

ASPEKTY KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZ- NEJ W BEZPIECZEŃSTWIE FUNKCJONALNYM

Zaburzenia elektromagnetyczne mają istotny wpływ na bezpieczeństwo programowalnych urządzeń sterujących maszyn, robotów i zintegrowanych systemów produkcyjnych, gdyż mogą zakłócać ich pracę i prowadzić do stanów zagrożających. Zagadnienie to nie jest dostatecznie uwypuklone w odnośnych normach. Referat wskazuje na wagę problemu i na drogi do ograniczenia wpływu zaburzeń na pracę urządzeń sterujących.

EMC ASPECTS IN FUNCTIONAL SAFETY

Electromagnetic disturbances can influence, on an important manner, the safety of the programmable control equipment of machines, robots and integrated manufacture systems, because can interfere their work and cause the hazard conditions. This problem isn't satisfactory treated in the relevant standards. The paper show the importance of the problem and the ways to limit the emc disturbances influence on the work of the control equipment.

1. WSTĘP

Otrzymanie urządzenia o konstrukcji bezpiecznej to znaczy takiego, że nie zagraża ludziom i środowisku w stanie pracy normalnej, w stanie uszkodzenia oraz w przypadku niedbałej obsługi i utrzymuje te właściwości w założonym okresie czasu z określonym prawdopodobieństwem, wymaga postępowania metodycznego, poczynwszy od tworzenia koncepcji urządzenia. Wyodrębnić należy dwie główne fazy postępowania: fazę a priori tj. poprzedzającą wykonanie urządzenia i fazę a posteriori tj. następującą po jego zrealizowaniu.

Jak wykazują statystyki [4], zdecydowanie największa liczba wypadków spowodowanych przez urządzenia programowalne jest kwalifikowana jako błędy w obsłudze, zaś z pozostałych połowa to zawinione przez zaburzenia elektromagnetyczne.

Większość wypadków może być eliminowana w drodze postępowania wg procedur przewidzianych do uzyskania bezpieczeństwa funkcjonalnego [1,6], w tym szczególnie można zmniejszyć liczbę wypadków wywołanych niską odpornością na zaburzenia elektromagnetyczne, m.in. przez odpowiednie projektowanie [2,5], to jest w fazie a priori. Takie postępowanie jest, zdaniem autora, szczególnie ważne jest, zdaniem autora, gdyż umożliwia, przy najmniejszej możliwej wysokości nakładów, zredukowanie do minimum groźby wypadków wynikających z niedostatecznej odporności na zaburzenia elektromagnetyczne. Przystępowanie do oceny odporności na zaburzenia elektromagnetyczne dopiero w fazie badań końcowych produktu grozi koniecznością ponoszenia bardzo dużych nakładów na jego przeprojektowanie i powtórne wykonanie. Rozpatrzono więc uwzględnienie tej problematyki w początkowych fazach cyklu trwałości bezpieczeństwa [1,6], to jest opracowania koncepcji i projektu.

2. KONCEPCJA

Postępowanie w fazie koncepcji obejmuje m.in.: funkcjonalność, zagadnienia bezpieczeństwa, analizę zagrożeń i ryzyka oraz aspekty KEM do wprowadzenia na tym etapie. Faza kończy się walidacją.

2.1. Koncepcja funkcjonalna

Pierwszym krokiem jest szczegółowe sformułowanie opisu funkcjonalnego projektowanego urządzenia lub systemu. Opis ten powinien podawać „misję” przedmiotu projektowania oraz jego zadania i funkcje. Przyjęto następujące definicje wg [16]:

- **misja** - złożone działanie przypisane urządzeniu lub systemowi, mające umożliwić osiągnięcie określonego celu w określonym przedziale czasu i pod określonymi warunkami;
- **zadanie** - czynność kompletna logicznie, stanowiąca część misji urządzenia lub systemu;
- **funkcja** - czynność elementarna wykonywana przez urządzenie lub system, która, powiązana z innymi czynnościami elementarnymi (funkcjami), umożliwi urządzeniu lub systemowi wykonać zadanie;
- **moduł** - jednostka „dyskretna” zdolna do wykonywania wyodrębnionych funkcji i która może łatwo przyłączana do innych jednostek lub zestawiana z nimi;
- **element** - część materialna, zawierająca sprzęt i/lub oprogramowanie, która może być odrębnie rozważana i sprawdzana.

Opis funkcjonalny ma dostarczyć danych do dalszych analiz, w szczególności analiz związanych z bezpieczeństwem, dlatego też powinien podawać:

- wszystkie zadania jakie będą realizowane w przewidywanych zastosowaniach;
- wszystkie realizowane funkcje pogrupowane jako: interfejsowe do procesu (w tym sterownicze), przetwarzania danych, komunikacyjne, interfejsowe człowiek-proces, interfejsowe do wyposażenia zewnętrznego;
- wszystkie moduły i elementy zaangażowane do realizacji poszczególnych zadań i funkcji.

Przykładowo można zauważyć, że funkcje sterownicze mogą rezydować lub być podzielone między:

- moduły autonomiczne z własnym pobieraniem danych i pracujące w czasie rzeczywistym;
- moduły sterownia procesu z wydzielonymi modułami pobierania i wydawania danych oraz przesyłu danych między nimi przez sieć komunikacyjną;
- komputer zewnętrzny realizujący zadania sterowania procesu, wykorzystujący przemysłowy system pomiarów i sterowania do pobierania i wydawania danych i zadań interfejsu z człowiekiem.

Tak opracowany model ułatwia precyzyjne określenie granic i możliwości projektowanego systemu.

2.2. Bezpieczeństwo

Istotnym krokiem w opracowaniu koncepcji jest sformułowanie założeń dotyczących bezpieczeństwa. Będą to kategoria bezpieczeństwa i nienaruszalność bezpieczeństwa funkcjonalnego.

Poziomy nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL) zostały zdefiniowane w [6]; przedstawiono je w [1 i 3]. Kategorie bezpieczeństwa zdefiniowano w [13], a przedstawiono w [3]. Wybór wynika z rodzaju zastosowania i analizy zagrożeń i ryzyka, której metodyka jest podana w [6 i 15], a ponadto została przedstawiona w [1,2,3].

Dokumenty normalizacyjne i publikacje posługują się pojęciem systemu związanego z bezpieczeństwem to jest takiego, który implementuje funkcje bezpieczeństwa wymagane do osiągnięcia stanu bezpiecznego urządzenia (systemu) sterowanego/ochranianego lub do utrzymania stanu bezpiecznego tego urządzenia (systemu) oraz jest przewidziany, sam lub w powiązaniu z innymi systemami związanymi z bezpieczeństwem, do osiągnięcia koniecznego poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa w implementacji wymaganych funkcji bezpieczeństwa [1]. Funkcje związane z bezpieczeństwem - wybrane z [13] to m.in.: stop, stop awaryjny, reset ręczny; start i restart; czas odpowiedzi; parametry związane z bezpieczną pracą: położenie, prędkość, temperatura, ciśnienie; lokalne funkcje sterowania np. panel przenośny/podwieszony; ręczne zawieszanie funkcji bezpieczeństwa.

Praktycznie biorąc każdy programowalny układ automatyki realizuje tak, zdefiniowane funkcje związane z bezpieczeństwem.

2.3. Analiza zagrożeń i ryzyka

Przy analizie zagrożeń i ryzyka ważne są następujące pojęcia:

- Zagrożenie (hazard) - możliwość doznania urazu lub nadwyrężenia zdrowia [1].
- Ryzyko (risk) - kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia i stopnia możliwego urazu lub nadwyrężenia zdrowia w sytuacji zagrożenia [1].

W metodyce podanej w [10] rozróżnia się następujące stopnie możliwego urazu:

- niewielkie urazy;
- poważne trwałe urazy dotyczące jednej lub więcej osób; śmierć jednej osoby;
- śmierć kilku osób;
- śmierć bardzo wielu osób.

Natomiast w [13] rozpatruje się tylko dwa pierwsze przypadki, gdyż jedynie one mogą mieć miejsce przy obsłudze maszyn.

Kolejnym parametrem jest częstość i czas trwania ekspozycji na narażenia; rozróżnia się:

- rzadką lub nieco częstszą ekspozycję w strefie narażenia;
- częstą do ciągłej ekspozycje w strefie narażenia.

Dalej rozpatruje się możliwość uniknięcia sytuacji zagrażającej: możliwą pod pewnymi warunkami i zupełny brak możliwości.

Ostatnim parametrem jest prawdopodobieństwo nieoczekiwanego wystąpienia sytuacji zagrażającej:

- bardzo małe prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji zagrażającej i tylko kilka niespodziewanych pojawień się jest prawdopodobne;
- małe prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji zagrażającej i tylko kilka niespodziewanych pojawień się jest prawdopodobne;
- istnieje relatywnie duże prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji zagrażającej i częste niespodziewane pojawienia się są prawdopodobne.

Rozpatrzenie koncepcji funkcjonalnej powinno dać odpowiedź na pytanie, dotyczące niezbędnej kategorii bezpieczeństwa lub koniecznego poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa funkcjonalnego.

Każde zadanie, które ma być realizowane przez układ oraz każda jego funkcja powinny być przeanalizowane z punktu widzenia zagrożeń i ryzyka wynikających z upośledzenia ich realizacji. Zadanie lub funkcja, których utrata powoduje największe ryzyko wyznaczają wymaganą kategorię urządzenia i wymagany poziom nienaruszalności bezpieczeństwa funkcjonalnego.

Kolejnym krokiem jest identyfikacja modułów i elementów sprzętowych i programowych, które będą użyte do realizacji planowanych zadań i funkcji, w szczególności zadań i funkcji niosących najwyższy poziom ryzyka.

2.4 Zagadnienia KEM

Podana w [15] metodyka oceny ryzyka przewiduje rozpatrzenie wpływu czynników różnej natury na utratę lub upośledzenie realizacji zadań lub funkcji. Wymienia się następujące grupy zagrożeń: mechaniczne, elektryczne (dotknięcie części czynnych, zjawiska elektrostatyczne), termiczne, wynikające z hałasu, z działania wibracji, z działania promieniowania, powodowane przez materiały i substancje (szkodliwe gazy, bakterie i wirusy, zagrożenie wybuchem), wynikające z zaniedbania zasad ergonomii, uszkodzenie zasilania. Jak widać pominięto wpływ oddziaływania innych czynników elektromagnetycznych niż zjawiska elektrostatyczne, co jest istotnym mankamentem.

Do uzyskania pełniejszej oceny zachowania się programowalnych urządzeń automatyki w strefie działania zaburzeń elektromagnetycznych, jaką jest obecnie normalne środowisko przemysłowe i aby uczynić zadość wymaganiom Dyrektywy Kompatybilności Elektromagnetycznej [17], należy przeanalizować:

- zagrożenia wprowadzane do otoczenia jako wynik emisji zaburzeń elektromagnetycznych: zakłócenia radioelektryczne w paśmie częstotliwości radiowych i trzaski radioelektryczne - tu należy wziąć pod uwagę wymagania [18 do 21];
- zagrożenia wynikające z niedostatecznej odporności na działanie zaburzeń elektromagnetycznych; tu mają zastosowanie wymagania [22 do 24].

Zatrzymując się na tym ostatnim zagadnieniu, jako istotnym z punktu widzenia bezpieczeństwa urządzeń sterowanych, należy przeanalizować wpływ co najmniej następujących zaburzeń:

- wyładowania elektrostatyczne;
- promieniowanie elektromagnetyczne w paśmie 26 MHz do 1 GHz
- serie szybkich impulsów 5ns / 50 ns
- udary: napięciowe 1,2μs / 50μs i 10μs / 700μs i prądowe 8μs / 20μs

- zakłócenia przewodzone w paśmie 9 kHz do 80 MHz
- pola magnetyczne o częstotliwości sieci energetycznej
- dynamiczne zapady, spadki i podwyższenia napięcia.

Modele i metody matematyczne tej analizy przekraczają ramy referatu; można je znaleźć np. w [5].

3. PROJEKT

Walidacja koncepcji upoważnia do podjęcia prac projektowych. Rozpatrzone zostaną tylko aspekty kompatybilności elektromagnetycznej to jest poziomy analizy i wprowadzania zabezpieczeń przed działaniem zaburzeń.

3.1. Poziom obwodów i aparatów

3.1.1. Obwody i płyty drukowane [25]

W zakresie projektowania należy, m.in., zwrócić uwagę na:

- eliminowanie pętli przy prowadzeniu ścieżek i łączeniu do nich elementów;
- odsprzęganie elementów od linii zasilania bezpośrednio przy łączonych elementach;
- umieszczanie obwodów wysokiej częstotliwości przy źródle zasilania, im dalej od niego tym obwody niższej częstotliwości;
- dopasowanie napięć zasilana wykonywać indywidualnie, za pomocą przetwornic dc/dc;
- stosowanie filtrów dolnoprzepustowych na liniach sygnałowych, prawidłowe ich zamykanie oraz nie pozostawianie końcówek "pływających";
- ograniczanie szybkości narastania i opadania zboczy impulsów zegarowych i sygnałowych;
- prowadzenie ścieżek bez meandrów, dodatkowych odprowadzeń, prostopadle względem siebie, gdy są w dwu warstwach, otaczanie elementów szczególnie czułych pierścieniami ochronnymi.
- stosowanie elementów w pełni przetestowanych

3.1.2. Aparaty i moduły konstrukcyjne [5]

Tu podstawowymi zabiegami są:

- uziemianie i umasianie - zaleca się łączenie do masy w jednym punkcie ścieżki umasiania (konfiguracja gwiazdista) przy częstotliwościach do 100 kHz i masy jako płaszczyzny pokrywającej płytę w przypadku częstotliwości wyższych;
- odsprzęganie przestrzenne tj. odsuwanie od siebie obwodów, które mogą się wzajemnie zakłócać;
- ekranowanie, tak poszczególnych elementów, zespołów jak i całych aparatów, to ostatnie przez stosowanie obudów ekranowych, elementów tłumiących i otworach i ekranowanych złączy;
- właściwe prowadzenie przewodów wewnątrz aparatów: rozdzielenie przestrzenne przewodów zasilania od sygnałowych, ekranowanie przewodów, krzyżowanie przewodów i wiązek

pod kątem prostym, stosowanie przewodów wielożyłowych taśmowych, par skręcanych i przewodów współosiowych (koncentrycznych);

- w przypadku łączenia dużej liczby modułów, stosowanie zbiorczych płyt drukowanych.

3.2. Poziom układów (systemy)

Przy rozpatrywaniu złożonego systemu, np. gniazda produkcyjnego, zaleca się [5] sporządzenie modelu strefowego. Jego założeniem jest zapewnienie aby:

- wszystkie urządzenia elektryczne i elektroniczne mogły pracować równocześnie, bez wzajemnego oddziaływania;
- niezamierzone działanie jednoczesne różnych urządzeń było wykluczone;
- wszystkie urządzenia nadawcze mogły pracować równocześnie, przy 10 % przesunięciu pasma częstotliwości.

Podział na strefy umożliwia wprowadzenie właściwych środków przeciwzakłóceńowych. Wśród tych środków rozróżnia się środki wewnątrz systemowe i środki zewnętrzne. Środkami wewnątrz systemowymi są:

- umasianie - masa to całość połączonych elektrycznie części metalowych konstrukcji nośnych, której potencjał przedstawia sobą potencjał odniesienia; umasianie dotyczy: obwodów zasilania, przewodów i płaszczyzn odniesienia potencjału, obudów aparatów i urządzeń nieelektrycznych
- ekranowanie: omówiony powyżej model strefowy zakłada, że między strefami jest pewne i całkowite odsprzężenie elektromagnetyczne, które może być osiągnięte albo przez zachowanie dostatecznie dużych odległości, albo przez ekranowanie, do ekranowania całych fragmentów wyposażenia lub instalacji włącznie;
- filtrowanie, ze zwróceniem szczególnej uwagi na filtrowanie wszystkich połączeń między strefami, a także przewodów idących tranzytem;
- okablowanie przy zachowaniu przede wszystkim przestrzennego oddzielenia przewodów i kabli należących do różnych obwodów, które mogłyby być źródłami wzajemnego zakłócania się.

Przykładowe zewnętrzne środki ochronne przed działaniem zaburzeń elektromagnetycznych to:

- środki ochronne do ograniczania przepięć;
- ochronniki do ograniczenia uderów

4. PODSUMOWANIE

Zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej, ze względu na złożoność analizy teoretycznej i obserwowalność jedynie ich skutków, są trudnym fragmentem oceny zagrożeń i ryzyka w zagadnieniach bezpieczeństwa urządzeń. W referacie właściwie zasygnalizowano problem, podając tylko najogólniejsze wskazówki postępowania. Pogłębienie wiedzy wymaga dalszych badań i analiz.

LITERATURA

1. Missala T.: *Bezpieczeństwo funkcjonalne urządzeń automatyki i robotyki*. Pomiarzy Automatyka Robotyka, 1997 r., z. 3., ss 5-8 oraz Materiały Konferencji Automation'97, t. 1, ss 113-126, PIAP, 1997 r.
2. Missala T.: *Bezpieczeństwo funkcjonalne w procesie projektowania urządzeń mechatroniki*. Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej MECHATRONIKA'97. Warszawa 20-22 listopada 1997 r. Politechnika Warszawska. Prace Naukowe. Konferencje. z. 14, ss. 541-546.
3. Missala T.: *Ocena a priori i a posteriori bezpieczeństwa robota*. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Stosowanej Politechniki Wrocławskiej, Nr 99. Prace VI Krajowej Konferencji Robotyki, t. 2. s.133-148, Wrocław wrzesień 1998 r.
4. Żurkowski Z.: *Jaki jest sens atestacji systemów komputerowych*. . Pomiarzy Automatyka Robotyka, 1998 r., z. 3, ss.9-13.
5. Gonschorek K.H, Singer H.: *Elektro-Magnetische Verträglichkeit. Grundlagen, Analysen, Maßnahmen*. B.G.Teubner, Stuttgart, 1992.
6. IEC 1508-1:1998. - *Functional safety: safety related systems - Part 1: General requirements*.
7. CDV IEC 1508-2:1998. - *Functional safety: safety related systems - Part 2: Requirements for electrical/electronic/ programmable electronic systems*.
8. IEC 1508-3:1998. - *Functional safety: safety related systems - Part 3: Software requirements*.
9. IEC 1508-4:1998. - *Functional safety: safety related systems - Part 4: Definitions and abbreviations of terms*.
10. IEC 1508-5:1998. - *Functional safety: safety related systems - Part 5: Guidelines on the application of Part 1*.
11. CDV IEC 1508-6:1998. - *Functional safety: safety related systems - Part 6: Guidelines on the application of Parts 2 and 3*.
12. CDV IEC 1508-7:1998. - *Functional safety: safety related systems - Part 7: Bibliography of techniques and measures*.
13. EN 954-1:1996 - *Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design (Wersja polska prPN-EN 954-1 - Maszyny - Bezpieczeństwo - Elementy systemu sterowania związane z bezpieczeństwem - Ogólne zasady projektowania)*.
14. prEN 954-2: - *Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 2: Validation*;
15. EN 1050: 1996 - *Safety of machinery - Principles for risk assessment*);
16. IEC 61069-1: 1991 -*Industrial-process measurement and control - Evaluation of system properties for the purpose of system assessment. Part 1: General considerations and methodology*.
17. Dyrektywa Rady 89/336/EEC, z 3 maja 1989 r. w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej, ze zmianami: z 1992 r. - Dyrektywa 92/31/EEC i z 1993 r - Dyrektywa 93/68/EEC.

18. PN-EN 50081-1: 1996 (EN 50081-1: 1992) - *Kompatybilność elektromagnetyczna - Wymagania ogólne dotyczące emisyjności - Środowisko mieszkalne, handlowe i lekko uprzemysłowione.*
19. PN-EN 50081-2 :1996 (EN 50081-2: 1993) - *Kompatybilność elektromagnetyczna - Wymagania ogólne dotyczące emisyjności - Środowisko przemysłowe.*
20. PN-EN 55011: 1997 (EN 55011:1991, CISPR 11:1990) *Dopuszczalne poziomy i metody pomiarów zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez przemysłowe, medyczne i naukowe (PMN) urządzenia wielkiej częstotliwości.*
21. PN-EN 55022: 1996 (EN 55022:1994, CISPR 22:1993) *Kompatybilność elektromagnetyczna - Dopuszczalne poziomy i metody pomiaru zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez urządzenia informatyczne.*
22. PN-EN 50082-1: 1996 (EN 50082-1: 1994) -. *Kompatybilność elektromagnetyczna - Wymagania ogólne dotyczące odporności na zakłócenia - Środowisko mieszkalne, handlowe i lekko uprzemysłowione.*
23. PN-EN 50082-2: 1997(EN 50082-2: 1995) - *Kompatybilność elektromagnetyczna - Wymagania ogólne dotyczące odporności na zaburzenia - Środowisko przemysłowe.*
24. IEC 1326-1:1997 (EN 61326: 1997) *EMC requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use:- Part 1: General requirements + A1:1998 -*
25. *EMC Design Consideration.* Broszura firmowa firmy Newport Components.