

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СЪВМЕСТИМОСТ НА Е/Е/РЕ СИСТЕМИТЕ ЗА БЕЗОПАСНОСТ НА ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ

НИКОЛАЙ ПАНТЕЛЕЕВ, БОРИСЛАВА МЕДЖИДИЕВА

emclab@abv.bg, emclab@abv.bg

Abstract: This paper provides an analysis of current standards for EMC testing of E/ E /PE safety related systems for industrial robots, harmonized with Directive 2006/42/EC and Directive 2004/108/EC. Solutions have been proposed to modify the test conditions for EMC testing and test set-up in order to improve reliability of the test results.

Key Words: Industrial robots, functional safety, electromagnetic compatibility, safety related systems

1. Въведение

Промишлените роботи са автоматично управляеми, препрограмируеми многофункционални манипулатори, програмируеми в три или повече оси, които могат да бъдат и се използват в индустриални приложения за автоматизация [1]. Те задължително притежават и контролер, включващ хардуер, софтуер, както и всички комуникационни интерфейси, необходими за тяхната работа.

На съвременните роботи често се възлагат повтарящи, прецизни и опасни операции, които могат да нанесат вреди на хората, произвежданата продукция и околната среда.

Един робот може да бъде пуснат в експлоатация в Европейската общност, само ако удовлетворява съществените изисквания за безопасност на Директивите, под чието въздействие попада (Безопасност на машините 2006/42/ЕС, Директива за EMC 2004/108/ЕС, Съоръжения за ниско напрежение 2006/95/ЕС).

Безопасността има отношение само към последиците на отказите на дадено съоръжение или система и се оценява по вредите, които отказите нанасят върху обслужващия персонал и околната среда [2].

Към Директива 2006/42/ЕС има хармонизирани два стандарта, които поставят изисквания към безопасността на промишлените роботи и роботизирани системи БДС EN ISO 10218-1 [1], БДС EN ISO 10218-2 [3], както и стандарта БДС EN 62061 [4], отнасящ се до функционалната безопасност на електрическите, електронните и програмируемите електронни системи (Е/Е/РЕ) за управление на машини, имащи отношение към безопасността им.

Към Директива 2004/108/ЕС са хармонизирани стандартите БДС EN 61326-3-1[5] и БДС EN 61326-3-2 [6], отнасящи се до електромагнитната

съвместимост (EMC) на Е/Е/РЕ системите за безопасност, използвани в промишлени условия.

В доклада е направен анализ на изискванията за EMC на Е/Е/РЕ системите за безопасност на промишлени роботи, както и са разгледани някои проблеми, които съществуват пред производителите на роботи и изпитвателните лаборатории за EMC при тяхното изпитване.

2. Основни принципи за осигуряване на функционалната безопасност на промишлени роботи

Безопасността на всички Е/Е/РЕ системи има три аспекта:

- първична безопасност – отнася се до защита на персонала от поражения от електрически ток, както и от възникването на пожар.
- Функционална безопасност – част от общата безопасност отнасящи се към съоръжението и неговата управляваща система, от които зависи правилното функциониране на свързаните Е/Е/РЕ системи, системи за безопасност базирани на други технологии и външни приспособления за намаляване на риска.
- Индиректна безопасност – разглежда индиректните последствия от една система, която не работи както се очаква и последствията върху свързаните с нея други системи (например генериране на грешни данни). [5,7]

Функционалната безопасност на една система е необходимо да бъде осигурена през целия период на нейното съществуване и започва от разработката на нейната концепция, проектиране, производство, монтаж, експлоатация и завършва с нейния демонтаж [8,9].

Основен критерий за функционална безопасност е системата за безопасност и управляваното

съоръжение при появата на опасен отказ да премине в определено състояние, което е безопасно.

Функционалната безопасност трябва да бъде доказана при различни условия на експлоатация – както климатични условия, електромагнитна обстановка и други въздействия на околната среда.

Оценката на EMC трябва да се проведе на всички етапи от проектирането и производството на Е/Е/РЕ системите за безопасност.

Нивото на безопасност (SIL) на промишлените работи трябва да бъде минимум SIL 2, което означава, че честотата на появата на опасен отказ на безопасна функция трябва да бъде в рамките на $10^{-7} \leq y \leq 10^{-6}$ и интервал на периодични изпитвания (proof test) не по-малко от 20 години [3].

3. Изследване EMC на Е/Е/РЕ системите за безопасност

В съществуващите стандарти са посочени следните съществени изисквания по отношение устойчивостта на Е/Е/РЕ системите за безопасност на промишлени работи (ЕС) към електромагнитни смущения, които трябва да бъдат доказани от производителя им.

БДС EN ISO 10218-1 “Дизайна и конструкцията на един робот трябва да предпазва от опасни движения или ситуации в зависимост от очакваните ефекти от електромагнитни смущения (EMI), радиосмущения (RFI) и електростатични разряди (ESD).

Таблица 1

Извод	Характеристика	Изпитвателни нива		
		БДС EN 62061	БДС EN 61326-3-1	IEC/TS 61000-1-2
Корпус	Електростатичен разряд (ESD) IEC 61000-4-2	6 kV contact 8 kV air	6 kV contact 8 kV air	8 kV contact 15 kV air
	Електромагнитни полета IEC 61000-4-3	80 MHz-1 GHz 20 V/m 1,4 GHz-2 GHz 6 V/m 2 GHz-2,7 GHz 3 V/m	80 MHz-1 GHz 20 V/m 1,4 GHz-2 GHz 10 V/m 2 GHz-2,7 GHz 3 V/m	80 MHz-1 GHz 50 V/m 0,9 GHz 50 V/m 1,8 GHz 50 V/m
	Магнитни полета с честота на захранващата мрежа IEC 61000-4-8	30 A/m	30 A/m	60 A/m

БДС EN 62061 – в т. 5.2.3.3 се изисква в промишлени условия Е/Е/РЕ системите да бъдат устойчиви на електромагнитни смущения, нивата на които са дадени в таблица Е.1 на стандарта. Стандартът БДС EN 61326-3-1 въвежда допълнителни изисквания към основните стандарти за безопасност БДС EN 61508-x [10,11,12,13,14,15,16] по отношение на функционалната безопасност и определя нов критерий за отказ на една Е/Е/РЕ система по отношение на електромагнитни смущения „FS”, който означава, че:

Функциите на устройството, предназначени за целите на безопасността:

- Не са извън рамките на техническите им характеристики; или
- Техническите параметри могат да бъдат нарушени временно или постоянно, ако изпитваното съоръжение (EUT) реагира на смущенията по такъв начин, че състоянията на EUT са забележими и запазени в рамките на определеното време
- Допустима е повреда на компоненти, ако определеното състояние на EUT се запазва или се достига в рамките на определеното време.

В таблица 1 са сравнени изискванията на БДС EN 62061 и БДС EN 61326-3-1 по отношение на изпитвателните нива на електромагнитните смущения, както и максималните нива на смущенията в промишлената среда съгласно IEC/TS 61000-1-2 [17]. БДС EN 61326-3-2 не е разглеждан, тъй като той се отнася за частни случаи на електромагнитна обстановка.

Изводи за променливо напрежение	Пакети импулсни смущения BURST IEC 61000-4-4	4 kV	3 kV Забележка а)	8 kV
	Отскок на напрежението SURGE IEC 61000-4-5	4 kV L-G 2 kV L-L	4 kV L-G 2 kV L-L Забележка б)	8 kV L-G 4 kV L-L
	Кондуктивни радиочестотни смущения RF IEC 61000-4-6	150 kHz-80 MHz 10 V	150 kHz-80 MHz 10 V	150 kHz-80 MHz 50 V
	Изменение на напрежението IEC 61000-4-11	30 % / 10 ms	0 % / 20 ms 40 % / 200 ms 70 % / 500 ms	От 10 % до 95 % / 10 ms до 6 s
	Прекъсване на напрежението IEC 61000-4-11	>95 % / 5 s	0 % / 5 s	>95 % / 50 s
	Устойчивост на колебания IEC 61000-4-12	Няма данни	Няма данни	0,1 MHz 4 kV
	Кондуктивни несиметрични смущения IEC 61000-4-16	Няма данни	1,5 kHz – 15 kHz 1V до 10V, 20 dB/Dec 15 kHz – 150 kHz 10 V DC, 16 2/3 Hz, 50/60 Hz 10 V непрекъснати 100V кратотрайни (1 s) 150/180 Hz, 10 V непрекъснати	Няма данни
	Вълна със затихващи колебания IEC 61000-4-18	Няма данни	Няма данни	Бавни (0,1 и 1 MHz) 4 kV Бързи (3,10,30 MHz) 4 kV
	Хармоници	Няма данни	Няма данни	THD 10 % Un 5—ти 8 % Un
Изводи за постоянно напрежение	Пакети импулсни смущения BURST IEC 61000-4-4	4 kV	3 kV Забележка а)	8 kV
	Отскок на напрежението SURGE IEC 61000-4-5	2 kV L-G 1 kV L-L	2 kV L-G 1 kV L-L Забележка б)	2 kV L-G 2 kV L-L
	Кондуктивни радиочестотни смущения IEC 61000-4-6	150 kHz-80 MHz 10 V	150 kHz-80 MHz 10 V	150 kHz-80 MHz 50 V
	Кондуктивни несиметрични смущения IEC 61000-4-16	Няма данни	1,5 kHz – 15 kHz 1V до 10V, 20 dB/Dec 15 kHz – 150 kHz 10 V DC, 16 2/3 Hz, 50/60 Hz 10 V непрекъснати 100V кратотрайни (1 s) 150/180 Hz, 10 V непрекъснати	Няма данни
	Изменение на напрежението IEC 61000-4-29	Няма данни	40 % / 10 ms	Няма данни
	Прекъсване на напрежението IEC 61000-4-29	Няма данни	0 % / 20 ms	Няма данни
Изводи за сигнал и контрол	Пакети импулсни смущения BURST IEC 61000-4-4	2 kV	2 kV Забележка а)	4 kV
	Отскок на напрежението SURGE IEC 61000-4-5	2 kV L-G	2 kV L-G Забележка б)	4 kV L-G 2 kV L-L
	Кондуктивни радиочестотни смущения RF IEC 61000-4-6	150 kHz-80 MHz 10 V	150 kHz-80 MHz 10 V	150 kHz-80 MHz 50 V

Забележка а) В случаите на изпитания на системи с ниво на безопасност SIL 3 продължителността на теста се увеличава 5 пъти.

Забележка б) В случаите на изпитания на системи с ниво на безопасност SIL 3 продължителността на теста се увеличава 3 пъти.

От таблицата могат да бъдат направени следните изводи:

- Нивата на ЕС са по-малки от максимално измерените в реална електромагнитна обстановка.
- Има разлика в препоръчаните методи за изпитване и нивата на ЕС за двата стандарта в случаите на електромагнитни полета и пакети импулсни смущения, което означава, че за да се удовлетворят изискванията на Директива 2006/42/ЕС и Директива 2004/108/ЕС изпитванията за ЕМС на Е/Е/РЕ системите на промишлените работи трябва да се направят съгласно БДС EN 61326-3-1, като при изпитванията на пакети импулсни смущения (IEC 61000-4-4) се използва амплитуда на смущенията 4 kV.
- Не е предвидена модификация на тестовете съгласно IEC/TS 61000-1-2.
- За някои от тестовете (IEC 61000-4-4 и IEC 61000-4-5) е предвидено увеличаване продължителността на теста при ниво на безопасност SIL 3.

Очевидно, за да се подобри достоверността на резултатите от изпитванията за ЕМС на Е/Е/РЕ системите за безопасност е необходимо да се търсят решения в следните посоки:

1. Модификация на основните тестове за устойчивост на ЕС.
 - При изпитванията на електромагнитни полета съгласно EIC 61000-4-3 да се използва импулсна модулация и времето за задържания на всяка честота да бъде минимум 10 s.
 - Аналогични изисквания да се поставят и при изпитванията с несиметрични смущения съгласно IEC 61000-4-6.
 - Изпитванията на електростатични разряди да се извършва с 8 kV контактен и 15 kV въздушен разряд.

Препоръчаните промени на тестовете са предложени въз основа на приетата практика относно нивата на смущенията при изпитването на други съоръжения, които са предназначени за измерване, управление и контрол на отговорни обекти (защити за подстанции, ж.п. транспорт и др.).

2. Увеличаване на продължителността на изпитванията.

Продължителността на изпитванията лесно може да се определи, ако има подробна статистическа информация за източниците на смущенията. В

настоящия момент такава информация има само по отношение на мълниите. Счита се, че отскоците на напрежението в захранващите вериги и линиите за комуникация съгласно IEC 61000-4-5 симулират случаите на смущения в резултат на мълнии.

Нека да допуснем, че всяка мълния попаднала на площ от 1 km², на която се намира съответното напрежение генерира един отскок на напрежението. Броят на мълниите за една година на площ от 1 km² може да се определи от израза (1)

$$\sigma_y = 0,02 T_y^2 \text{ (бр. мълнии/km}^2\text{/година)} \quad (1)$$

където σ_y е броят на мълниите за 1 година, а T_y броят на дните в годината, в които се наблюдават мълнии.

В броя на мълниите, съгласно (1) влизат мълниите между облаците и мълниите към земята. Счита се, че и двата вида мълнии могат да индуцират смущения в съоръженията [17].

За Флорида, където мълниеактивността е висока $T_y = 100$, броя на импулсите, които теоретично могат да се наблюдават за интервала между периодичните изпитвания на Е/Е/РЕ система за безопасност на робот при интервал на периодични изпитвания 20 години.

$$I = 20 \sigma_y = 20 \times 0,02 T_y^2 = 4000,$$

където I е броят на импулсите по време на изпитванията, $T_y = 100$.

3. Изпитвателна постановка за изпитване на Е/Е/РЕ системи

Философията на изпитването на Е/Е/РЕ системите за безопасност съгласно БДС EN 61326-3-1 е следната:

- Предварително се дефинира техните функции и безопасните им състояния
- По време на изпитванията смущенията се подават към цялата система едновременно
- Спомагателните устройства за осигуряване на работата на системата са монтирани в добре защитена среда.
- Системата се свързва към всички устройства (сензори, логически елементи и др.), които симулират работата на действителните елементи [5].

Провеждането на изпитвания чрез симулиране на действително съоръжение има редица удобства:

- Съкращава времето за подготовка на изпитванията.

- Не изисква изпитванията да се провеждат в лаборатории, които имат възможност да изпитват големи системи.
- Намаляват се финансовите разходи.

Недостатък на този подход е, че и при най-доброто симулиране на една система е възможно да не се открият някои откази в резултат на електромагнитни смущения, като основна причина за това е разположението на EUT, симулатора на съоръжението и кабелите между тях по време на изпитванията. Възможно е и обратната ситуация, при което в резултат на лошо симулиране на съоръжението да се наблюдават откази, като тази причина се доказва трудно.

Най-доброто решение е след провеждане на тестове за EMC на една E/E/PE система за безопасност на промишлен робот е след успешното преминаване на изпитванията чрез използване на симулатор на робот, тя да се изпита повторно съвместно с робота, за когото е предназначена.

За целта е необходимо да се използват изпитвателни лаборатории, разполагащи с технически средства за измерване и изпитване на големи съоръжения

4. Заключение:

От направения анализ на действащите стандарти, отнасящи се до електромагнитната съвместимост на E/E/PE системи за безопасност на промишлени роботи могат да се направят следните изводи:

1. Изпитванията на E/E/PE системи за безопасност за електромагнитна съвместимост трябва да се извършват съгласни изискванията на БДС EN 61326-3-1, като при тези изпитвания нивата на смущенията не трябва да са по-малки от посочените в БДС EN 62061.
2. Необходимо е да се модифицират тестовете за устойчивост по отношение на пакети импулсни смущения, радиочестотни полета и електростатични разряди.
3. Препоръчително е при изпитването на E/E/PE системи за безопасност съгласно IEC 61000-4-5 да се прилагат 4000 отскока на напрежението с цел увеличаване на достоверността на резултатите.
4. Изпитванията на E/E/PE системи за безопасност на роботи е препоръчително да се извършват съвместно с робота, за който са предназначени.
- 5.

6. Литература

1. БДС EN ISO 10218-1:2011 Роботи и роботизирани устройства. Изисквания за безопасност на промишлени роботи. Част 1: Роботи
2. Гиндев Евгений -Увод в теорията и практиката на надеждността, част IОснови на приложната надеждност – АИ “ Проф. Марин Дринов “ 2000
3. БДС EN ISO 10218-2:2011 Роботи и роботизирани устройства. Изисквания за безопасност на промишлени роботи. Част 2: Системи роботи и интегриране
4. БДС EN 62061:2005/A1:2013 Безопасност на машините. Функционална безопасност на безопасно свързани електрически, електронни и програмируеми електронни системи за управление
5. БДС EN 61326-3-1:2008 Електрически устройства/съоръжения за измерване, управление и лабораторно приложение. Изисквания за електромагнитна съвместимост. Част 3-1: Изисквания за устойчивост на системи, свързани с безопасността и на съоръжения, предназначени да изпълняват функции, свързани с безопасността (функционална безопасност). Общи приложения за индустрията
6. БДС EN 61326-3-2:2008 Електрически устройства/съоръжения за измерване, управление и лабораторно приложение. Изисквания за електромагнитна съвместимост. Част 3-2: Изисквания за устойчивост на системи, свързани с безопасността и на съоръжения, предназначени да изпълняват функции, свързани с безопасността (функционална безопасност). Промислени приложения със специфицирана електромагнитна обстановка
7. An Introduction to Functional Safety and IEC 61508 AN 9025-3 MTL Instruments Group plc – 2002
8. IEC/TS 61000-1-2 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1-2: General - Methodology for the achievement of functional safety of electrical and electronic systems including equipment with regard to electromagnetic phenomena
9. www.theiet.org Electromagnetic compatibility for functional safety. The Institution of Engineering and Technology – 2008
10. БДС EN 61508-1:2010 Функционална безопасност на електрически/електронни/ програмируеми електронни системи за безопасност. Част 1: Общи изисквания
11. БДС EN 61508-2:2010 Функционална безопасност на електрически /електронни /програмируеми електронни системи за безопасност. Част 2: Изисквания за електрически

/електронни/ програмируеми електронни системи за безопасност

12. БДС EN 61508-3:2010 Функционална безопасност на електрически /електронни/ програмируеми електронни системи за безопасност. Част 3: Изисквания към софтуера

13. БДС EN 61508-4:2010 Функционална безопасност на електрически /електронни/ програмируеми електронни системи за безопасност. Част 4: Термини, определения и съкращения

14. БДС EN 61508-5:2010 Функционална безопасност на електрически /електронни/ програмируеми електронни системи за безопасност. Част 5: Примери за методи за определянето на интегрираните нива за безопасност

15. БДС EN 61508-6:2010 Функционална безопасност на електрически /електронни/ програмируеми електронни системи за безопасност. Част 6: Ръководство за прилагане на IEC 61508-2 и IEC 61508-3

16. БДС EN 61508-7:2010 Функционална безопасност на електрически /електронни/ програмируеми електронни системи за безопасност. Част 7: Преглед на техники и средства

17. Perez Reinaldo Handbook of Electromagnetic compatibility p 834 Academic Press 1995