

EMV und Funktionale Sicherheit für Leistungsantriebssysteme mit integrierten Sicherheitsfunktionen

Festlegung der Prüfschärfegrade
Prüfbedingungen

1 Allgemeines

Zur Steuerung von Maschinenbewegungen setzt man häufig elektronische Betriebsmittel eingesetzt, die naturgemäß durch elektromagnetische Phänomene beeinflusst werden können. Die Norm DIN EN 61508 [1] sowie die auf ihr basierende Maschinensektornorm DIN EN 62061 sehen eine erhöhte Störfestigkeit für elektronische Betriebsmittel, die sicherheitsbezogene Funktionen ausführen, vor. Im Gegensatz dazu fordern weder die Norm DIN EN 61800-5-2 noch EN ISO 13849-1 zwingend erhöhte Störfestigkeit. Daher ist der Nachweis der erhöhten Störfestigkeit nur notwendig, wenn nach DIN EN 61508 zertifiziert oder wenn das Produkt nach DIN EN 62061 verwendet werden soll. Natürlich ist jeweils die EMV¹-Umgebung, in der das Produkt eingesetzt wird, zu beachten. Wie ein Nachweis der erhöhten Störfestigkeit erfolgen kann, ist derzeit (September 2011) in der IEC 61508 Ed. 2.0 normativ durch einen Verweis auf die IEC 61000-1-2 Ed. 2 als „Technical Specification“ beschrieben. Diese Spezifikation stellt die Basispublikation zum Thema EMV und funktionale Sicherheit dar und befasst sich mit der allgemeinen Methodik zum Erreichen der funktionalen Sicherheit im Hinblick auf elektromagnetische Phänomene. Sie dient auch als Basis für zukünftige EMV-Normen. Zurzeit existieren innerhalb der EMV-Normungsgremien Bestrebungen, diese technische Spezifikation zu einem internationalen Standard zu transformieren. Die Produktnorm DIN EN 61800-5-2 für Leistungsantriebe referenziert zurzeit noch eine alte Version der IEC 61508. Die in Arbeit befindliche IEC 61000-6-7 (EMV- Fachgrundnorm für den Industriebereich bezogen auf „Funktionale Sicherheit“) hat die Prüfpegel bisher noch nicht endgültig festgelegt. Speziell für Leistungsantriebssysteme mit integrierten Sicherheitsfunktionen stellt das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) daher diese Festlegung vor.

2 Leistungsantriebssysteme mit integrierten Sicherheitsfunktionen

Leistungsantriebssysteme sind Antriebssteuergeräte zur drehzahlgeregelten Ansteuerung von Asynchron- und Synchronmotoren. Werden in diese Geräte Sicherheitsfunktionen integriert, z. B. zur Vermeidung eines unerwarteten Anlaufs oder zur sicheren Begrenzung von Geschwindigkeiten, so spricht man von Leistungsantriebssystemen mit einstellbarer Drehzahl (PDS) mit integrierten Sicherheitsfunktionen (PDS (SR))². Der Stromrichter ist dann neben Motor und Sensor(en) ein Teil des PDS (SR) und übernimmt sicherheitsrelevante Aufgaben. Bei Entwicklung und Anwendung dieser Produkte greifen daher die Normen, die Anforderungen für die Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/ programmierbarer elektronischer Systeme enthalten.

¹ EMV: Elektromagnetische Verträglichkeit

² PDS (SR): Power Drive System (Safety Related)

3 EMV-Anforderungen der Sicherheitstechnik

Die sicherheitsbezogenen Anforderungen an PDS (SR) werden zurzeit durch die Normenreihe DIN EN 61508 vorgegeben. Zur Verringerung der Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen gibt die IEC 61000-1-2 Ed. 2 in Tabelle A.2 Höchstwerte als Orientierung für Störfestigkeitsprüfungen an und legt zusätzliche Anforderungen in Abhängigkeit vom Safety Integrity Level (SIL) in Tabelle 4 und Tabelle 6 fest.

Insbesondere fehlt in der IEC61000-1-2 Ed. 2 aber eine konkrete Festlegung der Prüfschärfegrade. Die für PDS (SR) existierende Produktnorm DIN EN 61800-5-2 [2] enthält ebenfalls keine Festlegung der Prüfschärfegrade, da die Anwendung von PDS (SR) in sehr unterschiedlichen Umgebungen erfolgen kann. Dementsprechend können die jeweils zu erfüllenden Anforderungen unterschiedlich sein. Einen Ausweg bietet die Norm DIN EN 61326-3-1:2008-11 [3]. Hier werden Prüfschärfegrade festgelegt, die den Nachweis einer erhöhten Störfestigkeit für die meisten industriellen Umgebungsbedingungen erbringen sollen. Ferner befindet sich zurzeit (Februar 2012 die Fachgrundnorm IEC 61000-6-7 (Elektromagnetische Verträglichkeit – Fachgrundnorm – Störfestigkeit für sicherheitsbezogene Systeme und Geräte, die Sicherheitsfunktionen in industrieller Umgebung ausführen) in Arbeit.

Diese orientiert sich stark an den in der IEC 61326-3-1 festgelegten Prüfschärfegraden. Die IEC 61000-6-7 benutzt die IEC 61000-1-2 als Basis.

4 Festlegung der Prüfschärfegrade

Trotz der unklaren Situation in der Normung zur EMV und Funktionalen Sicherheit müssen PDS (SR), die heute in Verkehr gebracht werden, der in der Norm DIN EN 61508 geforderten erhöhten Störfestigkeit entsprechen. Als pragmatischen Ansatz hat das IFA hierzu eine Festlegung von Prüfschärfegraden getroffen, die bei der Prüfung und Zertifizierung eines PDS (SR) für den Einsatz an Maschinen angewendet werden. Hierbei wurde das Konzept der DIN EN 61326-3-1, das teilweise auch in der Norm DIN EN 62061 [4] für Maschinensteuerungen Anwendung findet, im Wesentlichen übernommen. Je nach erforderlichem Safety Integrity Level werden dabei Prüfpegel verdoppelt bzw. der nächsthöhere Prüfschärfegrad gewählt. Ggf. wird auch die Prüfungsdauer oder die Anzahl der Störimpulse erhöht. Eine Abweichung zur DIN EN 61326-3-1:2008-11 gibt es dennoch, da diese Norm die Fachgrundnorm für Industriegeräte (DIN EN 61000-6-2 [5]) als Basis verwendet. Für PDS gibt es jedoch eine produktspezifische EMV-Norm DIN EN 61800-3 [6], die von der Fachgrundnorm abweichende Werte für die Phänomene „leitungsgeführte HF“ und „Burst und Surge“ enthält. Das Konzept von erhöhten Werten bzw. veränderter Anzahl/Dauer wird daher auf die Werte der Norm DIN EN 61800-3 angewendet. Die einzelnen Prüfschärfegrade finden sich im Anhang dieses Beitrags.

5 Prüfbedingungen und Prüfkriterium

Die Erfüllung der Anforderungen von DIN EN 61508 soll sicherstellen, dass sicherheitsrelevante Produkte durch elektromagnetische Einwirkungen nicht unsicher ausfallen. Es werden keine Anforderungen an die Produktverfügbarkeit gestellt. Konsequenterweise wird in DIN EN 61326-3-1 und in der Produktnorm für PDS (SR) (DIN EN 61800-5-2) das Prüfkriterium FS eingeführt. Die Sicherheitsfunktion bleibt dabei während der Einwirkung einer Beeinflussung entweder vollständig erhalten oder wird temporär/dauerhaft gestört, ein definierter Sicherer Zustand wird eingehalten oder innerhalb der spezifizierten Fehlerreaktionszeit erreicht.

Die Zerstörung von Bauteilen des Typs A³ ist erlaubt, wenn bauartbedingt ein Sicherer Zustand eingehalten oder innerhalb der Fehlerreaktionszeit erreicht wird.

Das Kriterium ist nur auf die Sicherheitsfunktion anzuwenden. Bei erhöhten Störpegeln besteht keine Anforderung an die normale Funktion des Equipment under Test (EUT).

Führt eine Prüfung zum Ausfall mit/ohne Zerstörung von Bauteilen, ist es oftmals nicht möglich, analytisch zu zeigen, dass der Sichere Zustand immer erhalten bleibt. Zum Nachweis der Einhaltung von Kriterium FS ist in diesen Fällen ein Verfahren zu definieren, das einerseits eine ausreichende Zuversicht erlaubt und andererseits den Materialverbrauch durch Bauteilzerstörungen und den Zeitaufwand für die Durchführung der Prüfungen begrenzt. Hierzu wird im IFA folgendes Konzept angewendet:

Sofern eine Beeinflussung festzustellen ist, gilt das Kriterium FS als erfüllt, wenn bei dreimaliger Prüfung mit höchstem Störpegel dreimal der Sichere Zustand eingehalten wurde. Hierbei ist eine Zerstörung von Bauteilen des Typs A zulässig.

5.1 Gehäuse

Bei einigen Prüfungen ist es von Bedeutung, ob als physikalische Grenze des Geräts das EUT oder der Schaltschrank, in den das EUT eingebaut wird, angenommen wird. Für diese Entscheidung ist Folgendes zu berücksichtigen: Die Maschinenrichtlinie [7] verlangt vom Maschinenhersteller, dass die Verwendung einer Maschine in der voraussichtlichen Lebensdauer ohne Gefährdung von Personen erfolgt. Dabei werden neben dem Betrieb auch Montage, Rüsten und Wartung erwähnt. In der Norm DIN EN ISO 12100-1 [8] wird dies u. a. durch Nennung der Phasen Inbetriebnahme und Fehlersuche weiter konkretisiert. In diesen Lebensphasen einer Maschine ist davon auszugehen, dass auch bei geöffnetem Schaltschrank Maschinenbewegungen erfolgen. Die Ursache für die Öffnung der Schaltschranktür kann hierbei durchaus auch in Arbeiten an anderen, im selben Schaltschrank befindlichen Geräten liegen. Als physikalische Grenze des Geräts ist daher in der Regel das Gehäuse des EUT anzusetzen, mit folgenden Ausnahmen:

Der Schaltschrank kann in denjenigen Fällen als physikalische Grenze des EUT angenommen werden, bei denen sich außer dem EUT keine weiteren Geräte im Schaltschrank befinden und eventuelle Einstellarbeiten am EUT vernünftigerweise nicht bei geöffneter Tür durchgeführt werden.

Es ist zu beachten, dass der Aufbau des EUT für die Prüfung nach den Aufbaurichtlinien des Herstellers zu erfolgen hat. Bei PDS (SR) zum Einbau in einen Schaltschrank, bei denen Störeinflüsse innerhalb des Schaltschranks nicht zu erwarten sind⁴, gilt bei leitungsgeführten Phänomenen der Schaltschrank als Gehäuse.

Bei der Prüfung zum Phänomen ESD (Electrostatic discharge) werden die erhöhten Werte auf den Schaltschrank als Gehäuse ausgeführt. Das EUT selbst wird mit den Werten der DIN EN 61800-3 getestet.

³ entsprechend [1], Abs. 7.4.3.1.2: Bauteile, deren Ausfallverhalten ausreichend definiert ist, deren Verhalten unter Fehlerbedingungen vollständig bestimmt werden kann und für die verlässliche Ausfalldaten existieren. Dies trifft z. B. zu auf Widerstände und Transistoren, jedoch nicht auf Mikroprozessoren, Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) und ähnliche komplexe Bauteile.

⁴ Hierzu ist eine Beurteilung der EMV-Aufbaurichtlinie erforderlich.

5.2 Erkennung und Beeinflussung

Der Prüfaufbau und der Prüfablauf sind so zu gestalten, dass eine mögliche Beeinflussung auch tatsächlich festgestellt werden kann. Hierbei muss nicht zwangsläufig ein Test von kompletten und allen vorgesehenen Sicherheitsfunktionen erfolgen, sofern eine vollständige Abdeckung der zu testenden Hardware gewährleistet ist.

Als hilfreiche Testmittel haben sich Speicherrelais, Zählrelais und Fehlermeldungen am Prüfling bewährt. Die Stillstandsüberwachung des Motors kann über mechanische Hilfsmittel oder einen Drehgeber erfolgen. Geschwindigkeitsüberschreitungen können über ein zusätzliches Tachometer sicher erkannt werden.

5.3 Verwendete Kabel und zusätzliche Maßnahmen während der EMV-Prüfung

Wurden bei der Prüfung abgeschirmte Kabel verwendet, so müssen diese auch in der Benutzerdokumentation für die Installation vorgeschrieben werden. Eine Verwendung von Netzfiltern oder Blitzschutzelementen muss ebenso in der Benutzerdokumentation vorgeschrieben werden, wie nachträgliche Schirmungsmaßnahmen (Alufolie, Kupferfolie, Ferritklammer...), die ein Bestehen der EMV-Prüfung erst ermöglichen.

5.4 Anforderungen an den Prüfplan

Der EMV-Prüfplan soll eine Beschreibung der

- Funktion des Prüflings,
- Sicherheitsfunktionen,
- Betriebszustände,
- Prüflingsüberwachung und
- sicherheitsrelevanten Anschlüsse mit Angabe der maximal zulässigen Kabellängen des Prüflings enthalten.

Die gültigen EMV-Normen sollten neben den Prüfpegeln der einzelnen EMV-Phänomene aufgelistet sein. Spezielle Anschlusskabel (Schirmung, Doppelschirmung, Verdrillung) sollen beschrieben werden. Eine Beschreibung der Signalzustände mit Unterteilung in funktional/sicherheitskritisch ist für die Bewertung des Prüfergebnisses notwendig wie auch eine Auflistung der Fehleranzeigen und Fehlercodes sowie eine Definition der zu prüfenden Betriebszustände.

5.5 Anforderungen an den Prüfbericht

Der EMV-Prüfbericht dokumentiert die durchgeführte Prüfung und enthält das Prüfergebnis. Die gültigen EMV-Normen sollten neben den Prüfpegeln der einzelnen EMV-Phänomene auch hier aufgelistet sein. Der Prüfaufbau der einzelnen EMV-Phänomene sowie die Prüflingsüberwachung sollen mit Fotos dokumentiert sein. Alle Beeinflussungen des Prüflings (funktional/sicherheitskritisch) sind in einer Liste zu dokumentieren. Vor und nach den einzelnen Prüfungen ist ein Funktionstest des Prüflings durchzuführen. Werden für das Bestehen der Prüfung Modifikationen am Prüfling notwendig, so sind diese ausführlich zu dokumentieren.

6 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 61508: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer/elektronischer Systeme. Teil 2: Anforderungen an sicherheitsbezogene elektrische/elektronische/programmierbare elektronische Systeme (02.11). Beuth, Berlin 2011
- [2] DIN EN 61800-5-2: Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-2: Anforderungen an die Sicherheit – Funktionale Sicherheit (04.08). Beuth, Berlin 2008
- [3] DIN EN 61326-3-1: Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen – Teil 3-1: Störfestigkeitsanforderungen für sicherheitsbezogene Systeme und für Geräte, die für sicherheitsbezogene Funktionen vorgesehen sind (Funktionale Sicherheit) – Allgemeine industrielle Anwendungen (11.08). Beuth, Berlin 2008
- [4] DIN EN 62061: Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme (10.05). Beuth, Berlin 2005
- [5] DIN EN 61000-6-2: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Teil 6-2: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereiche (03.06). Beuth, Berlin 2006
- [6] DIN EN 61800-3: Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe. Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren (07.05). Beuth, Berlin 2005
- [7] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) mit Berichtigung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG vom 09.06.2006. ABI. EU L157, S. 24-86 http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2006/l_157/l_15720060609de00240086.pdf
- [8] DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung (03.11). Beuth, Berlin 2011

Autoren: Dipl.-Ing. Ralf Apfeld, Werner Grommes
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Sankt Augustin

Anhang A

A.1 Störfestigkeit gegen hochfrequente Phänomene für PDS (SR), die für den Einsatz an Maschinen und in der zweiten Umgebung vorgesehen sind

Anschluss	Phänomen	Grundnorm für das Prüfverfahren DIN EN	Pegel/Kriterium nach DIN EN 61800-3	Erhöhte Störfestigkeit (Festlegung des IFA)	Kriterium des Betriebsverhaltens	Kommentar
Gehäuse ¹	Elektrostatische Entladung	61000-4-2	4 kV CD oder 8 kV AD wenn CD nicht möglich /B	6 kV CD oder 15 kV AD wenn CD nicht möglich ^g	FS	
	Hochfrequentes elektromagnetisches Feld	61000-4-3	80 MHz bis 1000 MHz 10 V/m, 80 % AM (1 kHz) /A	80 MHz bis 1000 MHz 20 V/m, 1,4 GHz bis 2 GHz 10 V/m, 2,0 GHz bis 2,7 GHz 3 V/m, 80 % AM (1 kHz)	FS	Frequenzbereich siehe Tabelle 1
Stromversorgungsanschlüsse	Schnelle Transienten, Burst	61000-4-4	2 kV/5 kHz ^a /B	4 kV/5 kHz ^{a h}	FS	
	Stoßspannung, Surge ^b	61000-4-5	1 kV ^c /2 kV ^d /B	2 kV ^c /4 kV ^{d i} alternativ: 1 kV ^{ck} /4 kV ^{d i}	FS	
	Leitungsgeführte hochfrequente Gleichtaktstörung ^e	61000-4-6	0,15 MHz bis 80 MHz 10 V, 80 %, AM (1 kHz) /A	0,15 MHz bis 80 MHz 20 V, 80 %, AM (1 kHz)	FS	Frequenzbereich siehe Tabelle 2

Stromversorgungs- schnittstellen	Schnelle Transienten, Burst ^e	61000-4-4	2 kV/5 kHz /B	4 kV/5 kHz ^h	FS	
Signalschnittstellen	Schnelle Transienten, Burst ^e	61000-4-4	1 kV/5 kHz /B	2 kV/5 kHz ^h	FS	
	Stoßspannung, Surge	61000-4-5	---	0,5 kV ^{d fi}	FS	
	Leitungsgeführte hochfrequente Gleichtaktstörung ^e	61000-4-6	0,15 MHz bis 80 MHz 10 V, 80 % AM (1 kHz) /A	0,15 MHz bis 80 MHz 20 V, 80 %, AM (1 kHz)	FS	Frequenzbereich siehe Tabelle 2
Anschlüsse für die Prozessmessung und -steuerung und -regelung	Schnelle Transienten, Burst ^e	61000-4-4	2 kV/5 kHz /B	4 kV/5 kHz ^h	FS	
	Stoßspannung, Surge ^f	61000-4-5	1 kV ^{d f} /B	2 kV ^{d fi}	FS	
	Leitungsgeführte hochfrequente Gleichtaktstörung ^e	61000-4-6	0,15 MHz bis 80 MHz 10 V, 80 % AM (1 kHz) /A	0,15 MHz bis 80 MHz 20 V, 80 % AM (1 kHz)	FS	Frequenzbereich siehe Tabelle 2

¹ Physikalische Grenze des Gerätes (Betriebsmittel, Einrichtung), durch die elektromagnetische Felder abstrahlen oder durch die elektromagnetische Felder eintreten können.

^a Stromversorgungsanschlüsse mit einer Bemessungsstromstärke < 100 A: direkte Einkopplung unter Verwendung eines Koppel- und Entkoppelnetzwerkes. Bei einer Bemessungsstromstärke > 100 A sind spezielle Vereinbarungen zu treffen.

^b Gilt nur für Stromversorgungsanschlüsse mit einer Stromaufnahme < 63 A bei Schwachlast-Prüfbedingungen nach Festlegung in DIN EN 61800-3, 5.1.3.

- c Einkopplung Außenleiter zu Außenleiter
- d Einkopplung Außenleiter zu Erdpotenzial
- e Gilt nur für Anschlüsse oder Schnittstellen mit Kabeln, deren Gesamtlänge nach Funktionsspezifikation des Herstellers 3 m überschreiten kann.
- f Gilt nur für Anschlüsse mit Kabeln, deren Gesamtlänge nach Funktionsspezifikation des Herstellers 30 m überschreiten kann. Bei einem geschirmten Kabel erfolgt eine direkte Kopplung des Schirmes.
- g Für SIL 3 ist die Gesamtzahl der Entladungen beim höchsten Störpegel zu verdreifachen. Diese zusätzlichen Entladungen sollen auf andere Punkte durchgeführt werden als die vorherigen Testpunkte.
- h Für SIL 3 ist die Dauer der Prüfung zu verfünffachen.
- i Für SIL 3 ist die Anzahl der Impulse zu verdreifachen.
- k Die Anzahl der Impulse ist zu verdreifachen.

Die verwendeten Anschlussbezeichnungen sind der Norm DIN EN 61800-3 entnommen. Darin befinden sich auch die Definitionen der Anschlüsse. Eine DC-Versorgungsschnittstelle bis 60 V wird als Signalschnittstelle oder als Anschluss für die Prozessmessung, -steuerung und -regelung betrachtet.

Tabelle 1: Spezielle Frequenzen zur Prüfung Hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Bei diesen Frequenzen muss die Prüfung mit erhöhtem Störpegel durchgeführt werden. Bei anderen Frequenzen muss der Störpegel nicht erhöht werden.

Mittenfrequenz in MHz	Frequenzbereich	Anwendung
84.000	83.996 bis 84.004	ISM nur UK
	137 bis 174	div. Mobile und SRD
168.000	167.992 bis 168.008	ISM nur UK
	390 bis 430	TETRA
	430 bis 470	Amateur
433.920	433.050 bis 434.790	ISM nur Region 1
896.000	886.000 bis 906.000	ISM nur UK
897.500	880 bis 915	GSM
915.000	902 bis 928	ISM nur Region 2
	925 bis 960	GSM
1.745.750	1.710 bis 1.785	GSM
	1.805 bis 1.880	GSM
	1.900 bis 2.025	UMTS
	2.110 bis 2.200	UMTS
2.450	2.400 bis 2.500	ISM
	2.500 bis 2.690	UMTS

Tabelle 2: Spezielle Frequenzen zur Prüfung Leitungsgeführter hochfrequenter Gleichtaktstörungen

Bei diesen Frequenzen muss die Prüfung mit erhöhtem Störpegel durchgeführt werden. Bei anderen Frequenzen muss der Störpegel nicht erhöht werden.

Mittenfrequenz in MHz	Frequenzbereich	Anwendung
3.390	3.370 bis 3.410	ISM nur Niederlande
6.780	6.765 bis 6.795	ISM
13.560	13.553 bis 13.567	ISM
27.120	26.957 bis 27.283	ISM/CB/SRD
40.680	40.660 bis 40.700	ISM/SRD

A.2 Störfestigkeit gegen niederfrequente Phänomene für PDS (SR) mit einer Bemessungsspannung kleiner als 1000 V und für den Einsatz an Maschinen und in der zweiten Umgebung

Es sind die Prüfungen gemäß DIN EN 61800-3 durchzuführen. Es bestehen keine erhöhten Anforderungen. Kriterium ist jeweils FS.