

Kalibracja modelu oddziaływań EMC w gnieździe zrobotyzowanym

Streszczenie. Przedstawiono kalibrację modelu oddziaływań zaprezentowanego w PE 02/2012 w celu określenia poziomów emisji zaburzeń wewnątrz gniazda zrobotyzowanego i wymaganych poziomów odporności urządzeń w gnieździe, aby praca mogła odbywać się bez zakłóceń i aby było zapewnione bezpieczeństwo na stanowisku pracy wymagane przepisami prawnymi. Kalibracja została oparta o dane zawarte w stosownych normach i ponadto o dane dotyczące propagacji fal elektromagnetycznych.

Abstract. The paper deals with calibration of the EMC interactions model presented in PE 02/2012 in purpose to designation the levels of disturbance emission inside a robotic stationary installation and immunity levels of the equipment so, as the work is done without interferences. The basis of calibration are suitable standards and data concerning propagation of electromagnetic waves.
(Model calibration of EMC interactions in a robotic stationary installation.)

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, roboty przemysłowe, produkcja przemysłowa, instalacje stacjonarne

Keywords: electromagnetic compatibility, industrial robots, manufacturing, fixe installations

doi:10.12915/pe.2014.07.45

Wstęp

Zagadnienie bezpieczeństwa systemów i instalacji zrobotyzowanych, wiążące się z bezpieczeństwem funkcjonalnym i oddziaływaniem zagrożeń elektromagnetycznych było od wielu lat przedmiotem zainteresowania różnych autorów, w tym i autora niniejszej publikacji. Haseborg [2] wskazał, opracowana z zakresu EMC dotyczące przemysłu na drugiej pozycji swojej listy ważności. Monroe [4], Bürger i inni [5] oraz Woern i inni [12] zajęli się bezpośrednim powiązaniem robotyki i inżynierii EMC. Gonschorek i Singer [6] przedstawili szerokie spektrum zagadnień związanych z emisją zaburzeń EMC w warunkach przemysłowych oraz metod ich neutralizowania, w tym prosty model oddziaływań. Monroe [3] w raporcie rocznym IEEE przedstawił zagadnienia związane z uzyskaniem zgodności EMC. Znalaziono też dwie notki [10,11] dotyczące potrzeby wykonania analizy EMC w przypadku systemów wielkich i sprzętu wojskowego.

Keith Armstrong [7] i Missala [8,9] zwrócili uwagę na powiązania EMC i bezpieczeństwa funkcjonalnego w obszarze wyposażenia terowanego elektronicznie,

Zapewnienie kompatybilności urządzeń i instalacji stacjonarnych jest przedmiotem aktów prawnych [13, 14], zaś wymagania dotyczące ograniczenia oddziaływania zaburzeń EMC na człowieka są podane w [5]. Normy robotowe [16,17,18] nie podają żadnych informacji z dziedziny zaburzeń elektromagnetycznych.

Cel opracowania

Celem opracowania modelu EMC gniazda zrobotyzowanego zaprezentowanego w [1] było przeprowadzenie analizy oddziaływań EMC i sprawdzenie czy w obecnym stanie dobrej praktyki inżynierskiej gniazdo produkcyjne jest bezpieczne od względem tych oddziaływań.

Postępując się oznaczeniami wprowadzonymi w [1], można stwierdzić, że gniazdo będzie bezpieczne, gdy wykaże się, że wszystkie oddziaływania skrośne reprezentowane przez elementy M_{ij} będą się zerami tj. nie będzie występować oddziaływanie w obszarze EMC. Oddziaływanie należy uznać za zerowe (tj. $M_{ij} = 0$ dla każdego i oraz każdego j) gdy odstęp między poziomami odporności i odpowiednimi poziomami emisji tych samych zaburzeń, mierzony w decybelach, będzie większy lub

równy wielkości wynikającej z teorii propagacji fal elektromagnetycznych.

Omawiane odstępy zostaną oszacowane na podstawie odpowiednich norm EMC reprezentujących poziom dobrej praktyki inżynierskiej.

Poziomy emisji i odporności – zestawienie

W celu zwiększenia czytelności tekstu powtórzono za [1] przyjęte tam oznaczenia rodzajów zaburzeń;

- k = 1 – wyładowania elektrostatyczne (ESD),
- k = 2 – promieniowane polem elektromagnetycznym,
- k = 3 – promieniowane impulsowym polem magnetycznym o częstotliwości sieci,
- k = 4 – przewodzone szybkie stany przejściowe,
- k = 5 – przewodzone o częstotliwości radiowej,
- k = 7 – przewodzone w postaci zapadów, krótkich przerw i zmian napięcia,
- k = 8 – przewodzone asymetryczne w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 150 kHz.

Zaburzenie s_k generowane przez strefę i oznaczono s_{ki} , zaś jej odporność na to zaburzenie – przez s_{kj} .

Oddziaływanie M_{ij} będzie określone wzorem (1).

$$(1) \quad M_{ij} = s_{jk} - s_{ik}$$

Tabela 1. Przypisanie norm do stref

K	Rodzaj urządzenia	emisja	odporność
1	Robot	PN-EN 61000-6-4 [21]	PN-EN 62061 [29]
2	Układ sterowania robota	PN-EN 61326-1 [26]	PN-EN 62061 [29]
3	Układ zasilania robota	PN-EN 61800-3 [28] EN 61204-3 [25]	PN-EN 62061 [29]
4	Spawarka(technologiczne)	PN-EN 60974-10 [24] EN 62135-2 [30]	PN-EN 62061 [29]
5	Transporter (obiekt)	PN-EN 61326-1 [26]	PN-EN 619+A1 [22]
6	Wyposażenie ochronne	PN-EN 61326-1 [26]	PN-EN 61496-1 [27]
7	Sterowanie nadrzędne	PN-EN 55022	PN-EN 62061 [29]
8	Środowisko zewnętrzne	PN-EN 61326-1 [26] PN-EN 62061 [29]	2013/35/WE [15]

Ze względu na niedostępność danych pochodzących z pomiarów przeprowadzonych na „in situ” na stacjonarnych stanowiskach zrobotyzowanych, jedynym dostępnym

źródłem danych są normy o zasięgu międzynarodowym. Źródło to jest miarodajne, gdyż zawarte w nim dane są poparte uzgodnieniami międzynarodowymi.

Przypisanie norm określających emisję i/lub odporność, stanowiących materiał źródłowy podający dobrą praktykę inżynierską, zestawiono w tabeli 1.

Odpowiednie wartości zaburzeń i odporności, przeliczone na skalę decybelową zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Poziomy emisji zaburzeń i odporności

Robot (i=j=1)			Urz. obiektowe(i=j=5)		
k	S _{1k}	P _{1k}	k	S _{5k}	P _{5k}
1	b. d.	198	1	b. d.	198
2	80	140	2	60	140
3	b. d.	150	3	b. d.	150
4	b. d.	192	4	b. d.	192
5	b. d.	186	5	B. d.	180
6	90	140	6	90	140
7	b. d.	?	7	b. d.	b. d.
8	128	b. d.	8	b. d.	b. d.

Układ ster. (i=j=2)			Urz. Ochronne (i=j=6)		
k	S _{2k}	P _{2k}	k	S _{6k}	P _{6k}
1	b. d.	198	1	b. d.	198
2	60	140	2	60	140/150
3	b. d.	150	3	b. d.	150
4	b. d.	192	4	b. d.	192
5	b. d.	186	5	b. d.	186
6	90	140	6	90	130/140
7	b. d.	b. d.	7	b. d.	b. d.
8	128	b. d.	8	128	b. d.

Układ zasilania (i=j=3)			Sterowanie nadrz. (i=j=7)		
k	S _{3k}	P _{3k}	k	S _{7k}	P _{7k}
1	b. d.	198	1	b. d.	198
2	60	140	2	60	140
3	b. d.	150	3	b. d.	150
4	b. d.	180	4	b. d.	180
5	b. d.	180	5	b. d.	180
6	60	140	6	60	140
7	b. d.	b. d.	7	b. d.	b. d.
8	128	b. d.	8	128	b. d.

Tabela 2. Poziomy emisji zaburzeń i odporności – cd.

Urz. technolog. (i=j=4)			Środowisko (i=j=8)		
k	S _{4k}	P _{4k}	k	S _{8k}	P _{8k}
1	b. d.	198	1	b. d.	b. d.
2	78	140	2	80	175
3	b. d.	150	3	b. d.	175
4	b. d.	180	4	148	b. d.
5	b. d.	180	5	b. d.	b. d.
6	130	140	6	100	b. d.
7	b. d.	b. d.	7	b. d.	b. d.
8	128	b. d.	8	148	206

UWAGA: w przypadku występowania więcej niż jednej normy określającej emisję lub odporność dotyczące danej grupy zaburzeń przyjęto wyższe poziomy emisji i niższe poziomy odporności wymagane w tych normach.

Interpretacja oddziaływań

Wyrazy M_{ij} macierzy oddziaływań są wektorami ośmioelementowymi, każdy element odpowiada jednemu z obszarów oddziaływań (k = 1...8). Takich wektorów będzie 64, co wynika z macierzy oddziaływań przedstawionej w [1]. Ze względu na czytelność opracowania zaprezentowano dwa z pośród tych 64 wektorów w tabelach 3 i 4.

Tabela 3. Wektor M₁₂:robot – układ sterowania.

k =	1	2	3	4	5	6	7	8
M ₁₂	0	60	0	0	0	50	0	64
M _{12zr}	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4. Wektor M₂₁ Układ sterowania – robot.

k=	1	2	3	4	5	6	7	8
M ₂₁	0	80	0	0	0	50	0	64
M _{21zr}	0	0	0	0	0	0	0	0

Redukcja została przeprowadzona zgodnie z założeniami. Podawany w źródłach telekomunikacyjnych [31] odstęp zapewniający brak oddziaływania jest 30 dB, przy większym odstępnie przyjęto brak oddziaływania.

Podsumowanie

Przedstawiona propozycja kalibrowania modelu oddziaływań EMC w gnieździe zrobotyzowanym umożliwia wykazanie zgodności z wymaganiami zasadniczymi zamieszczonymi w dyrektywie 2004/108/WE [13]. Zaprezentowany model oddziaływań i metoda kalibracji mogą być dostosowane do dowolnego gniazda produkcyjnego zautomatyzowanego i/lub zrobotyzowanego i stanowią więc metodę ogólną.

Opracowanie zostało sfinansowane ze środków programu pt. „Grafenowe pokrycia specjalnych kół zębatych i łożysk ślizgowych „ – Graphtrib, umowa Nr GRAF-TECH/NBCR/05/13/2012 o wykonani i finansowanie projektu realizowanego w ramach programu „GRAPH-TECH:

LITERATURA

- [1] Missala T.: Model oddziaływań EMC w gnieździe zrobotyzowanym. *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2022), nr.2, 1-3
- [2] ter Haseborg. J. L.: Electromagnetic Compatibility. Fields of Research. <https://www.tuhh.de/alt/mt/research/electromagnetic-compatibility/fields-of-research.html>
- [3] Montrose M. L.: Concerns Related to EMC Compliance. *IEEE Reliability Society 2009 Annual Technology Report*. <http://www.Paris.utdallas.edu/IEEE-RS-tr/document/2009/2009-03.pdf>
- [4] ZamirMontrose M.L.: Robotics and EMC Engineerig. I compliance Magazin, www.incompliancemag.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1057:robotics-emc-engineering&catid=47:the-future-of-ekmc-engineering...
- [5] Bürger Th., Laible U., Pritschow G.: Design add Test a safe Numerical Control for Robotic Surgery. *CIRP ANNALS – Manufacturing Technology*, Vol.50 (2001), Issue 1, 296-298, Elsevier
- [6] Gonschorek K.H., Singer H.: Elektro-Magnetische Verträglichkeit. Grundlagen, Analysen, Maßnahmen. B.G.Teubner, Stuttgart, 1992.
- [7] Armstrong K.: EMC-Related Functional Safety of Electronically Controlled Equipment. *Compliance Engineering*. www.ce-mag.com/archive/01/Spring?Armstrong.html
- [8] Missala T.: Electromagnetic Compatibility versus Functional Safety – interactions problems. *Monografia wyd. Komitetu Bezpieczeństwa Funkcjonalnego*, Gdańsk, 2007, s. 115-132.
- [9] Missala T.: Aspekty kompatybilności elektromagnetycznej w bezpieczeństwie funkcjonalnym. *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 83 nr 9/2007, s. 4-9.
- [10] Osbum J.D.M.: The role of systems EMC analysis in large system EMC management by equipment EMC assurance. *IEEE 1991 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. 1991, Xplore, http://www.ieeeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=148211&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D148211
- [11] Zamir R.: System level EMC – from theory to practice. *EMC 2005 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. (Volume 3), 2005. http://www.ieeeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1513622&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1513622
- [12] Nagelmueller P., Woern H., Laenge T.: Electromagnetic Compatibility of Robot Cells for Industrial Applications.

Universität of Karlsruhe (TH), Institute for Process Control and Robotics. www.ipr.ira.uka.de/get.php?id=217

- [13] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/108/WE z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylającej dyrektywę 89/336/EWG;
- [14] Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. O kompatybilności elektromagnetycznej (Dz. U. RP nr 82/2007 r. poz. 556; ze zmianą w Dz. U. Nr 107 z 2010 r., poz. 679)
- [15] Dyrektywa 2013/35/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z d. 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 179/1) z dn. 29.6.2013.
- [16] PN-EN ISO 10218-1:2011E, Roboty i urządzenia dla robotyki – Wymagania bezpieczeństwa dla robotów przemysłowych – Część 1: Roboty
- [17] PN-EN ISO 10218-2:2011E, Roboty i urządzenia dla robotyki – Wymagania bezpieczeństwa dla robotów przemysłowych – Część 2: System robotowy i integracja
- [18] ISO/DIS 14842E, Robots and robotic devices – Safety requirements for non-industrial robots – Non-medical personal care robot.
- [19] PN-EN 61508-1:2010P, Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/ elektronicznych/ programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem. Część 1: Wymagania ogólne.
- [20] IEC/TC 61000-1-2:2001E, Electromagnetic Compatibility – Part 1-2: General – Methodology for the achievement of the functional safety of electrical and electronic equipment with regard to electromagnetic phenomena.
- [21] PN-EN 61000-6-4:2008 + A1:2012P, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-4: Normy ogólne - Norma emisji w środowiskach przemysłowych.
- [22] PN-EN 619 + A1:2011P, Urządzenia i systemy transportu ciągłego – Wymagania bezpieczeństwa i EMC dotyczące urządzeń do transportu mechanicznego ładunków jednostkowych. (oryg.)
- [23] PN-EN 60947P (pakiet norm), Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa.
- [24] PN-EN 60974-10:2010P, Sprzęt do spawania łukowego – Część 10: Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).
- [25] PN-EN 61204-3:2006P Zasilacze niskiego napięcia prądu stałego – Część 3: Kompatybilność elektromagnetyczna.
- [26] PN-EN 61326-1:2009P + Ap:2011E, Wyposażenie elektryczne do pomiarów, sterowania i użytku w laboratoriach. Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) – Część 1: Wymagania ogólne.
- [27] PN-EN 61496-1:2007P, Bezpieczeństwo maszyn – Elektrozłute wyposażenie ochronne – Część 1: Wymagania ogólne i badania.
- [28] PN-EN 61800-3:2008P, Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości – Część 3: Wymagania dotyczące EMC i specjalne metody badań.
- [29] PN-EN 62061:2008P+AC:2011P, Bezpieczeństwo maszyn – Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem.
- [30] PN-EN 62135-2:2010P, Sprzęt do zgrzewania rezystancyjnego – Część 2: Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).
- [31] *Radioelektryka. Poradnik inżyniera. Warszawa 1969 r. WNT*

Autor: prof. dr inż. Tadeusz Missala, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa, E-mail: tmissala@piap.pl.