elektrycznego do narażania sprawdzanego urządzenia wynosi:

$$K_a = 30 (2+3 \cdot 0,32) = 88,8$$

Po uwzględnieniu niepewności pomiaru przyjmujemy do sprawdzenia $K_a \approx 90$ V/m.

EU2. Urządzenie przeznaczone do samochodu osobowego, montaż w kabinie kierowcy i pasażerów (strefa B), (prędkość maksymalna 170 km/h, moc silnika 120 KM (88 kW)), współczynnik kształtu nadwozia – brak danych, napięcie jak dla EU1. Urządzenie ma pracować w środowisku określonym według opisu.

Obliczamy składową elektryczną pola elektromagnetycznego z zależności (1) przyjmując z dokumentu normatywnego $K_n=30$ V/m. Współczynnik kształtu k_x obliczamy z zależności (3) przyjmując $k_o=0,3$, $\alpha=0,3$, $m_o=0,15$, współczynnik mechaniki ruchu m_x z zależności (4) dla w/w pojazdu wyniesie:

$$m_x = 0,01(120-170)+1=0,5$$

po podstawieniu do zależności (3) współczynnik kształtu

$$k_x = 0,3+0,3(0,5-0,15)=0,42$$

Natężenie pola elektrycznego do narażania sprawdzanego urządzenia wynosi:

$$K_b = 30 (1,7+0,42) = 63,6 \text{ V/m}$$

Po uwzględnieniu niepewności pomiaru przyjmujemy do sprawdzenia $K_b \approx 65$ V/m.

EU3. Urządzenie przeznaczone do samochodu ciężarowego, montaż w komorze silnika (strefa A), (prędkość maksymalna 100 km/h, moc silnika 100 KM (74 kW)), współczynnik kształtu nadwozia – brak danych, napięcie znamionowe 24 V, napięcie konstrukcyjne 27 V. Urządzenie ma pracować w środowisku określonym według opisu.

Określamy składową elektryczną pola elektromagnetycznego z zależności (1) przyjmując z dokumentu normatywnego $K_n=30$ V/m. Współczynnik kształtu k_x obliczamy z zależności (3) przyjmując $k_o=0,6$, $\alpha=0,6$, $m_o=0,4$. Współczynnik mechaniki ruchu m_x z zależności (4) dla w/w pojazdu wyniesie:

$$m_x = 0,01(100-100)+1=1$$

po podstawieniu do zależności (3) współczynnik kształtu

$$k_x = 0,6+0,6(1-0,4)=0,96$$

Natężenie pola elektrycznego do narażania sprawdzanego urządzenia wynosi:

$$K_a = 30 (2+2 \cdot 0,96) = 117,6 \text{ V/m}$$

Po uwzględnieniu niepewności pomiaru przyjmujemy do sprawdzenia $K_a \approx 120$ V/m.

Zestawienie parametrów badań powyższych urządzeń elektronicznych do pojazdów samochodowych przedstawia tabela 1.

Stosowania zwiększonych parametrów odporności na pole elektromagnetyczne jest praktycznie stosowane przez producentów, gdy żądają oni od dostawców 3-krotnie większej odporności 90 V/m zamiast 30 V/m (wg informacji dostawców).

Tabela 1. Parametry badań przykładowych urządzeń elektronicznych pojazdów samochodowych

Cechy i parametry	Oznaczenie urządzeń		
	EU1	EU2	EU3
Rodzaj pojazdu	Sam. osob.	Sam. osob.	Sam. cięż.
Strefa montażu	A	B	A
Moc silnika [KM/kW]	75/55	120/88	100/74
Prędkość max. [km/h]	150	170	100
Napięcie znamionowe [V]	12	12	24
Napięcie konstrukcyjne [V]	13,5	13,5	27
Wymagane natężenie pola elektrycznego wg R10 [V/m]	30	30	30
Współczynnik mechaniki ruchu [m_x]	0,25	0,50	1,00
Współczynnik kształtu nadwozia	0,32	0,42	0,96
Obliczone natężenia pola elektrycznego [V/m]	88,8	63,6	117,6
Natężenia pola do sprawdzeń stanowiskowych [V/m]	90	65	120

Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję badań kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) samochodowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych w warunkach środowiska ich pracy. Podane w dokumentach normatywnych wartości parametrów stanowią wymagania minimalne i znacząco odbiegające od występujących w warunkach rzeczywistych.

Został zaproponowany zestaw badawczy zawierający komorę elektromagnetyczną i komorę klimatyczną z układami programującymi warunki pracy szczególnie w zakresie temperatur, odpowiedniego natężenia pola elektromagnetycznego.

Dla określonych miejsc pracy urządzeń w pojazdach określono wartości natężenia pola do narażenia próbek. Podano przykłady obliczeń natężenia pola dla trzech urządzeń do pracy w pojeździe w różnych miejscach. W skrajnym przypadku wymagane natężenie pola blisko 4-krotnie przekracza wartości normatywne.

Zaproponowana w artykule metoda może być wykorzystana w badaniach laboratoryjnych EMC samochodowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych zwłaszcza w zakresie odporności na pole elektromagnetyczne i emisję elektromagnetyczną. Opracowana metoda może być wykorzystana szczególnie przez producentów i dostawców elektrycznego i elektronicznego wyposażenia do montażu fabrycznego jak również dodatkowego do pojazdów samochodowych.

Autor: dr inż. Sławomir Łukjanow, prof. emer. PIMOT, Warszawa

LITERATURA

- [01] Alastair R. Ruddle, R. Armstrong: Review of current EMC standards in relation to vehicles with electric powertrains. Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), 2013 International Symposium on Electromagnetic Compatibility
- [02] Borgeest K. EMC and Functional Safety of Automotive Electronics, The Institution of Engineering and Technology, London, 2018
- [03] Chudy Aleksander, Stryczewska Henryka Danuta: Electromagnetic compatibility testing of electric vehicles and their chargers. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 10(3), 70-73, 2020
- [04] CISPR 12 Vehicles', motorboats' and spark-ignited engine-driven devices' radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement („Charakterystyka zaburzeń radioelektrycznych z pojazdów, łodzi silnikowych oraz urządzeń z napędem silnikowym o zapłonie iskrowym”), wydanie piąte z 2001 r. oraz poprawka 1 z 2005 r.
- [05] CISPR 16-1-4 Specifications for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbances measurements, 2010.
- [06] CISPR 25 Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles, 2002, 2004.
- [07] Dłużniewski Artur, Kachel Leszek: Metoda eliminacji zaburzeń elektromagnetycznych przewodzonych generowanych przez radiokomunikacyjne urządzenia pojazdu trakcyjnego. Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne 2020 nr 7-8
- [08] Funato H., Jia Li, Takahashi M., Hoda I., Sakamoto H., Saito R.: Vehicle-level analysis technique for EMC design of automotive inverters.
- [09] Güler Sunay, Güler Sibel, Yenikaya, Güneş Yılmaz: Analysis of EMC Problems in Electric Vehicles. Academic Perspective Procedia 3(1):98-104 2020
- [10] Hong Zhao, Goufeng Li, Ninghui Wang, Shunli Zheng, Lijun Yu, Yongli Chen: Study of EMC Problems with Vehicles. Communications in Computer and Information Science 391:159-168, 2019
- [11] ISO 7637-2 Road vehicles – Electrical disturbance from conduction and coupling – Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only on vehicles with nominal 12 V or 24 V supply voltage, 2004.
- [12] ISO 11451 Road vehicles – Electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy – Vehicle test methods”.
- [13] ISO 11452 Road vehicles – Electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy – Component test methods.
- [14] Jian Hu, Xiao Xu, Dongdong Cao, and Guibin Liu: Analysis and Optimization of Electromagnetic Compatibility for Electric Vehicles. IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine – Volume 8 – Quarter 4, 2019
- [15] Kopczyński K., Łukjanow S. – „Wybrane zagadnienia dotyczące badań i oceny wyposażenia elektrycznego i elektronicznego pojazdów samochodowych”, AUTOPROGRES-KONMOT, Rynia k. Warszawy, 2006.
- [16] Łukjanow S., Kołodziejczak M., Pijanowski B – Project of the evaluation and classification system of vehicles and automobile devices in aspect of electromagnetic compatibility, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 16, No. 1, 2009.
- [17] Łukjanow, S., Tokarzewski, J. – Methods of investigation of road vehicles in context of immunity to electromagnetic field, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.18, No. 3 2011.
- [18] Mazurek P.A. Wybrane zagadnienia prawno-techniczne z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej w motoryzacji. Przegląd Elektrotechniczny 2013 R. 89, nr 12
- [19] Mazurek P. A. Wybrane zagadnienia prawne i techniczne w zakresie EMC stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Przegląd Elektrotechniczny R. 97, nr 1, 2021
- [20] Orzełowski S. – Eksperymentalne badania pojazdów i ich podzespołów, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1995.
- [21] Pat. RP 216803 – „Sposób sprawdzania kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) pojazdów i urządzeń samochodowych.”, twórcy: Łukjanow S., Kołodziejczak M., Wierzbicki K., 2013.
- [22] Pat. PL 237481 – „Sposób sprawdzania i oceny współczynnika mechaniki ruchu pojazdów samochodowych szczególnie osobowych”, twórca: Łukjanow S.
- [23] Pawłowicz Grzegorz, Metody zapewnienia EMC kasownika biletów według Regulaminu EKG ONZ nr 10.06. Pomiary Automatyka Robotyka R. 25, nr 3, 2021
- [24] Pietrzak R. Wymagania dyrektywy 2004/104/WE w zakresie badań kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) komponentów stosowanych w pojazdach a wymagania koncernów. Maszyny Elektryczne : zeszyty problemowe 2015 Nr 2 (106)
- [25] Projekt badawczy MNiSW – „Metoda i model systemu do badań kompatybilności elektromagnetycznej pojazdów i urządzeń samochodowych”, Kier. proj. Sławomir Łukjanow, PIMOT 2007 – 2010.
- [26] Przesmycki R. Wymagania EMC w odniesieniu do urządzeń stosowanych w Siłach Zbrojnych – Wpływ zmian normy NO-06-A500:2012 na wyniki pomiarów. Przegląd Elektrotechniczny 2014 R. 90, nr 7
- [27] Qingwen Han, Jianmei Lei, Lingqiu Zeng, Yunyang Tang, Jie Liu, Lidong Chen: EMC Test for Connected Vehicles and Communication Terminals. 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) Changshu, Suzhou, China, June 26-30, 2018
- [28] Regulamin nr 10 EKG ONZ - Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w odniesieniu do kompatybilności elektromagnetycznej i Dyrektywa 2004/104/WE - odnosząca się do zakłóceń radioelektrycznych (zgodności elektromagnetycznej) pojazdów oraz zmieniająca dyrektywę 70/156/EWG w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do zatwierdzenia typu pojazdów silnikowych i ich przyczep.
- [29] Spadło S., Kuśmierz J., Duś-Spadło J., Serwicki T. Badania odporności instalacji elektrycznej i elektronicznej pojazdów samochodowych na zakłócenia elektromagnetyczne (EMC). Logistyka 2015 nr 4
- [30] Więckowski T. W. – Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001