

Daniel Glose

Zuverlässigkeitsvorhersage für elektronische Komponenten unter mechanischer Belastung

Modelle, Standards, Vergleich, Softwaretools

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2008 Diplomica Verlag GmbH
ISBN: 9783836626651

Daniel Glose

Zuverlässigkeitsvorhersage für elektronische Komponenten unter mechanischer Belastung

Modelle, Standards, Vergleich, Softwaretools

Daniel Glose

Zuverlässigkeitsvorhersage für elektronische Komponenten unter mechanischer Belastung

Modelle, Standards, Vergleich, Softwaretools

Daniel Glose

Zuverlässigkeitsvorhersage für elektronische Komponenten unter mechanischer Belastung

Modelle, Standards, Vergleich, Softwaretools

ISBN: 978-3-8366-2665-1

Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2009

Zugl. Fachhochschule Kempten, Kempten, Deutschland, Fachstudie, 2008

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und der Verlag, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

© Diplomica Verlag GmbH

<http://www.diplomica.de>, Hamburg 2009

Abstract

Reliability prediction of electronic components using failure rates is a vital substep of analysis techniques for electronic hardware system reliability and safety prediction. In the present work reliability prediction standards for electronic components are reviewed.

With respect to overall system reliability, multiplicative models, that are used in MIL-HDBK-217F, SAE (PREL), Telcordia (SR-332), CNET (RDF2000), Siemens (SN 29500) or GJB/Z 299, are explained. They may be distinguished from additive models that are used in PRISM, 217Plus and FIDES.

It is shown in detail how the standards model the influence of mechanical stress on reliability. The implications of the different models are discussed. Most standards do not define a single influence factor dedicated to mechanical stress characterization. Extreme mechanical translational stress environments are not covered by most modern standards.

All models used in standards are based on statistical analysis of experimental data, mainly multiple regression analysis. Explanations of these regression analyses are given by discussing various examples.

The standards are compared by calculating the failure rate for low, middle and high mechanical stress of a single component. This comparison illustrates the advantages and limitations of the standards, with respect to processing mechanical stress information.

Some commonly used software tools are applied, namely Reliability Workbench V10.1.1 (Isograph), Reliability Studio 2007 (RELEX), Toolkit Version 7 (ITEM), RAM-Comander (A.L.D.) and System Reliability Version 1.2 (PRISM) are exposed. They are calculating the reliability of a system by simultaneously using one or more of the standards detailed in the text.

Abstract

Zuverlässigkeitsvorhersagen elektronischer Komponenten mittels Ausfallraten sind ein wesentlicher Bestandteil von Analysemethoden zur Bestimmung der Systemzuverlässigkeit und -sicherheit auf Hardwareebene. In dieser Arbeit werden Standards zur Zuverlässigkeitsvorhersage elektronischer Komponenten dargestellt.

Hinsichtlich der Systemzuverlässigkeit werden multiplikative Modelle beschrieben, die in den Standards MIL-HDBK-217F, SAE (PREL), Telcordia (SR-332), CNET (RDF2000), Siemens (SN 29500) oder GJB/Z 299 zum Tragen kommen. Ebenso werden additive Modelle dargestellt, die in den Standards PRISM, 217Plus und FIDES Anwendung finden.

Es werden statistische Methoden aufgezeigt, die es ermöglichen, Parameter der Zuverlässigkeitsmodelle zu ermitteln. Diese werden anhand von Beispielen mit einfachen und multiplen Regressionsanalysen erklärt.

Es wird detailliert beleuchtet, wie die Standards aufgebaut sind und welche Einflüsse sie berücksichtigen. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Parametrisierung und Modellierung mechanischer Belastung. Es werden sowohl diskrete als auch funktionale Zusammenhänge dargelegt und diskutiert.

Die Standards werden anhand einer Beispielkomponente gegenüber gestellt und der Aussagewert bezüglich schwacher, mittlerer und starker mechanischer Belastung erörtert. Daraus resultieren Einsatzbereiche und -grenzen der Standards, die in der Arbeit benannt werden.

Vorgestellt werden Softwareprogramme von Isograph (Reliability Workbench V10.1.1), RELEX (Reliability Studio 2007), ITEM (Toolkit Version 7), A.L.D. (RAM-Comander V7.0) und PRISM (System Reliability Version 1.2), die der Zuverlässigkeitsberechnung dienen. Die Programme verwenden einen oder mehrere der beschriebenen Standards zur Ermittlung der Komponenten- und Systemzuverlässigkeit.

Inhalt

1	Einleitung	15
1.1	Hinführung	15
1.2	Ziele und Struktur	16
2	Hintergründe	17
2.1	Beispiel	18
2.2	Ausfallartenanalyse	19
2.2.1	Induktive Ausfallartenanalyse: FMEA, FMECA, ETA	19
2.2.2	Deduktive Ausfallartenanalyse: FTA	20
2.3	Systemzustandsanalyse	21
2.4	Ausfallratenanalyse	21
3	Mathematische Grundlagen	23
3.1	Statistische Beschreibung der Zuverlässigkeit	23
3.2	Verteilungsfunktionen	26
3.2.1	Exponentialverteilung	26
3.2.2	Weibullverteilung	26
3.2.3	Normalverteilung	27
3.2.4	Log-Normal-Verteilung	27
3.3	Von der Komponenten- zur Systemzuverlässigkeit	31
3.3.1	Serienschaltung	31
3.3.2	Parallelschaltung	32
3.3.3	Heiße, warme und kalte Redundanz	33
3.3.4	Weitere redundante Elementanordnungen	34
4	Die Komponentenausfallrate	36
4.1	Typische Modellannahmen	36
4.1.1	Die konstante Ausfallrate	37
4.1.2	Allgemeiner Modellaufbau	37
4.1.3	Darstellungsweisen der Ausfallrate	38
4.2	Gewinnung von Daten zur Zuverlässigkeitsmodellierung	39
4.2.1	Auswertung von Feld- oder Testdaten	39
4.2.2	Physikalisch motivierte Parametrisierung des Ausfallverhaltens	40
4.2.3	Bestimmung der Variablen	40
4.2.4	Korrelationsanalysen	42
4.3	Einfache Regressionsanalysen	43
4.3.1	Qualitative Faktoren	43
4.3.2	Quantitative Faktoren	45
4.3.3	Anwendung der Korrelationsanalyse	46

4.3.4	Lineare Regressionsanalyse	47
4.3.5	Temperaturabhängigkeit	50
4.3.6	Arrhenius-Funktion zur Beschreibung der Temperaturabhängigkeit	52
4.4	Multiple Regressionsanalyse	55
4.4.1	Anwendung auf multiplikative Ausfallratenmodelle	55
4.4.2	Anwendungsbeispiel	56
4.4.3	Auswertung des Beispiels	59
4.5	Anwendungsgebiete der Standards	60
5	Multiplikative Modelle	62
5.1	MIL-HDBK-217F (Notice 2)	63
5.1.1	Modellaufbau	63
5.1.2	Berücksichtigung mechanischer Belastung	66
5.2	SAE (PREL 5.0)	68
5.2.1	Modellaufbau	69
5.2.2	Berücksichtigung mechanischer Belastung	69
5.3	Telcordia (SR-332)	70
5.3.1	Modellaufbau	71
5.3.2	Berücksichtigung mechanischer Belastung	72
5.3.3	Kritikpunkte	72
5.4	CNET (RDF 2000/UTE C80-810/IEC 62380)	73
5.4.1	Entwicklungsgeschichte, Komponentengruppen, Einflussgrößen	73
5.4.2	Modellaufbau	74
5.4.3	Diskussion und Kritikpunkte	75
5.5	BT (HRD5) und Italtel (IRPH)	76
5.6	Weitere Standards	77
6	Additive Modelle	79
6.1	217PLUS	80
6.1.1	Zur Entwicklungsgeschichte	80
6.1.2	Die Methodik	82
6.1.3	Das Komponentenmodell	85
6.1.4	Das Systemmodell	87
6.1.5	Berechnung der Vibrationsbelastung	89
6.1.6	Deutung und Interpretation des Einflusses mechanischer Belastung	91
6.1.7	Kritikpunkte	92
6.2	FIDES	93
6.2.1	Hintergrund	93
6.2.2	Vorgehensweise	95
6.2.3	Physikalische Ausfallrate eines Bauteils	96
6.2.4	Die Berücksichtigung mechanischer Belastung	98
6.2.5	Kritikpunkte	99

7	Vergleich	101
7.1	Geschichtliche Hintergründe	101
7.2	Erfahrungsberichte zu modernen Standards	102
7.3	Vergleich anhand eines Beispiels	103
7.4	Software zur Zuverlässigkeitsvorhersage	106
7.5	Charakteristische Eigenschaften der beschriebenen Standards	107
8	Zusammenfassung und Ausblick	109
8.1	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	109
8.2	Ausblick	111
9	Anhang	113
9.1	Methode I des Telcordia SR-332 Standards	113
9.2	Methode II des Telcordia SR-332 Standards	115
9.3	Methode III des Telcordia SR-332 Standards	116
9.4	Die Berechnung der Ausfallrate eines Mikroschaltkreises nach RDF2000/IEC62380 (TR-62380, 2004)	117
9.5	Die Berechnung der Ausfallrate von bestückten Leiterplatten nach RDF2000/IEC62380 (TR-62380, 2004)	118
9.6	Auszüge aus dem Standard 217Plus	119
9.7	Auszüge aus dem Standard FIDES	121
9.8	Softwarelösungen	126

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Wichtige mathematische Zusammenhänge zur Zuverlässigkeitsberechnung (Meyna & Pauli, 2003).	25
Tabelle 4.1: Darstellungsweisen von Ausfallraten und deren Umrechnung (British BT, 1990).	39
Tabelle 4.2: Auszug aus «Semiconductor Industry Association Quarterly Report». Werte sind angegeben in PPM (parts per million) (Seidl & Garry, 1990).	45
Tabelle 4.3: Korellationsmatrix mit den Merkmalen τ , Γ und $\ln \Gamma$.	46
Tabelle 4.4: Exponentielle Regressionsfunktion und Lernfaktor.	49
Tabelle 4.5: Fiktive Ausfallraten $\lambda_i(t_j, T_k)$ [PPM/Quartal] Digital Bipolarer Halbleiterelemente bezogen auf den Temperaturbereich T_k und das Quartal t_j .	51
Tabelle 4.6: Der Zusammenhang zwischen β_j - und x_j -Werten.	57
Tabelle 4.7: Messungen der Ausfallrate von Widerständen (Zhongsen Yan, 1992).	58
Tabelle 4.8: Die Lösungen der multiplen Regressionsanalyse (Zhongsen Yan, 1992).	59
Tabelle 5.1: Zeitliche Entwicklung des MIL-HDBK-217 Standards (Coppola, 1984; Michael G. Pecht, 1994).	63
Tabelle 5.2: Umweltfaktoren des MIL-HDBK-217 Standards (MIL-217, 1991).	66
Tabelle 5.3: Umweltfaktoren für bipolare Transistoren nach (MIL-217, 1991).	68
Tabelle 5.4: Die Umgebungsbedingungen des PREL 5.0 Standards und spezifische Werte für Kondensatoren (Binroth et al., 1984).	70
Tabelle 5.5: Umweltfaktoren des Telcordia SR-332 Standards.	72
Tabelle 5.6: Vergleich der Umweltfaktoren der Standards Telcordia SR-332 und MIL-HDBK-217F.	73
Tabelle 5.7: Mechanischer und klimatischer Umweltfaktor π_E des HRD5-Standards (BT, 1990).	77
Tabelle 6.1: Standardwerte der Prozessfaktoren (RAIC, 2006, Table 2.4.1-1).	89
Tabelle 6.2: Die Stützstellen des in Abbildung 6.3 dargestellten Graphen.	91
Tabelle 6.3: Proportionalität des Faktors $\Pi_{\text{Mechanical}}$ (Belastungskategorien).	98
Tabelle 7.1: Übersicht über die Eigenschaften und Funktionen der beschriebenen Standards (ECSS, 2006; IEEE-Guide, 2003).	108
Tabelle 9.1: Parameter für die Zuverlässigkeitsberechnung von Kondensatoren nach 217Plus.	119
Tabelle 9.2: Standardwerte für typische Umwelt und Einsatzprofile nach 217Plus (RAIC, 2006).	120
Tabelle 9.3: Durch den FIDES-Standard abgedeckte Komponenten (FIDES, 2004).	121
Tabelle 9.4: Sensitivitätskoeffizienten von Komponenten bezüglich Überbelastung (FIDES, 2004).	122
Tabelle 9.5: $\Pi_{\text{placement}}$ -Faktoren für Komponenten (FIDES, 2004).	122
Tabelle 9.6: Matrix zur Bestimmung des $\Pi_{\text{application}}$ -Faktors (FIDES, 2004).	123
Tabelle 9.7: Matrix zur Bestimmung des $\Pi_{\text{ruggedizing}}$ -Faktors (FIDES, 2004).	124
Tabelle 9.8: Bauteilspezifische Faktoren eines Keramik-Kondensators (FIDES, 2004).	125
Tabelle 9.9: Beschleunigungsfaktoren von Keramik-Kondensatoren (FIDES, 2004).	125

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Verteilung der Ausfälle von Air-Force Boardsystemen, die auf Komponentenversagen zurückzuführen sind (Slenski, 2002 Figure 1).	15
Abbildung 2.1: Die gebräuchlichsten technischen Risiko- und Zuverlässigkeitsanalysen (VDA, 1996).	17
Abbildung 2.2: Beispiel eines sicherheitskritischen Systems. Darstellungsweise nach DIN 19 227 Teil 2.	18
Abbildung 2.3: Darstellungsweise einer System-FMEA (VDA, 1996).	19
Abbildung 2.4: Darstellung einer Ereignisablaufanalyse nach (DIN-25419, 1985).	20
Abbildung 2.5: Darstellung einer Fehlerbaumanalyse nach DIN-25424 (1981).	20
Abbildung 2.6: Schematische Darstellung einer Systemzustandsanalyse als Markow-Prozess (VDI-4008, 1999).	21
Abbildung 2.7: Top-down-Aufstellung des Zuverlässigkeits-Blockdiagramms eines komplexen Systems (Birolini, 1997).	23
Abbildung 3.1.(b): Gängige Verteilungsfunktionen zur Zuverlässigkeitsanalyse (Birolini, 1997).	30
Abbildung 3.2: Serienschaltung von n Widerständen im Blockdiagramm.	31
Abbildung 3.3: Parallelschaltung von n Widerständen im Blockdiagramm.	32
Abbildung 3.4: Ausfallrate eines Systems bestehend aus n Elementen mit konstanten Einzelausfallraten $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda = 0,01$.	33
Abbildung 3.5: Beispiele für redundante Anordnungen von Systemfunktionen bzw. Systemelementen in Funktions-Blockdiagrammen (Birolini, 1997).	35
Abbildung 4.1: Typischer Verlauf der Ausfallrate, dargestellt durch die Addition zweier Weibull-Verteilungen.	37
Abbildung 4.2: Mögliche Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen X und Y.	42
Abbildung 4.3: Ausfallraten eines Bauteils in Abhängigkeit von der Anzahl an Funktionstests (Screening-Level).	44
Abbildung 4.4 Die logarithmierten Ausfallraten über der Zeit.	47
Abbildung 4.5 Verlauf der Lernkurven $\pi_L(t)$ für MOS Digital, Linear und Digital Bipolar Bauteile (Seidl & Garry, 1990).	49
Abbildung 4.6: Der zeitliche Verlauf, der nach den Lernfaktoren $\pi_{Li}(t)$ gewichteten Größen $\lambda_i(t)$.	50
Abbildung 4.7: Verlauf des Temperaturfaktors $\pi_T(T)$.	54
Abbildung 6.1: Verteilung der Fehlerursachen elektronischer Systeme (RAC, 2000).	79
Abbildung 6.2: Schematische Vorgehensweise zur Abschätzung der Ausfallrate nach 217Plus (RAIC, 2006).	83
Abbildung 6.3: Grafische Darstellung eines Beispiels zur Spektralanalyse von zufälligen Vibrationsbeschleunigungen (RAC, 2000, Figure J-1).	90
Abbildung 6.4: Funktionsverlauf des Umweltfaktors in Abhängigkeit von Vibrationsbelastungen bei einer Temperaturdifferenz $\Delta T = 0$.	92
Abbildung 6.5: Aufschlüsselung der ausgewerteten Komponenten nach Ländern für FIDES (MBDA, 2007).	94
Abbildung 6.6: Die Einflussfaktoren im FIDES-Standard (FIDES, 2004).	95
Abbildung 6.7: Der Einfluss mechanischer Vibrationsbelastung auf die Zuverlässigkeit am Beispiel drei verschiedener Komponenten nach FIDES.	99
Abbildung 7.1: Ausfallraten [FIT] eines Keramikkondensators in Abhängigkeit mechanischer Belastung. Berechnet nach den Standards MIL-HDBK-217F, SR-332, RDF2000, HRD5, 217Plus und FIDES.	105

Abbildung 9.1: Die Struktur des Systems «ABC Computer System (...)», dargestellt durch «Reliability Workbench V10.1.1» von Isograph.	126
Abbildung 9.2: Systemstruktur der ITEM «Toolkit Version 7»-Software.	126
Abbildung 9.3: Die Systemdarstellung (links) und ein Eingabefenster (rechts) der A.L.D. «RAM-Commander V7.0»-Software.	127
Abbildung 9.4: Darstellung des Systems «Pentium Pro» durch die Software «Reliability Studio 2007» von RELEX.	127
Abbildung 9.5: Auf der linken Seite des Fensters der «PRISM V1.2»-Software befindet sich die Systemdarstellung.	128
Abbildung 9.6: Ein Eingabefenster der PRISM V1.2-Software zur Parameterfestlegung auf Komponentenebene.	128
Abbildung 9.7: Ausfallraten eines Systems in Abhängigkeit von Umweltbedingungen nach MIL-HDBK-217F.	129
Abbildung 9.8: Ausfallraten verschiedener Systemkomponenten bei der Umgebungsbedingung «AIF» (Airborne Inhabited Fighter).	130
Abbildung 9.9: Pareto-Darstellung aller Systemkomponenten mit Hilfe der Software «RAM-Commander V7.0» von A.L.D..	130
Abbildung 9.10: Die Abhängigkeit der Ausfallrate verschiedener Untersysteme von den Umgebungsbedingungen Ground Benign, Ground Fixed und Ground Mobile.	131

Glossar

Begriff (englischer Terminus)	Definition	Quelle
Betrachtungseinheit (<i>item under consideration</i>)	«Jedes Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, jede Funktionseinheit, jedes Betriebsmittel oder System, das für sich allein betrachtet werden kann.»	(DIN-31051, 2003)
Element (<i>element</i>)	Unterste Betrachtungseinheit, die für Zuverlässigkeitsuntersuchungen als unteilbar aufgefasst wird.	(DIN-40042, 1970)
System (<i>system</i>)	«Menge von Elementen, die nach einem Entwurf in gegenseitiger Beziehung stehen. Ein Element eines Systems kann zugleich ein anderes System sein, genannt Teilsystem, welches ein steuerndes oder ein gesteuertes System sein und Hardware, Software und menschliche Eingriffe beinhalten kann.»	(DIN/IEC-61508-4, 2006)
Modell (<i>model</i>)	«Unter einem Modell wird ein ideell vorgestelltes oder materiell realisiertes System verstanden, das das Forschungsobjekt widerspiegelt oder reproduziert und es so zu vertreten mag, dass uns sein Studium neue Informationen über dieses Objekt vermittelt.»	(Stoff, 1969)
Methode (<i>method</i>)	«[von griechisch <i>méthodos</i> «Weg», «Gang einer Untersuchung»] planmäßiges Verfahren zur Erreichung eines bestimmten Ziels; speziell Charakteristikum für wissenschaftliches Vorgehen (z. B. die deduktive, induktive, experimentelle Methode)».	(Lexikon, 2007)
(Hardware)-Ausfall (<i>failure</i>)	«Beendigung der Fähigkeit einer Funktionseinheit, eine geforderte Funktion bereitzustellen oder Betrieb einer Funktionseinheit in irgendeiner Art anders als gefordert.» «Als Ausfall wird somit der Übergang vom fehlerfreien in den fehlerhaften Zustand bezeichnet. Der Ausfall ist also ein Ereignis.» Anmerkung: Der Begriff ist auf physikalische oder chemische Fehler der Hardware ausgerichtet.	(DIN/IEC-61508-4, 2006), (Börcsök, 2004)