Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 13

Rubrik: Zuverlässigkeit von elektronischen Bauelementen und Systemen

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Praxis bestätigt, so dass die hier für den Fünfschenkelkern gefundenen Verhältnisse gleichen Erwartungen genügen dürften.

Literatur

[1] *H. Jordan:* Über den magnetschen Lärm von Drehstrom-Kerntransformatoren. ETZ-A 81(1960)3, S. 97...101.

[2] *W. Baxmann:* Zur Theorie des Transformatorenlärms magnetischen Ursprungs. Dissertation der Technischen Hochschule Hannover, 1961.

[3] *E. Reiplinger:* Beitrag zur Berechnung der Lautstärke von Transformatoren. Dissertation der Technischen Universität Hannover, 1972.

[4] *H. Wienholt:* Über mechanische Schwingungen des Eisenkerns von Einphasen-Kerntransformatoren. Dissertation der Technischen Hochschule Hannover, 1960.

[5] *J. Draeger:* Ein Beitrag zur Berechnung der Eigenfrequenzen der Kerne von Drehstrom-Kerntransformatoren. Dissertation der Technischen Hochschule Hannover, 1965.

[6] *E. Voss:* Über die Berechnung der Eigenfrequenzen der Kerne von Fünfschenkeltransformatoren. Dissertation der Technischen Universität Hannover, 1971.

[7] *P. Matthieu:* Über die Berechnung der Eigenschwingungen von Eisenkörpern von Transformatoren. Bull. Oerlikon -(1965)361, S. 1...14.

[8] *H. Jordan, H. Reinke* und *F. Taegen:* Mechanische Eigenfrequenzen von Transformatoren. AEG-Mitt. 52(1962)9/10, S. 445...449.

[9] *M. Krondl* und *E. Kronauer:* Einige Beiträge zum Problem des Transformatorengeräusches. Bull. Oerlikon -(1963)356, S. 1...15.

[10] *E. Voss:* Mechanische Eigenfrequenzen der Kerne von Fünfschenkeltransformatoren. Bull. SEV 63(1972)19, S. 1100...1103.

[11] *R. Richter:* Elektrische Maschinen. Bd. 3: Die Transformatoren. 3. Auflage. Basel/Stuttgart, Birkhäuser Verlag, 1963.

[12] *M. Vidmar:* Der fünfschenkelige Eisenkern des dreiphasigen Grosstransformators. Arch. Elektrotechn. 25(1931)5, S. 359...382.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. *Erich Voss,* Hedwig-Fichtel-Strasse 18, D-8740 Bad Neustadt/Saale. Der Autor ist Mitarbeiter der Siemens AG, Bad Neustadt. Die Grundlagen dieser Arbeit entstanden während seiner Tätigkeit am Institut für Elektrische Machinen der TU Hannover.

Zuverlässigkeit von elektronischen Bauelementen und Systemen

Bericht über die Informationstagung des SEV am 27. März 1974 in Fribourg

Die Zuverlässigkeit technischer Einrichtungen, in der Publikation 271 der Internationalen Elektrotechnischen Kommission als die Wahrscheinlichkeit definiert, dass die Einrichtung eine verlangte Funktion unter gegebenen Bedingungen während einer gegebenen Zeit erfüllt, hat naturgemäss seit eh und je eine wichtige Rolle gespielt. Sie ist eines der Attribute der Qualität von Erzeugnissen. Ein Mindestmass von Zuverlässigkeit ist nicht nur manchmal die unabdingbare Voraussetzung, dass gewisse technische Projekte überhaupt Aussicht auf Erfolg haben, sondern sie spielt auch im Wettstreit um den Absatz von Produkten eine hervorragende Rolle, indem sie in die Wirtschaftlichkeit eingeht.

Früher war die Zuverlässigkeit meist eine Angelegenheit des Praktikers, der auf Grund der Erfahrung und eventueller Versuche eine Prognose wagen konnte. Man kalkulierte auch schon Ruhezeiten für die Wartung und allfällige Reparaturen ein und sorgte, wo nötig und möglich, durch Mehrfachausrüstung, also Redundanz, für möglichst unterbrechungsfreien Dienst. Bei komplexeren Einrichtungen, nicht zuletzt auf dem Gebiet der Elektronik, und unter dem Druck technischer wie wirtschaftlicher Anforderungen wurde es aber mehr und mehr nötig, den Problemen der Zuverlässigkeit systematisch und daher auch mit theoretischen Methoden zu Leibe zu rücken. Besonders im Laufe der letzten etwa zwei Dezennien hat eine stürmische Entwicklung stattgefunden, die auch heute noch keineswegs abgeschlossen ist. Die an der Informationstagung des SEV gehaltenen Vorträge geben einen Einblick in die theoretischen Grundlagen und eine Reihe von praktischen Anwendungen.

An den Anfang gestellt war ein Doppelreferat von A. Birolini, Institut für Technische Physik, ETHZ, über *Aufgaben und Methoden der Zuverlässigkeitstheorie*, mit den Teilreferaten *Notations de base, fiabilité d'un dispositif* und *Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit einfacher Systeme.* Es werden die grundlegenden Probleme der Zuverlässigkeitstheorie eingeführt und deren Lösung erläutert. Für einige dieser Probleme werden die Wahl und die Gültigkeitsgrenzen der verwendeten mathematischen Modelle untersucht. Nach der Definition der Begriffe Zuverlässigkeit und Ausfall folgt die eingehende Untersuchung der Probleme der Bestimmung der Vertrauensgrenzen und der Nachprüfung einer unbekannten Zuverlässigkeit. Im weiteren werden die Begriffe ausfallsfreie Arbeitszeit und Ausfallrate eingeführt und die Probleme der empirischen Bestimmung von Verteilungsfunktionen behandelt. Ferner wird das Zeitverhalten einer reparierbaren Baueinheit, im Hinblick auf die Berechnung der Zuverlässigkeit und der Verfügbarkeit, untersucht. Diese Berechnungen werden dann verallgemeinert, um den Fall eines Systems ohne Redundanz einzuschliessen. Die Zuverlässigkeit und die punktweise Verfügbarkeit einer k- aus n-Redundanz werden unter der Annahme untersucht, dass die ausfallfreien Arbeitszeiten und die Reparaturzeiten exponentiell verteilt sind. Der Fall der 1- aus 2-Redundanz wird dann für allgemeine Verteilungsfunktionen behandelt, und schliesslich werden einige Methoden zur Untersuchung komplexer Systeme kurz beschrieben.

Im zweiten Teil des Vortrages wird das Zeitverhalten einiger Systeme einfacher Struktur untersucht. Bei der Behandlung des Falles einer reparierbaren Baueinheit wird der Begriff der Verfügbarkeit eingeführt. Es werden dann ein System ohne Redundanz und redundante Baugruppen behandelt. Für die reparierbare Baueinheit und die reparierbare Doublierung wird auf einige wichtige neue Resultate hingewiesen.

F. Winiger, Faselec AG, Zürich, orientierte über *Fehlerursachen bei schadhaften Transistoren und integrierten Schaltungen.* Nach einigen Bemerkungen über die üblichen, zwischen Lieferant und Kunde vereinbarten AQL-(Acceptance Quality Level-) Werte und die für die Komponentenzuverlässigkeit massgebende MTBF (Mean Time Between Failures) ging der Referent hauptsächlich auf die sehr vielfältigen möglichen Ursachen des Versagens von Transistoren und integrierten Schaltungen ein, das teils in einem Totalausfall, teils in einem Abwandern bestimmter charakteristischer Grössen über zulässige Grössen hinaus bestehen kann. Für die ersteren liegt der Fehler oft in Montagemethoden, bei den letzteren spielen insbesondere Verunreinigungen, Fremdstoffe, eine eminente Rolle. Es werden Verfahren geschildert, wie die auf die Lebensdauer sich nachteilig auswirkenden Einflüsse vermindert werden können. Die Ermittlung der MTBF ist wegen der hohen erreichbaren Werte aufwendig; beschleunigte Prüfungen mit Überbeanspruchung zur Zeitraffung müssen vorsichtig bewertet werden.

In seinem Vortrag über die *Methodes de l'évaluation de la fiabilité des condensateurs* berichtete P. L. Boyer, Condensateurs Fribourg S.A., Fribourg, über die Probleme, die sich im Zusammenhang mit der Herstellung und der Verwendung von Kondensatoren gewünschter Zuverlässigkeit stellen. Ausgehend von den projektierten Daten hat der Fabrikant unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit die richtige Materialauswahl zu treffen und für einen geeigneten Fabrikationsprozess mit dauernder Überwachung vom eingehenden Rohstoff bis zum Fertigprodukt zu sorgen. Anhand der erhaltenen Prüfungsresultate muss wiederum auf einzelne Operationen korrigierend eingewirkt werden. Die Bedeutung der Sorgfalt, die zur Erzielung einer bestimmten Zuverlässigkeit auf den ganzen Fabrikationsprozess angewendet werden muss, zeigt deutlich, dass in einem Zertifikationssystem für die Güte der Produkte nicht nur vom fertigen Produkt ausgegangen werden kann, sondern die Vertrauenswürdigkeit des Herstellers miteinbezogen werden muss.

J. Mattli, SEV, berichtete kurz über Ziel und Organisation des *Cenelec Electronic Components Committee (CECC)*, das im europäischen Rahmen ein Gütebestätigungssystem für Bauelemente der Elektronik aufgezogen hat. Durch entsprechende nationale Organisationen können Hersteller solcher Komponenten eine Bestätigung der Güte bzw. der Zuverlässigkeitsklasse ihrer

Produkte erlangen. Dann wurde durch P. L. Boyer die *Activité du Comité d'Etudes 56 de la CEI, Fiabilité et maintenabilité* dargelegt. Dieses technische Komitee befasst sich für das gesamte Gebiet der Elektrotechnik, im besonderen aber der Elektronik, mit den Problemen und den Grundlagen der Zuverlässigkeit.

Es folgte das Referat von F. W. Richard, Autophon AG, Solothurn, über die *Herstellung von Geräten mit garantierter Zuverlässigkeit*. Es kommen darin anhand von Beispielen aus der Kleingeräte-Serieproduktion Probleme und Lösungsmöglichkeiten für die Übernahme einer Zuverlässigkeits-Garantieklausel zur Darstellung. Insbesondere werden die Testmethoden und die Massnahmen in der Entwicklungs- und Fabrikationsphase betrachtet. Dabei zeigen sich vielfältige Verknüpfungen; eine isolierte Lösung von Zuverlässigkeitsforderungen ist unzweckmässig.

In seinem Beitrag *Die Auswirkung der Unzuverlässigkeit jeder Komponente auf die Systemzuverlässigkeit, erklärt am Beispiel der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung,* zeigt Heinz Frey, AG Brown, Boveri & Cie, Baden, anhand einer Fallstudie, wie die Zuverlässigkeitsanalyse für den Planungs- und Entwicklungsingenieur für die Synthese einer zuverlässigen Struktur und für die Entscheidung zwischen alternativen Systemkonzepten auf Grund einer objektiven Bewertung eine wertvolle Hilfe sein kann. Für das Verständnis der Fehlerart- und Effektanalyse wurde die Beziehung zwischen Systemfunktion und Komponentenfunktion und der Zuverlässigkeit abstrakt dargestellt. Eine Methodik wurde für die schrittweise Durchführung einer Zuverlässigkeitssystemanalyse, für die Bewertung und für die Wahl der Beurteilungsstufen angeführt.

In das Gebiet der grossen Vermittlungszentralen gehört das Referat von K. Siuda, Hasler AG, Bern, betitelt *Praktische Zuverlässigkeitsanforderungen an ein Gross-System der Nachrichtentechnik*. Für Telex- und Telephonie-Dienste wird eine sehr hohe Zuverlässigkeit verlangt. So darf die totale Ausfallzeit eines lokalen Vermittlungssystems während seiner Lebensdauer von 30 Jahren 2 Stunden nicht überschreiten. Noch höher liegen muss die Zuverlässigkeit von grösseren Steuerbereichen, z. B. einer Netzgruppe, wo die Zeit zwischen 2 Totalausfällen einer Netzgruppe grösserer als 1000 Jahre zu sein hat, d. h. eine Netzgruppe praktisch überhaupt nicht ausfallen darf. Es wird über die Methoden zur Erreichung solcher Systemzuverlässigkeiten berichtet, wobei in einem ersten Abschnitt die Konfiguration und die Zuverlässigkeit von lokalen Vermittlungssystemen für Telex- und Telephonie-Dienste und in einem zweiten diejenigen von zentralgesteuerten Nachrichten-Vermittlungsnetzen behandelt werden. Zu den letzteren Systemen gehört auch das geplante PCM-Fernmeldesystem IFS-1 der schweizerischen PTT.

Den Abschluss der Tagung bildete der Vortrag von A. Thomann, Contraves AG, Zürich, über *Produktesicherung am Beispiel von Satellitenprojekten*. Darin wird ausgeführt, dass die Zuverlässigkeit von Nachrichtensatelliten wegen der Nichtreparierbarkeit nach dem Abschuss eine Hauptrolle spielt. Deshalb enthalten Kontrakte derartiger Projekte Zuverlässigkeitsforderungen, die vom Auftragnehmer verlangen, dass die Zuverlässigkeit vom Entwurf bis zur Ablieferung mittels Methoden moderner Produktesicherung gesteuert wird. Der Auftragnehmer hat diese Methode und die zugehörigen organisatorischen Massnahmen im sogenannten Produktesicherungsprogramm zu beschreiben.

Aus Intelsat IV und anderen Produktesicherungsprogrammen werden einige Methoden beschrieben, z. B. die quantitative Zuverlässigkeitsanalyse (Reliability Estimation), die qualitative Zuverlässigkeitsanalyse (Failure Mode and Effect Analysis) und die Methoden der Sicherung der Fertigungsqualität, die auf die Zuverlässigkeit des Erzeugnisses wesentlichen Einfluss hat.

Prof. Dr. *W. Druey*, 8400 Winterthur

Wir weisen darauf hin, dass eine beschränkte Anzahl Konferenzbände, die den vollständigen Text aller Vorträge enthalten, zum Preise von Fr. 40.– (20.– für Mitglieder) beim Administrativen Sekretariat des SEV, Postfach, 8034 Zürich, bezogen werden kann.

Technische Mitteilungen – Communications de nature technique

Elektrische Energie-Technik und -Erzeugung
Technique et production de l'énergie

Sonnenkraftwerk im Weltraum

621.472 : 621.311.25 : 629.783

[Nach *W. C. Brown:* The Technology and Application of Free-Space Power Transmission by Microwave Beam, Proc. IEEE 62(1974)1 S. 11...25]

Die Sonne ist eine unerschöpfliche Energiequelle. Auf die äussere Erdatmosphäre fällt etwas mehr als 1 kW/m². Leider ist auf der Erdoberfläche infolge von Wolken und der Drehung der Erde keine kontinuierliche Umwandlung in elektrische Energie möglich. Ausserdem würde ein Kraftwerk mittlerer Grösse eine ziemlich grosse Fläche (10...100 km²) benötigen.

Vier amerikanische Firmen studieren zurzeit ein Projekt für Sonnenkraftwerke, welche als quasi stationäre Satelliten in 35 800 km Höhe den Äquator umkreisen. Dank der 23° Neigung der Erdachse gegenüber der Ekliptik wird der Satellit zu über 99 % des Jahres von der Sonne beschienen. Das Sonnenkraftwerk hat zwei riesige, stets der Sonne zugewandte Flügel, welche mit Photozellen bedeckt sind. Zwischen den Flügeln ist eine Antenne angebracht, um die Energie über Mikrowellen (ca. 3 GHz) zur Erde zu senden.

Diese Idee ist erst dank den in den letzten paar Jahren erzielten Fortschritten bei der Übertragung höherer Leistungen über Mikrowellen in den Bereich des Möglichen gerückt. Dazu waren drei Hauptprobleme zu überwinden: Umwandlung von Gleichstrom in Mikrowellen, Abstrahlung und Übertragung der Mikrowellen sowie Empfang und Gleichrichtung der Mikrowellen.

Mit Magnetrons oder Amplitrons kann man Gleichstrom mit hohem Wirkungsgrad (über 85 %) in Mikrowellen umwandeln. Durch den Betrieb im Weltraum (beinahe ideales Vakuum) können diese Elemente viel einfacher gebaut werden, und die Magnetfelder brauchen nicht abgeschirmt zu werden, wie auf der Erde.

Zur Abstrahlung der Mikrowellen ist eine aktive, phasengesteuerte Antennenanordnung bei grossen Aperturflächen am besten geeignet. Man erreicht damit sowohl einen hohen Wirkungsgrad als auch eine ausgezeichnete Phasenkohärenz bei der Abstrahlung.

Der übliche Weg zum Empfangen von Mikrowellen (Reflektion an einer Ellipsoidkernantenne in eine mit einem Wellenleiter verbundene Hornantenne) ist bei hohen Leistungen nicht geeignet. Zum Empfang und Gleichrichten von Mikrowellen hoher Leistung wurde eine Anordnung, «Rectenna» genannt, entwikkelt, welche aus einem Halbwellendipol und Gleichrichterelementen besteht. Solche Rectenna-Strukturen sind gleichmässig über den ganzen Empfangsbereich verteilt.

Bei einer Leistung von 10 000 MW benötigt das Sonnenkraftwerk eine Sendeantenne von 1 km Durchmesser und eine Empfangsantenne von 7,5 km Durchmesser, falls sie 90 % der ausgesendeten Energie auffangen soll. Der berechnete Gesamtwirkungsgrad inklusive der beiden Energieumwandlungen beträgt 68 %.

H. P. von Ow