



Your Global Automation Partner

IM1... | MK13-R-EX0 Trennschaltverstärker

Inhaltsverzeichnis

1	Über dieses Sicherheitshandbuch	5
1.1	Zielgruppen	5
1.2	Symbolerläuterung	5
1.3	Abkürzungen und Benennungen	6
1.4	Dokumentenhistorie	6
2	Hinweise zu den Geräten	7
2.1	Gerätevarianten	7
2.2	Turck-Service	7
3	Zu Ihrer Sicherheit	7
3.1	Bestimmungsgemäße Verwendung	8
3.2	Naheliegende Fehlanwendung	8
3.3	Allgemeine Sicherheitsvorschriften	8
4	Gerätespezifische Informationen zu Sicherheitsanwendungen	9
4.1	Sicherheitsfunktion	9
4.2	Sicherer Zustand	10
4.3	Funktionen und Betriebsarten	10
4.3.1	Pegelumschaltung	10
4.3.2	Signalverdopplung	10
4.3.3	Line Monitoring	10
4.3.4	Fehler quittieren	10
4.4	Fehler- und Ausfallarten	10
4.5	Sicherheitstechnische Kennwerte	10
4.5.1	Annahmen FMEDA	10
4.5.2	Hardwarearchitektur	11
4.5.3	Kennwerte für Trennschaltverstärker MK13-R-Ex0	11
4.5.4	Kennwerte für IM1-...Ex-R	11
4.5.5	Kennwerte für IM1-...-Ex-T	12
4.6	Wiederkehrende Funktionstests	12
4.7	Nutzungsdauer	13
4.8	Besondere Vorschriften und Einschränkungen	13
5	Installation und Inbetriebnahme	14
5.1	Montieren	14
5.2	Anschließen	14
5.2.1	Anschlussbilder	14
5.3	In Betrieb nehmen	18
5.3.1	Sensoren auswählen	18
5.3.2	Mechanische Kontakte auswählen	18
5.4	Parametrieren	18

6	Betrieb, Instandhaltung und Reparatur	19
6.1	Störungen beseitigen	19
6.2	Reparieren	20
6.2.1	Geräte zurücksenden	20
7	Außerbetriebnahme und Ausmusterung	20
7.1	Außer Betrieb nehmen	20
7.2	Ausmustern	20
8	Anhang – EXIDA-Report FMEDA Turck 04/07-14 R002	21
9	Turck-Niederlassungen – Kontaktdaten	46

1 Über dieses Sicherheitshandbuch

Dieses Sicherheitshandbuch enthält Vorschriften zur Anwendung der Geräte in sicherheitstechnischen Systemen (Safety Instrumented Systems SIS). Die Betrachtung der sicherheitsrelevanten Werte basiert auf der IEC 61508. Das Sicherheitshandbuch beschreibt die zur SIL-Beurteilung ermittelten Werte und ist nur im Zusammenhang mit dem anhängenden EXIDA-Report FMEDA Turck 04/07-14 R002 gültig. Lesen Sie dieses Dokument vor dem Gebrauch des Geräts aufmerksam durch. So vermeiden Sie mögliche Personen-, Sach- oder Geräteschäden. Bewahren Sie das Sicherheitshandbuch auf, solange das Gerät genutzt wird. Falls Sie das Gerät weitergeben, geben Sie auch dieses Sicherheitshandbuch mit.



GEFAHR

Fehlfunktion durch Bedienfehler

Lebensgefahr durch Ausfall der Sicherheitsfunktion!

- Die in diesem Sicherheitshandbuch enthaltenen Vorschriften unbedingt einhalten, wenn das Gerät in sicherheitsgerichteten Anwendungen eingesetzt wird.

1.1 Zielgruppen

Das Sicherheitshandbuch richtet sich an Fachpersonal oder fachlich geschultes Personal. Es muss von jeder Person gelesen und verstanden werden, die für eine der folgenden Arbeiten verantwortlich ist:

- Auspacken und Montage
- Inbetriebnahme
- Prüfung und Wartung
- Störungsbehebung
- Demontage und Entsorgung

1.2 Symbolerläuterung

In dieser Anleitung werden folgende Symbole verwendet:



GEFAHR

GEFAHR kennzeichnet eine unmittelbar gefährliche Situation mit hohem Risiko, die zu Tod oder schwerer Verletzung führt, wenn sie nicht vermieden wird.



HINWEIS

Unter HINWEIS finden Sie Tipps, Empfehlungen und wichtige Informationen. Die Hinweise erleichtern die Arbeit, enthalten Infos zu speziellen Handlungsschritten und helfen, Mehrarbeit durch falsches Vorgehen zu vermeiden.



HANDLUNGSAUFFORDERUNG

Dieses Zeichen kennzeichnet Handlungsschritte, die der Anwender auszuführen hat.



HANDLUNGSRERESULTAT

Dieses Zeichen kennzeichnet relevante Resultate von Handlungen und Handlungsabfolgen.

1.3 Abkürzungen und Benennungen

Begriffserklärungen siehe IEC 61508-4

DC	diagnostic coverage	Diagnosedeckungsgrad
E/E/PE-System	electrical/electronic/programmable electronic system	elektrisch/elektronisch/programmierbares elektronisches System
EUC	equipment under control	EUC-Einrichtung
	dangerous failure	gefährbringender Ausfall
	no effect failure	Ausfall ohne Auswirkung
	no part failure	Ausfall eines unbeteiligten Bauteils
	safe failure	ungefährlicher Ausfall
	safe state	sicherer Zustand
HFT	hardware fault tolerance	Hardwarefehlertoleranz
	high demand mode	Betriebsart mit hoher Anforderungsrate
	low demand mode	Betriebsart mit niedriger Anforderungsrate
MooN	M out of N channel architecture	Architektur mit M-aus-N Kanälen
MTBF	mean time between failures	mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen
MTTR	mean time to restauration	mittlere Dauer bis zur Wiederherstellung
PFD	probability of dangerous failure on demand	Wahrscheinlichkeit eines gefährbringenden Ausfalls bei Anforderung
PFD_{AVG}	average probability of dangerous failure on demand)	mittlere Wahrscheinlichkeit eines gefährbringenden Ausfalls bei Anforderung
PFH	average frequency of a dangerous failure per hour	mittlere Häufigkeit eines gefährbringenden Ausfalls je Stunde
SFF	safe failure fraction	Anteil sicherer Ausfälle
SIF	safety instrumented function	Sicherheitsfunktion
SIS	safety instrumented system	das sicherheitstechnische System
SIL	safety integrity level	Sicherheits-Integritätslevel
	proof test	Wiederholungsprüfung
	proof test interval	Intervall für die Wiederholungsprüfung

1.4 Dokumentenhistorie

Rev.	Beschreibung	Datum
1.0.0	Erstausgabe	02.04.2015
2.0.0	Änderung Useful Lifetime Layout-Änderungen	05.06.2024
2.1.0	Layoutanpassungen, Hinweise auf SIL-Registrierkarte entfernt	18.06.2025

Die deutschsprachige Version gilt als das führende Dokument. Sämtliche Übersetzungen wurden mit großer Sorgfalt erstellt. Sollten Sie unsicher sein hinsichtlich der Auslegung, verwenden Sie das deutschsprachige Sicherheitshandbuch oder wenden sich direkt an Turck.



HINWEIS

Benutzen Sie grundsätzlich das neueste Sicherheitshandbuch. Prüfen Sie, ob eine neuere Version zur Verfügung steht.

2 Hinweise zu den Geräten

2.1 Gerätevarianten

Dieses Sicherheitshandbuch gilt für die folgenden Turck-Trennschaltverstärker:

IM1-12Ex-R	IM1-22Ex-T
IM1-12Ex-T	IM1-121Ex-R
IM1-12-T	IM1-121Ex-T
IM1-22Ex-R	MK13-R-Ex0
IM1-22-R	

2.2 Turck-Service

Turck unterstützt Sie bei Ihren Projekten von der ersten Analyse bis zur Inbetriebnahme Ihrer Applikation. In der Turck-Produktdatenbank unter www.turck.com finden Sie Software-Tools für Programmierung, Konfiguration oder Inbetriebnahme, Datenblätter und CAD-Dateien in vielen Exportformaten.

Die Kontaktdaten der Turck-Niederlassungen weltweit finden Sie auf S. 47.

3 Zu Ihrer Sicherheit

Das Gerät ist nach dem Stand der Technik konzipiert. Dennoch gibt es Restgefahren. Um Personen- und Sachschäden zu vermeiden, müssen Sie die Warnhinweise und Sicherheitsvorschriften beachten. Für Schäden durch Nichtbeachtung von Vorschriften übernimmt Turck keine Haftung.

3.1 Bestimmungsgemäße Verwendung

Die Trennschaltverstärker dienen zur galvanisch getrennten Übertragung binärer Signale von Sensoren und mechanischen Kontakten. Anschließbar sind Sensoren gemäß EN 60947-5-6 (NAMUR) sowie mechanische Kontakte.

Die Ausgangskreise sind von den Eingangskreisen galvanisch getrennt und sind entweder als Relaisausgang oder potenzialfreier Transistorausgang ausgeführt.

Die Trennschaltverstärker des Typs IM1-...Ex-... und MK13-R-Ex0 verfügen über eine Ex-Zulassung und werden zur Übertragung binärer Signale aus dem Ex-Bereich in den sicheren Bereich eingesetzt.

Mit diesen Geräten lassen sich auch sicherheitsgerichtete Systeme bis einschließlich SIL2 gemäß IEC 61508 aufbauen (Hardwarefehlertoleranz HFT = 0). Die Geräte dürfen nur in sicherheitsgerichteten Kreisen verwendet werden, wenn alle Anforderungen strikt eingehalten werden, die sich aus diesem Sicherheitshandbuch und dem EXIDA-Bericht ergeben. Die Angaben im EXIDA-Bericht gelten bei Anwendung der IEC 61508 für Einsatzfälle mit niedriger Anforderungsrate (Gerätetyp A für Low-Demand-Betrieb). Beim Einsatz in Sicherheitssystemen ist die Ausfallwahrscheinlichkeit (PFD) für den gesamten Kreis zu ermitteln und zu berücksichtigen.

3.2 Naheliegende Fehlanwendung

Bei Einsatz von 2-kanaligen Geräten in Sicherheitskreisen darf der 2. Kanal nicht genutzt werden, um die Hardwarefehlertoleranz zu erhöhen und damit einen höheren SIL-Level zu erreichen.

Die Trennschaltverstärker des Typs IM1-...Ex-... dürfen entsprechend der ATEX-Richtlinie in Zone 2 eingebaut werden; die Trennschaltverstärker des Typs IM1-...-... und MK13-R-Ex0 dürfen entsprechend der ATEX-Richtlinie nicht in explosionsgefährdeten Bereichen eingebaut werden.

3.3 Allgemeine Sicherheitsvorschriften

- Das Gerät muss unter <https://www.turck.de/SIL> registriert werden.
- Der Anwender ist dafür verantwortlich, dass das Gerät jeweils in Übereinstimmung mit den geltenden Bestimmungen, Normen und Gesetzen eingesetzt wird.
- Die Eignung für bestimmte Einsatzfälle muss durch die Betrachtung des jeweiligen sicherheitsgerichteten Gesamtsystems im Hinblick auf die Anforderungen der IEC 61508 bewertet werden.
- Das Gerät darf nur von geschultem Personal montiert und installiert werden.
- Das Gerät darf nur von erfahrenen Anwendern in Betrieb genommen und betrieben werden.
- Vor dem ersten Betrieb, nach jeder Parametrierung, nach Reparatur und Austausch sowie im vorgeschriebenen Zeitabstand T[Proof] muss ein Funktionstest durchgeführt werden
- Beim Betrieb des Gerätes ist sicherzustellen, dass die Spannungsversorgung dem angegebenen Spannungsbereich entspricht.
- Der ordnungsgemäße Zustand der Verbindungen und Kabel muss regelmäßig überprüft werden.
- Vor dem Einsatz im sicherheitsgerichteten Kreis muss überprüft werden, ob tatsächlich die gewünschte Funktion eingestellt wurde.
- Besondere applikationsspezifische Einflüsse, wie z. B. chemische und physikalische Belastungen, können zur vorzeitigen Abnutzung der Geräte führen und müssen bereits bei der Anlagenplanung berücksichtigt werden; fehlende Erfahrungswerte durch besondere Maßnahmen ausgleichen, z. B. durch verkürzte Prüfintervalle.
- Bei Fehlern innerhalb des Gerätes, die zum Übergang in den als sicher definierten Zustand führen, müssen Maßnahmen getroffen werden, die bei Weiterbetrieb der Gesamtsteuerung den sicheren Zustand erhalten.
- Gefährliche Ausfälle müssen umgehend an Turck gemeldet werden.
- Ein defektes Gerät muss umgehend ausgetauscht und darf nicht repariert werden.
- Bei defekten Klemmen sowie bei sichtbaren Fehlern am Gerät ist ein sofortiger Austausch notwendig.
- Eingriffe und Umbauten am Gerät sind unzulässig. Reparaturen dürfen ausschließlich von Turck ausgeführt werden. Senden Sie das Gerät zu diesem Zweck an Turck (siehe Abschnitt „Reparieren“).
- Das Gerät muss gegen ein unbeabsichtigtes Verändern der Einstellungen gesichert werden.
- Vor dem Einsatz des Produktes in sicherheitsbezogenen Anwendungen müssen die Angaben dieses Sicherheitshandbuches immer auf ihre Anwendbarkeit für die jeweilige Applikation (z. B. auf besondere, branchenspezifische Anforderungen und Gepflogenheiten) geprüft werden. Im Zweifelsfall kontaktieren Sie bitte die angegebene Herstelleradresse.

4 Gerätespezifische Informationen zu Sicherheitsanwendungen

4.1 Sicherheitsfunktion

Eingangssignalauswertung:

- In Abhängigkeit des Eingangssignals und des Betriebsmodus
 - wird das Relais entregt (Gerät mit Relaisausgang)
 - wird der Transistor gesperrt (Gerät mit Transistorausgang)
- Die Drahtbruch- und Kurzschlussüberwachung ist Teil der Sicherheitsfunktion. Drahtbruch und Kurzschluss führen jeweils zum Ausgangszustand LOW.



GEFAHR

Die ermittelten Kennwerte gelten für die Verwendung eines Ausgangs in sicherheitsgerichteten Funktionen. Bei Signalverdopplung darf der zweite Ausgang nicht für die Sicherheitsfunktion genutzt werden.

Lebensgefahr durch Fehlanwendung!

- Bei Signalverdopplung nur einen Ausgang für die Sicherheitsfunktion verwenden.
-

4.2 Sicherer Zustand

Der sichere Zustand ist so definiert, dass der Ausgang LOW ist (Relais abgefallen bzw. Transistor gesperrt).

4.3 Funktionen und Betriebsarten

Folgende Merkmale kennzeichnen die Trennschaltverstärker mit NAMUR-Eingang:

- Schaltpunkt: $(1,55 \pm 0,2) \text{ mA}$
- Stromaufnahme bei Drahtbruch: $< 0,2 \text{ mA}$
- Stromaufnahme bei Kurzschluss: $> 6 \text{ mA}$

4.3.1 Pegelumschaltung

Pegelumschaltung bei 2-kanaligen Geräten: Eine Pegelumschaltung am Eingang verursacht eine Pegelumschaltung am zugehörigen Ausgang.

4.3.2 Signalverdopplung

Signalverdopplung: Eine Pegelumschaltung am Eingang von Kanal 1 verursacht eine Pegelumschaltung an beiden Ausgängen.

4.3.3 Line Monitoring

Bei Drahtbruch und Kurzschluss schaltet der zugehörige Ausgang auf LOW.

4.3.4 Fehler quittieren

Fehler müssen nicht quittiert werden. Ist der Fehler beseitigt, nimmt das Gerät den Betrieb selbstständig wieder auf.

4.4 Fehler- und Ausfallarten

Fehler müssen im Zusammenhang mit der Applikation in sichere (nicht gefährliche) und unsichere (gefährliche) Fehler klassifiziert werden. Dafür sind Sie als Betreiber verantwortlich.



HINWEIS

Sämtliche Schäden, die durch einen gefährlichen unentdeckten Ausfall verursacht werden, müssen umgehend an Turck gemeldet werden.

4.5 Sicherheitstechnische Kennwerte

4.5.1 Annahmen FMEDA

Die sicherheitstechnischen Kennwerte wurden auf Basis einer FMEDA nach IEC 61508 ermittelt. Die FMEDA beruht auf folgenden Annahmen:

- Die Ausfallraten sind konstant.
- Der mechanische Verschleiß ist nicht betrachtet.
- Die Ausbreitung von Ausfällen ist nicht relevant.
- Die Reparaturzeit MTTR nach einem ungefährlichen Fehler beträgt 8 Stunden (Austausch des Gerätes).
- Das Gerät wird in der Betriebsart mit niedriger Anforderungsrate betrieben (Low Demand Mode).
- Die Ausfallraten einer externen Spannungsversorgung sind nicht berücksichtigt.
- Nur ein Eingang und ein Ausgang sind Teil der Sicherheitsfunktion.
- Bei den verwendeten Ausfallraten handelt es sich um die Siemens-Standards SN 29500 bei 40 °C.
- Der zweite Kanal eines Gerätes kann nicht zur Erhöhung der Hardwarefehlertoleranz HFT verwendet werden.
- Die Umgebungsbedingungen entsprechen einer durchschnittlichen industriellen Umgebung, definiert in MIL-HNBK-217-F oder der IEC 60654-1, Class C (sheltered location).
 - Die Umgebungstemperatur beträgt in der Regel 40 °C.
 - Bei Umgebungstemperaturen von 60 °C und bei häufigen Temperaturschwankungen ist ein Sicherheitsfaktor von 2,5 zu verwenden.

4.5.2 Hardwarearchitektur

Das Gerät wird als Komponente des Typs A betrachtet (nicht-komplexes Gerät). Die Hardwarefehlertoleranz HFT ist 0.

4.5.3 Kennwerte für Trennschaltverstärker MK13-R-Ex0

Das Gerät ist einsetzbar für Anwendungen bis zu SIL 2.
 $MTBF = MTTF + MTTR = 1/(\lambda_{\text{total}} + \lambda_{\text{not part}}) + 8 \text{ h} = 279 \text{ Jahre}$

MK13-R-Ex0 – Rate ungefährlicher und gefährlicher Ausfälle

λ_{safe}	$\lambda_{\text{dangerous}}$	SFF
288 FIT	110 FIT	72,44 %

MK13-R-Ex0 – Mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit im Anforderungsfall

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
$PFD_{\text{AVG}} = 4,80 \times 10^{-4}$	$PFD_{\text{AVG}} = 2,40 \times 10^{-3}$	$PFD_{\text{AVG}} = 4,79 \times 10^{-3}$

4.5.4 Kennwerte für IM1-...Ex-R

Die Geräte sind einsetzbar für Anwendungen bis zu SIL 2.
 $MTBF = MTTF + MTTR = 1/(\lambda_{\text{total}} + \lambda_{\text{not part}}) + 8 \text{ h} = 272 \text{ Jahre}$

IM1-...Ex-R – Rate ungefährlicher und gefährlicher Ausfälle

λ_{safe}	$\lambda_{\text{dangerous}}$	SFF
299 FIT	110 FIT	73,15 %

IM1-...Ex-R – Mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit im Anforderungsfall

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
$PFD_{\text{AVG}} = 4,80 \times 10^{-4}$	$PFD_{\text{AVG}} = 2,40 \times 10^{-3}$	$PFD_{\text{AVG}} = 4,79 \times 10^{-3}$

4.5.5 Kennwerte für IM1-...-Ex-T

Die Geräte sind einsetzbar für Anwendungen bis zu SIL 2.

$$MTBF = MTTF + MTTR = 1/(\lambda_{\text{total}} + \lambda_{\text{not part}}) + 8 \text{ h} = 314 \text{ Jahre}$$

IM1-...-Ex-T – Rate ungefährlicher und gefährlicher Ausfälle

λ_{safe}	$\lambda_{\text{dangerous}}$	SFF
267 FIT	85 FIT	75,89 %

IM1-...-Ex-T – Mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit im Anforderungsfall

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
$PFD_{\text{AVG}} = 3,72 \times 10^{-4}$	$PFD_{\text{AVG}} = 1,86 \times 10^{-3}$	$PFD_{\text{AVG}} = 3,71 \times 10^{-3}$



HINWEIS

Der PFD_{AVG} -Wert der Trennschaltverstärker sollte auf max. 10 % des zulässigen PFD_{AVG} -Gesamtwertes für den Sicherheits-Integritätslevel SIL2 ausgelegt sein. Ein grün unterlegter PFD_{AVG} -Wert besagt, dass der PFD-Anteil nach IEC 61508-1 im Rahmen des SIL2-Bereiches liegt und weniger als 10 % des Gesamtwertes für SIL2 beträgt. Ein gelb unterlegter PFD_{AVG} -Wert besagt, dass der PFD-Anteil nach IEC 61508-1 zwar im Rahmen des SIL2-Bereiches liegt, aber mehr als 10 % des Gesamtwertes für SIL2 beträgt.

4.6 Wiederkehrende Funktionstests

Vor dem ersten Betrieb, nach jeder Parametrierung, nach Reparatur und Austausch sowie im vorgeschriebenen Zeitabstand T[Proof] ist ein Funktionstest durchzuführen:

- ▶ Stellen Sie sicher, dass der Funktionstest nur von qualifiziertem Personal durchgeführt wird.
- ▶ Denken Sie zuerst an Ihre Sicherheit und die Sicherheit Ihrer Umgebung. Tauschen Sie im Zweifelsfall das Gerät aus.
- ▶ Brücken Sie den Trennschaltverstärker in der Sicherheitssteuerung (PLT) und stellen Sie sicher, dass die Sicherheit gewährleistet bleibt. Für die Gewährleistung der Sicherheit sind Sie als Betreiber verantwortlich.
- ▶ Simulieren Sie am Eingang einen Kurzschluss und prüfen Sie, ob die Ausgänge auf LOW wechseln.
- ▶ Simulieren Sie am Eingang einen Drahtbruch und prüfen Sie, ob die Ausgänge auf LOW wechseln.
- ▶ Simulieren Sie am Eingang einen Schaltvorgang und prüfen Sie, ob sich der entsprechende Ausgang gemäß der gewünschten Parametrierung verhält.
- ▶ Sind alle Prüfungen abgeschlossen und wurden keine Fehler festgestellt, nehmen Sie den Sicherheitskreis wieder in Betrieb.
- ▶ Dokumentieren und archivieren Sie nach der Durchführung des Tests die Ergebnisse.



HINWEIS

Durch den Funktionstest werden mehr als 90 % der unerkannten Gefahr bringenden Fehler (Du) des Gerätes aufgedeckt.

4.7 Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer liegt erfahrungsgemäß in einem Bereich von 8 bis 12 Jahren. Sie kann beträchtlich geringer sein, falls die Geräte mit Werten betrieben werden, die nahe des vorgegebenen Grenzbereichs liegen. Die Nutzungsdauer kann jedoch durch entsprechende Maßnahmen verlängert werden. Beispielsweise könnte sich die Nutzungsdauer durch starke Temperaturschwankungen möglicherweise verringern. Konstante Temperaturen unter 40 °C tragen möglicherweise dazu bei, sie zu erhöhen.

Bei den Relaisausgängen ($\cos \phi = 1$, $I = 2 \text{ A/AC}$) beträgt die Nutzungsdauer 8 bis 12 Jahre oder 50000 Schaltzyklen.

4.8 Besondere Vorschriften und Einschränkungen



HINWEIS

Jede Anwendung hat ihre besonderen Einsatz- und Umgebungsbedingungen. Daher muss bei der sicherheitstechnischen Beurteilung einer Anlage – neben den allgemeinen Aussagen zu Ausfallwahrscheinlichkeiten, Toleranzen und Fehlerraten der Komponenten – immer auch der konkrete Prozess betrachtet werden. So können beispielsweise besondere chemische und physikalische Belastungen zur vorzeitigen Abnutzung der Geräte führen, deren Einflüsse bereits bei der Anlagenplanung berücksichtigt werden müssen. Fehlende Erfahrungswerte lassen sich durch besondere Maßnahmen ausgleichen, zum Beispiel durch verkürzte Prüfintervalle. Die Einschätzung des Diagnosedeckungsgrads (DC) kann von Anwendung zu Anwendung variieren. Die Einschätzung der Hardwarefehlertoleranz (HFT) kann nur erfolgen, wenn Einschränkungen zur Anwendung des konformen Objektes gemacht werden.

5 Installation und Inbetriebnahme



GEFAHR

Fehlfunktion durch Fehler bei der Inbetriebnahme und Bedienung

Lebensgefahr durch Ausfall der Sicherheitsfunktion!

- Stellen Sie sicher, dass das Produkt nur durch fachlich geschultes und erfahrenes Personal montiert, installiert, betrieben und gewartet wird.

5.1 Montieren

Beachten Sie die Montagehinweise in der Betriebsanleitung.

5.2 Anschließen

Beachten Sie die Installationshinweise in der Betriebsanleitung.

5.2.1 Anschlussbilder

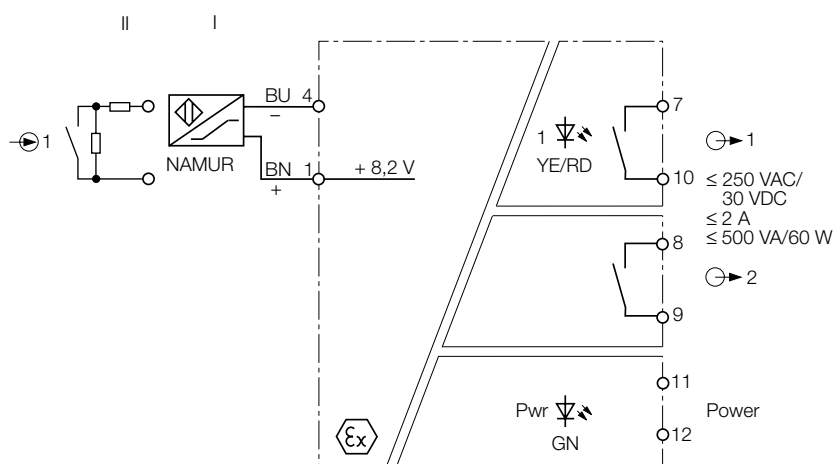


Abb. 1: Blockschaltbild IM1-12Ex-R

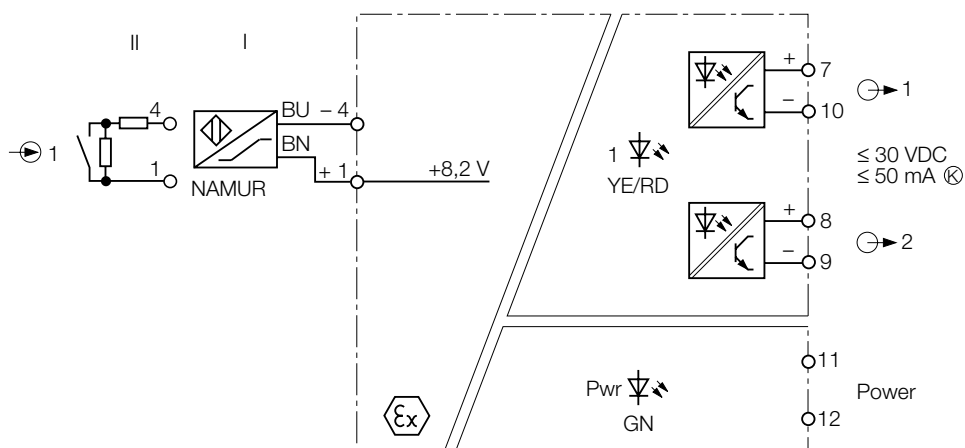


Abb. 2: Blockschaltbild IM1-12Ex-T

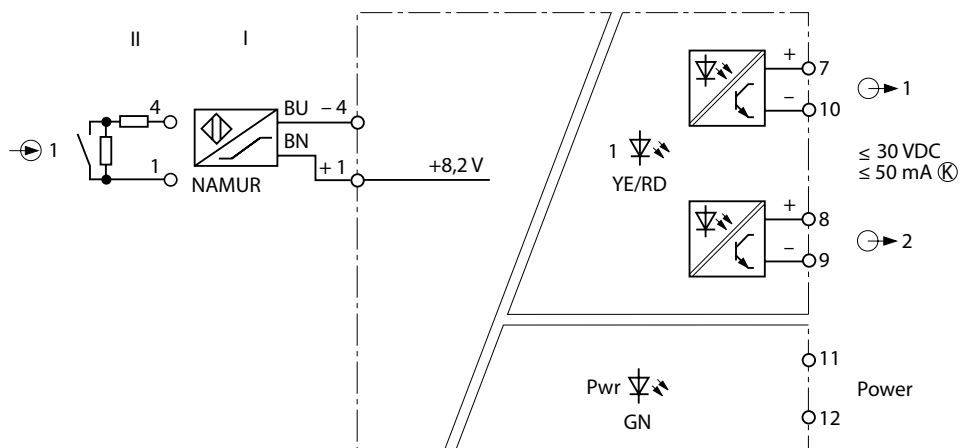


Abb. 3: Blockschaltbild IM1-12-T

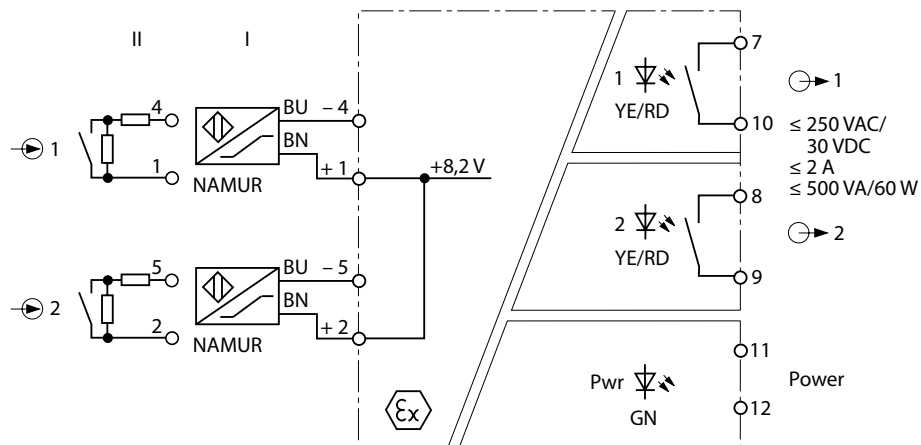


Abb. 4: Blockschaltbild IM1-22Ex-R

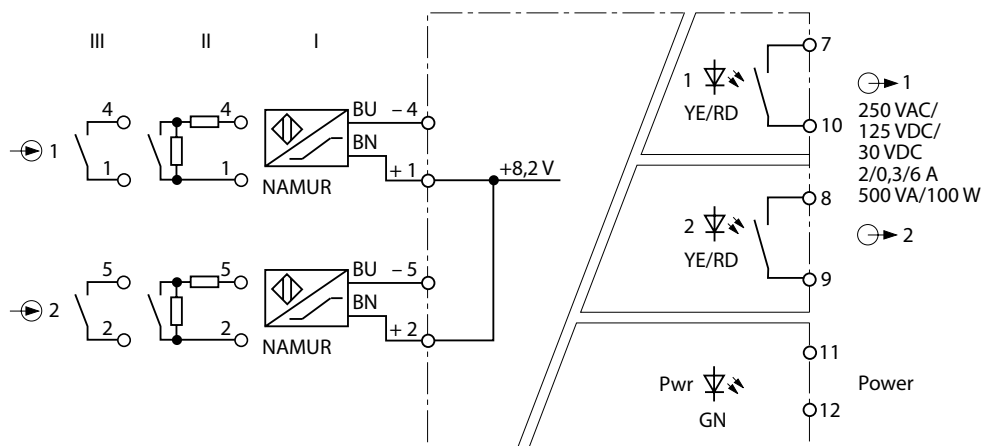


Abb. 5: Blockschaltbild IM1-22-R

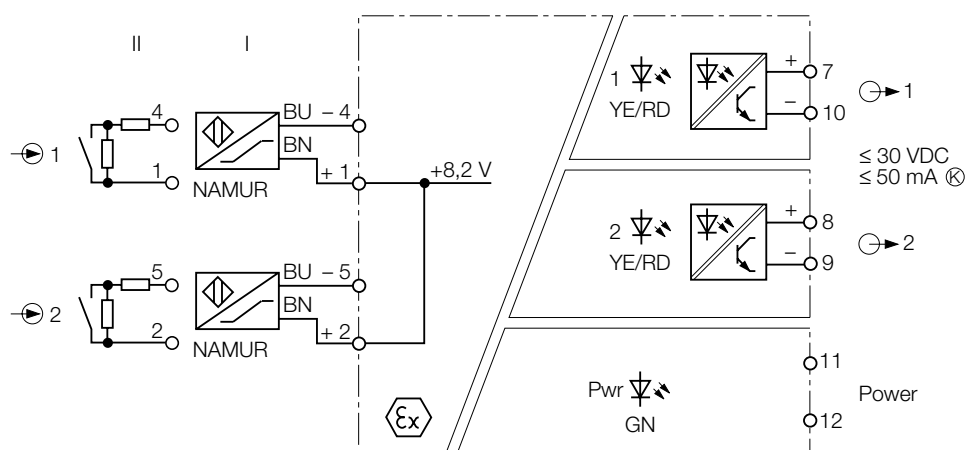


Abb. 6: Blockschaltbild IM1-22Ex-T

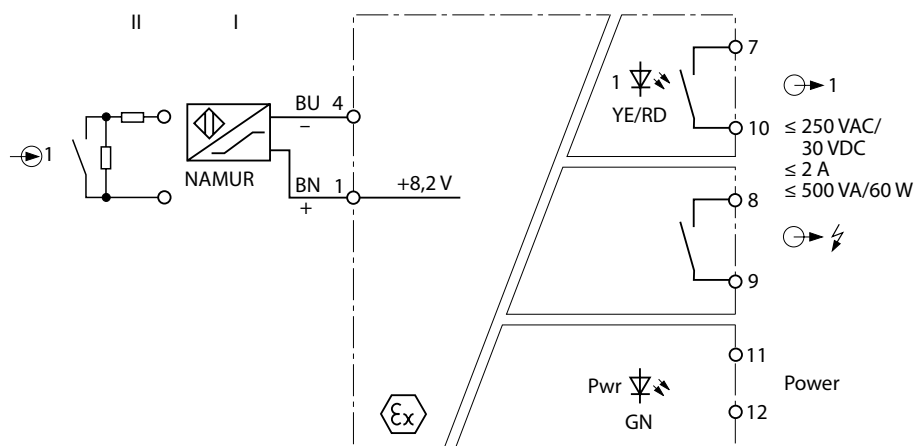


Abb. 7: Blockschaltbild IM1-121Ex-R

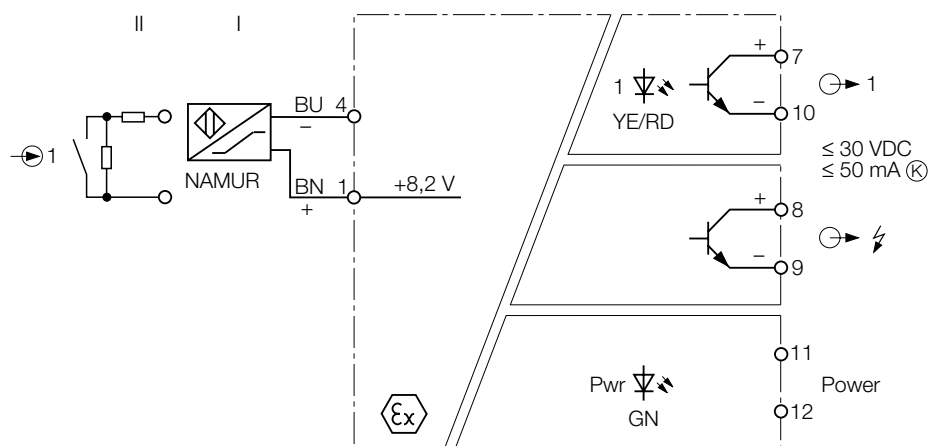


Abb. 8: Blockschaltbild IM1-121-Ex-T

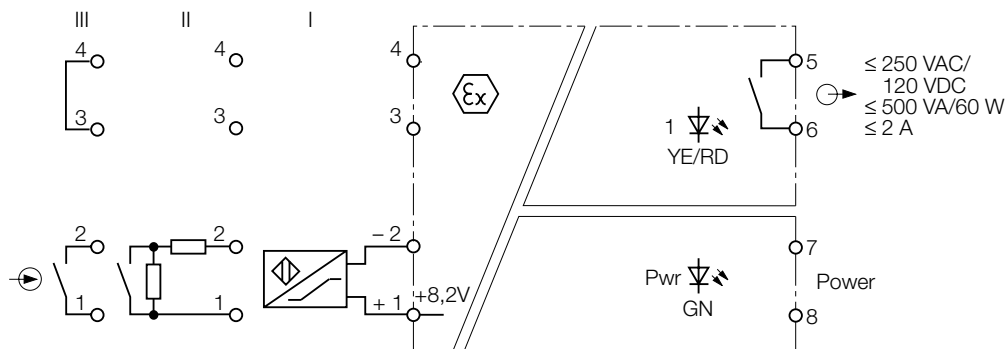


Abb. 9: Blockschaltbild MK13-R-Ex0

5.3 In Betrieb nehmen

Beim Betrieb des Gerätes ist sicherzustellen, dass die Spannungsversorgung dem angegebenen Spannungsbereich entspricht. Die Inbetriebnahme ist in der Betriebsanleitung des jeweiligen Gerätes beschrieben.



GEFAHR

Fehlfunktion durch Bedien- und Gerätefehler

Lebensgefahr durch Ausfall der Sicherheitsfunktion!

- Vor dem ersten Betrieb, nach jeder Parametrierung, nach Reparatur und Austausch sowie im vorgeschriebenen Zeitabstand T[Proof] Funktionstest durchführen.

5.3.1 Sensoren auswählen

Werden Sensoren gemäß EN 60947-5-6:2000 in Sicherheitskreisen eingesetzt, müssen die Sensoren nach IEC 61508 zertifiziert sein.

Versichern Sie sich, dass die Geräte und die Gehäusewerkstoffe für den jeweiligen Einsatzfall geeignet sind.

Informieren Sie sich darüber auch in den jeweiligen Datenblättern der Turck-Geräte unter www.turck.com.

5.3.2 Mechanische Kontakte auswählen

Werden mechanische Kontakte in Sicherheitskreisen eingesetzt, müssen die Kontakte nach IEC 61508 zertifiziert sein.

5.4 Parametrieren



GEFAHR

Fehlfunktion durch Bedien- und Gerätefehler

Lebensgefahr durch Ausfall der Sicherheitsfunktion!

- Vor dem ersten Betrieb, nach jeder Parametrierung, nach Reparatur und Austausch sowie im vorgeschriebenen Zeitabstand T[Proof] Funktionstest durchführen.



GEFAHR

Unbeabsichtigtes Verstellen der Parameter

Lebensgefahr durch Ausfall der Sicherheitsfunktion!

- Sichern das Gerät gegen unbeabsichtigtes Verstellen.

Mit den frontseitigen DIP-Schaltern lassen sich für jeden Kanal separat die Wirkungsrichtung des Schaltausgangs einstellen und eine Eingangskreisüberwachung auf Drahtbruch und Kurzschluss aktivieren.

Schalter	Bedeutung
NO	Arbeitsstromverhalten
NC	Ruhestromverhalten
WB	Drahtbruchüberwachung aktiviert
SC	Kurzschlussüberwachung aktiviert
LM	Eingangskreisüberwachung Drahtbruch und Kurzschluss (nur MK13-R-Ex0)
off	entsprechende Funktion deaktiviert

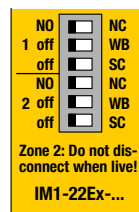
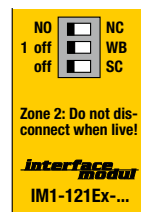
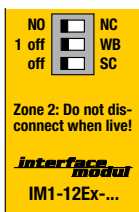


Abb. 10: Einstellung über DIP-Schalter

In der folgenden Funktionstabelle sind die verschiedenen Eingangszustände mit den entsprechenden Ausgangszuständen aufgeführt. Zu beachten ist, dass in der Regel das Schaltverhalten von induktiven Sensoren nach EN 60947-5-6 (NAMUR) dem von mechanischen Öffner-Kontakten entspricht. Das Schaltverhalten von kapazitiven und magnet-induktiven Sensoren entspricht dem von Schließer-Kontakten.

Wirkungsrichtung Function mode Sens d'action	Eingang/input/entrée		Ausgang/output/sortie			
	Induktiver Sensor inductive sensor détecteur inductif EN 60947-5-6 NAMUR	mechanischer Kontakt dry contact contact mécanique R1 = 1...2,2 kΩ (> ¼ W) R2 = 10...22 kΩ (> ¼ W)	kein Fehler/normal/sans défaut	IM1-121Ex-... Störmeldeausgang alarm output sortie de sig. de défaut	mit Fehler/short or wire-break/avec défaut	IM1-121Ex-... Störmeldeausgang alarm output sortie de sig. de défaut
Arbeitsstromverhalten load current mode (N.O.) fonction travail NO			0	1	0	0
			1	1	0	0
Ruhestromverhalten no load current mode (N.C.) fonction repos NC			1	1	0	0
			0	1	0	0

Abb. 11: Funktionstabelle

6 Betrieb, Instandhaltung und Reparatur

Die Angaben gelten für die Betriebsbedingungen in einem industriellen Umfeld gemäß IEC 606541-1 Class C (geschützte Lage) mit einer Umgebungstemperatur von 40 °C über einen langen Zeitraum.

6.1 Störungen beseitigen

Die Behebung von Störungen ist in der Betriebsanleitung des jeweiligen Gerätes beschrieben.



HINWEIS

Der Anwender muss sämtliche Störungen am Gerät, die bei Einsatz des Gerätes in sicherheitstechnischen Anwendungen auftreten, umgehend an Turck melden.

6.2 Instand halten

Der ordnungsgemäße Zustand der Verbindungen und Kabel muss regelmäßig überprüft werden.

Die Geräte sind wartungsfrei, bei Bedarf trocken reinigen.



GEFAHR

Fehlfunktion durch leitende Medien oder statische Aufladung

Lebensgefahr durch Ausfall der Sicherheitsfunktion!

- Verwenden Sie bei der Reinigung keine flüssigen Medien oder statisch aufladenden Reinigungsmittel.



GEFAHR

Unbeabsichtigtes Verstellen der Parameter

Lebensgefahr durch Ausfall der Sicherheitsfunktion!

- Führen Sie nach jeder Reinigung einen Funktionstest durch.

6.3 Reparieren



GEFAHR

Das Gerät darf nicht repariert werden.

Lebensgefahr durch Fehlfunktion!

- Senden Sie das Gerät zur Reparatur an Turck. Beachten Sie hierbei die spezifischen, mit der Lieferung vereinbarten Garantiebedingungen.

6.3.1 Geräte zurücksenden

Rücksendungen an Turck können nur entgegengenommen werden, wenn dem Gerät eine Dekontaminationserklärung beiliegt. Die Erklärung steht unter https://www.turck.de/static/media/downloads/01_Dekontaminationserklaerung_DE.pdf zur Verfügung und muss vollständig ausgefüllt, wetter- und transportsicher an der Außenseite der Verpackung angebracht sein.

7 Außerbetriebnahme und Ausmusterung

7.1 Außer Betrieb nehmen

Die Außerbetriebnahme ist in der Betriebsanleitung des jeweiligen Gerätes beschrieben.

7.2 Ausmustern



Die Geräte müssen nach dem Ablauf der Useful Lifetime von 8...12 Jahren ausgemustert werden. Die Geräte müssen fachgerecht entsorgt werden und gehören nicht in den normalen Hausmüll.

8 Anhang – EXIDA-Report FMEDA Turck 04/07-14 R002



Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis

Project:

Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0

Customer:

Hans Turck GmbH & Co. KG
Mühlheim
Germany

Contract No.: TURCK 04/07-14

Report No.: TURCK 04/07-14 R002

Version V3, Revision R0, February 2014

Stephan Aschenbrenner

The document was prepared using best effort. The authors make no warranty of any kind and shall not be liable in any event for incidental or consequential damages in connection with the application of the document.
© All rights on the format of this technical report reserved.



Management summary

This report summarizes the results of the hardware assessment carried out on the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0.

Table 1 gives an overview of the different versions that belong to the considered devices.

The hardware assessment consists of a Failure Modes, Effects and Diagnostics Analysis (FMEDA). A FMEDA is one of the steps taken to achieve functional safety assessment of a device per IEC 61508. From the FMEDA, failure rates are determined and consequently the Safe Failure Fraction (SFF) is calculated for the device. For full assessment purposes all requirements of IEC 61508 must be considered.

Table 1: Version overview

Type	Description ¹	Parts List / Circuit Diagram
IM1-12Ex-R IM1-12-R	1 input / 2 relay outputs	12296307 of 07.10.04 / 12296307 of 28.09.04
IM1-12Ex-T IM1-12-T	1 input / 2 transistor outputs	12296309 of 07.10.04 / 12296309 of 28.09.04
IM1-22Ex-R IM1-22-R	2 inputs / 2 relay outputs	12296301 of 07.10.04 / 12296301 of 28.09.04
IM1-22Ex-T IM1-22-T	2 inputs / 2 transistor outputs	12296303 of 13.08.04 / 12296303 of 28.09.04
IM1-121Ex-R	1 input / 2 relay outputs (one used as error message output)	12296310 of 07.10.04 / 12296310 of 28.09.04
IM1-121Ex-T	1 input / 2 transistor outputs (one used as error message output)	12296312 of 25.01.05 / 12296312 of 28.09.04
MK13-R-Ex0	1 input / 1 relay output	12296101 of 18.10.04 / 12296100 of 07.10.04

The failure rates used in this analysis are the basic failure rates from the Siemens standard SN 29500.

According to table 2 of IEC 61508-1 the average PFD for systems operating in low demand mode has to be $\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$ for SIL 2 safety functions. However, as the modules under consideration are only one part of an entire safety function they should not claim more than 10% of this range, i.e. they should be better than or equal to 1,00E-03.

The Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0 are considered to be Type A² components with a hardware fault tolerance of 0.

For Type A components the SFF has to be 60% to $< 90\%$ according to table 2 of IEC 61508-2 for SIL 2 (sub-) systems with a hardware fault tolerance of 0.

The following failure rates are valid for operating stress conditions typical of an industrial field environment similar to IEC 60654-1 class C (sheltered location) with an average temperature over a long period of time of 40°C. For a higher average temperature of 60°C, the failure rates should be multiplied with an experience based factor of 2,5. A similar multiplier should be used if frequent temperature fluctuation must be assumed.

¹ The two channels on a redundant board shall not be used to increase the hardware fault tolerance needed for a higher SIL as they contain common components.

² Type A component: "Non-complex" component (all failure modes are well defined); for details see 7.4.3.1.2 of IEC 61508-2.

**Table 2: Summary for MK13-R-Ex0 – Failure rates**

λ_{safe}	$\lambda_{\text{dangerous}}$	SFF
288 FIT	110 FIT	72%

Table 3: Summary for MK13-R-Ex0 – PFD_{AVG} values

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
PFD _{AVG} = 4,80E-04	PFD _{AVG} = 2,40E-03	PFD _{AVG} = 4,79E-03

Table 4: Summary for IM1-*-R – Failure rates**

λ_{safe}	$\lambda_{\text{dangerous}}$	SFF
299 FIT	110 FIT	73%

Table 5: Summary for IM1-*-R – PFD_{AVG} values**

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
PFD _{AVG} = 4,80E-04	PFD _{AVG} = 2,40E-03	PFD _{AVG} = 4,79E-03

Table 6: Summary for IM1-*-T – Failure rates**

λ_{safe}	$\lambda_{\text{dangerous}}$	SFF
267 FIT	85 FIT	75%

Table 7: Summary for IM1-*-T – PFD_{AVG} values**

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
PFD _{AVG} = 3,72E-04	PFD _{AVG} = 1,86E-03	PFD _{AVG} = 3,71E-03

The boxes marked in yellow () mean that the calculated PFD_{AVG} values are within the allowed range for SIL 2 according to table 2 of IEC 61508-1 but do not fulfill the requirement to not claim more than 10% of this range, i.e. to be better than or equal to 1,00E-03. The boxes marked in green () mean that the calculated PFD_{AVG} values are within the allowed range for SIL 2 according to table 2 of IEC 61508-1 and table 3.1 of ANSI/ISA-84.01-1996 and do fulfill the requirement to not claim more than 10% of this range, i.e. to be better than or equal to 1,00E-03.

Because the Safe Failure Fraction (SFF) is above 60%, also the architectural constraints requirements of table 2 of IEC 61508-2 for Type A subsystems with a Hardware Fault Tolerance (HFT) of 0 are fulfilled.

A user of the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0 can utilize these failure rates in a probabilistic model of a safety instrumented function (SIF) to determine suitability in part for safety instrumented system (SIS) usage in a particular safety integrity level (SIL). A full table of failure rates is presented in sections 5.1 to 5.3 along with all assumptions.

The failure rates are valid for the useful life of the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0, which is estimated to be between 8 and 12 years (see Appendix 2).

It is important to realize that the “no effect” failures are included in the “safe undetected” failure category according to IEC 61508. Note that these failures on its own will not affect system reliability or safety, and should not be included in spurious trip calculations.



Table of Contents

Management summary	2
1 Purpose and Scope	5
2 Project management.....	6
2.1 <i>exida.com</i>	6
2.2 Roles of the parties involved	6
2.3 Standards / Literature used	6
2.4 Reference documents	6
2.4.1 Documentation provided by the customer.....	6
2.4.2 Documentation generated by <i>exida.com</i>	7
3 Description of the analyzed modules	8
4 Failure Modes, Effects, and Diagnostic Analysis	10
4.1 Description of the failure categories	10
4.2 Methodology – FMEDA, Failure rates.....	10
4.2.1 FMEDA.....	10
4.2.2 Failure rates	11
4.2.3 Assumptions.....	11
5 Results of the assessment.....	12
5.1 Isolating Switching Amplifier MK13-R-Ex0.....	13
5.2 Isolating Switching Amplifier IM1-***-R.....	15
5.3 Isolating Switching Amplifier IM1-***-T	17
6 Terms and Definitions.....	19
7 Status of the document.....	20
7.1 Liability.....	20
7.2 Releases	20
7.3 Release Signatures.....	20
Appendix 1: Possibilities to reveal dangerous undetected faults during the proof test..	20
Appendix 1.1: Possible proof tests to detect dangerous undetected faults	24
Appendix 2: Impact of lifetime of critical components on the failure rate.....	25



1 Purpose and Scope

Generally three options exist when doing an assessment of sensors, interfaces and/or final elements.

Option 1: Hardware assessment according to IEC 61508

Option 1 is a hardware assessment by *exida.com* according to the relevant functional safety standard(s) like DIN V VDE 0801, IEC 61508 or EN 954-1. The hardware assessment consists of a FMEDA to determine the fault behavior and the failure rates of the device, which are then used to calculate the Safe Failure Fraction (SFF) and the average Probability of Failure on Demand (PFD_{AVG}).

This option for pre-existing hardware devices shall provide the safety instrumentation engineer with the required failure data as per IEC 61508 / IEC 61511 and does not include an assessment of the software development process

Option 2: Hardware assessment with proven-in-use consideration according to IEC 61508 / IEC 61511

Option 2 is an assessment by *exida.com* according to the relevant functional safety standard(s) like DIN V VDE 0801, IEC 61508 or EN 954-1. The hardware assessment consists of a FMEDA to determine the fault behavior and the failure rates of the device, which are then used to calculate the Safe Failure Fraction (SFF) and the average Probability of Failure on Demand (PFD_{AVG}). In addition this option consists of an assessment of the proven-in-use documentation of the device and its software including the modification process.

This option for pre-existing programmable electronic devices shall provide the safety instrumentation engineer with the required failure data as per IEC 61508 / IEC 61511 and justify the reduced fault tolerance requirements of IEC 61511 for sensors, final elements and other PE field devices.

Option 3: Full assessment according to IEC 61508

Option 3 is a full assessment by *exida.com* according to the relevant application standard(s) like IEC 61511 or EN 298 and the necessary functional safety standard(s) like DIN V VDE 0801, IEC 61508 or EN 954-1. The full assessment extends option 1 by an assessment of all fault avoidance and fault control measures during hardware and software development.

This option is most suitable for newly developed software based field devices and programmable controllers to demonstrate full compliance with IEC 61508 to the end-user.

This assessment shall be done according to option 1.

This document shall describe the results of the hardware assessment carried out on the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0.

It shall be assessed whether the described devices meet the average Probability of Failure on Demand (PFD_{AVG}) requirements and the architectural constraints for SIL 2 sub-systems according to IEC 61508.

It **does not** consider any calculations necessary for proving intrinsic safety.



2 Project management

2.1 exida.com

exida.com is one of the world's leading knowledge companies specializing in automation system safety and availability with over 100 years of cumulative experience in functional safety. Founded by several of the world's top reliability and safety experts from assessment organizations like TUV and manufacturers, *exida.com* is a partnership with offices around the world. *exida.com* offers training, coaching, project oriented consulting services, internet based safety engineering tools, detail product assurance and certification analysis and a collection of on-line safety and reliability resources. *exida.com* maintains a comprehensive failure rate and failure mode database on process equipment.

2.2 Roles of the parties involved

Werner Turck GmbH & Co. KG Manufacturer of the considered Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0.

exida.com Performed the hardware assessment according to option 1 (see section 1).

Werner Turck GmbH & Co. KG contracted *exida.com* in August 2004 with the FMEDA and PFD_{AVG} calculation of the above mentioned device.

2.3 Standards / Literature used

The services delivered by *exida.com* were performed based on the following standards / literature.

[N1]	IEC 61508-2:2000	Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems
[N2]	ISBN: 0471133019 John Wiley & Sons	Electronic Components: Selection and Application Guidelines by Victor Meeldijk
[N3]	FMD-91, RAC 1991	Failure Mode / Mechanism Distributions
[N4]	FMD-97, RAC 1997	Failure Mode / Mechanism Distributions
[N5]	NPRD-95, RAC	Non-electronic Parts – Reliability Data 1995
[N6]	SN 29500	Failure rates of components

2.4 Reference documents

2.4.1 Documentation provided by the customer

[D1]	im1_22Ex0_R.pdf	Description of the working principle
[D2]	im1_22Ex0_T.pdf	Description of the working principle
[D3]	D201010.pdf	Data sheet Isolating switching amplifier IM1-12Ex-R 1-channel
[D4]	D201006.pdf	Data sheet Isolating switching amplifier IM1-12Ex-T 1-channel
[D5]	D201014.pdf	Data sheet Isolating switching amplifier IM1-22Ex-R 2-channel



[D6]	D201015.pdf	Data sheet Isolating switching amplifier IM1-22Ex-T 2-channel
[D7]	D201021.pdf	Data sheet Isolating switching amplifier IM1-121Ex-R 1-channel
[D8]	d201030.pdf	Data sheet Isolating switching amplifier IM1-121Ex-T 1-channel
[D9]	MK13_R_Ex0SL.pdf	Parts list 12296101 of 18.10.04
[D10]	MK13_R_Ex0Sch.pdf	Circuit diagram 12296100 of 07.10.04
[D11]	IM1_12ExRSL.pdf	Parts list 12296307 of 07.10.04
[D12]	IM1_12ExRSch.pdf	Circuit diagram 12296307 of 28.09.04
[D13]	IM1_12ExTSL.pdf	Parts list 12296309 of 07.10.04
[D14]	IM1_12ExTSch.pdf	Circuit diagram 12296309 of 28.09.04
[D15]	IM1_22ExRSL.pdf	Parts list 12296301 of 07.10.04
[D16]	IM1_22ExRSch.pdf	Circuit diagram 12296301 of 28.09.04
[D17]	IM1_22ExTSL.pdf	Parts list 12296303 of 13.08.04
[D18]	IM1_22ExTSch.pdf	Circuit diagram 12296303 of 28.09.04
[D19]	IM1_121Ex_R.pdf	Parts list 12296310 of 07.10.04
[D20]	IM1_121_ExRSch.pdf	Circuit diagram 12296310 of 28.09.04
[D21]	IM1_121Ex_T.pdf	Parts list 12296312 of 25.01.05
[D22]	IM1_121_TSch.pdf	Circuit diagram 12296312 of 28.09.04
[D23]	Manual.pdf	Manual of the ASIC
[D24]	SchaltungASIC.pdf	Circuit diagram of the ASIC
[D25]	LayoutASIC.pdf	Layout of the ASIC

2.4.2 Documentation generated by exida.com

[R1]	FMEDA V6 MK13-R-Ex0 V1 R1.0.xls of 11.03.05
[R2]	FMEDA V6 IM1-12Ex-R V1 R1.0.xls of 11.03.05
[R3]	FMEDA V6 IM1-12Ex-T V1 R1.0.xls of 11.03.05
[R4]	FMEDA V6 ASIC 5V regulator V0 R1.0.xls of 08.03.05
[R5]	FMEDA V6 ASIC 8V regulator V0 R1.0.xls of 07.03.05
[R6]	FMEDA V6 ASIC error signal path V0 R1.0.xls of 08.03.05
[R7]	FMEDA V6 ASIC NAMUR signal path detailed V0 R1.0.xls of 08.03.05
[R8]	FMEDA V6 ASIC PU block V0 R1.0.xls of 07.03.05
[R9]	FMEDA V6 ASIC remaining parts V0 R1.0.xls of 08.03.05
[R10]	FMEDA V6 ASIC partly detailed V0 R1.0.xls of 08.03.05
[R11]	Besprechung ASIC 07.03.05.txt

3 Description of the analyzed modules

The Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0 consist of intrinsically safe input circuits.

They can be connected to sensors according to EN 60947-5-6 (NAMUR), variable resistors or potential-free contacts.

The output circuits, galvanically isolated from the input circuits, consist of either relay outputs or transistor outputs.

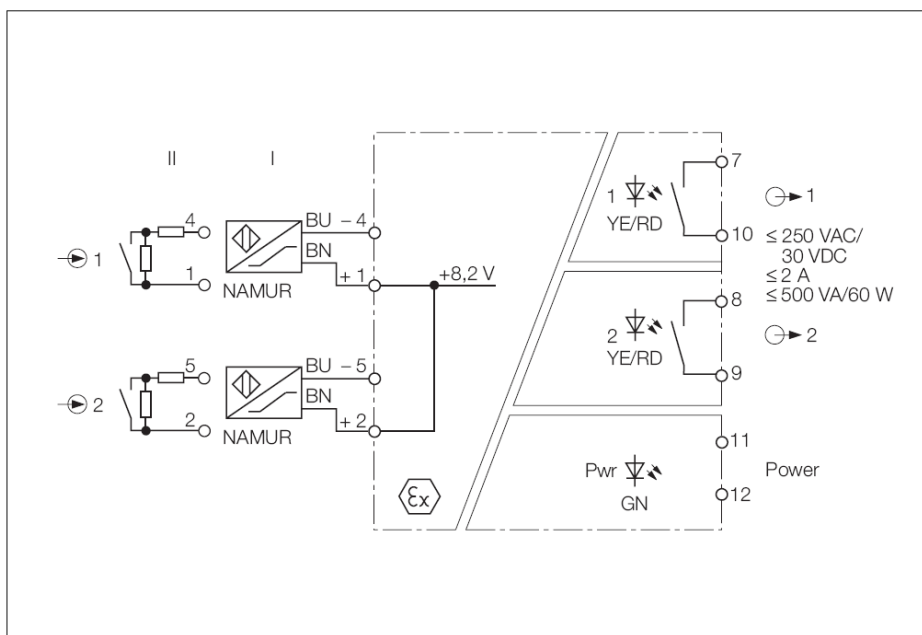


Figure 1: Block diagram of the Isolating Switching Amplifier IM1-22Ex-R

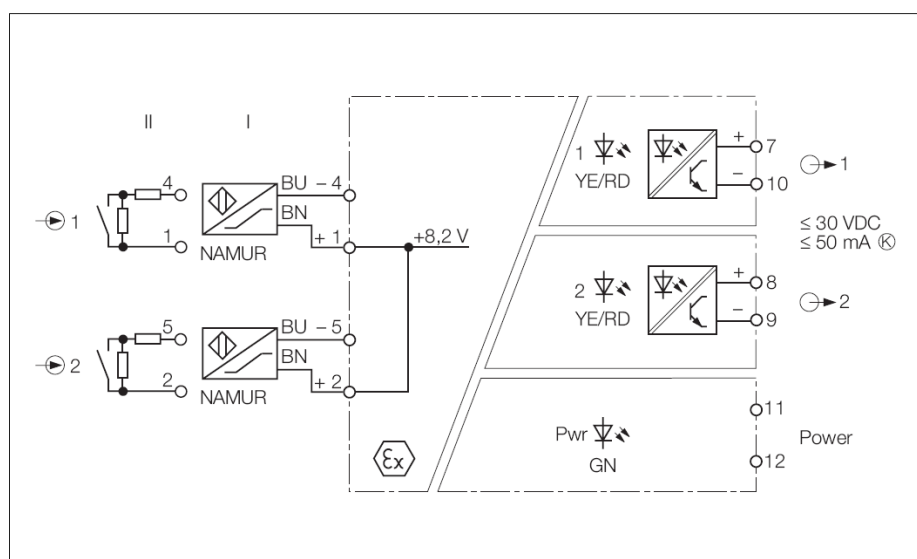


Figure 2: Block diagram of the Isolating Switching Amplifier IM1-22Ex-T



The block diagrams above show the working principal of all considered versions with the exception that the presented block diagrams have two input and two output channels. The differences between the versions are described in Table 1.

The Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0 are considered to be Type A components with a hardware fault tolerance of 0.

Although the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0 are designed with a semi-custom ASIC 724 from ZETEX (see [D23]) they are still considered to be Type A components. The reason is the low complexity, the full analyzability of the used ASIC and the fact that the ASIC does not contain hidden state information such as internal digital registers (see [D24]). It only consists of 103 transistors, 908 resistors and 7 junction capacitors, which can individually be connected (see [D25]).

exida.com did a detailed analysis of the ASIC based on the individual failure modes of the internal transistors, resistors and capacitors (see [R4] to [R11]). Possible dependencies were taken into account with a common cause factor of 25%. The failure rate from the Siemens standard SN 29500 for a bipolar ECL ASIC with 50 to 5000 transistors was multiplied with a safety factor of 2. The resulting 100 FIT were used in the overall analysis for the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0.



4 Failure Modes, Effects, and Diagnostic Analysis

The Failure Modes, Effects, and Diagnostic Analysis was done together with Werner Turck GmbH & Co. KG and is documented in [R2] to [R10]. Failures can be classified according to the following failure categories.

4.1 Description of the failure categories

In order to judge the failure behavior of the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0, the following definitions for the failure of the product were considered.

Fail-Safe State	The fail-safe state is defined as the output being de-energized. This corresponds to an input signal of less than 1.4mA (NAMUR signal).
Fail Safe	Failure that causes the module / (sub)system to go to the defined fail-safe state without a demand from the process.
Fail Dangerous	Failure that does not respond to a demand from the process (i.e. being unable to go to the defined fail-safe state).
No Effect	Failure of a component that is part of the safety function but that has no effect on the safety function. For the calculation of the SFF it is treated like a safe undetected failure.
Not part	Failures of a component which is not part of the safety function but part of the circuit diagram and is listed for completeness. When calculating the SFF this failure mode is not taken into account. It is also not part of the total failure rate.

The “no effect” failures are provided for those who wish to do reliability modeling more detailed than required by IEC 61508. In IEC 61508 the “no effect” failures are defined as safe undetected failures even though they will not cause the safety function to go to a safe state. Therefore they need to be considered in the Safe Failure Fraction calculation.

4.2 Methodology – FMEDA, Failure rates

4.2.1 FMEDA

A Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is a systematic way to identify and evaluate the effects of different component failure modes, to determine what could eliminate or reduce the chance of failure, and to document the system in consideration.

A FMEDA (Failure Modes, Effects, and Diagnostic Analysis) is a FMEA extension. It combines standard FMEA techniques with extension to identify online diagnostics techniques and the failure modes relevant to safety instrumented system design. It is a technique recommended to generate failure rates for each important category (safe detected, safe undetected, dangerous detected, dangerous undetected, fail high, fail low) in the safety models. The format for the FMEDA is an extension of the standard FMEA format from MIL STD 1629A, Failure Modes and Effects Analysis.



4.2.2 Failure rates

The failure rate data used by *exida.com* in this FMEDA are the basic failure rates from the Siemens SN 29500 failure rate database. The rates are considered to be appropriate for safety integrity level verification calculations. The rates match operating stress conditions typical of an industrial field environment similar to IEC 60654-1, class C. It is expected that the actual number of field failures will be less than the number predicted by these failure rates.

The user of these numbers is responsible for determining their applicability to any particular environment. Accurate plant specific data may be used for this purpose. If a user has data collected from a good proof test reporting system that indicates higher failure rates, the higher numbers shall be used. Some industrial plant sites have high levels of stress. Under those conditions the failure rate data is adjusted to a higher value to account for the specific conditions of the plant.

4.2.3 Assumptions

The following assumptions have been made during the Failure Modes, Effects, and Diagnostic Analysis of the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0.

- Failure rates are constant, wear out mechanisms are not included.
- Propagation of failures is not relevant.
- The time to restoration after a safe failure is 8 hours.
- All modules are operated in the low demand mode of operation.
- External power supply failure rates are not included.
- Only one input and one output are part of the safety function
- Sufficient tests are performed prior to shipment to verify the absence of vendor and/or manufacturing defects that prevent proper operation of specified functionality to product specifications or cause operation different from the design analyzed.
- The two channels on a redundant board are not used to increase the hardware fault tolerance needed for a higher SIL as they contain common components.
- The stress levels are average for an industrial environment and can be compared to the Ground Fixed classification of MIL-HNBK-217F. Alternatively, the assumed environment is similar to:
 - IEC 60654-1, Class C (sheltered location) with temperature limits within the manufacturer's rating and an average temperature over a long period of time of 40°C. Humidity levels are assumed within manufacturer's rating.



5 Results of the assessment

exida.com did the FMEDAs together with Werner Turck GmbH & Co. KG.

For the calculation of the Safe Failure Fraction (SFF) the following has to be noted:

λ_{total} consists of the sum of all component failure rates. This means:

$$\lambda_{\text{total}} = \lambda_{\text{safe}} + \lambda_{\text{dangerous}} + \lambda_{\text{no effect}}$$

$$\text{SFF} = 1 - \lambda_{\text{du}} / \lambda_{\text{total}}$$

For the FMEDAs failure modes and distributions were used based on information gained from [N3] to [N5].

For the calculation of the PFD_{AVG} the following Markov model for 1oo1 system was used. As after a complete proof test all states are going back to the OK state no proof test rate is shown in the Markov models but included in the calculation.

The proof test time was changed using the Microsoft® Excel 2000 based FMEDA tool of *exida.com* as a simulation tool. The results are documented in the following sections.

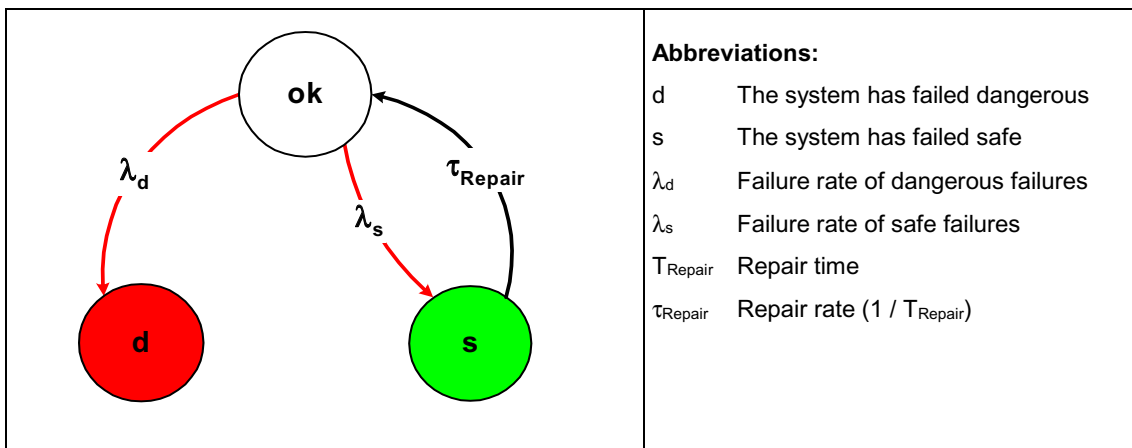


Figure 3: Markov model for a 1oo1 structure



5.1 Isolating Switching Amplifier MK13-R-Ex0

The FMEDA carried out on the Isolating Switching Amplifier MK13-R-Ex0 leads under the assumptions described in sections 4.2.3 and 5 to the following failure rates:

$$\lambda_{sd} = 0,00E-00 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{su} = 1,66E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{dd} = 0,00E-00 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{du} = 1,10E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{no \text{ effect}} = 1,22E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{total} = 3,98E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{not \text{ part}} = 1,04E-08 \text{ 1/h}$$

$$MTBF = MTTF + MTTR = 1 / (\lambda_{total} + \lambda_{not \text{ part}}) + 8 \text{ h} = 279 \text{ years}$$

Under the assumptions described in section 5 and the definitions given in section 4.1 the following table shows the failure rates according to IEC 61508:

λ_{safe}	$\lambda_{dangerous}$	SFF
288 FIT	110 FIT	72,44%

The PFD_{AVG} was calculated for three different proof test times using the Markov model as described in Figure 3.

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
$PFD_{AVG} = 4,80E-04$	$PFD_{AVG} = 2,40E-03$	$PFD_{AVG} = 4,79E-03$

The boxes marked in yellow () mean that the calculated PFD_{AVG} values are within the allowed range for SIL 2 according to table 2 of IEC 61508-1 and table 3.1 of ANSI/ISA-84.01-1996 but do not fulfill the requirement to not claim more than 10% of this range, i.e. to be better than or equal to $1,00E-03$. The boxes marked in green () mean that the calculated PFD_{AVG} values are within the allowed range for SIL 2 according to table 2 of IEC 61508-1 and table 3.1 of ANSI/ISA-84.01-1996 and do fulfill the requirement to not claim more than 10% of this range, i.e. to be better than or equal to $1,00E-03$. Figure 4 shows the time dependent curve of PFD_{AVG} .

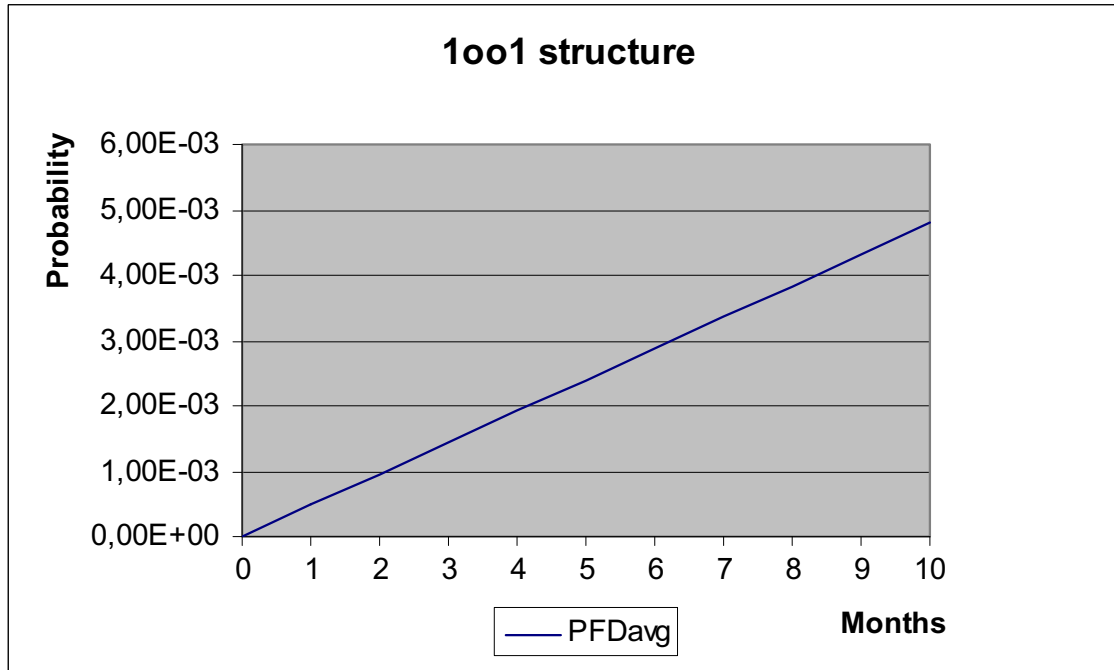


Figure 4: PFD_{AVG}(t)



5.2 Isolating Switching Amplifier IM1-***-R

The FMEDA carried out on the Isolating Switching Amplifier IM1-***-R leads under the assumptions described in sections 4.2.3 and 5 to the following failure rates:

$$\lambda_{sd} = 0,00E-00 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{su} = 1,72E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{dd} = 0,00E-00 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{du} = 1,10E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{no \text{ effect}} = 1,27E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{total} = 4,09E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{not \text{ part}} = 1,10E-08 \text{ 1/h}$$

$$MTBF = MTTF + MTTR = 1 / (\lambda_{total} + \lambda_{not \text{ part}}) + 8 \text{ h} = 272 \text{ years}$$

Under the assumptions described in section 5 and the definitions given in section 4.1 the following table shows the failure rates according to IEC 61508:

λ_{safe}	$\lambda_{dangerous}$	SFF
299 FIT	110 FIT	73,15%

The PFD_{AVG} was calculated for three different proof test times using the Markov model as described in Figure 3.

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
$PFD_{AVG} = 4,80E-04$	$PFD_{AVG} = 2,40E-03$	$PFD_{AVG} = 4,79E-03$

The boxes marked in yellow () mean that the calculated PFD_{AVG} values are within the allowed range for SIL 2 according to table 2 of IEC 61508-1 and table 3.1 of ANSI/ISA-84.01-1996 but do not fulfill the requirement to not claim more than 10% of this range, i.e. to be better than or equal to $1,00E-03$. The boxes marked in green () mean that the calculated PFD_{AVG} values are within the allowed range for SIL 2 according to table 2 of IEC 61508-1 and table 3.1 of ANSI/ISA-84.01-1996 and do fulfill the requirement to not claim more than 10% of this range, i.e. to be better than or equal to $1,00E-03$. Figure 5 shows the time dependent curve of PFD_{AVG} .

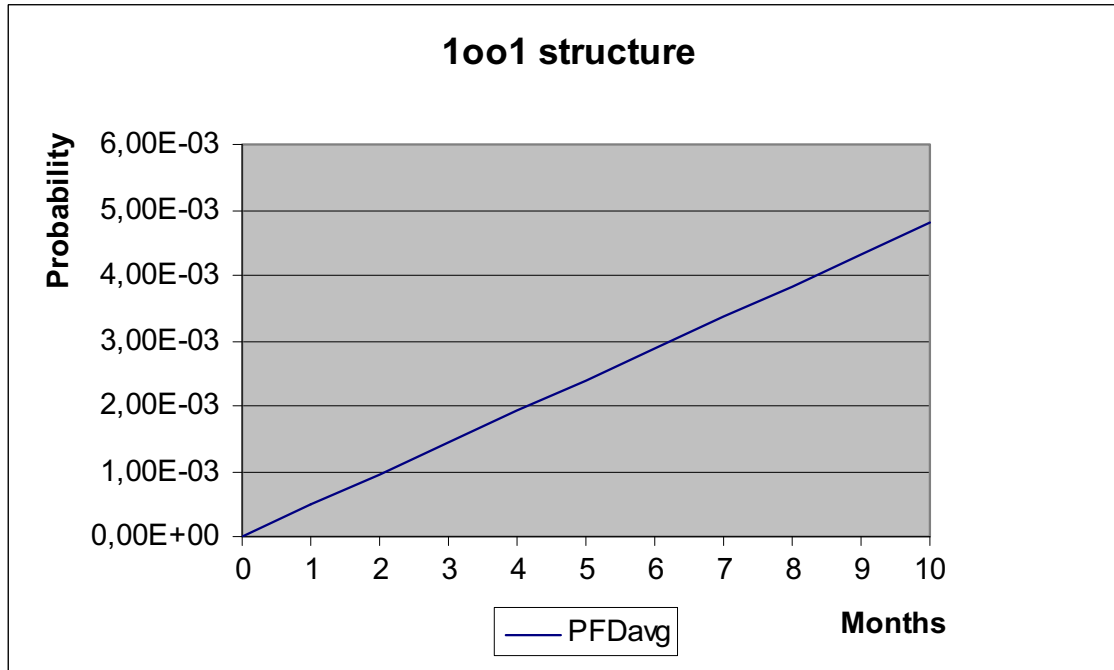


Figure 5: PFD_{AVG}(t)



5.3 Isolating Switching Amplifier IM1-***-T

The FMEDA carried out on the Isolating Switching Amplifier IM1-***-T leads under the assumptions described in sections 4.2.3 and 5 to the following failure rates:

$$\lambda_{sd} = 0,00E-00 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{su} = 1,44E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{dd} = 0,00E-00 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{du} = 8,49E-08 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{no \text{ effect}} = 1,23E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{total} = 3,52E-07 \text{ 1/h}$$

$$\lambda_{not \text{ part}} = 1,10E-08 \text{ 1/h}$$

$$MTBF = MTTF + MTTR = 1 / (\lambda_{total} + \lambda_{not \text{ part}}) + 8 \text{ h} = 314 \text{ years}$$

Under the assumptions described in section 5 and the definitions given in section 4.1 the following table shows the failure rates according to IEC 61508:

λ_{safe}	$\lambda_{dangerous}$	SFF
267 FIT	85 FIT	75,89%

The PFD_{AVG} was calculated for three different proof test times using the Markov model as described in Figure 3.

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years
$PFD_{AVG} = 3,72E-04$	$PFD_{AVG} = 1,86E-03$	$PFD_{AVG} = 3,71E-03$

The boxes marked in yellow () mean that the calculated PFD_{AVG} values are within the allowed range for SIL 2 according to table 2 of IEC 61508-1 and table 3.1 of ANSI/ISA-84.01-1996 but do not fulfill the requirement to not claim more than 10% of this range, i.e. to be better than or equal to $1,00E-03$. The boxes marked in green () mean that the calculated PFD_{AVG} values are within the allowed range for SIL 2 according to table 2 of IEC 61508-1 and table 3.1 of ANSI/ISA-84.01-1996 and do fulfill the requirement to not claim more than 10% of this range, i.e. to be better than or equal to $1,00E-03$. Figure 6 shows the time dependent curve of PFD_{AVG} .

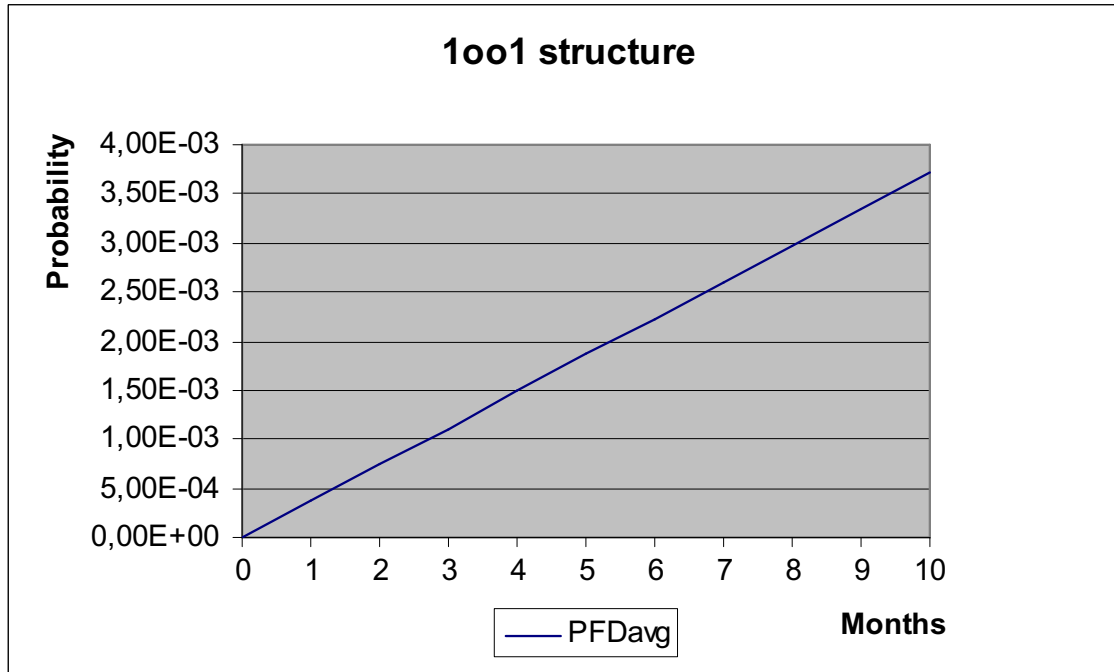


Figure 6: PFD_{AVG}(t)



6 Terms and Definitions

FIT	Failure In Time (1×10^{-9} failures per hour)
FMEDA	Failure Modes, Effects, and Diagnostic Analysis
HFT	Hardware Fault Tolerance
Low demand mode	Mode, where the frequency of demands for operation made on a safety-related system is no greater than one per year and no greater than twice the proof test frequency.
PFD_{AVG}	Average Probability of Failure on Demand
SFF	Safe Failure Fraction summarizes the fraction of failures, which lead to a safe state and the fraction of failures which will be detected by diagnostic measures and lead to a defined safety action.
SIF	Safety Instrumented Function
SIL	Safety Integrity Level
Type A component	“Non-complex” component (all failure modes are well defined); for details see 7.4.3.1.2 of IEC 61508-2.
T[Proof]	Proof Test Interval



7 Status of the document

7.1 Liability

exida prepares reports based on methods advocated in International standards. Failure rates are obtained from a collection of industrial databases. *exida* accepts no liability whatsoever for the use of these numbers or for the correctness of the standards on which the general calculation methods are based.

Due to future potential changes in the standards, best available information and best practices, the current FMEDA results presented in this report may not be fully consistent with results that would be presented for the identical product at some future time. As a leader in the functional safety market place, *exida* is actively involved in evolving best practices prior to official release of updated standards so that our reports effectively anticipate any known changes. In addition, most changes are anticipated to be incremental in nature and results reported within the previous three year period should be sufficient for current usage without significant question.

Most products also tend to undergo incremental changes over time. If an *exida* FMEDA has not been updated within the last three years and the exact results are critical to the SIL verification you may wish to contact the product vendor to verify the current validity of the results.

7.2 Releases

Version History: V3R0: IM1-12-R, IM1-12-T and IM1-22-T added; February 21, 2014

V2R0: IM1-22-R added; February 8, 2013

V1, R1.0: External review comments integrated; April 14, 2005

V0, R2.0: Internal review comments integrated; March 31, 2005

V0, R1.0: Initial version; March 11, 2005

Authors: Stephan Aschenbrenner

Review: V0, R1.0: Rachel Amkreutz (*exida.com*); March 28, 2005

V0, R2.0: Frank Seeler (Werner Turck GmbH & Co. KG); April 13, 2005

Release status: Released to Werner Turck GmbH & Co. KG

7.3 Release Signatures

Dipl.-Ing. (Univ.) Stephan Aschenbrenner, Partner

Dipl.-Ing. (Univ.) Rainer Faller, Principal Partner



Appendix 1: Possibilities to reveal dangerous undetected faults during the proof test

According to section 7.4.3.2.2 f) of IEC 61508-2 proof tests shall be undertaken to reveal dangerous faults which are undetected by diagnostic tests.

This means that it is necessary to specify how dangerous undetected faults which have been noted during the FMEDA can be detected during proof testing.

Table 8, Table 9 and Table 10 show an importance analysis of the most critical dangerous undetected faults and indicate how these faults can be detected during proof testing.

Appendix 1 shall be considered when writing the safety manual as it contains important safety related information.

Table 8: Importance Analysis of dangerous undetected faults of MK13-R-Ex0

Component	% of total λ_{du}	Detection through
IC3	60,90%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
K1	22,78%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
T101	10,03%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
IC1	4,10%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
D101	0,91%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
C101	0,91%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
X4	0,18%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
R101	0,18%	100% functional test with monitoring of the expected output signal



Table 9: Importance Analysis of dangerous undetected faults of IM1-*-R**

Component	% of total λ_{du}	Detection through
IC4	60,90%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
K1	22,78%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
T102	10,03%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
IC1	4,10%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
D100	0,91%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
C100	0,91%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
X1	0,18%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
R100	0,18%	100% functional test with monitoring of the expected output signal

**Table 10: Importance Analysis of dangerous undetected faults of IM1-***-T**

Component	% of total λ_{du}	Detection through
IC4	78,73%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
T202	12,96%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
IC2	5,30%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
D100	1,18%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
C100	1,18%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
X1	0,24%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
R100	0,24%	100% functional test with monitoring of the expected output signal
D203	0,18%	100% functional test with monitoring of the expected output signal



Appendix 1.1: Possible proof tests to detect dangerous undetected faults

The proof test consists of the following steps, as described in Table 11.

Table 11 Steps for Proof Test

Step	Action
1	Take appropriate action to avoid a false trip
2	Provide NAMUR control signals to the Isolating Switching Amplifier to open/close the output and verify that the output is open/closed.
3	Restore the loop to full operation
4	Restore normal operation

This test will detect more than 90% of possible “du” failures of the Isolating Switching Amplifier.



Appendix 2: Impact of lifetime of critical components on the failure rate

Although a constant failure rate is assumed by the probabilistic estimation method (see section 4.2.3) this only applies provided that the useful lifetime of components is not exceeded. Beyond their useful lifetime, the result of the probabilistic calculation method is meaningless, as the probability of failure significantly increases with time. The useful lifetime is highly dependent on the component itself and its operating conditions – temperature in particular (for example, electrolyte capacitors can be very sensitive).

This assumption of a constant failure rate is based on the bathtub curve, which shows the typical behavior for electronic components.

Therefore it is obvious that the PFD_{AVG} calculation is only valid for components which have this constant domain and that the validity of the calculation is limited to the useful lifetime of each component.

It is assumed that early failures are detected to a huge percentage during the installation period and therefore the assumption of a constant failure rate during the useful lifetime is valid.

The circuits of the Isolating Switching Amplifiers IM1-**(Ex)-* and MK13-R-Ex0 do not contain any electrolytic capacitors or other components that are contributing to the dangerous undetected failure rate. Therefore there is no limiting factor with regard to the useful lifetime of the system.

However, according to section 7.4.7.4 of IEC 61508-2, a useful lifetime, based on experience, should be assumed. According to section 7.4.7.4 note 3 of IEC 61508-2 experience has shown that the useful lifetime often lies within a range of 8 to 12 years.

9 Turck-Niederlassungen – Kontaktdaten

Deutschland	Hans Turck GmbH & Co. KG Witzlebenstraße 7, 45472 Mülheim an der Ruhr www.turck.de
Australien	Turck Australia Pty Ltd Building 4, 19-25 Duerdin Street, Notting Hill, 3168 Victoria www.turck.com.au
Belgien	TURCK MULTIPROX Lion d'Orweg 12, B-9300 Aalst www.multiprox.be
Brasilien	Turck do Brasil Automação Ltda. Rua Anjo Custódio Nr. 42, Jardim Anália Franco, CEP 03358-040 São Paulo www.turck.com.br
China	Turck (Tianjin) Sensor Co. Ltd. 18,4th Xinghuazhi Road, Xiqing Economic Development Area, 300381 Tianjin www.turck.com.cn
Frankreich	TURCK BANNER S.A.S. 11 rue de Courtalin Bat C, Magny Le Hongre, F-77703 MARNE LA VALLEE Cedex 4 www.turckbanner.fr
Großbritannien	TURCK BANNER LIMITED Blenheim House, Hurricane Way, GB-SS11 8YT Wickford, Essex www.turckbanner.co.uk
Indien	TURCK India Automation Pvt. Ltd. 401-403 Aurum Avenue, Survey. No 109 /4, Near Cummins Complex, Baner-Balewadi Link Rd., 411045 Pune - Maharashtra www.turck.co.in
Italien	TURCK BANNER S.R.L. Via San Domenico 5, IT-20008 Bareggio (MI) www.turckbanner.it
Japan	TURCK Japan Corporation ISM Akihabara 1F, 1-24-2, Taito, Taito-ku, 110-0016 Tokyo www.turck.jp
Kanada	Turck Canada Inc. 140 Duffield Drive, CDN-Markham, Ontario L6G 1B5 www.turck.ca
Korea	Turck Korea Co, Ltd. A605, 43, Iljik-ro, Gwangmyeong-si 14353 Gyeonggi-do www.turck.kr
Malaysia	Turck Banner Malaysia Sdn Bhd Unit A-23A-08, Tower A, Pinnacle Petaling Jaya, Jalan Utara C, 46200 Petaling Jaya Selangor www.turckbanner.my

Mexiko	Turck Comercial, S. de RL de CV Blvd. Campestre No. 100, Parque Industrial SERVER, C.P. 25350 Arteaga, Coahuila www.turck.com.mx
Niederlande	Turck B. V. Ruiterlaan 7, NL-8019 BN Zwolle www.turck.nl
Österreich	Turck GmbH Graumanngasse 7/A5-1, A-1150 Wien www.turck.at
Polen	TURCK sp.z.o.o. Wroclawska 115, PL-45-836 Opole www.turck.pl
Rumänien	Turck Automation Romania SRL Str. Siriului nr. 6-8, Sector 1, RO-014354 Bucuresti www.turck.ro
Schweden	Turck AB Fabriksstråket 9, 433 76 Jonsered www.turck.se
Singapur	TURCK BANNER Singapore Pte. Ltd. 25 International Business Park, #04-75/77 (West Wing) German Centre, 609916 Singapore www.turckbanner.sg
Südafrika	Turck Banner (Pty) Ltd Boeing Road East, Bedfordview, ZA-2007 Johannesburg www.turckbanner.co.za
Tschechien	TURCK s.r.o. Na Brne 2065, CZ-500 06 Hradec Králové www.turck.cz
Türkei	Turck Otomasyon Ticaret Limited Sirketi Inönü mah. Kayisdagi c., Yesil Konak Evleri No: 178, A Blok D:4, 34755 Kadiköy/ Istanbul www.turck.com.tr
Ungarn	TURCK Hungary kft. Árpád fejedelem útja 26-28., Óbuda Gate, 2. em., H-1023 Budapest www.turck.hu
USA	Turck Inc. 3000 Campus Drive, USA-MN 55441 Minneapolis www.turck.us

TURCK

Your Global Automation Partner

Over 30 subsidiaries and
60 representations worldwide!

D201448 | 2025/06



www.turck.com