

Ausfallrate und Lebensdauer – Zwei, die zusammengehören!

Die beiden Begriffe Ausfallrate und Lebensdauer werden im täglichen Sprachgebrauch oft als Synonym verwendet, wo sie doch so unterschiedlich in ihrer Bedeutung sind. Der folgende Bericht erklärt die genaue Bedeutung beider Aussagen, ihre Gültigkeit und verdeutlicht ihr Zusammenspiel in der Praxis. Zu diesem Zweck wird als erstes auf die Ausfallrate eingegangen.

Die Ausfallrate - interessant schon ab dem 1. Tag

Die Ausfallrate wird entweder als mittlere Zeit zwischen zwei Fehlern (englisch: Mean Time between Failure = MTBF, oder Mean Time to Failure = MTTF) in Stunden oder als deren Kehrwert, der Fehleranzahl (englisch: Failure in Time = FIT) innerhalb eines Zeitraums von 10^9 Stunden angegeben. Am Beispiel einer Glühbirne mit einer Ausfallrate von 2000 Stunden betrachtet bedeutet dieser Wert, dass, wenn eine Glühbirne ständig in Betrieb ist diese statistisch gesehen nach 2000 Stunden ausfällt. Es kann aber auch sein, dass diese spezielle Glühbirne bereits in der 1. Stunde ausfällt, dafür aber eine andere 4000 Stunden brennt, bzw. 1999 Glühbirnen 2001 Stunden Licht spenden.

Dieser Wert bedeutet aber auch, dass wenn 2000 Glühbirnen gleichzeitig im Einsatz sind jede Stunde eine ersetzt werden muss. Obwohl man bei Betrachtung der Ausfallrate für eine Glühbirne vermuten könnte, dass es sich hierbei auch um die Lebensdauer handelt trifft dies nicht zu. So kann es z. B. sein, dass bei einem Netzteil die Ausfallrate 200.000 Stunden beträgt, die Lebensdauer dagegen mit 10 Jahren nur knapp 100.000 Stunden also deutlich niedriger liegt. Die Ausfallrate stellt lediglich die mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit eines Gerätes während der Nutzungsdauer dar. Die Nutzungsdauer wird am Anfang durch die Zeit in welcher Frühausfälle auftreten und am Ende durch die Lebensdauer begrenzt.

Die Frühausfälle und Fertigungsfehler werden in der Regel bereits beim Hersteller bei Fertigungs- und Ausgangstests und evtl. einem durchgeführten Burn-In-Test herausgefiltert, die Lebensdauer wird dagegen durch die aktuelle Belastung im Betrieb, die Auswahl der Bauteile sowie das Design selbst beeinflusst, ist also sowohl vom Anwender als auch vom Hersteller abhängig.

Tabelle 1: MIL-217F FIT Werte pro $10E9$ Stunden für $50^{\circ}C$ Umgebungstemperatur

Type	Klasse	Spannungsbelastung in % des max. zulässigen Wertes				
		<40%	<60%	<80%	<100%	
Lötstelle	-	-	-	-	0,1	
Connector	pro Pin	-	-	-	-	
Widerstand (Metafilm)	< 1M Ω	33,6	40,0	48,6	59,8	
Kondensator (Alum.)	470 μ F	881,2	1589,8	2969,8	5245,0	
	4700 μ F	1333,7	2406,3	4495,0	7938,6	
	15000 μ F	1643,5	2965,3	5539,3	9782,8	
Digital IC bipolar	100 Gates	-	-	-	151,5	
	1000 Gates	-	-	-	179,0	
Digital IC mos	100 Gates	-	-	-	208,0	
	1000 Gates	-	-	-	208,0	
Linear IC	101 Trans.	-	-	-	6444,0	
	300 Trans.	-	-	-	1164,0	
	1000 Trans.	-	-	-	2204,0	
Transistor bipolar power	10 - 50 W	24,4	44,2	82,2	152,2	
	< 100 W	31,5	57,1	106,2	196,8	
FET power	< 5 W	-	-	-	1451,5	
	< 50 W	-	-	-	2903,0	
	< 250 W	-	-	-	5806,1	
	250 W	-	-	-	5806,1	
Diode	Low Power	60,2	158,7	317,4	547,2	
	High Power	Silizium	1093,0	2881,4	5762,9	9936,0
	High Power	Schottky	47,5	125,3	250,6	432,0

Die Ausfallrate kann auf zwei Arten ermittelt werden. Zum einen rechnerisch mittels statistischer Ausfallraten z. B. nach dem Standard MIL-HDBK-217. Tabelle 1 zeigt die FIT Werte für einige Bauelemente bei $50^{\circ}C$ Umgebungstemperatur und verschiedenen Spannungsbelastungen. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass Elektrolytkondensatoren und Leistungshalbleiter die Ausfallrate dominieren. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass einfachere Schaltungskonzepte mit wenigen Bauelementen für die Ausfallrate günstiger sind als aufwändigere Schaltungen. Die Fehlerrate beeinflusst zudem negativ die Verwendung von Parallelschaltungen z. B. bei den Ein- und Ausgangskondensatoren oder den Leistungshalbleitern, auch wenn sie z. B. zu einer deutlich höheren Lebensdauer führen. Wichtig bei der Berechnung der Ausfallrate ist die Umgebungstemperatur,

Artikel siehe auch

www.power-systems/news01.html

da sich die Ausfallrate pro 10 °C Temperaturerhöhung verdoppelt. Darum ist es besonders wichtig, dass die Ausfallraten verschiedener Geräte bei gleicher Bezugstemperatur verglichen werden.

Die tatsächlichen Bauteilebelastungen wie, Bauteiltemperatur, Spannungs- und Strombelastung fließen bei der Berechnung nur angenähert oder gar nicht in die Beurteilung ein, so dass Bauteilreserven, die zu einer Erhöhung bzw. Verbesserung der Fehlerrate führen oftmals nicht genügend berücksichtigt werden. Bauteileüberlastungen aufgrund von Entwicklungsfehlern und deren erhöhte Fehlerraten bleiben in der Regel gänzlich unberücksichtigt.

Aussagekräftiger, aber auch aufwendiger, ist die zweite Art der Ausfallratenermittlung. Hier wird eine genügend große Anzahl an Geräten bei möglichst hohen Umgebungstemperaturen (jedoch deutlich unterhalb der Zerstörungsgrenze des Gerätes) unter Zuhilfenahme zusätzlicher Stressfaktoren, wie z. B. Volllastbetrieb, zyklisches Einschalten mit den sich daraus ergebenden Temperaturschwankungen und dem zusätzlichen Einschaltstress, sozusagen im Zeitraffer getestet. Dabei werden realistische Fehlerraten ermittelt und systembedingte Bauteileüberlastungen frühzeitig erkannt und die Möglichkeit der Korrektur vor Serienproduktionsanlauf geschaffen. Je nach zu erwartender Ausfallrate sind hier in der Regel zwischen 1 und 3 Monaten Vorlauf einzurechnen um die Geräteanzahl auf ein vertretbares Maß von ca. 100 bis 1000 Geräte zu begrenzen. Die verwendeten Geräte sind nach Ablauf des Test nicht mehr zu verwendet und stellen daher einen beträchtlichen Kostenfaktor dar. Bei Netzteilen schlägt zusätzlich noch der Energieaufwand während der Testphase zu buche. Diese Kosten rechnen sich deshalb in der Regel nur bei sehr hochwertigen Geräten bzw. bei sehr hohen Stückzahlen. Alternativ kann die tatsächliche Fehlerrate auch mit Hilfe der ersten Seriengeräte bei langsamen Serienanlauf ermittelt werden, hierzu ist jedoch eine enge Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Endkunde erforderlich um eine schnelle Rückmeldung von Fehlern zu gewährleisten. Günstig ist auch der Einsatz von bewährten Standardgeräten, bei denen bereits Langzeiterfahrungen aus dem Feld vorhanden sind und etwaige Fertigungs- und Entwicklungsschwächen bereits ausgeräumt wurden. Darüber hinaus lässt sich bei der Verwendung von Standardgeräten als Basis für notwendige Modifikationen die Ausfallrate genauer abschätzen und das Risiko minimieren.

Die Lebensdauer –
erkennt man erst wenn es schon zu spät ist!

Im Gegensatz zur Ausfallrate lässt sich die Lebensdauer eines Gerätes nicht durch Tests ermitteln, da nicht wie bei der Fehlerrate durch die Verwendung von mehr Geräten ein Zeitraffer-Effekt erreicht wird. Bei der Lebensdauer muss auf die Kompetenz bei der Entwicklung und der Auswahl und Dimensionierung der verwendeten Komponenten sowie der geeigneten Fertigungsverfahren vertraut werden. Der Entwickler legt mit der schwächsten Komponente des Systems, d. h. mit dem Bauteil mit der geringsten Lebensdauer die Lebensdauer des gesamten Gerätes fest.

Wird das Ende der Lebensdauer erreicht führt die ansteigende Fehlerrate des entsprechenden Bauteils zu einer ständig steigenden Fehlerrate des Systems und damit zum Austausch bzw. Reparatur des Gerätes. Bei Netzteilen sind in der Regel die Aluminium-Elektrolytkondensatoren die bestimmenden Bauelement für die Lebensdauer.

Dies ist zum einen der Fall weil sie von Haus aus über sehr hohe FIT Werte verfügen und von Haus aus einen sehr hohen Anteil an der Ausfallrate darstellen und zudem über eine relativ geringe Lebensdauer im Vergleich zu anderen Komponenten verfügen. Kalkulation 1 zeigt beispielhaft die Berechnung der Lebensdauer für einen hochwertigen Ausgangskondensator mit 7000 Stunden Lebensdauer bei 105 °C und einen Kondensator für allgemeine Anwendungen mit nur 1000 Stunden Lebensdauer bei 85 °C. Der Unterschied in der Lebensdauer der beiden Kondensatoren im Betrieb ist mit 14 Jahren für den hochwertigen Kondensator und 0,5 Jahre für den billigen Kondensator signifikant. In der Praxis wird die Lebensdauer der Kondensatoren und damit des Gerätes höher sein, da die meisten Systeme nicht rund um die Uhr betrieben werden und die Umgebungstemperatur normalerweise für die meiste Zeit deutlich unter 50 °C sein dürfte. Da auch die Lebensdauer dem Arrhenius-Gesetz folgt nimmt diese pro 10 °C Temperaturerniedrigung auf das Doppelte zu. Darüber hinaus werden die meisten Geräte nicht ständig bei Volllast betrieben, so dass die Eigenerwärmung in der Regel auch deutlich unter dem angenommenen Wert von 15 °C liegen dürfte. Dennoch ist nicht zu vernachlässigen, dass die Lebensdauer eines Gerätes, speziell wenn es sich um ein Netzteil handelt erst auf den zweiten Blick sichtbar wird. Ein Anhaltspunkt für die Qualität eines Produktes kann die Garantiezeit, in der der Hersteller die kostenlose Reparatur oder den kostenlosen Austausch übernimmt sein. Je länger diese ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass hochwertige Komponenten verwendet und das Netzteil sorgfältig entwickelt wurde. TDK gewährt z. B. für ihre RKW Serie genau aus diesem Grund 5 Jahre Garantie, die bei Bedarf auf 10 Jahre verlängert werden kann.

Zusammenfassung

Wie gezeigt beschreibt die Lebensdauer die zu erwartende, problemlose Einsatzdauer unter den angegebenen Randbedingungen (Umgebungstemperatur, Volllast usw.). Diese kann nur durch die Verwendung hochwertiger Komponenten und sorgfältiges Design sowie niedrige Umgebungstemperatur positiv beeinflusst werden. Zudem kann die Lebensdauer mit vertretbarem Aufwand nur berechnet und diese nicht vorab durch Tests verifiziert werden. Die Ausfallrate hingegen stellt den statischen Mittelwert der Ausfälle dar und hängt von der Anzahl, der Art und der Belastung der Bauteile (Spannung, Strom, Temperatur usw.) ab. Die Ausfallrate ist nach dem Aussondern der Frühausfälle bis zum Ende der Lebensdauer am niedrigsten und über diesen Zeitraum konstant. Im Gegensatz zur Lebensdauer kann die Ausfallrate im Zeitrafferverfahren verifiziert werden. Grundsätzlich ist festzustellen, je komplexer Netzteile und andere Geräte sind, desto mehr Bauteile benötigen sie und desto höher ist die Ausfallrate. Für Netzteile sind typische Werte zwischen 100.000 und 500.000 Stunden bei 25 °C, für DC/DC-Wandler zwischen 500.000 und 2.000.000. Damit stellen Netzteile oftmals einen wesentlichen Anteil an der Gesamtausfallrate des Systems. Es ist daher oftmals sinnvoll hier auf hochwertige Komponenten zurückzugreifen oder, wenn dies nicht möglich ist, den Austausch so einfach wie möglich zu gestalten, z. B. durch den Einsatz von Stecker oder Tischnetzteilen, die bei Bedarf durch den Kunden selbst vorort ausgetauscht werden können.