



Die Farben der Wahrscheinlichkeit

Relais und funktionale Sicherheit. Mit Umstellung der alten Norm EN 954-1 auf die aktuelle EN ISO 13849-1 erhält die Wahrscheinlichkeitsrechnung eine zentrale Bedeutung beim Beurteilen von Sicherheitsfunktionen. Was auf den ersten Blick wie trockene Mathematik erscheint, offenbart jedoch ein Spektrum faszinierender technischer Themen. Im Mittelpunkt stehen die statistischen Werte B_{10} und B_{10d} , wie das Beispiel der Relais mit Zwangsführung zeigt.

Einzelbausteine für Sicherheitsfunktionen, wie Sicherheitsrelaismodule oder Sicherheitssteuerungen, werden mithilfe eines Performance Levels (PL a bis e) und Safety Integrity Levels (SIL 1 bis 3) charakterisiert. Je höher das PL oder SIL, desto größer ist die erreichbare Sicherheit und umso niedriger ist die Wahrscheinlichkeit Gefahr bringender Ausfälle pro Stunde (**Tabelle A**).

Ein Maß für diese Ausfallwahrscheinlichkeit ist die MTTF (Mean Time to Failure) beziehungsweise $MTTF_d$; in letzterer steht der Index d für Dangerous (gefährlich). Zu beachten ist, dass beim Ermitteln dieser Größe alle relevanten Komponenten betrachtet werden müssen – das Relais ist nur Teil einer Kette. Die $MTTF_d$ berechnet sich wie folgt:

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 \times n_{op}}$$

Darin steht n_{op} für die Zahl der Schaltzyklen pro Jahr; sie lässt sich auch aus der für die betreffende Sicherheitsfunktion erforderlichen Zykluszeit ermitteln:

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600 \text{ s/h}}{t_{cycle}}$$

d_{op} – durchschnittliche Betriebsstage pro Jahr; h_{op} – durchschnittliche Betriebsstunden pro Tag; t_{cycle} – durchschnittliche Zykluszeit einer Sicherheitsfunktion in Sekunden

B_{10d} ist eine statistische Lebensdauergröße, welche angibt, nach wie vielen Schaltspielen zehn Prozent der Relais aufgrund eines gefährlichen Fehlers ausgefallen sind. Ein solcher gefährlicher Fehler kann ein Kontaktverschweißen oder Isolationsversagen sein. Bestimmt wird B_{10d} mittels Auswertung einer Weibull-Statistik (**Bild 1** und **ⓘ-Kasten**).

IEC 61810-2-1: Aktueller Stand und Bedeutung

Die Norm IEC 61810-2-1 ist ein wichtiges und hilfreiches Werkzeug für Relaishersteller, denn sie beschreibt ausführlich das Testverfahren und die Testparameter, Fehlerarten sowie weitere Anforderungen für die Ermittlung eines B_{10d} -Werts. So müssen zur Bestimmung von B_{10} oder B_{10d} zehn Relais getestet werden, wobei jeder Ausfall aufzuzeichnen ist. Mögliche Ausfallarten sind:

- Kontakt öffnet nicht, beispielsweise aufgrund verschweißter Kontakte,
- Kontakt schließt nicht, etwa durch Kontaktabbrand,
- Isolationsversagen; wird periodisch während oder am Ende des Tests geprüft.

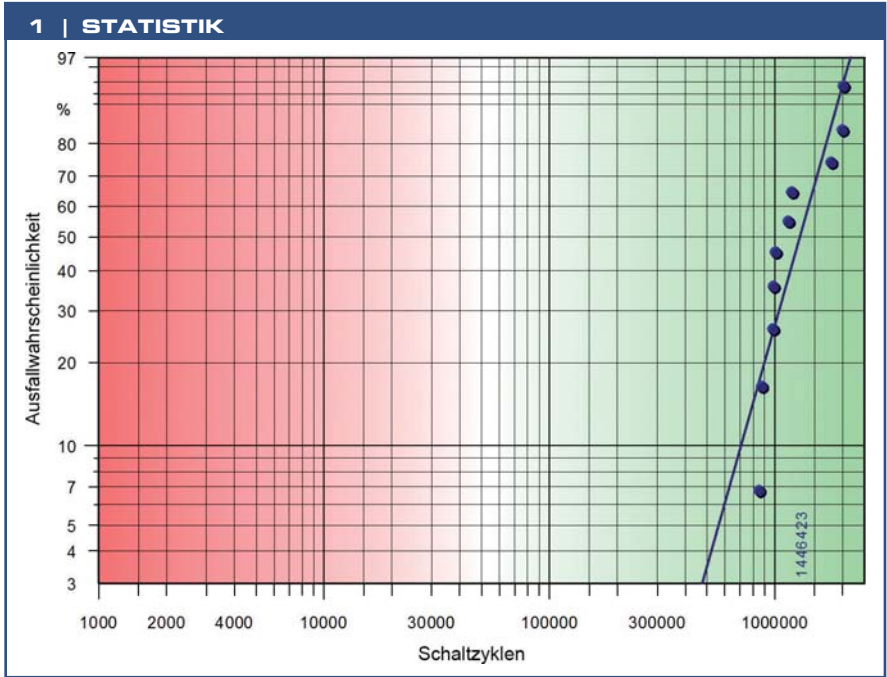
Als Ergebnis erhält man zehn Lebensdauerwerte mit der zugehörigen Ausfallart. In ein Weibull-Diagramm eingetragen, lässt sich eine Ausgleichsgerade durch die zehn Punkte ziehen und der B_{10} -Wert leicht grafisch ermitteln. Anschließend wird B_{10d} mithilfe der aufgezeichneten Ausfallarten berechnet:

$$B_{10d} = B_{10} \times \frac{10}{N_d}$$

N_d die Anzahl der protokollierten gefährlichen Fehler. In sicherheitsgerichteten

PL	SIL	Wahrscheinlichkeit gefährbringender Ausfälle pro Stunde (1/h)
a		$\geq 10^{-5}$ bis $< 10^{-4}$
b	1	$\geq 3 \times 10^{-6}$ bis $< 10^{-5}$
c	1	$\geq 10^{-6}$ bis $< 3 \times 10^{-6}$
d	2	$\geq 10^{-7}$ bis $< 10^{-6}$
e	3	$\geq 10^{-8}$ bis $< 10^{-7}$

A | Performance Level und Safety Integrity Level im Überblick



Weibull-Verteilung für den B_{10}/B_{10d} -Test des SFY4-DC21V bei 6 A, 24 V_{DC}, n = 10

Anwendungen ist der typische gefährliche Fehler das Nichtöffnen des Kontakts. Tritt kein gefährlicher Fehler auf, was oft bei kleinen Lasten der Fall ist, wird $N_d = 1$ verwendet und damit $B_{10d} = 10 \times B_{10}$.

An dieser Stelle tritt eine weitere wichtige Erkenntnis zutage: Der B_{10} -Wert ist stark lastabhängig. Zum einen sinken die Lebensdauerwerte elektromechanischer Relais mit steigender Kontaktbelastung, was die Kurve im Weibull-Diagramm nach links verschiebt und den B_{10} reduziert. Zum anderen steigt die Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Fehlers wie Kontaktverschweißen typischerweise mit der Schaltlast.

Während zum Beispiel das Panasonic-SF-Y-Relais bei der resistiven Belastung

DC1, 24 V_{DC}, 6 A bis zum Lebensdauerende keine gefährlichen Fehler aufweist (Bild 1), treten bei einer deutlich anspruchsvolleren Belastung AC-15, 230 V, 4 A (Schalten elektromagnetischer Verbraucher, Einschalten bei zehnfachem Nennstrom mit $\cos \varphi = 0,7$, Abschalten mit $\cos \varphi = 0,4$) sechs gefährliche Fehler aufgrund von Kontaktverschweißen auf (Bild 2).

Was lässt sich daraus schließen? Relaishersteller können ohne Weiteres die B_{10}/B_{10d} -Werte für die Standard-Datenblattlasten angeben. Doch oftmals ist es für Kunden sinnvoller, die in ihrer Applikation tatsächlich auftretenden Werte anzufragen. Denn mit niedrigeren Lasten kann ein Gerät in vielen Fällen, ohne zusätz-

lichen Aufwand, ein höheres Sicherheitslevel (SIL/PL) erreichen.

Nach dem Test ist vor dem Test

Die Kehrseite der Medaille ist der stark erhöhte Testaufwand, den verifizierte Werte nach sich ziehen. Folgt man lediglich der Empfehlung der IEC 61810-2-1, müssen bereits für die klassischen von Kunden benötigten Lasten (Tabelle B) sechs Tests gefahren werden: zwei Gebrauchskategorien mit je vollem, halbem und Viertel-Nennstrom. Diese Lastenarten wurden während der Entwicklung der Norm in Zusammenarbeit mit den maßgeblichen Herstellern von Sicherheitsmodulen festgelegt.

KONTAKT

Panasonic Electric Works Europe AG,
 Rudolf-Diesel-Ring 2,
 83607 Holzkirchen,
 Tel. 08024 648-711,
 Fax 08024 648-111,
 E-Mail info.peweu@eu.panasonic.com,
 www.panasonic-electric-works.de

Folgt man zusätzlich der normativen Schaltfrequenzempfehlung von 1 s an, 9 s aus und betrachtet man das Weibull-Diagramm genauer, so offenbart sich folgendes: Das letzte Relais ist bei etwa 2 Millionen Schaltspielen ausgefallen, was einer Testzeit von 20 Millionen Sekunden entspricht – das sind über 231 Tage. Bei kleineren Lasten kann sich diese Testdauer sogar vervielfachen, da die typische mechanische Lebensdauer von 10 Millionen



2 | Kontakte nach dem Lebensdauerende eines SFY-Relais; Belastung: DC1, 24 V_{DC}, 6 A. Das Kontaktmaterial ist abgebrannt, und die Kontakte schließen nicht mehr

WISSENSWERT

Daten-Dilemma. Eine wichtige Nuance im Hinblick auf B_{10d} verrät die Formel zur Bestimmung der $MTTF_d$: Die Größe ist von der Schalthäufigkeit des Geräts in der Anwendung abhängig. Das wiederum bedeutet, dass nur der Geräteentwickler die $MTTF_d$ ermitteln kann, nicht der Relaishersteller. Dieser kann und muss aber für diese Berechnung den B_{10d} -Wert angeben. Sind vom Hersteller keine Daten verfügbar, dann bietet die ISO 13849 entweder pauschalierte Standardwerte an, oder sie verweist auf andere (Werks-) Normen für elektromechanische Relais. Diese Referenzen entsprechen jedoch nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Darüber hinaus ist anzumerken, dass es bei Relais nur dann sinnvoll ist, einen B_{10d} anzugeben, wenn das Bauteil auch alle weiteren Forderungen der ISO 13849, zum Beispiel *bewährte Sicherheitsprinzipien*, einhält. Daher stellen viele Relaisproduzenten B_{10d} -Werte ausschließlich für Relais mit zwangsgeführten Kontakten zur Verfügung.

Gebrauchskategorie (Lastart)	Last 1	Last 2	Last 3
DC-13	$I_{nom} = 4 \text{ A}$	$12 \times I_{nom} = 2 \text{ A}$	$144 \times I_{nom} = 1 \text{ A}$
AC-15	$I_{nom} = 4 \text{ A}$	$12 \times I_{nom} = 2 \text{ A}$	$14 \times I_{nom} = 1 \text{ A}$

B | Übliche Lastarten und in der IEC 61810-2-1 empfohlene Lastabstufungen. Die nominelle Stromstärke von 4 A ist ein praxisbezogenes Beispiel

Schaltspielen übertroffen werden kann. Auch wenn der Testplatz den Durchlauf von zehn Prüflingen gleichzeitig erlaubt, würde der Versuch Jahre dauern.

Weiterhin verlangt die Norm einen periodischen Test der Nominallasten zur Überprüfung der Ergebnisse. Als Empfehlung hierfür ist ein Jahr angegeben, sodass AC- und DC-Last abwechselnd jeweils alle zwei Jahre bestätigt werden. Wird bei den Wiederholungsprüfungen das Mindestziel nicht erreicht ($B_{10}' > 0,8 \times B_{10}$ und $N_d' < N_d + 2$), dann ist, nach Verbesserung des Produkts, eine neue Initialprüfung notwendig.

Nach dem Test ist vor dem Test, lautet also die Devise. Selbst die Beschränkung auf die Minimalanforderungen des Tests mit Nennstrom (Tabelle B, Last 1) beschäftigen in der Praxis mehrere Testaufbauten quasi rund um die Uhr.

IEC 61810-2-1: Ausblick

Seit der ersten Publikation der IEC 61810-2-1 als IEC PAS im Jahr 2008 konnten die

Hersteller viel Erfahrung im Umgang mit der Norm sammeln. Deshalb beginnt man nun mit der Überarbeitung, unter anderem mit dem Ziel, den Testaufwand für die Hersteller zu reduzieren, ohne Kundenutzen, Qualität und Aussagefähigkeit zu beschneiden.

Ansätze hierfür gibt es genug. So kann man unter bestimmten Voraussetzungen gegebenenfalls die Anzahl der Prüfmuster verringern, mithilfe von sicheren Abschätzungen oder Interpolationen Prüfungen abkürzen oder sie sogar verzichtbar machen. Bei bekannten Systemen lässt sich zum Beispiel die Weibull- durch eine WeiBayes-Auswertung ersetzen. Hierbei ist es möglich, bei bekannter Steigung der Weibull-Geraden anhand weniger Prüfmuster B_{10} -Werte mit hoher Sicherheit zu bestimmen. Allerdings wird es zur Herausforderung, auftretende gefährliche Fehler zu bewerten, da die gängigen Formeln nicht mehr nutzbar sind. Des Weiteren könnte man über eine Deckelung der Prüfwerte nachdenken – beispielsweise

bei zehn Millionen Schaltspielen, die der geforderten mechanischen Lebensdauer für Relais mit zwangsgeführten Kontakten nach EN 50205 entsprechen – wenn dies für die Anwendung ausreicht. (m/)

Autor

Dipl.-Ing. (FH) Markus Bichler ist Produktmanager für Sicherheitsrelais bei Panasonic Electric Works in Holzkirchen.

Online Service

Hersteller-Datenblatt für SF-Y-Relais

■ **Webcode: 145101**

FAZIT

B_{10d} ist eine unerlässliche statistische Kenngröße für die Bewertung der funktionalen Sicherheit. Die Norm IEC 61810-2-1 gibt den Relaisherstellern das Rüstzeug für die Testdurchführung. Maschinenbauer erhalten dagegen die Gewissheit definierter und herstellerübergreifend vergleichbarer Angaben. Mit der Überarbeitung soll der Praxisbezug der Norm IEC 61810-2-1 verbessert werden, um deren Bedeutung innerhalb der Normenwelt zu festigen.