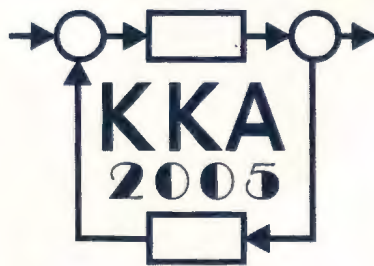


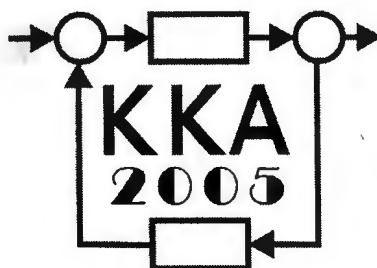
XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom II



**Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk**

XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom II



Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFczyk
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowci	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-01-4

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

APARATURA AUTOMATYKI

URZĄDZENIE/SYSTEM AUTOMATYKI JAKO SYSTEM ZWIĄZANY Z BEZPIECZEŃSTWEM

Tadeusz MISSALA

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów,
Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa, e-mail: tmissala@piap.pl

Streszczenie: Na przykładzie układu sterowania centrem obróbczym przedstawiono zagadnienia wynikające z sytuacji, gdy system automatyki wypełnia funkcje bezpieczeństwa. Po wprowadzeniu w zagadnienie przeprowadzono analizę ryzyka, ustalono wymagany poziom nienaruszalności bezpieczeństwa i omówiono problemy związane z zapewnieniem tego poziomu, zwracając uwagę na wymaganie dotyczące transmisji sygnałów.

Słowa kluczowe: Systemy automatyki przemysłowej, bezpieczeństwo, bezpieczeństwo funkcjonalne.

1. WSTĘP

Urządzenia i systemy automatyki są stosowane do sterowania i nadzorowania obiektów, w których, a można zaryzykować twierdzenie, że w większości, występują zagrożenia dla ludzi, mienia lub środowiska. Współczesne przepisy prawne zobowiązują do przeciwdziałania tym zagrożeniom, a aktualny stan wiedzy umożliwia podjęcie stosownych środków technicznych i organizacyjnych umożliwiających doprowadzenie do dostatecznie niskiego prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń i/lub do istotnego ograniczenia ich skutków.

2. ZADANIA UKŁADÓW AUTOMATYKI

Urządzenia i systemy automatyki mają w tym kontekście dwa zadania:

- Zapewnienie właściwego sterowania obiektem według stosownych algorytmów sterowania i przy zapewnieniu spełnienia wymaganych kryteriów jakości sterowania;
- Zapewnienie wymaganego dostatecznie niskiego, tolerowalnego poziomu ryzyka wywołania skutków niebezpiecznych dla obsługi, mienia lub środowiska; te skutki mogą być związane z normalną pracą, np. operowaniem obrabiarką lub ze stanami awaryjnymi, np. nadmiernym wzrostem ciśnienia w reaktorze chemicznym.

W zależności od rodzaju i wielkości obiektu sterowanego zadania te mogą być realizowane łącznie przez jedno

urządzenie/system automatyki lub przez różne wyspecjalizowane systemy.

W pierwszej sytuacji mamy do czynienia z urządzeniem/systemem sterowania związanym z bezpieczeństwem, w drugiej z układem automatyki zabezpieczeniowej, związanym z bezpieczeństwem [6].

O ile przed około 30 laty, z powodu względnej prostoty urządzeń i systemów automatyki oraz ich immanentnej odporności na czynniki środowiskowe, w tym zjawiska elektromagnetyczne, do rozwiązywania przedstawionych problemów wystarczyła powszechnie znana dobra praktyka inżynierska, to wprowadzenie do stosowania urządzeń/systemów elektronicznych cyfrowych programalnych zmieniło sytuację radykalnie.

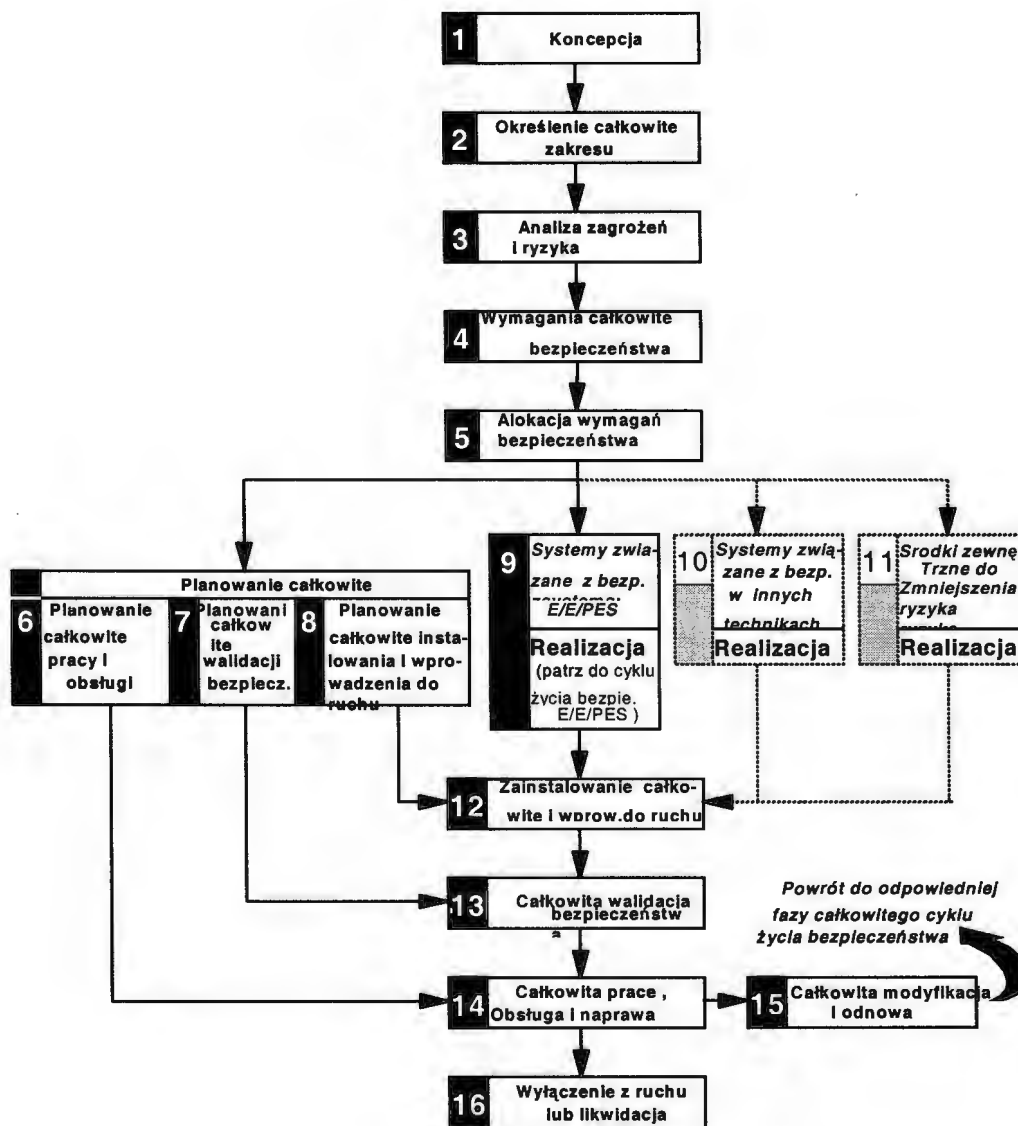
Złożoność tych systemów, niemożliwość ich całkowitego przetestowania oraz naturalna podatność elektronicznych elementów cyfrowych na zaburzenia elektromagnetyczne i wpływy środowiskowe spowodowały wprowadzenie technik i procedur umożliwiających zapewnienie wysokiej niezawodności urządzeń programalnych oraz możliwość oceny spełnienia tych wymagań.

3. URZĄDZENIA/SYSTEMY ZWIĄZANE Z BEZPIECZEŃSTWEM

Urządzenia i systemy związane z bezpieczeństwem są dzielone, ze względu na rodzaj pracy na [5]:

- pracujące na rzadkie przywołanie – takimi są z reguły urządzenia automatyki zabezpieczeniowej;
- pracujące na częste przywołanie lub w sposób ciągły – tymi są z reguły urządzenia/systemy sterowania wypełniające jednocześnie funkcje bezpieczeństwa.

Funkcjami bezpieczeństwa są te funkcje urządzenia/układu, które zapobiegają powstawaniu sytuacji zagrażających.



Rys. 1. – cykl życia bezpieczeństwa.

Odpowiednimi miarami stosowanymi w ocenie są:

- Kategoria odporności na defekty [4], w przypadku urządzeń/systemów mechanicznych, elektromechanicznych i elektronicznych nieprogramowalnych;
- Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL) [1,5], w przypadku urządzeń programowalnych.

Postępuje się według cyklu życia bezpieczeństwa, przedstawionego na rys. 1.[5].

Podstawowym działaniem do wykonania w fazie projektowej jest analiza zagrożeń i ryzyka na podstawie projektu koncepcyjnego. Ta analiza umożliwia określenie wymaganego poziomu odporności na defekty lub poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa, co z kolei umożliwia postawienie wymagań na nową konstrukcję lub przydatności rozwiązania oferowanego na rynku.

4. ZARYS CHARAKTERYSTYKI KATEGORII BEZPIECZEŃSTWA

W normie [4] zdefiniowano pięć kategorii bezpieczeństwa i przypisano im następujące oznaczenia i charakterystyki:

- Kategoria B – elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem tej kategorii muszą być do ustalonych zastosowań zaprojektowane, zbudowane, dobrane, zmontowane i zestawione w kombinacje według stosownych norm, przy zastosowaniu podstawowych zasad bezpieczeństwa;
- Kategoria 1 – elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem tej kategorii muszą spełniać wymagania kategorii B, a ponadto muszą być projektowane i budowane przy zastosowaniu wypróbowanych części składowych i wypróbowanych zasad bezpieczeństwa;

- Kategoria 2 – elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem tej kategorii muszą spełniać wymagania kategorii B, muszą być zastosowane wypróbowane zasady bezpieczeństwa, a ponadto muszą być tak zaprojektowane, aby ich funkcja bezpieczeństwa była sprawdzana przez sterowanie maszyny:
 - przy uruchomieniu pracy maszyny i przed wystąpieniem stanu zagrożenia;
 - okresowo podczas pracy, gdy jest to konieczne.

Kategoria ta dopuszcza utratę funkcji bezpieczeństwa między sprawdzeniami, co ma zostać wykryte.

- Kategoria 3 – elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem tej kategorii muszą spełniać wymagania kategorii B, muszą być zastosowane wypróbowane zasady bezpieczeństwa, a ponadto muszą być tak zaprojektowane, aby pojedynczy defekt w jednym z tych elementów nie prowadził do utraty funkcji bezpieczeństwa. Nie oznacza to wszakże, że wszystkie defekty będą wykryte.
- Kategoria 4 - elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem tej kategorii muszą spełniać wymagania kategorii B, muszą być zastosowane wypróbowane zasady bezpieczeństwa, a ponadto muszą być tak zaprojektowane, aby:
 - pojedynczy defekt w jakimkolwiek z elementów związanych z bezpieczeństwem nie prowadził do utraty funkcji bezpieczeństwa;
 - pojedynczy defekt będzie rozpoznany w momencie lub przed następnym żądaniem wykonania funkcji bezpieczeństwa, lub nagromadzenie defektów nie będzie prowadzić do utraty funkcji bezpieczeństwa.

5. ZARYS CHARAKTERYSTYKI POZIOMÓW NIENARUSZALNOŚCI BEZPIECZEŃSTWA

W normach [5] przyjęto następującą definicję i zamieszczone poniżej charakterystyki poziomów nienaruszalności bezpieczeństwa systemów elektrycznych, elektronicznych i programowalnych elektronicznych (E/E/PE) związanych z bezpieczeństwem:

- Nienaruszalność bezpieczeństwa - prawdopodobieństwo, że system związany z bezpieczeństwem wykona satysfakcjonująco wymagane funkcje bezpieczeństwa, we wszystkich określonych warunkach i w określonym okresie czasu;
- Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa – poziom dyskretny, jeden z czterech możliwych, do wyszczególnienia wymagań nienaruszalności funkcji bezpieczeństwa, które mają być alokowane w systemach E/E/PE związanych z bezpieczeństwem, przy czym poziom 4 jest poziomem najwyższym, a poziom 1 poziomem najniższym;
- Charakterystyki liczbowe zamieszczono w tabelach 1 i 2.

6. PRZYKŁAD UKŁADU NAPĘDOWEGO

6.1. Wprowadzenie

Zautomatyzowany układ napędowy jako układ sterowania ruchem jest układem związanym z bezpieczeństwem. Wymagana kategoria lub poziom nienaruszalności bezpieczeństwa jest zależny od rodzaju napędzanej maszyny. W celu ustalenia uwagi analizie zostanie podany układ przedstawiony w [3]. Ponieważ jest to układ sterowania centrem obróbczym, więc analiza zagrożeń zostanie wykonana w oparciu o [4].

Tabela 1 – Poziomy nienaruszalności bezpieczeństwa: docelowe miary uszkodzeń funkcji bezpieczeństwa działających w rodzaju pracy na rzadkie przywołanie

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa	Rodzaj pracy na rzadkie przywołanie Średnie prawdopodobieństwo uszkodzenia wykonania zaprojektowanej funkcji na przywołanie
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

Tabela 2 – Poziomy nienaruszalności bezpieczeństwa: docelowe miary uszkodzeń funkcji bezpieczeństwa działających w rodzaju pracy na częste przywołanie lub ciągłym

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa	Rodzaj pracy na częste wezwanie lub ciągły Prawdopodobieństwo uszkodzenia niebezpiecznego na godzinę
4	$\geq 10^{-9}$ to $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$

Można wyróżnić kilka funkcji do zrealizowania przez sterowanie maszyny:

- napędzanie wrzeciona i suportów;
- realizacja zadanego programu obróbczego;
- automatyczna wymiana narzędzi;
- zabezpieczenie przed przeciążeniem i rozbiegiem,
- zabezpieczenie przed skutkami rozprysku uszkodzonych narzędzi i części obrabianych;
- ochrona przed urazami bezpośrednimi.

Pierwsze trzy funkcje są funkcjami niezwiązanymi z bezpieczeństwem, trzy dalsze są związane z bezpieczeństwem. Ocenia się, że największe ryzyko dla ludzi i wiąże się z uszkodzeniem ostatniej funkcji to jest ochrony przed i urazami bezpośrednimi.

Na ogół obecnie stosuje się rozwiązanie, w którym obrabiarka ma jeden centralny sterownik realizujący wszystkie wymagane funkcje, tak niezwiązane z bezpieczeństwem, jak i związane z bezpieczeństwem o różnych kategoriach bezpieczeństwa lub różnych poziomach nienaruszalności bezpieczeństwa. W tej sytuacji obowiązuje wymaganie, że cały układ sterowania musi spełniać wymagania wynikające z najwyższej wymaganej kategorii bezpieczeństwa lub najwyższego wymaganego SIL. Dalsza analiza będzie dotyczyć funkcji ochrony przed urazami bezpośrednimi.

6.2. Zarys analizy ryzyka

Przy automatycznej pracy maszyny każde umożliwienie sięgnięcia w strefę obróbki stwarza sytuację zagrażającą i powinno być uniemożliwione przez odpowiednie urządzenia ochronne. Naruszenie strefy ochrony (unieśnienie osłony mechanicznej, naruszenie strefy optoelektronicznej kurtyny ochronnej itp.) ma spowodować wyłączenie maszyny z pracy (funkcja bezpieczeństwa). Jaka powinna być kategoria bezpieczeństwa tej funkcji?

Postępując wg [4] można ustalić następującą kategoryzację, na podstawie kategoryzacji sytuacji składowych:

- Ciężkość urazu: S2 – uraz nieodwracalny, w tym śmierć;
- Częstość i/lub czas narażenia: F2 – ciągle lub długi czas (po otwarciu osłony narażenie jest ciągle);
- Możliwość uniknięcia urazu P1 – możliwe pod pewnymi warunkami (np. można unieść osłonę i nie włożyć ręki).

Ciąg: S2 → F2 → P1 prowadzi do potrzeby stosowania urządzeń kategorii bezpieczeństwa 3.

Ponieważ układ sterowania numerycznego jest układem elektronicznym programowalnym, należy przejść na poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL [5]. Odpowiednie relacje podane w [5] i [7] w [5] i [7] wskazują na wymagany SIL 2, co oznacza, że średnie prawdopodobieństwo, P_N uszkodzenia niebezpiecznego na godzinę pracy ma być w przedziale:

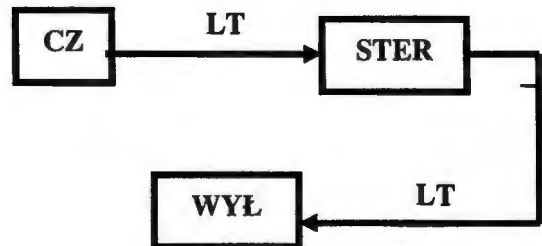
$$10^{-7} \leq P_N < 10^{-6}$$

6.3. Analiza uzyskania poziomu SIL2,

Schemat blokowy toru funkcji bezpieczeństwa przedstawiono na rys. 2. Poziomy nienaruszalności bezpieczeństwa poszczególnych elementów wyszczególnionych na rys. 2 można oszacować w sposób podany poniżej.

Do rozwiązania zagadnienia należy podejść w sposób profesjonalny. Podstawowym warunkiem właściwego zaprojektowania systemu związanego z bezpieczeństwem jest zastosowanie wszystkich części składowych dostosowanych do pracy w warunkach przemysłowych. Warto zwrócić uwagę, że między warunkami pracy na hali fabrycznej i warunkami pracy typu mieszkalne i komercyjne zachodzą różnice w zakresie:

- temperatury i wilgotności otoczenia;
- drgań podłoża;
- zaburzeń elektromagnetycznych



Oznaczenia:

- CZ – czujnik zamknięcia osłony;
- STER – sterownik elektroniczny programowalny;
- WYŁ – wyłącznik zasilania;
- LT – linia transmisyjna

Rys. 2 – schemat blokowy toru funkcji bezpieczeństwa

Wszystkie powyższe czynniki są surowsze przy pracy w otoczeniu przemysłowym (np. impulsy testowe elektromagnetyczne stosowane do warunków przemysłowych mają czterokrotnie większą energię niż stosowane do warunków komercyjnych) i mają istotny wpływ na niezawodność urządzeń.

Za niedopuszczalne, a nawet groźne dla ludzi należy uznać wszelkie próby lansowania rozwiązań sterowań przemysłowych za pomocą komputerów klasy PC i ich peryferiów [3].

• Sterownik programowalny

Dobranie sterownika programowalnego spełniającego wymagania kategorii bezpieczeństwa 3 lub poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa SIL2 nie nastęca większych trudności. Urządzenia takie są oferowane przez liczne firmy, których przykłady, wzięte zupełnie przypadkowo, zamieszczono w [8] i [9]. Z całkowitą pewnością można przyjąć, że sterownik programowalny może mieć kategorię bezpieczeństwa 3 lub 4, a jego nienaruszalność bezpieczeństwa można przyjąć na poziomie SIL3 lub SIL2. Odpowiednie wartości strumienia uszkodzeń na godzinę zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3 – Wartości strumienia uszkodzeń na godzinę

Wartość λ	SIL2	SIL3
maksymalna	$0,99 \times 10^{-6}$	$0,99 \times 10^{-7}$
minimalna	10^{-7}	10^{-8}
średnia	$0,5 \times 10^{-6}$	$0,5 \times 10^{-7}$

• Wyłącznik zasilania

Sytuacja jest podobna do sytuacji poprzedniej. W ofercie licznych firm, np. przypadkowo wybranych [8], [9], [10], [11] są wyłączniki sieciowe spełniające wymagania bezpieczeństwa na poziomie do kategorii 4 włącznie, a więc do poziomu SIL3. Wartości zamieszczone w tabeli 3 charakteryzują również te wyłączniki.

• Czujnik zamknięcia osłony

Czujnik zamknięcia osłony będzie na ogół elementem elektromechanicznym typu przekaźnikowego o trwałości określonej w godzinach pracy i wyznaczonej z prawdopodobieństwem dającym się oszacować. Nie naruszalność bezpieczeństwa takich elementów była rozpatrywana przez autora w [2]. Odnośnie wyłączników krańcowych otrzymano oszacowania:

$$\lambda_{\max} = 8,4 \times 10^{-8} \text{ oraz } \lambda_{\min} = 4,2 \times 10^{-8}$$

Można również zastosować specjalne wyłączniki krańcowe bezpieczeństwa, oferowane tak, jak wyłączniki zasilania, do których odnoszą się oszacowania podane w tabeli 3.

• Linia transmisyjna

Linia transmisyjna systemu związanego z bezpieczeństwem powinna być linią bezpieczną, spełniającą wg najnowszych poglądów [7] warunek, że jej strumień uszkodzeń na godzinę, określony w warunkach środowiska przemysłowego, nie powinien przekraczać 0,01 wartości dopuszczalnej ze względu na wymagany SIL. W rozpatrywanym przykładzie, przy wymaganym SIL2, będzie to wartość:

$$\lambda \leq 10^{-8}$$

Magistrale bezpieczne np. Profisafe lub SafetyBus są dostępne handlowo [8], [9] i mogą być stosowane w instalacjach przemysłowych. W pracach normalizacyjnych IEC znajduje się uzgadnianie kilkunastu, wypróbowanych w wieloletniej eksploatacji, profili sieciowych do transmisji sygnałów w czasie rzeczywistym i w środowisku przemysłowym, jest więc z czego wybierać.

• Zestawienie zbiorcze

Zestawienie zbiorcze zamieszczono w tabeli 4.

7. PODSUMOWANIE

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, można łatwo wykonać system automatyki związany z bezpieczeństwem za pomocą dostępnych środków technicznych i jest niczym nie uzasadnione proponowanie rozwiązań nie spełniających wymagań bezpieczeństwa.

Tabela 4 - Zestawienie zbiorcze

Wyszczególnienie	Elementy składowe o SIL2			Elementy składowe o SIL3		
	λ_{\max}	λ_{\min}	$\lambda_{\text{śr}}$	λ_{\max}	λ_{\min}	$\lambda_{\text{śr}}$
Sterownik	$0,99 \times 10^{-6}$	10^{-7}	$0,5 \times 10^{-6}$	$0,99 \times 10^{-7}$	10^{-8}	$0,5 \times 10^{-7}$
Wyłącznik	$0,99 \times 10^{-6}$	10^{-7}	$0,5 \times 10^{-6}$	$0,99 \times 10^{-7}$	10^{-8}	$0,5 \times 10^{-7}$
Czujnik	$0,99 \times 10^{-6}$	10^{-7}	$0,5 \times 10^{-6}$	$0,99 \times 10^{-7}$	10^{-8}	$0,5 \times 10^{-7}$
Linia transmisyjna	10^{-8}	10^{-8}	10^{-8}	10^{-8}	10^{-8}	10^{-8}
Suma λ	$2,98 \times 10^{-6}$	$0,31 \times 10^{-6}$	$1,51 \times 10^{-6}$	$3,07 \times 10^{-7}$	$0,40 \times 10^{-7}$	$1,60 \times 10^{-7}$
Wypadkowy SIL	1	2	1	2	3	2

AUTOMATION EQUIPMENT/SYSTEM AS A SAFETY-RELATED SYSTEM

Abstract: On the example of the control system of the machine tool center is discussed the situation, where the automation system is performing the safety functions. After the introduction in the problem, the risk analysis is done, the required safety integrity level is established, and the realisation problems are discussed. The attention is done on the problem of signals transmission.

Literatura

- [1] Missala T. (1994) Bezpieczeństwo funkcjonalne układów sterowania. Politechnika Warszawska. *Prace naukowe. Konferencje, z. 3. II Krajowa Konferencja Naukowo – Techniczna. Mechatronika, 94*, 43-46. Warszawa, wrzesień.
- [2] Missala T. (2004) Mechatronics Elements in Safety-Related Circuits. Mechatronics 2004 Warsaw University of Technology, Faculty of Mecha-

tronics and Brna University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. *Elektronika*, 8-9, 183-185.

- [3] Mandra S., Karwowski K., Wawrzak A. (2004) Magistrala USB w układzie sterowania numerycznego maszyn. *Pomiary Automatyka, Robotyka*, 11, 10-4.
- [4] PN-EN 954-1:2001. Maszyny. Bezpieczeństwo. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 1: Ogólne zasady projektowania
- [5] PN-EN 61508: 2003(U), seria norm, Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/ elektronicznych/ programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem. Części 1-7.
- [6] EN 61511: 2004, seria norm, Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector.
- [7] IEC 65C/351/CD: IEC 61784-3: Digital data communication for measurement and control – Part 3: Profiles for functional safe communications in industrial networks.
- [8] Sichere integrierte Automatisierungstechnik. *Katalog firmy Pilz*, 2000.
- [9] Materiały katalogowe firmy Siemens, wydania bieżące.
- [10] Automation Control and Safety. *Katalog firmy Crouzet*.
- [11] Zagadnienia bezpieczeństwa w maszynach i instalacjach. *Materiały firmy Moeller*, 2002.



Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-01-4