

Article citation info:

Lukjanow S, Burlinski R. Methods of analysis and evaluation of electromagnetic radiation during tests of electromagnetic compatibility (EMC) of motor vehicles, in particular electrically driven. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2018; 80(2): 77-94. <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL80.ART6>

Metody analizy i oceny promieniowania elektromagnetycznego w badaniach kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) pojazdów samochodowych zwłaszcza elektrycznych

Sławomir Łukjanow¹, Robert Burliński²

Automotive Industry Institute (PIMOT), QUASAR Electronics

Część I

Wymagania i metody badań EMC Pojazdów samochodowych

Streszczenie

W artykule zostały omówione wymagania kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) dla pojazdów i urządzeń samochodowych oraz metody badań promieniowania elektromagnetycznego (PEM) w oparciu o dokumenty normatywne stanowiące podstawę dopuszczenia do produkcji i ruchu (homologacja) danego pojazdu. Dokumentami tymi są

¹ Automotive Industry Institute (PIMOT), ul. Jagiellońska 55, 01-301 Warszawa, Poland; e-mail: s.lukjanow@pimot.eu

² QUASAR Electronics, ul. Cieślowskich 25k, 03-017 Warszawa, Poland

Regulamin nr 10 EKG ONZ oraz Dyrektywa 72/245/EWG. Dla oceny PEM pojazdów zostały zaproponowane i opisane trzy grupy metod: liniowe, polowe i estymacji parametrów. Na podstawie przeprowadzonych w PIMOT badań kilku samochodów elektrycznych w zakresie PEM przeprowadzono analizę i ocenę wg wybranych metod. Do analizy i obliczeń wykorzystano następujące pojazdy: OPEL Ampera, RENAULT Fluence, CITROEN C-Zero i MEGA e-City. Przeprowadzona analiza i obliczenia wykazały dużą zbieżność przydatności zaproponowanych metod oceny PEM pojazdów samochodowych. Zapewnienie wysokich jakościowo parametrów wpływających na ocenę, w tym przede wszystkim promieniowania elektromagnetycznego (PEM) ma wpływ nie tylko na poprawne działanie pojazdu, szczególnie EV, ale też na zdrowie przebywających wewnątrz: kierowcy i pasażerów. Wyniki pracy mogą być wykorzystane i rozpowszechniane szczególnie przez konstruktorów i badaczy pojazdów samochodowych, zwłaszcza EV, w których występują duże ilości systemów i modułów elektronicznych.

Ze względu na objętość materiału praca została podzielona na dwie części. W pierwszej części opisano wymagania i metody badań EMC pojazdów samochodowych. W drugiej dokonano analiza promieniowania elektromagnetycznego wybranych pojazdów elektrycznych – EV.

1. Wprowadzenie

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, szczególnie 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 ciąglemu rozszerzaniu ze względu na postępujący rozwój techniki oraz coraz ostrzejsze wymagania zwłaszcza w zakresie bezpieczeństwa, niezawodności i komfortu jazdy. Szczęólnego znaczenia w ostatnim okresie nabierają badania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), choć były one prowadzone od dawna (lata 50-te ub. wieku).

Biorąc pod uwagę cechy elektrycznego wyposażenia pojazdów i zjawiska występujące w sieciach elektrycznych pojazdów, zwłaszcza możliwość występowania dużych impulsów prądowych i napięciowych, długich wiązek przewodów i dużej liczby połączeń, można stwierdzić, że istnieją znaczne możliwości wzajemnego zaburzania pracy poszczęólnych podzespołów i modułów elektronicznych – drogą przewodzenia (galwanicznie), na skutek istnienia sprzężeń pojemnościowych i indukcyjnych lub drogą emisji promieniowanej.

Zaburzenia elektromagnetyczne można zaliczyć do obszernej grupy sygnałów niepożądanych (lub nieużytecznych), które w układach towarzyszą zawsze sygnałom użytecznym, wynikającym z działania tych układów.

Do najistotniejszych przyczyn zaburzeń elektromagnetycznych można zaliczyć następujące: okresowe i przypadkowe (losowe) zmiany napięć zasilających, dostatecznie szybkie zmiany prądów i napięć w obwodach elektrycznych w obecności indukcyjności i pojemności, w tym tych wielkości rozproszonych,

- przenikanie sygnałów z jednych obwodów do innych, co szczególnie ma miejsce między liniami łączącymi te obwody - między liniami transmisji sygnałów,
- występowanie w obwodach elektrycznych sprzężeń (możliwość generacji),
- pojawienie się w obwodach zwarcia i wystąpienie uszkodzenia elementów lub układów,
- szумы elementów aktywnych i pasywnych,
- niestabilności połączeń i kontaktów, niestabilności temperaturowe,
- nieliniowe charakterystyki elementów i układów, w tym także nieliniowe obciążenia.

Urządzenia i instalacja pojazdu narażone są również na sygnały zaburzające pochodzące z zewnątrz, tj. od innych pojazdów, infrastruktury drogowej, przemysłowej, łączności radiowej itd. Sygnały zaburzające mają zróżnicowane poziomy i występują w szerokim paśmie częstotliwości. Dlatego bardzo istotne są wiarygodne badania kompatybilności elektromagnetycznej całego pojazdu. Są one niezbędne do oceny zgodności z wymaganiami przewidzianymi dla bezpieczeństwa i jakości.

2. Wymagania EMC dla pojazdów i urządzeń samochodowych

Dążenie do zmniejszenia wrażliwości elementów elektronicznych występujących w urządzeniach wyposażenia pojazdów na zaburzenia elektromagnetyczne, nasycenie środowiska urządzeniami będącymi źródłami zaburzeń i jednocześnie podlegających zaburzeniom, spowodowały, że konieczne stało się podjęcie działań normatywno-prawnych, koordynujących narodowe uregulowania w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej. Konsekwencją tego są Regulaminy Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ oraz Dyrektywy Rady Europy w sprawie homologacji pojazdów i ich wyposażenia.

Do podstawowych dokumentów prawnych i normalizacyjnych dotyczących EMC pojazdów i urządzeń samochodowych należą: Regulamin nr 10 EKG ONZ [1] oraz Dyrektywa 72/245/EWG wraz z późniejszymi zmianami [2].

Najważniejsze wymagania wg tych dokumentów są następujące:

Regulamin nr 10 - edycja 4 - 2011 [1]

Zakres stosowania – pojazdy/urządzenia

Regulamin dotyczy kompatybilności elektromagnetycznej pojazdów kategorii L, M, N i O oraz elementów lub elektrycznych/elektronicznych jednostek technicznych przeznaczonych do zainstalowania w pojazdach.

Zakres regulaminu obejmuje:

a) wymagania odnoszące się do odporności na promieniowane i przewodzone zaburzenia funkcji związanych z bezpośrednim kierowaniem pojazdem, związanych z ochroną kierowcy, pasażera i innych użytkowników drogi, związanych z zaburzeniami, które spowodowałyby dezorientację kierowcy lub innych użytkowników drogi, związanych z działaniem magistrali danych w pojeździe, związanych z zaburzeniami, które wpłynęłyby na wymaganą przepisami rejestrację danych dotyczących jazdy;

b) wymagania dotyczące kontroli niepożądanych promieniowanych i przewodzonych emisji w celu zabezpieczenia użytkownika zgodnie z przeznaczeniem urządzeń elektrycznych lub elektronicznych w danym pojeździe lub w pojazdach sąsiadujących lub znajdujących się w jego pobliżu oraz kontroli zaburzeń z urządzeń, które mogą zostać później zamontowane w pojeździe;

c) dodatkowe wymagania w odniesieniu do pojazdów wyposażonych w układy do podłączania ładowania RESS, dotyczące kontroli emisji i odporności w związku z takim połączeniem między pojazdem a siecią elektroenergetyczną.

Zakres wielkości mierzonych – zaburzenia szerokopasmowe/wąskopasmowe

Regulamin stosuje się do pomiarów zaburzeń szerokopasmowych i wąskopasmowych, mierzonych miernikiem z detektorem quasi-szczytowym lub szczytowym. Utrzymuje on wprowadzone wymagania dotyczące odporności (pojazdy: pole e-m 30 V/m, urządzenia: pole e-m 30 V/m lub narażenia równoważne oraz dla urządzeń emisję i odporność na impulsy wg normy ISO 7637-2 [7]).

Zakres częstotliwości, częstotliwości punktowe/przemiatanie

Zakres częstotliwości:

Emisja: 30 ÷ 1000 MHz, zarówno dla pojazdów, jak i podzespołów.

Odporność: 20 ÷ 2000 MHz zarówno dla pojazdów, jak i podzespołów.

Regulamin przewiduje pomiary z przemiataniem lub punktowe.

Poziomy dopuszczalne:

Poziom N w zakresie częstotliwości od 30 ÷ 1000 MHz dla pojazdów i inny dla urządzeń a poziom odporności 30 V/m (lub narażenie równoważne dla urządzeń).

Poligon/pole pomiarowe

Pole w kształcie koła o promieniu min. 30 m (dla pojazdów) [wg Reg. 10.02]. W edycji Reg. 10.04 pole zmniejszono i ograniczono elipsą (dla pojazdów) oraz przyjęto promień koła min. 15 m (dla urządzeń).

1. Obszar przestrzeni otwartej do pomiaru emisji elektromagnetycznej ograniczony dla pojazdów elipsą przedstawia rys. 1.
2. Położenie anteny w stosunku do pojazdu przy pomiarze składowej pionowej promieniowania przedstawia rys. 2.
3. Położenie anteny w stosunku do pojazdu przy pomiarze składowej poziomej promieniowania przedstawia rys. 3.

4. Można korzystać z zamkniętych pomieszczeń badawczych, jeżeli możliwe jest wykazanie korelacji między zamkniętym pomieszczeniem badawczym (komora semi-bezodbiciowa) i polem pomiarowym na otwartej przestrzeni.

Dyrektywa 72/245/EWG [2]

Zakres wymagań – pojazdy/urządzenia

Dyrektywa ma zastosowanie do kompatybilności elektromagnetycznej pojazdów oraz części lub samodzielnych podzespołów technicznych.

Zakres wielkości mierzonych – zaburzenia szerokopasmowe/wąskopasmowe

Dyrektywę stosuje się do pomiarów zaburzeń szerokopasmowych i wąskopasmowych przy użyciu miernika z detektorem quasi-szczytowym lub szczytowym. Utrzymuje ona wymagania dot. odporności (pole e-m 30 V/m), a ponadto dla urządzeń wprowadza wymagania dotyczące emisji impulsów i odporności na impulsy wg normy ISO 7637-2 [7].

Zakres częstotliwości, częstotliwości punktowe/przemiatanie

Zakres częstotliwości:

Emisja: 30 ÷ 1000 MHz, zarówno dla pojazdów, jak i podzespołów.

Odporność: 20 ÷ 2000MHz zarówno dla pojazdów, jak i podzespołów.

Dyrektywa przewiduje pomiary z przemiataniem lub punktowo.

Poziomy dopuszczalne

Emisja: Poziom N (w zakresie częstotliwości od 30 ÷ 1000 MHz) i inny dla urządzeń.

Odporność: 30 V/m dla pojazdów, a dla podzespołów 30 V/m lub narażanie równoważne.

Ponadto dla urządzeń:

- emisja zaburzeń impulsowych,
- odporność na zaburzenia impulsowe, wg w/w normy.

Poligon /pole pomiarowe – jak przy ww. Regulaminie.

Warunki pracy obiektu badań

Prędkość obrotowa silnika spalinowego: 1500/2500 obr/min. Wszystkie urządzenia wytwarzające emisję szerokopasmową, które mogą być włączane „na stałe” przez kierowcę lub pasażera, np. silniki wycieraczek i wentylatory, powinny działać przy maksymalnym obciążeniu. Przy badaniach odporności silnik powinien napędzać z prędkością 50 km/h koła jezdne ustawione na rolkach.

Zarówno Regulamin i Dyrektywa ww. określają najważniejsze funkcje związane z zachowaniem bezpieczeństwa, które należy sprawdzić przy badaniach odporności na działanie pola elektromagnetycznego. Do funkcji związanych z odpornością na działanie pola elektromagnetycznego należą:

a) funkcje związane bezpośrednio ze sterowaniem pojazdem:

- poprzez pogorszenie lub zmianę np. w silniku, skrzyni biegów, w układzie hamulcowym, zawieszeniu, aktywnym układzie kierowniczym, urządzeniach ograniczających prędkość,

- poprzez wpływ na pozycję kierowcy, np. położenie fotela lub kierownicy,
- poprzez wpływ na pole widzenia kierowcy, np. pochylenie wiązki światła mijania lub działanie wycieraczek przedniej szyby,
- b) funkcje związane z ochroną kierowcy, pasażera lub innych użytkowników drogi:
 - np. poduszki powietrzne i systemy napinania pasów bezpieczeństwa,
- c) funkcje, których zaburzenie powoduje dezorientację kierowcy lub innych użytkowników drogi:
 - zaburzenia optyczne np. nieprawidłowe działanie kierunkowskazów, świateł stop, świateł obrysowych, tylnego światła pozycyjnego, ostrzegawczych sygnałów świetlnych, nieprawidłowe odczyty wskaźników ostrzegawczych, świateł lub wyświetlaczy związanych z funkcjami, których mowa w p. a) i b) i które mogą być obserwowane z pozycji kierowcy,
 - zaburzenia dźwiękowe, np. nieprawidłowe działanie autoalarmu lub klaksonu,
- d) funkcje związane z działaniem magistrali przesyłu danych pojazdu:
 - poprzez blokowanie transmisji danych w systemach magistrali pojazdu, używanych do transmisji danych wymaganych dla zapewnienia prawidłowego działania innych funkcji związanych z bezpieczeństwem,
- e) funkcje, zaburzenie, których wpływa na wymagane przepisami gromadzenie danych, np. z tachografu lub hodometru.

3. Badania EMC pojazdów samochodowych w zakresie promieniowania elektromagnetycznego (PEM)

Pomiary emitowanych przez pojazdy zaburzeń elektromagnetycznych przeprowadza się na otwartym poligonie pomiarowym lub w komorze ekranowanej wyłożonej materiałem pochłaniającym - ALSE (Absorber-Lined Shielded Enclosure)

3.1 Badania na poligonie badawczym

Poligon badawczy (pole pomiarowe) powinien spełniać wymagania:

- płaski otwarty obszar, wolny od powierzchni odbijających fale elektromagnetyczne, wewnątrz koła lub elipsy o wymiarach podanych w p. 2,
- poziom tła (zewnętrzne szумы i sygnały): co najmniej 6 dB poniżej wartości dopuszczalnej emisji zaburzeń, za wyjątkiem wąskopasmowych emisji celowych w otoczeniu,
- powinien posiadać metalowe uziemienie stanowiące poziom odniesienia.

Na ogół warunek niskiego poziomu zewnętrznych szumów i sygnałów jest bardzo trudny do spełnienia, nawet z dala od miast i obiektów przemysłowych. Jeżeli jednak zmierzony łącznie poziom szumów i sygnałów, istniejących w otoczeniu i zaburzeń emitowanych przez badany pojazd, nie przekracza dopuszczalnego poziomu zaburzeń, badany pojazd może być traktowany, jako spełniający wymagania dopuszczalnego poziomu. Poziom natężenia pola celowych sygnałów obcych w zakresie częstotliwości pomiarowych z reguły przekracza dopuszczalne poziomy zaburzeń emitowanych przez badane pojazdy. Można wówczas stosować alternatywne sposoby postępowania:

- a) wykonać pomiary emisji zaburzeń w bliższej odległości anteny od badanego pojazdu; zarówno Dyrektywa 72/245/EWG jak i Regulamin nr 10 EKG ONZ określają dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń dla dwóch odległości pomiarowych: 10 m oraz 3 m (dla odległości 3 m dopuszczalny poziom emisji jest wyższy),
- b) przy wyborze orientacji osi ustawienia anteny i badanego pojazdu wziąć pod uwagę kierunki, z których pochodzą sygnały obce tak, aby orientacja anteny pomiarowej osłabiała takie sygnały,
- c) gdy zaburzenia wąskopasmowe, wytwarzane przez badany pojazd, występują w pobliżu obcych sygnałów radiowych oraz gdy zaburzenie i sygnał mieszczą się w granicach znormalizowanej szerokości pasma odbiornika pomiarowego, pomocne może się okazać zastosowanie mniejszej szerokości pasma,
- d) jeżeli powyższe zabiegi nie dadzą zadowalającego rezultatu, można nie wykonywać pomiarów na częstotliwościach sygnałów tych stacji radiowych, których poziom przekracza dopuszczalne wartości emisji zaburzeń przez pojazdy samochodowe, podając w sprawozdaniu z badań te częstotliwości.

Pomiar natężenia pola zewnętrznych szumów i sygnałów celowych powinien być przeprowadzony przed pomiarami emisji zaburzeń badanego pojazdu oraz bezpośrednio po pomiarach tych zaburzeń i przedstawiony w sprawozdaniu z badań. Badania nie powinny być prowadzone w czasie opadów atmosferycznych ani w ciągu 10 min od zakończenia opadu.

Poziom odniesienia stosowany jest w celu wyeliminowania wpływu potencjału ziemi, (zmieniającej swoje parametry elektryczne zależnie od warunków atmosferycznych), na pomiar pola elektromagnetycznego. Poziom odniesienia stanowią metalowe płyty lub siatka metalowa o oczkach nie większych niż 0.1 długości fali o częstotliwości maksymalnej pasma pomiarowego. Poziom odniesienia wykonuje się z metali nie ferromagnetycznych (aluminium, miedź lub stopy nie ferromagnetyczne), gdyż tylko wtedy względna przenikalność magnetyczna nie wpływa na wartość współczynnika odbicia.

3.2. Badania w komorze ekranowanej bezodbiciowej (ALSE)

Komorę ekranowaną bezodbiciową (wyłożoną materiałem pochłaniającym fale e-m) powinna spełniać wymagania:

- energia odbita od ścian komory i sufitu nie może powodować błędów pomiaru większego niż 6 dB,
- poziom tła powinien być niższy co najmniej o 6 dB od dopuszczalnego poziomu zaburzeń emitowanych przez pojazdy,
- badany pojazd oraz elementy anteny pomiarowej nie mogą być bliżej niż 2 m od ścian i sufitu komory oraz bliżej niż 1 m od powierzchni materiału pochłaniającego,
- wymiary komory powinny być wystarczające, aby ustawić antenę pomiarową i badany pojazd zgodnie z wymaganiami określonymi poniżej w p. 3.4,
- podłoga komory nie powinna być podczas badań emisji wyłożona materiałem pochłaniającym.

Badania emisji zaburzeń w komorze nie wymagają sprawdzania poziomu tła przed rozpoczęciem i po zakończeniu badań.

3.3. Aparatura pomiarowa

Aparatura pomiarowa powinna spełniać wymagania CISPR 16-1-1. Do pomiarów powinien być użyty detektor quasi-szczytowy a wyniki pomiarów powinny być wyrażone w decybelach w odniesieniu do mikrowolta na metr dla pasma 120 kHz. Jeżeli używa się analizatorów widma lub skanujących odbiorników pomiarowych można w celu skrócenia czasu skanowania użyć detektora szczytowego, ponieważ wyniki pomiaru nie będą niższe od wyników przy użyciu detektora quasi-szczytowego. Jednak w takim przypadku każdy pomiar wykazujący wartość zbliżoną do wartości dopuszczalnej lub ją przekraczającą należy powtórzyć przy zastosowaniu detektora quasi-szczytowego. Maksymalna szybkość skanowania powinna być zgodna z wymaganiami CISPR 16-2-3. Dla analizatorów widma i szerokości pasma 120 kHz zalecany czas skanowania wynosi: 100 ms/MHz dla detektora szczytowego oraz dla detektora wartości średniej, a dla detektora quasi-szczytowego wynosi 20 s/MHz .

Dowolna liniowo spolaryzowana antena odbiorcza może być użyta przy pomiarach emisji zaburzeń przez pojazdy, przy zapewnieniu, że będzie znormalizowana do anteny odniesienia. Jeżeli pomiary są prowadzone przy użyciu skanujących przyrządów pomiarowych, to należy zastosować antenę szerokopasmową przy zapewnieniu, że jej wyjście jest znormalizowane do wyjścia anteny odniesienia w danych warunkach pomiarowych.

Antena powinna być ustawiona kolejno po lewej i prawej stronie pojazdu, równolegle do płaszczyzny symetrii podłużnej pojazdu w linii ze środkiem silnika. Dyrektywa 72/245/EWG przewiduje dwie odległości anteny od boku badanego pojazdu: 10 m lub 3 m, przy czym zalecana jest odległość 10 m. Wysokość ustawienia anteny wynosi odpowiednio: 3 m przy odległości anteny od pojazdu równej 10 m oraz 1,8 m – przy odległości anteny od pojazdu równej 3 m.

3.4. Przebieg pomiarów

Dla każdej częstotliwości pomiarowej dokonuje się odczytów przy poziomej i pionowej polaryzacji anteny. Jako odczyt charakterystyczny dla danej częstotliwości pomiarowej przyjmuje się wartość maksymalną z czterech odczytów dla obydwu polaryzacji anteny i każdej strony pojazdu.

Podczas pomiarów szerokopasmowej emisji zaburzeń silnik badanego pojazdu powinien pracować zgodnie z CISPR 12. Wszystkie urządzenia zdolne do wytwarzania emisji szerokopasmowych, które mogą być włączane przez kierowcę lub pasażera, na przykład silniki wycieraczek i wentylatory, powinny działać z maksymalnym obciążeniem. Nie dotyczy to klaksonu i silników opuszczania szyb, ponieważ nie są one używane w sposób ciągły.

Podczas pomiarów wąskopasmowej emisji zaburzeń silnik badanego pojazdu nie powinien pracować, natomiast zapłon powinien być włączony. Elektroniczne układy pojazdu powinny być w trybie pracy typowym dla nie poruszającego się pojazdu. Wszystkie urządzenia, które

mogą być włączone na stałe przez kierowcę lub pasażera, z wewnętrznymi oscylatorami powyżej 9 kHz lub powtarzalnymi sygnałami, powinny pracować normalnie.

4. Proponowane metody analizy i oceny PEM pojazdów samochodowych

Przedstawione w Regulaminie nr 10 EKG ONZ i Dyrektywie 72/245/EWG kryteria oceny promieniowania elektrycznego (PEM) w oparciu o graniczne wartości podane w tych dokumentach, stanowią wymagania minimalne. Na podstawie oceny wg tych linii granicznych możemy stwierdzić czy pojazd spełnia wymagania tych dokumentów. Nie ma kryteriów dotyczących jakości umożliwiających porównanie PEM pojazdów spełniających wymagania w/w dokumentów normatywnych. Zarówno konstruktorzy jak też użytkownicy pojazdów nie mogą stwierdzić „ jak czysty” jest pojazd pod względem PEM przy ocenie EMC. Dlatego proponuje się wprowadzenie metod oceny PEM dla podwyższonych wymagań (niższa emisja).

W technice motoryzacyjnej stosuje się szereg metod analitycznych, graficznych i mieszanych wykorzystujących technikę komputerową do analizy sygnałów pomiarowych. W odniesieniu do analizy i oceny PEM pojazdów samochodowych proponuje się zastosowanie co najmniej jedną z grup metod:

- metody liniowe (ML),
- metody polowe (MP),
- metody estymacji parametrów (MEP).

Użyte określenia „liniowe” i „polowe” są skrótowym przedstawieniem sposobu analizy i oceny przebiegów PEM i zostaną przedstawione w tym punkcie a ich zastosowanie w badaniach na przykład konkretnych pojazdów EV, w następnych punktach publikacji.

Proponowane metody grupy liniowej oceny PEM opierają się na koncepcji podanej w pracy [13]. Według przyjętych założeń rozważa się następujące metody liniowe oceny PEM pojazdów samochodowych:

1. metoda jednoliniowa ML 1,
2. metoda dwuliniowa ML 2,
3. metoda dwuliniowa plus ML 2 +,
4. metoda trójliniowa ML 3,
5. metoda trójliniowa plus ML 3+.

Do analizy przyjęto PEM szerokopasmowe przy odległości pomiarowej anteny od pojazdu 3 m i 10 m.

Przebieg linii granicznych przedstawiono na rys. 4 dla emisji szerokopasmowej pojazdu przy odległości anteny pomiarowej 3 m. Metoda ML1 jak już wspomniano opiera się na

wymaganiach Regulaminu R 10 i Dyrektywie 72/245/EWG. Analizę i oceny wg tej metody opisują dokładnie w/w dokumenty EMC.

Metoda ML2 polega na porównaniu przebiegu PEM w odniesieniu do linii granicznej L2 przesuniętej w dół o -10 dB w stosunku do linii granicznej L1 wymaganej przez Regulamin nr 10.

Metoda ML2+ polega na porównaniu przebiegu PEM w odniesieniu do linii granicznej L2 określonej w metodzie ML2 z możliwością jej przekroczenia do 10% szerokości całego pasma (30...1000) MHz określonego w Regulaminie nr 10. Metoda ML3 polega na porównaniu przebiegu PEM w stosunku do linii granicznej L3 przesuniętej w dół o -20dB w odniesieniu do linii granicznej L1 wymaganej przez R10.

Metoda ML3+ polega na porównaniu przebiegu PEM w odniesieniu do linii granicznej L3 określonej w metodzie ML3 z możliwością jej przekroczenia do 10% szerokości pasma (30....1000)MHz określonego w R10.

Przy odległości pomiarowej 10 m wspomniane wyżej przesunięcie w dół linii granicznych wynoszą odpowiednio dla L2 -8 dB i dla L3 -16 dB. Przebiegi tych linii granicznych L1, oznaczonych dla tego przypadku jako: L2A i L3A przy pomiarach emisji szerokopasmowej dla tej odległości przedstawia rys. 5.

Proponowane metody grupy MP oceny PEM pojazdu polegają na obliczaniu pola powierzchni ograniczonej linią odniesienia oraz porównaniu z polem przebiegu rzeczywistego emisji e-m przy wykorzystaniu trzech linii granicznych L1, L2 i L3 podanych w grupie metod ML. Według tak przyjętych założeń wyróżnia się następujące metody polowe oceny PEM pojazdów samochodowych:

- metoda polowa jednoliniowa MP1 (-),
- metoda polowa dwuliniowa MP2 (+),
- metoda polowa trójliniowa MP3 (+).

Podane znaki „-” i „+” oznaczają, że w danej metodzie linia przebiegu PEM znajduje się pod lub nad linią graniczną i pola powierzchni są odejmowane lub dodawane.

Metody MEP estymacji parametrów polegają na analizie statystycznej parametrów przebiegu PEM w całej szerokości pasma pomiarów wg Reg. nr 10.

W metodach tych określa się następujące estymatory statystyczne:

- wartość średnią (\bar{X}),
- wartość średniokwadratową (\bar{X}^2),
- wariancję (\bar{W}),
- wartość skuteczną (RMS),
- odchylenie standardowe (S),
- amplitudę (A).

Podsumowanie

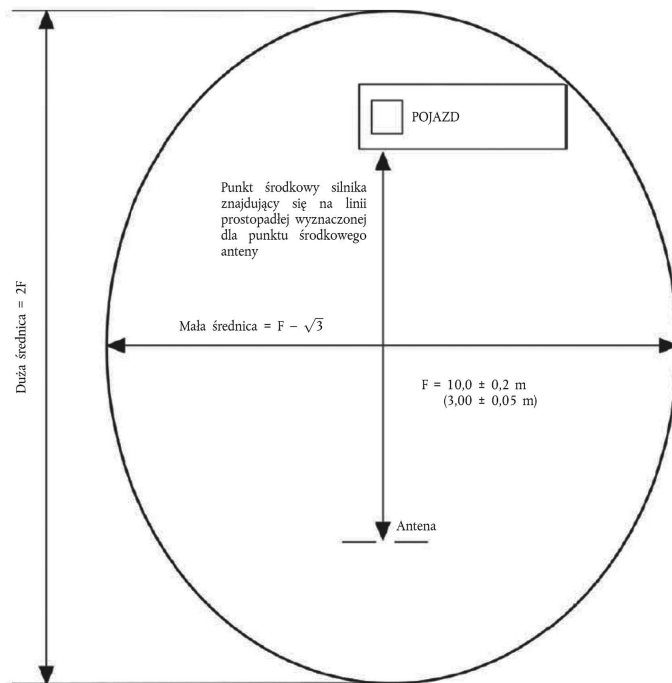
Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) pojazdów samochodowych a zwłaszcza elektrycznych stanowi bardzo ważny czynnik ich oceny. Zapewnienie wysokich jakościowo parametrów wpływających na ocenę, w tym przede wszystkim promieniowania elektromagnetycznego (PEM) ma wpływ nie tylko na poprawne działanie pojazdu ale też na zdrowie przebywających wewnątrz: kierowcy i pasażerów. Przedstawione w dokumentach normatywnych (Regulamin nr 10 EKG ONZ i Dyrektywa 72/245/EWG) kryteria dotyczą PEM w oparciu o graniczne wartości, stanowią wymagania minimalne. Nie ma kryteriów jakości umożliwiających analizę i ocenę PEM pojazdów samochodowych w badaniach EMC.

W artykule zostały przedstawione ogólne wymagania EMC dla pojazdów i urządzeń samochodowych. Zostały opisane metody badań PEM w oparciu o podane wyżej dokumenty normatywne stanowiące podstawę dopuszczenia do produkcji i ruchu (homologacja) danego pojazdu. Przedstawiony opis badań PEM uwzględnia badania na poligonie badawczym, badania w komorze bezodbiciowej (ALSE), aparaturę badawczą oraz przebieg pomiarów w oparciu o wymagania CISPR przywołane zarówno w Regulaminie jak też Dyrektywie.

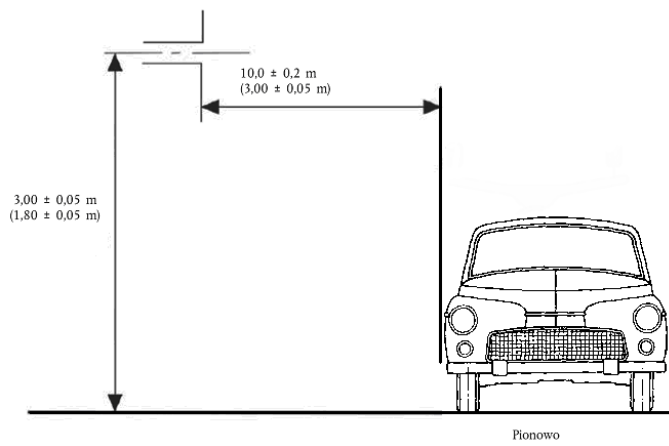
Zostały zaproponowane 3 grupy metod oceny promieniowania elektromagnetycznego: ML - metody liniowe, MP - metody polowe, MEP - metody estymacji parametrów.

Wyniki analizy badań wybranych pojazdów EV w oparciu o proponowane kryteria przedstawione zostaną w części II.

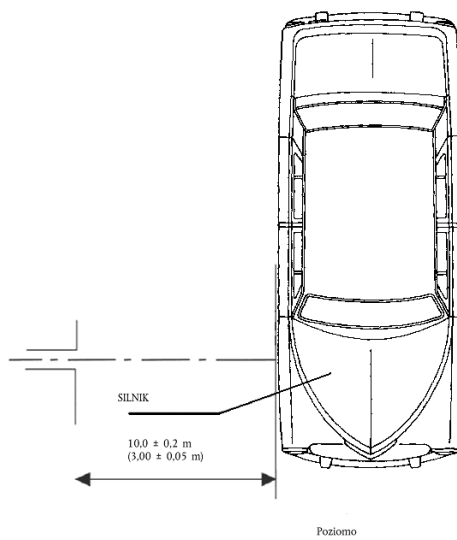
Koniec części I



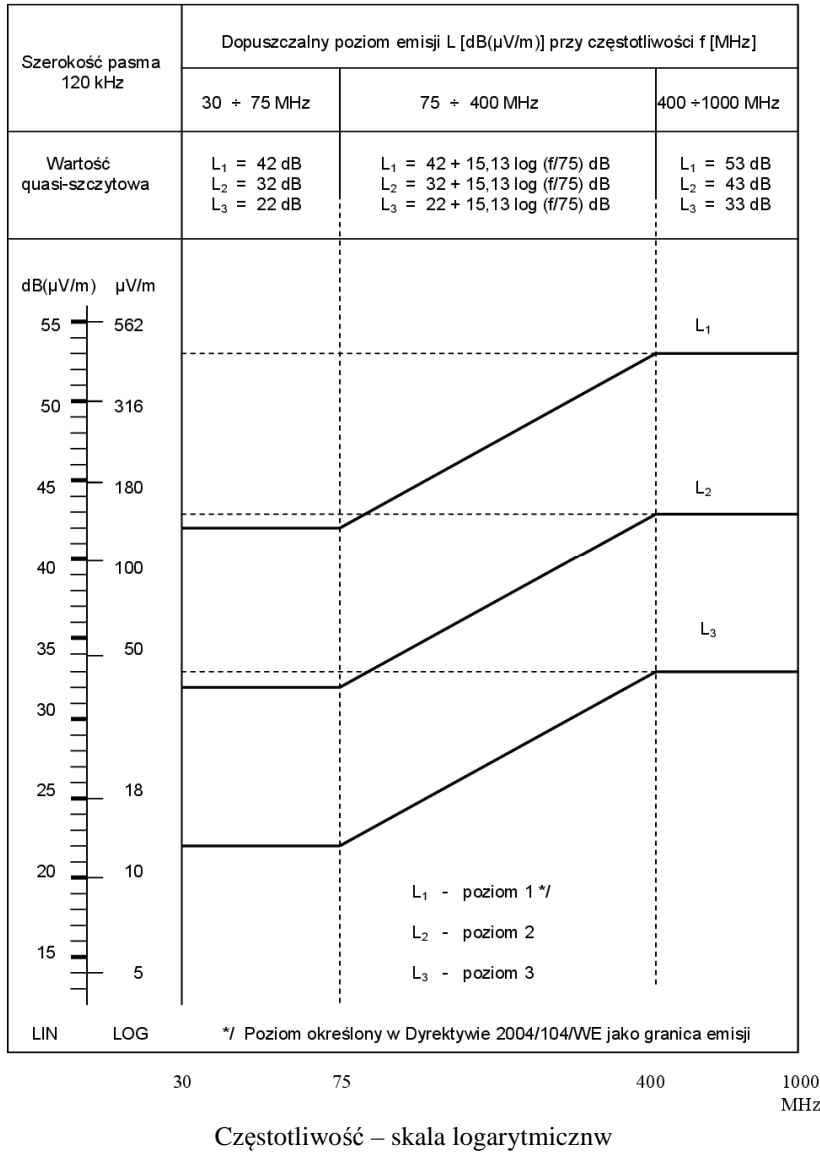
Rys. 1. Pole pomiarowe



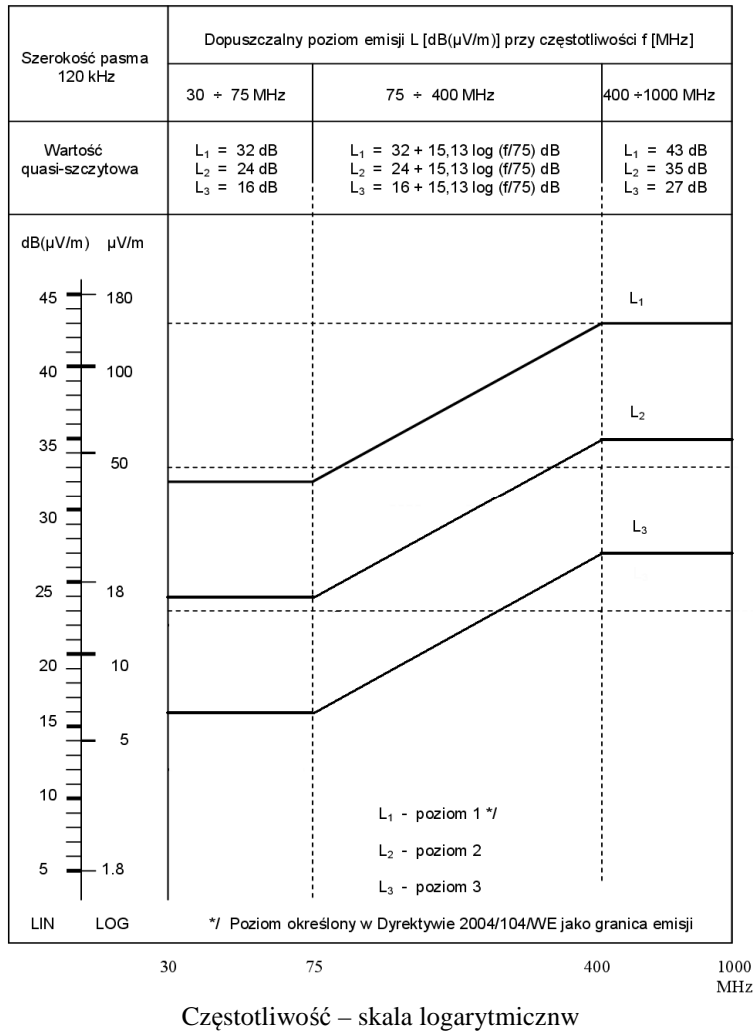
Rys. 2 Pomiar dla polaryzacji pionowej anteny



Rys. 3 Pomiar dla polaryzacji poziomej anteny



Rys. 4. Proponowane poziomy emisji zaburzeń szerokopasmowych dla pojazdów (odległość: antena – pojazd – 3m)



Rys. 5. Proponowane poziomy emisji zaburzeń szerokopasmowych dla pojazdów (odległość: antena – pojazd – 10 m)

Literatura

1. Regulation No. 10 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility (04 series)
2. COUNCIL DIRECTIVE 72/245/EEC of 20 June 1972 relating to the radio interference (electromagnetic compatibility) of vehicles
3. 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: 2005 r.
4. 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 („Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiarów zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia – Część 1: Aparatura do pomiaru zaburzeń radioelektrycznych i do badań odporności – Anteny i poligony pomiarowe do pomiaru zaburzeń promieniowanych”), wydanie trzecie z 2010 r.
5. CISPR 25 Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles („Dopuszczalne poziomy i metody pomiaru charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych w odniesieniu do ochrony odbiorników stosowanych w pojazdach”), wydanie drugie z 2002 r. i sprostowanie z 2004 r.
6. ISO 7637-1 Road vehicles – Electrical disturbance from conduction and coupling – Part 1: Definitions and general considerations („Pojazdy drogowe – Zaburzenia elektryczne przenoszone przez przewodzenie oraz przez sprzężenia – Część 1: Definicje i postanowienia ogólne”), wydanie drugie z 2002 r.
7. 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 („Pojazdy drogowe – Zaburzenia elektryczne przenoszone przez przewodzenie oraz przez sprzężenia – Część 2: Przewodzenie elektrycznych przebiegów przejściowych wyłącznie wzdłuż przewodów zasilających w pojazdach z instalacją elektryczną o nominalnym napięciu zasilania 12 V lub 24 V”), wydanie drugie z 2004 r.
8. ISO-EN 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories („Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”), wydanie drugie z 2005 r. i sprostowanie: 2006 r.
9. ISO 11451 Road vehicles – Electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy – Vehicle test methods” („Pojazdy drogowe – Zaburzenia elektryczne powodowane wąskopasmowym promieniowaniem energii elektromagnetycznej – Metody badania pojazdów”):

10. ISO 11452 Road vehicles – Electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy – Component test methods („Pojazdy drogowe – Zaburzenia elektryczne powodowane wąskopasmowym promieniowaniem energii elektromagnetycznej – Metody badania pojazdów”):
11. IEC 61000-3-2 Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-2 – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase) („Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-2: Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznym prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika ≤ 16 A)”), wydanie 3.2 – 2005 r. + poprawka 1:2008 r. + poprawka 2:2009 r.
12. IEC 61000-3-3 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-3 - Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage systems for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subjected to conditional connection („Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-3: Poziomy dopuszczalne – Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia, powodowanych przez odbiorniki o znamionowym prądzie fazowym ≤ 16 A przyłączone bezwarunkowo”), wydanie 2.0 – 2008 r.
13. 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. 2009; 16(1).
14. Łukjanow S., Pijanowski B. „Badania kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) w aspekcie rozwoju techniki motoryzacyjnej” Czasopismo Techniczne z 8-M/2008, Kraków 2008 r.
15. Projekt Badawczy MNiSW: „Metoda i model systemu do badań kompatybilności elektromagnetycznej pojazdów i urządzeń samochodowych”, Kier. proj. S. Łukjanow. PIMOT 2007 – 2009 r.
16. Więckowski T. W. „Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2001