

Metody zapewnienia EMC kasownika biletów według Regulaminu EKG ONZ nr 10.06

Grzegorz Pawłowicz

BEESSET Sp. z o.o., Białostocki Park Naukowo-Technologiczny, ul. Żurawia 71, 15-540 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki pomiarów oraz zmiany konstrukcyjne urządzenia, których celem było spełnienie wymagań w zakresie dopuszczalnych poziomów emisji zaburzeń elektromagnetycznych z urządzenia zgodnie z Regulaminem EKG ONZ nr 10.06. Opisano kolejne etapy badań, wyciągnięte wnioski oraz przeprowadzone modyfikacje urządzenia. Przedmiotem badań był kasownik biletów papierowych i elektronicznych umożliwiający zakup biletów przy udziale zbliżeniowej karty płatniczej i karty miejskiej. W toku badań przedstawiono efektywność wybranych metod mających na celu zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej urządzenia.

Słowa kluczowe: EMI, Automotive, LVDS, EMC, PCB, kasownik biletów

1. Wprowadzenie

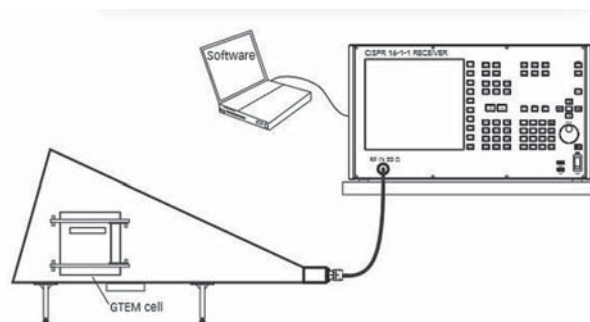
Zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) jest jednym z najważniejszych zagadnień w procesie konstruowania urządzenia elektronicznego [1]. Ma ona wpływ na ostateczną architekturę urządzenia oraz zastosowanie konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych. Coraz częściej w procesie projektowania urządzenia stosuje się podejście iteracyjne, tzn. polegające na przebadaniu danej konfiguracji, analizie wyników i takich zmianach konstrukcji, które w założeniu mają zapewnić poprawienie konkretnych parametrów. W następnym kroku ponawia się badania, a otrzymane na ich podstawie wnioski uwzględnia się w kolejnych zmianach oprogramowania i konstrukcji urządzenia. Opisany proces przeprowadza się aż do osiągnięcia zadowalających rezultatów (spełnienia określonych norm). Najważniejsze z punktu widzenia EMC są dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń oraz duża odporność na zakłócenia wprowadzane z zewnątrz do urządzenia. Każdy nowy wyrób wprowadzany do sprzedaży musi spełniać określone normy regulujące dany segment rynku. W przypadku urządzeń elektronicznych instalowanych w pojazdach należy między innymi spełnić wymagania Regulaminu EKG ONZ nr 10.06 [2].

2. Cel i zakres badań urządzenia

Zasadniczym celem przeprowadzanych badań było uzyskanie homologacji typu podzespołu elektronicznego w odniesieniu do regulaminu [2]. Jednym z wymagań jest nieprzekraczanie

przez certyfikowane urządzenie określonych poziomów emisji zaburzeń elektromagnetycznych w wymaganym paśmie. Na badanie, scharakteryzowanie i ograniczenie według wspomnianego regulaminu [2] tej cechy urządzenia poświęcono najwięcej czasu i zasobów.

Celem przeprowadzanych badań inżynierskich było określenie charakterystyk promieniowania urządzenia elektronicznego DUT (ang. *Device Under Test*), którym był kasownik biletów papierowych i elektronicznych (rys. 2) oraz wpływu dokonanych zmian konstrukcyjnych na te charakterystyki. Każdorazowo badania przeprowadzano zgodnie z wymaganiami regulaminu [2]. Pomiary zakłóceń szerokopasmowych i wąskopasmowych wykonywano odpowiednio zgodnie z wymaganiami załącznika 7 i załącznika 8 regulaminu [2]. Pomiary wykonywano w komorze GTEM. Emisja promieniowania elektromagnetycznego z urządzenia była mierzona z wykorzystaniem odbiornika pomiarowego Rohde & Schwarz ESPI3 w układzie pomiarowym przedstawionym na Rys. 1. Wykonywano pomiary w trzech różnych, ortogonalnych położeniach DUT i w rezultacie otrzymywano wypadkową charakterystykę emisji urządzenia.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego [7]
Fig. 1. Measurement setup diagram [7]

Zarówno badania wąskopasmowe, jak i szerokopasmowe wykonywano dla urządzenia w tej samej konfiguracji (elektronika, obudowa, wiązki, etc.). Widok zewnętrzny urządzenia przedstawiono na Rys. 2.

Autor korespondujący:

Grzegorz Pawłowicz, g.pawlowicz@beeset.com

Artykuł recenzowany

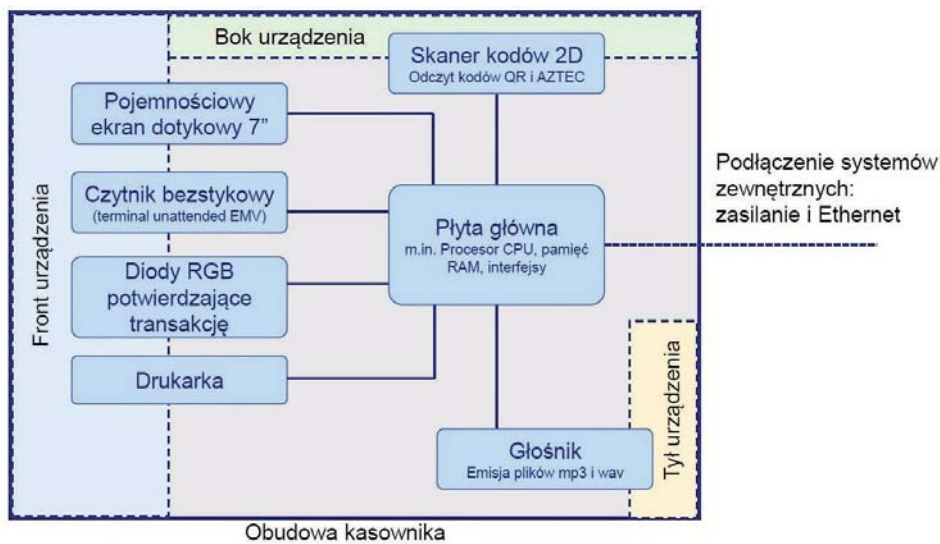
nadesłany 22.06.2021 r., przyjęty do druku 23.08.2021 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 2. Widok zewnętrzny badanego urządzenia
Fig. 2. Overview of the tested device



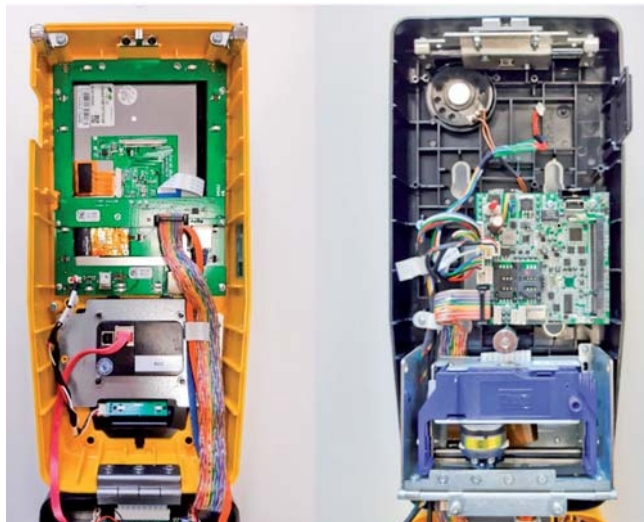
Rys. 3. Schemat blokowy badanego urządzenia
Fig. 3. Block diagram of the device

Ze względu na realny wpływ jakości uzyskanych pomiarów w badanej komorze (możliwość ich zniekształcenia i zafalszowania) i wynikającą z tego faktu niemożliwą podczas badań interakcję przez interfejs dotykowy z urządzeniem opracowano specjalny wariant oprogramowania. Wymuszał on w kasowniku uruchomienie każdej z głównych funkcji urządzenia. Działanie urządzenia w trakcie badania weryfikowano wzrokowo (wizjer w komorze umożliwiał odczytywanie komunikatów z ekranu urządzenia i weryfikację poprawności jego działania) i słuchowo (praca mechanizmu drukarki oraz komunikaty dźwiękowe).

DUT zasilano za pomocą zasilacza laboratoryjnego 24 V/3 A. Linia zasilająca była filtrowana zgodnie z CISPR 25, p.6.1.2, Annex D [8]. Do badań wystawiono kasownik, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 3.

3. Wyniki badań i działania korygujące

Proces badawczy rozpoczął z wykorzystaniem urządzenia w konfiguracji początkowej (wersja A), którego wnętrze przedstawiono na rys. 4. Obudowa badanego urządzenia wykonana została z poliwęglanu (PC) niestanowiącego bariery tłumiącej dla emisji promieniowania elektromagnetycznego. Płyta główna urządzenia w wersji A miała prosty kształt, zminimalizowane



Rys. 4. Widok wewnętrzny kasownika w początkowej konfiguracji sprzętowej (wersja A)
Fig. 4. Internal view of the validator initial hardware version (A version)

gabaryty i zbudowana była na bazie laminatu 4-warstwowego z jedną warstwą wewnętrzną dedykowaną jako płaszczyzna masy (GND).

Ekran dotykowy usytuowany w przedniej części obudowy z płytą główną urządzenia został połączony wiązką zawierającą w sobie linie zasilające, interfejs USB panelu dotykowego oraz interfejs LVDS grafiki pracujący na częstotliwościach obsługiwanych przez zastosowany ekran LCD TFT. W wersji A kasownika zastosowana została wiązka w postaci taśmy IDC (rys. 5) [3] o długości 0,5 m, składającej się z nieekranowanych skręconych par, pozwalających zniwelować zakłócenia *common mode* w torze sygnałowym LVDS.

Otrzymane wyniki badań emisji szerokopasmowej urządzenia przedstawiono na rys. 6.

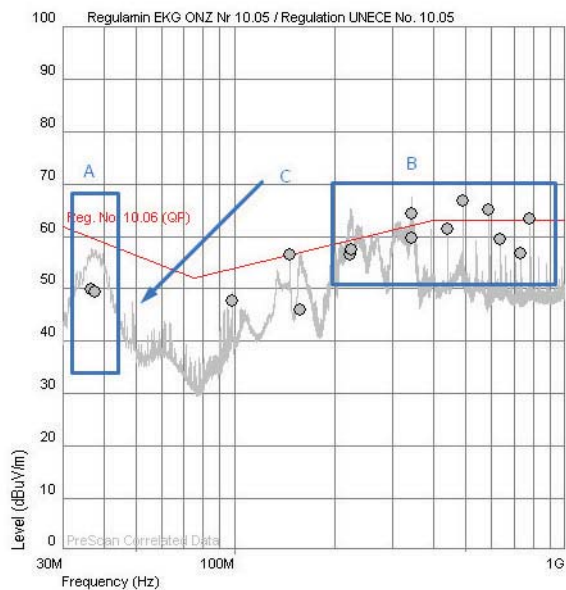
Badanie emisji szerokopasmowej kasownika wykonano z wykorzystaniem detektora quasi-szczytowego. W otrzymanych wynikach wyróżnić można dwa główne obszary oznaczone jako A oraz B, a wartości szczytowe w tych obszarach zostały określone przez algorytm systemu pomiarowego. Obszar A to szumy, których główne źródło stanowią układy analogowe np. przetwornice zasilające DC/DC. Obszar B to strefa szumów pochodzących od wysokoczęstotliwościowych układów cyfrowych (m.in. transmisje cyfrowe, sygnały zegarowe). Czerwona linia to referencyjne wartości graniczne promieniowania (dla detektora QP) określone regulaminem [2], którego homologowane urządzenie nie może przekroczyć.

W toku analizy wyników przeprowadzonego badania określono, że szpilki sygnałowe pojawiające się w obszarze B mają częstotliwości będące harmonicznymi częstotliwości zegara LVDS interfejsu graficznego o wartości 49 MHz (wskazana strzałką „C”).

W dalszej kolejności przeprowadzone zostały pomiary zaburzeń wąskopasmowych z wykorzystaniem detektora wartości

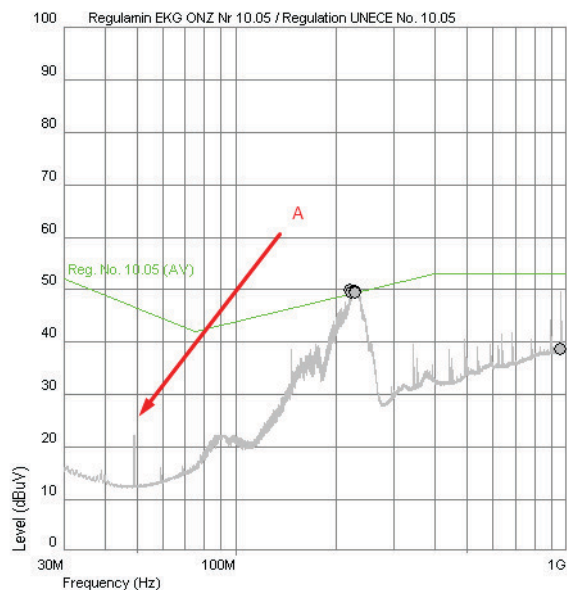


Rys. 5. Wiązka łącząca ekran w początkowej konfiguracji sprzętowej (wersja A)
Fig. 5. Initial version of display harness (A version)



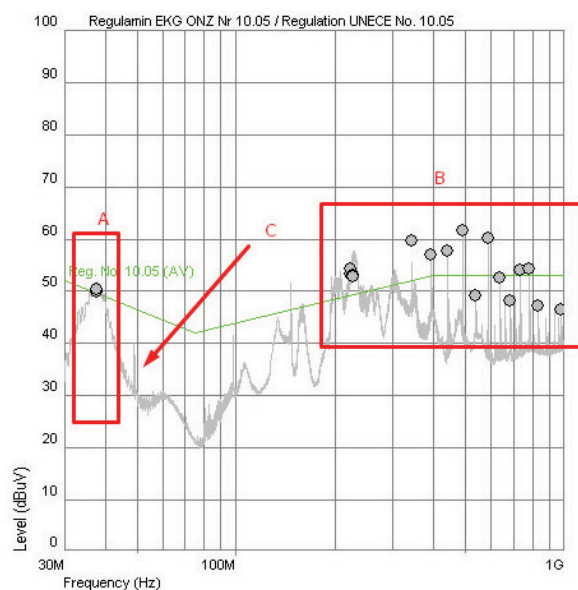
Rys. 6. Wynik badania emisji szerokopasmowej kasownika w wariancie początkowym (wersja A) [8]

Fig. 6. Broadband emission test results for initial hardware version of validator (A version) [8]



Rys. 8. Wynik badania emisji wąskopasmowej kasownika w wariancie początkowym (wersja A) z odpiętą wiązką wyświetlacza

Fig. 8. Narrowband emission test results for initial hardware version (A version) of validator without display harness [PIMOT]



Rys. 7. Wynik badania emisji wąskopasmowej kasownika w wariancie początkowym (wersja A) [8]

Fig. 7. Narrowband emission test results for initial hardware version of validator (A version) [8]

średniej (AV). Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 7. Na otrzymanym wykresie, analogicznie jak na rys. 6, można również wyróżnić obszary A, B i C, z uwidacznionymi zaburzeniami na kolejnych częstotliwościach harmonicznych częstotliwości zegarowej LVDS. Zarówno dla pomiarów wąskopasmowych i szerokopasmowych otrzymane charakterystyki emisji promieniowania miały podobny przebieg. Z uwagi na to dalsze etapy badań były przeprowadzane głównie dla emisji wąskopasmowych.

W trakcie poszukiwania źródła zakłóceń emitowanych z urządzenia w wersji A, zdecydowano przetestować kasownik (analiza wąskopasmowa) z odpiętą wiązką wyświetlacza. Wyniki badania przedstawiono na rys. 8.

Analiza otrzymanych wyników w przypadku odłączonej wiązki wyświetlacza wykazała brak emisji harmonicznych częstotliwości 49 MHz (częstotliwość zegara LVDS), które w wynikach badań urządzenia z podłączoną wiązką (rys. 7) były najbardziej



Rys. 9. Widok wnętrza kasownika w wersji B

Fig. 9. Validator, version B, overview of the interior

znaczące i krytyczne. Sama częstotliwość 49 MHz jest tutaj doskonale widoczna (oznaczenie na wykresie symbolem „A”). Na podstawie wyników potwierdzono, że zarejestrowane zakłócenie jest emitowane bezpośrednio z płyty głównej.

Mając na uwadze zgromadzone wyniki i opracowane na ich podstawie wnioski w kolejnej wersji urządzenia – wersji B – dokonano zmian w konstrukcji płyty głównej oraz sposobu połączenia poszczególnych podzespołów kasownika. Widok przekonstruowanego wnętrza urządzenia w wersji B przedstawia rys. 9.

W oparciu o wyniki badań wersji A urządzenia i fakt, że sama płyta główna urządzenia okazała się głównym źródłem zakłóceń częstotliwości LVDS w wersji B dokonano przeprojektowania jej konstrukcji m.in. w zakresie kształtu i rozmieszczenia elementów. Wzajemna topologia elementów oraz ich rozmieszczenie na PCB zaplanowano tak aby umieścić podzespoły mogące być

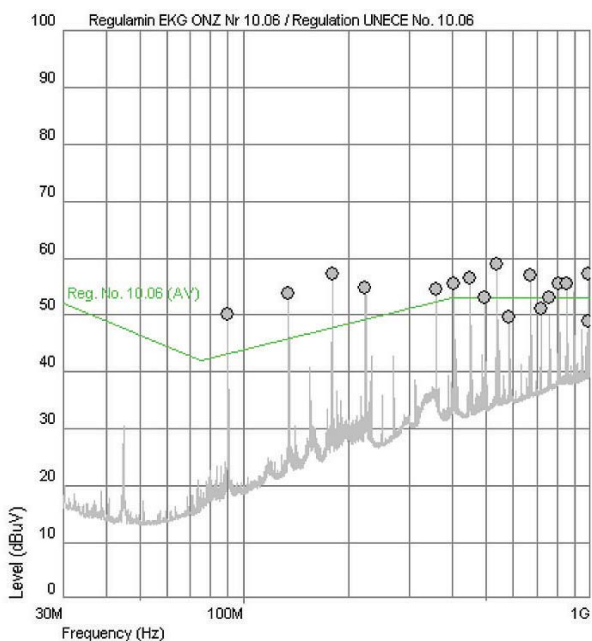
źródłem zakłóceń pod metalowymi elementami ekranującymi: ekran 1 i ekran 2 (rys. 9) [4]. Znalazły się tam przede wszystkim przetwornice DC/DC, mikrokontrolery i układy interfejsów pracujące z dużymi częstotliwościami [5]. Zmianie uległa również konstrukcja samej płytki drukowanej. Spośród sześciu warstw laminatu, trzy wewnętrzne przeznaczone głównie na płaszczyzny masy (GND) ekranujące promieniowanie ze ścieżek umieszczonych w wewnętrznych warstwach laminatu. Dla linii szybkich sygnałów różnicowych zaprojektowano ścieżki z dopasowaniem impedancji charakterystycznej [6]. Płytkę drukowaną zamówiono u producenta, który zapewnił jej wykonanie w technologii kontrolowanej impedancji, dzięki czemu zminimalizowano zniekształcenia sygnałów w połączeniach wysokoczęstotliwościowych na PCB.

Przeprojektowaniu w wersji B urządzenia poddano także sposób łączenia płyty głównej z wyświetlaczem. Taśma IDC (rys. 5) zastąpiona została wiązką nieekranowanych przewodów takiej



Rys. 10. Zdjęcie przedstawiające zmodyfikowaną, dedykowaną wiązkę wyświetlacza (wersja B urządzenia)

Fig. 10. Photo of dedicated, modified display harness (B version of the device)



Rys. 11. Wynik badania emisji wąskopasmowej kasownika w wersji B [8]
Fig. 11. Narrowband emission test results for B version of validator [8]

samej długości (rys. 10), zawierającą skręcone pary sygnałów LVDS ekranu, USB interfejsu dotykowego jak również dodatkowe sygnały (zasilanie, konfiguracja).

Oprogramowanie urządzenia także podlegało zmianom. Najważniejszą z nich była zmiana częstotliwości zegara LVDS grafiki z 49 MHz na 45 MHz dokonana w celu zbadania wpływu tego parametru na badany poziom promieniowanych emisji elektromagnetycznych z urządzenia.

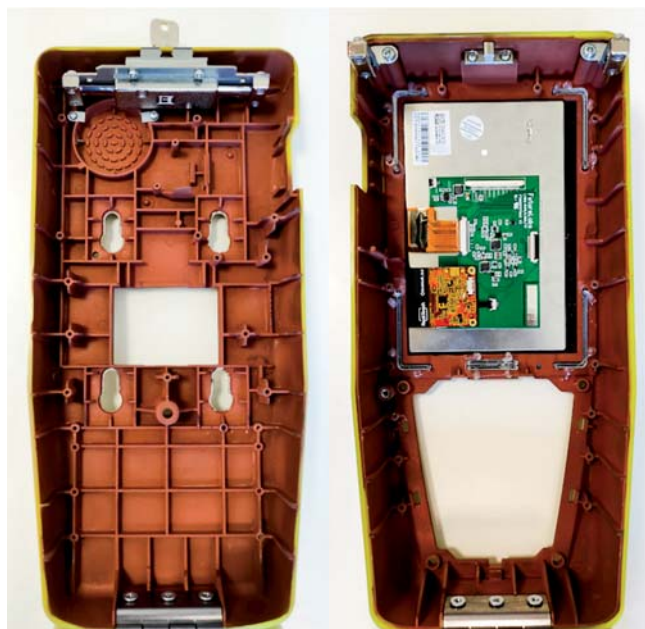
Urządzenie w wersji B poddano pomiarom zakłóceń szerokopasmowych i wąskopasmowych odpowiednio zgodnie z załącznikiem 7 i 8 regulaminu [2].

W wyniku powtórnych badań przeprojektowanego urządzenia okazało się, że najistotniejszym wyzwaniem, które stoi przed jego konstruktorami, jest ograniczenie emisji zaburzeń elektromagnetycznych dla częstotliwości odpowiadających kolejnym harmonicznym zegara LVDS. Wyniki badań emisji wąskopasmowej przeprowadzonej z wykorzystaniem detektora wartości średniej (AV) przedstawiono na rys. 11. „Kółka” na rys. 11 przedstawiają szczytowe wartości emisji wąskopasmowej (różnica poziomów między detektorem szczytowym oraz AV < 6 dB).

Wyniki badań zaprezentowane na rys. 11 przedstawiają przekroczenia dopuszczalnych poziomów zakłóceń dla kolejnych harmonicznych częstotliwości 45 MHz, na której podczas badań pracował interfejs LVDS wyświetlacza. Analiza danych wykazuje w przedziale do 40 MHz zmniejszenie o ponad 30 dB promieniowanych emisji elektromagnetycznych, których źródłem są m.in. układy zasilania zastosowane na płycie głównej. Zaznacza się tutaj pozytywny wpływ zmiany konstrukcji PCB oraz dodania elementów ekranujących na płycie.

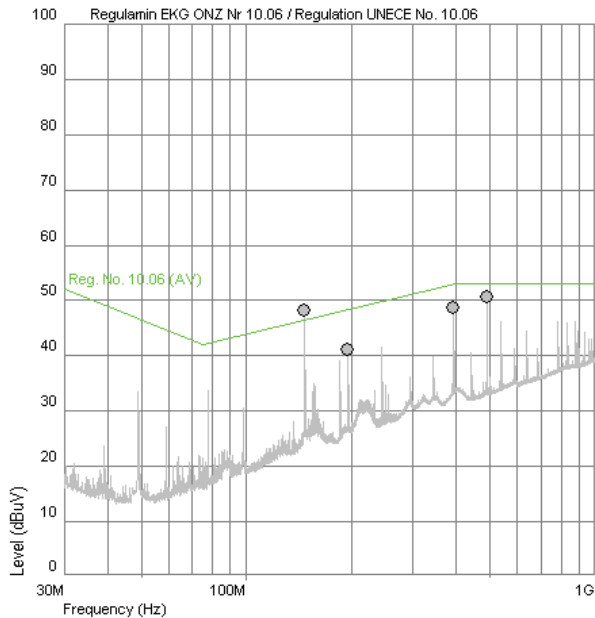
W kolejnym kroku prac konstrukcyjnych (wersja C urządzenia) zdecydowano się na weryfikację wpływu ekranowanej obudowy urządzenia na emisję zakłóceń elektromagnetycznych. W tym celu wewnątrz całej obudowy wykonanej z poliwęglanu (PC) pokryte zostało dedykowanym środkiem tworzącym powłokę przewodzącą na bazie miedzi (handlowa nazwa preparatu: EMI35, KONTAKT CHEMIE 77509-004) (rys. 12). Podczas badań zastosowano podzespoły urządzenia takie jak w wersji B, a częstotliwość zegara LVDS została ustawiona na 49 MHz.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów w wersji C urządzenia przedstawia rys. 13.



Rys. 12. Widok wnętrza obudowy urządzenia z naniesioną powłoką ekranującą (wersja C)

Fig. 12. Overview of the interior of shielded case (C version)



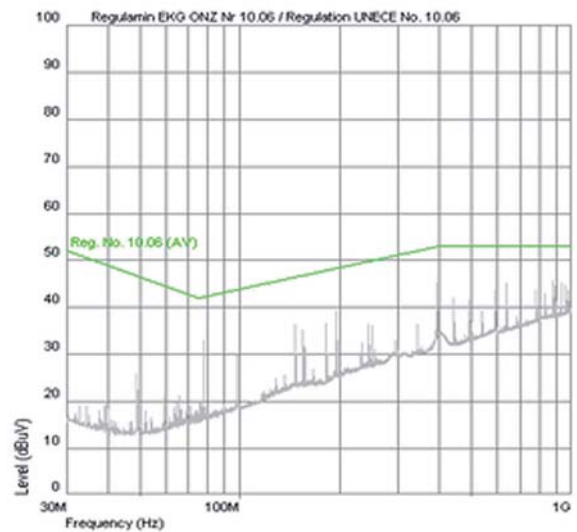
Rys. 13. Wynik badania emisji wąskopasmowej kasownika z ekranowaną obudową (wersja C) [8]

Fig. 13. Narrowband emission test results for validator with shielded case (C version) [8]

Przedstawione wyniki są wypadkową wyników dla 3 położeń. W trakcie badań nie zauważono istotnych różnic wyników dla każdej z pozycji DUT (w dużych otworach w pokrywie urządzenia był zamontowany wyświetlacz LCD TFT z metalową ekranowaną obudową oraz metalowy mechanizm drukarki biletów). Pomiary przedstawione na rys. 13 wskazują znaczne zmniejszenie poziomów emisji wąskopasmowych. Częstotliwość zegara LVDS podczas badań wynosiła 49 MHz. Przekroczenie poziomu emisji dla regulaminu [2] nastąpiło przy częstotliwości ok. 150 MHz, co wskazuje na znaczący udział w zakłóceniach trzeciej harmonicznej częstotliwości LVDS. W pozostałych obszarach poziom emisji zakłóceń elektromagnetycznych z urządzenia znajduje się poniżej dopuszczalnego poziomu granicznego.

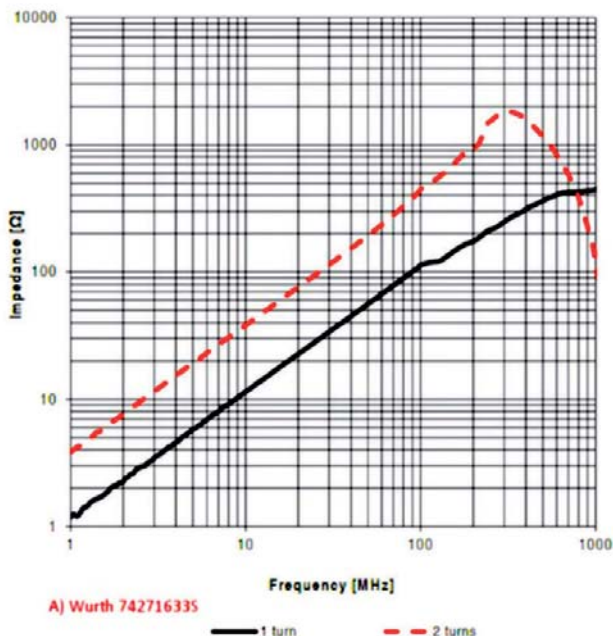
W toku optymalizacji konstrukcji i prowadzonych badań zwrócono uwagę na najsilniejsze źródło promieniowania i emisji zakłóceń, które wciąż stanowi wiązka LVDS. W celu minimalizacji zaobserwowanych zakłóceń utworzono kolejną iterację urządzenia (wersja D), w której wprowadzono dwie zmiany: od strony źródła sygnału (płyta główna) założono na wiązkę wyświetlacza filtr ferrytowy (74271633S Würth Elektronik) oraz od strony odbiornika (wyświetlacz LCD TFT) zastosowano matę ekranującą (30405S Würth Elektronik). Charakterystyki tych elementów przedstawia rys. 14. Wybór najbardziej odpowiedniego filtra ferrytowego oraz maty ekranującej został poprzedzony serią prób z użyciem ogólnie dostępnych komponentów EMC. Poszukiwano elementów charakteryzujących się podwyższonymi parametrami tłumiącymi dla częstotliwości z zakresu od 150 MHz do 1 GHz, w którym znajdowały się niepożądane zakłócenia.

Wynik badań urządzenia w tej wersji przedstawia rys. 15.



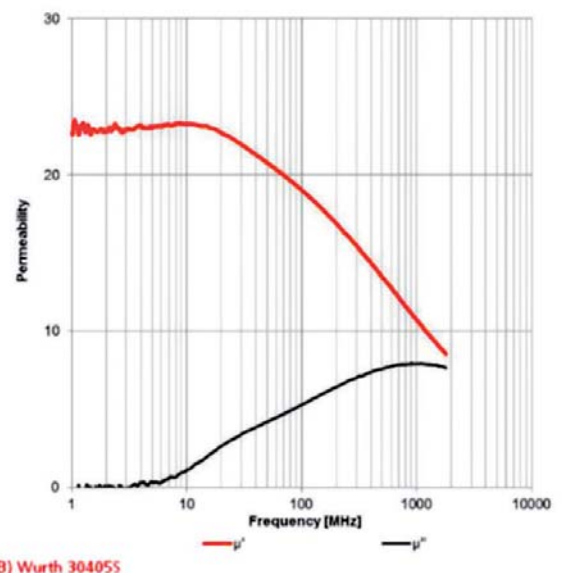
Rys. 15. Wynik badania emisji wąskopasmowej kasownika z ferrytowymi elementami tłumiącymi na wiązce LVDS (wersja D) [8]
Fig. 15. Narrowband emission test results for validator with ferrite-shielded LVDS harness (D version) [8]

Typical Impedance Characteristics:



Rys. 14. Charakterystyki filtra ferrytowego (A) oraz maty ekranującej (B) zastosowanych w wersji D urządzenia
Fig. 14. Frequency characteristics of ferrite filter (A) and absorber sheet (B) used in version D of the device

F Permeability vs. Frequency:



Na rys. 15 widzimy, że ekranowanie obudowy urządzenia w połączeniu z ferrytem oraz matą ekranującą na wiązce LVDS zapewnia spełnienie norm zakłóceń emitowanych z urządzenia z zapasem około 10 dB. Ze względu na konieczność zastosowania w procesie produkcyjnym dodatkowych technik i podzespołów, przebadane rozwiązania konstrukcyjne istotnie podnosi jednostkowy koszt urządzenia. Kolejnej iteracji poza wymogiem spełnienia norm zakłóceń, przyswiecało założenie związane z jednoczesną optymalizacją kosztów produkcyjnych urządzenia.

W toku analizy otrzymanych wyników badań urządzenia w wersji D okazało się, że pozostawienie częstotliwości zegara LVDS w przedziale 40–50 MHz może mieć negatywnie znaczący wpływ na emisję zakłóceń.

Dla fal elektromagnetycznych w próżni i w powietrzu można posłużyć się uproszczoną zależnością:

$$\lambda = c/f$$

gdzie: c – prędkość światła w próżni [m/s], λ – długość fali elektromagnetycznej [m], f – częstotliwość [Hz].

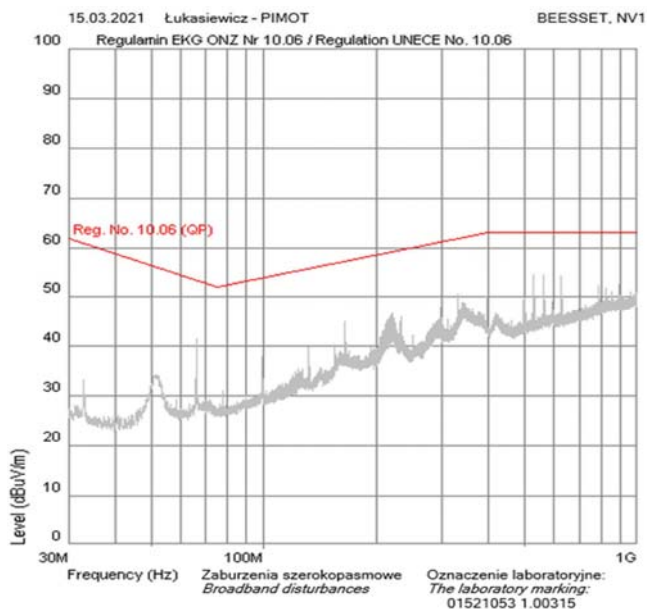


Rys. 16. Widok wnętrza urządzenia w wersji E
Fig. 16. Overview of the interior of validator (E version)

W przypadku trzeciej harmonicznej częstotliwości LVDS wynoszącej 49 MHz długość fali wynosi około 2 m. Co dla zastosowanej w rozwiązaniu długości wiązki wyświetlacza o wartości 0,5 m mimowolnie stanowiło antenę ćwierćfalową tej harmonicznej.

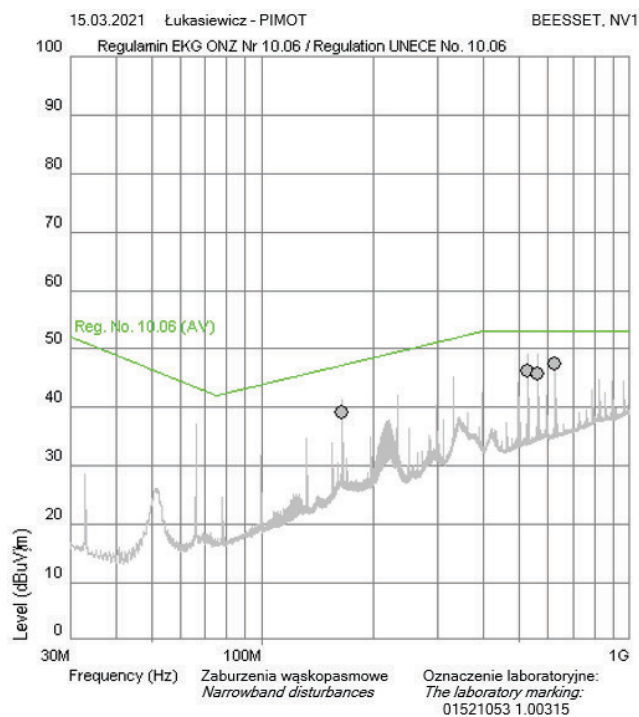
W celu uniezależnienia się od zakłóceń związanych z długością wiązki wyświetlacza dokonano zmiany częstotliwości sygnału LVDS na 33 MHz. Zastosowano wiązkę o dotychczasowej długości (0,5 m), ferryt oraz matę z wersji D. Ponadto z elementów ekranujących na PCB (rys. 9) zdjęto metalowe pokrywy i zrezygnowano z ekranowania obudowy urządzenia (powłoka ekranująca). Opisaną modyfikację urządzenia nadano oznaczenie wersja E (rys. 16) i dokonano ponownej weryfikacji pod kątem emisji zakłóceń elektromagnetycznych. Wynik badań urządzenia w wersji E przedstawiono na rys. 17 oraz 18.

Badania wersji E urządzenia wykazały znaczne zmniejszenie poziomów emisji zakłóceń emitowanych z urządzenia. Zapas poziomu sygnału wynosił minimalnie ok. 5 dB i zapewniał spełnienie wymagań regulaminu [2].



Rys. 17. Wynik badania emisji szerokopasmowych kasownika w finalnej wersji E [8]

Fig. 17. Broadband emission test results for the final hardware version E of validator [8]



Rys. 18. Wynik badania emisji wąskopasmowych kasownika w finalnej wersji E [8]

Fig. 18. Narrowband emission test results for the final hardware version E of validator [8]

4. Wnioski

Zasadniczym celem przeprowadzonych w procesie konstrukcyjnym badań było określenie optymalnej konfiguracji sprzętowej wymaganej do osiągnięcia poziomów zakłóceń elektromagnetycznych pozwalających spełnić wymagania Regulaminu ONZ nr 10.06. W opisanym procesie badawczo-homologacyjnym zastosowane podejście iteracyjne pozwoliło osiągnąć oczekiwane rezultaty. Po jednoznacznym zdefiniowaniu najważniejs-

szeźo źróđła zakłóceń, jakim okazał się sygnał LVDS oraz sposobu jego promieniowania (płyta główna i wiązka LVDS) zastosowano metody ograniczające poziomy emisji przy jednoczesnej optymalizacji kosztowej projektowanego rozwiązania. Należy podkreślić złożoność problemu, która wynikała z jednoznacznie określonych gabarytów obudowy urządzenia, jego funkcji (zastosowane podzespoły) oraz zamiaru jego komercjalizacji (koszty jednostkowe urządzenia). W trakcie opisanego procesu wykorzystano następujące techniki ograniczania emisji:

- zmiana architektury wewnętrznej urządzenia,
- modyfikacja PCB głównego komponentu elektronicznego (płyta główna),
- modyfikacje wiązek kablowych i zastosowanie filtrów ferrytowych,
- ekranowanie obudowy urządzenia,
- modyfikacja oprogramowania (częstotliwość LVDS).

Podziękowanie

Artykuł powstał w oparciu o wyniki realizacji projektu WND-RPPD.01.02.01-20-0141/19 „Inteligentny kasownik – kompleksowe rozwiązanie w transporcie publicznym”.

Bibliografia

1. Rybak T., Steffka M., *Automotive Electromagnetic Compatibility (EMC)*, Springer, 2004, DOI: 10.1007/b101849.
2. Regulamin nr 10 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:42017X0260&from=DA>]
3. LVDS: The ribbon cable connection. Texas Instruments [www.ti.com/lit/an/slyt172/slyt172.pdf?ts=1589661046573]
4. Coombs C.F., Jr., Holden H.T., *Printed Circuits Handbook*, Sixth Edition 2008, The McGraw-Hill Companies
5. DC-DC Converters Suppress EMI: Minimizing EMI at its Source [www.powerselectronics.com/content/article/21857687/dcdc-converters-suppress-emi-minimizing-emi-at-its-source]
6. Board Design Guidelines for LVDS Systems, Altera [http://ohm.bu.edu/~pbohn/CMS_DCC/Documentation/lvds-boardwp.pdf]
7. https://www.teseq.com/products/downloads/brochure/GTEM_Cells.pdf
8. CISPR 25:2016 *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*

Methods of Improving EMC for Ticket Validator According to UNECE Regulation No. 10.06

Abstract: The article presents the results of measurements and design changes to the certain electronic device, the purpose of which was to meet the requirements for the levels of electromagnetic disturbance emission from the device in accordance with the UNECE Regulation No. 10.06. The successive stages of the research are described. The subsequent modifications of the device in accordance to the research findings are also described. The subject of the research was the validator of paper and electronic tickets, enabling the purchase of tickets with the use of a contactless payment card and a city card. In the course of the research, the effectiveness of selected methods of ensuring the electromagnetic compatibility of the device was presented.

Keywords: EMI, Automotive, LVDS, EMC, PCB, ticket validator

mgr inż. Grzegorz Pawłowicz

g.pawlowicz@beeset.com
ORCID: 0000-0002-6121-9888

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej (2008). Od 2008 r. związany z branżą automotive. Jego główne zainteresowania dotyczą projektowania rozwiązań sprzętowych urządzeń elektronicznych dla branży automotive, technologii produkcji PCB, automatyzacji procesów SMT oraz zagadnień DFM.

