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: 66 (1975)

Heft: 16

Artikel: Quelques aspects de la fiabilité des microcircuits avec enrobage plastique

Autor: Bjenesco, T.I.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915307

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

Quelques aspects de la fiabilité des microcircuits avec enrobage plastique

Par T. I. Băjenesco

621.3.049.77 : 62-192

L'article – qui est un article de synthèse – fait le point du stade actuel du problème; après un court commentaire concernant les bases théoriques, on passe en revue quelques aspects des tests accélérés, une formule empirique pour prédire le taux de défaillance des microcircuits, la question des défaillances usuelles et de la fiabilité des grands systèmes, aussi bien que l'analyse de ces défaillances – qui représente la réaction absolument nécessaire afin d'améliorer continuellement la qualité et la fiabilité des circuits intégrés.

Der Artikel bietet einen Überblick über den heutigen Stand der Probleme um die Zuverlässigkeit von Mikroschaltungen. Nach einem Hinweis auf die theoretischen Grundlagen werden einige Aspekte von beschleunigten Prüfungen behandelt, ferner eine empirische Formel zur Vorhersage der Ausfallquote von Mikroschaltungen, der Zusammenhang zwischen den normalen Ausfällen und der Zuverlässigkeit von grossen Systemen sowie die Analyse der Ausfälle, welche unbedingt notwendig ist, um die Qualität und Zuverlässigkeit der integrierten Schaltungen dauernd zu verbessern.

1. Introduction

Une complexité accrue de n'importe quel système conduit à un nombre plus grand d'interconnexions entre les composants individuels. Comme on le sait bien, il y a une relation inverse entre le nombre de composants et la fiabilité d'un système. Afin d'assurer un niveau acceptable de fiabilité pour les systèmes électroniques complexes, les composants aussi bien que les interconnexions doivent satisfaire à des conditions de qualité très poussées qui ne sont soit pas toujours respectées, soit pas toujours réalisables.

De nombreux contrôles de qualité pratiqués tout au long des processus de fabrication, de continuels perfectionnements technologiques, aussi bien que l'automatisation avancée des opérations individuelles de montage et de contrôle sont les moyens pratiques largement utilisés aujourd'hui dans l'industrie des circuits intégrés, afin d'accroître la fiabilité des IC et, implicitement, l'efficacité et la fiabilité des grands systèmes électroniques où ces circuits seront finalement utilisés.

La fiabilité d'un circuit intégré est déterminée – en premier lieu – par sa conception et par sa fabrication. L'analyse des défaillances de ces circuits intégrés – effectuée par les grands fabricants mondiaux – montre que la majorité de ces défaillances peut être attribuée à la fabrication et aux processus technologiques. Afin d'assurer une action corrective cyclique de la conception de la fabrication et des contrôles des circuits intégrés, il est recommandable [1][1]) d'utiliser le schéma représenté sur la fig. 1.

Comme suite, la bibliographie des dernières années [2] affirme que «... le circuit intégré est l'élément le plus fiable jamais fabriqué» (Everett Hanlon, Président de la Houston-based Reliability Inc.) ou que «pendant la première année de fonctionnement, 99 % des défaillances des systèmes électroniques, dues aux IC, peuvent être éliminées» (Gary Pitts, operations manager à Microelectronic Testing Laboratories, Santa Ana, Californie).

Un sujet longuement controversé, aujourd'hui-même, reste la question: boîtier plastique ou boîtier métallique? Une étude récente [3], aussi bien que d'autres sources bibliographiques [4; 5] révèlent que – actuellement – presque 60 % des microcircuits fabriqués sont enrobés en plastique. Tous les auteurs cités sont d'accords que l'enrobage plastique a de nombreux avantages (technologie facile, grande vitesse de fabrication, prix réduits, bonnes propriétés mécaniques aux chocs et aux vibrations, etc.) mais que pour des buts militaires – où on demande une très haute fiabilité – la stabilité temporelle des paramètres et l'étanchéité sont des questions imparfaitement résolues. Les essais de laboratoire effectués par RADC [6], the Naval Ammunition Depot, Crane, Ind. [7] et la U.S. Army Electronics Command [8], confirment qu'il y a des mécanismes internes de corrosion de la métallisation en aluminium, dans des conditions d'humidité et de polarisation données, et qu'il n'y a pas un matériel plastique nettement supérieur aux autres.

2. Court commentaire théorique[2]) concernant la fiabilité

En termes techniques, la fiabilité est l'aptitude d'un système à rendre le service attendu, dans des conditions données, pour une durée donnée et suivant des critères de fonctionnement définis.

Si nous nous référons à une population de composants, alors la fiabilité peut être connue par l'intermède des taux de

[1]) Voir la bibliographie à la fin de l'article.

[2]) Pour plus de détails, le lecteur peut consulter le traité «Reliability principles and practices» de S. R. Calabro (McGraw-Hill Book Company, Inc., New-York, 1962) et le livre en deux volumes «Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie» de Gnedenko, Beljajew et Solowjew (Akademie-Verlag Berlin, 1968).

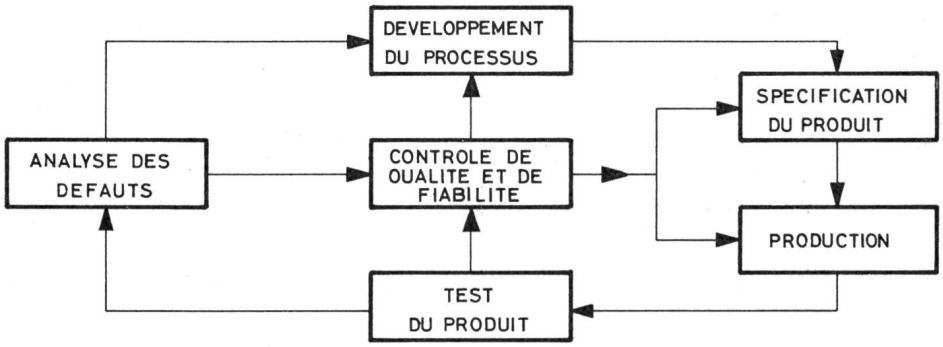

Fig. 1
Procédure qui assure un cycle continuel d'action corrective pour la fabrication, la conception et le test des circuits intégrés

défaillance λ[3]), avec l'observation que les conditions de fabrication des composants respectifs ne changent pas essentiellement pendant une longue période de temps et que des conditions de test et de fonctionnement soient parfaitement connues. Pour les microcircuits enrobés en plastique et destinés au fonctionnement normal, la valeur usuelle du taux de défaillance λ est comprise entre 10^{-6}/h et 10^{-8}/h. Les données publiées jusqu'ici ont été obtenues sur de gros lots à la suite d'essais de durée effectués pendant des années. Mais, comme on l'observe facilement, cette méthode a le désavantage de supposer que pendant le temps de fonctionnement (divisé arbitrairement en intervalles égaux) tombera en panne toujours le même nombre (ou le même pourcentage) de la totalité des éléments encore capables de fonctionner. Autrement dit, λ est constant, ce qui signifie une loi de défaillance exponentielle. Mais l'expérience apprend que cette supposition n'est pas justifiée; en réalité, le taux de défaillance est plus élevé au début, pour les produits des firmes de bon renom, et diminue dans le temps d'après une loi monotone [9; 10].

Afin d'obtenir des valeurs certaines, on a toujours besoin de très longs intervalles de temps, de manière que les résultats ainsi obtenus ne sont jamais représentatifs pour l'état actuel de la fiabilité. Cette méthode n'est pas indiquée pour l'époque de développement technologique rapide que nous vivons et où on demande un contrôle permanent, sûr et efficace de la production courante.

Une amélioration de la fiabilité a été réalisée à l'aide des méthodes de screening[4]).

Si on suppose un taux de défaillance indépendant du temps, on doit distinguer deux cas:

a) ou bien la possibilité de défaillance de chaque élément ne dépend pas de sa vie antérieure,

b) ou bien le déroulement du mécanisme de défaillance satisfait à certaines conditions.

Pour le premier cas, on doit supposer que la cause de la défaillance se trouve à l'extérieur de l'élément considéré.

Pour le deuxième cas, on est obligé de supposer que la défaillance est la suite d'un processus physique se passant à l'intérieur de l'élément considéré, processus dépendant du temps.

Ces arguments conduisent à la conclusion que l'utilisation de la loi exponentielle pour prédire la fiabilité des semiconducteurs et microcircuits est contre-indiquée, parce qu'elle ne tient pas compte de la possible dépendance dans le temps du taux de défaillance et parce qu'elle ne correspond pas aux modèles physiques réels. Un modèle beaucoup plus convenable pour la prévision et la détermination de la fiabilité offre la loi de distribution de *Weibull*

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}} \qquad \text{pour } x > \gamma \tag{1}$$

avec la fonction de densité de probabilité $f(x) = \frac{d}{dx} F(x)$,

ce qui donne le taux de défaillance $\lambda(x) = f(x)/1 - F(x)$ ou

$$\lambda(x) = \frac{\beta}{\alpha^{\beta}} (x-\gamma)^{\beta-1} \qquad \text{pour } x > \gamma \tag{2}$$

[3]) $\lambda = \frac{dN}{N(t)\,dt}$, où $N(t)$ = nombre de dispositifs en bon fonctionnement à l'instant t; dN = nombre de ces dispositifs qui tombent en panne pendant l'intervalle de temps dt.

[4]) Suite de tests électroniques, mécaniques et climatiques effectués pour la totalité des produits dans la phase finale de la fabrication, à l'aide desquels on peut éliminer les exemplaires mauvais.

Si nous définissons

$$\frac{\beta}{\alpha} = \lambda_0 \tag{3}$$

et élargissons (2) jusqu'à $\alpha^{\beta-1}$

on obtient pour le taux de défaillance qui dépend du temps (avec $x = t$)

$$\lambda(t) = \lambda_0 \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \qquad \text{pour } t > \gamma \tag{4}$$

Si pour le test de durée on utilise N circuits et si

$$P = N[1 - F(t)] \tag{5}$$

signifie le nombre des exemplaires survivants, alors – après avoir pris deux fois le logarithme du rapport N/P – on obtient:

$$\ln \frac{N}{P} = \beta\,[\ln(t-\gamma) - \ln \alpha] \tag{6}$$

où

γ = le temps jusqu'à ce que le premier élément tombe en panne ou meurt

α = la constante de temps de la distribution des défaillances

η = $\alpha + \gamma$ = la durée de vie caractéristique

λ_0 = le taux caractéristique de défaillance après η, donc quand 63,2 % [5]) de la totalité des éléments sont tombés en panne

β = caractérise la dépendance du temps du taux de défaillance.

Comme on peut voir aisément, λ a la dimension d'une fréquence. De l'expression (4) on voit que cette fréquence est constante seulement pour $\beta = 1$. Pour $\beta > 1$, la fréquence des défaillances augmente, pour $\beta < 1$, elle diminue. D'après la même relation (4) les éléments ayant de très grandes valeurs γ doivent avoir une durée de vie élevée. Mais si simultanément $\beta > 1$ et α est très petit, alors les éléments ne sont pas fiables.

Au contraire, si γ est très petit, α très grand et $\beta \ll 1$, les éléments ont une durée de vie plus courte, mais avec tout cela, ils sont fiables.

Une durée de vie longue – remarque *Fischer* [9] – ne signifie pas fiabilité. C'est pour cela qu'il propose de caractériser la fiabilité des éléments par un indice qui contient tous les paramètres de la distribution de *Weibull,* nommé:

$$Q = \frac{\eta + \gamma}{\beta} = \frac{\alpha + 2\gamma}{\beta} \tag{7}$$

Si β est devenu beaucoup plus petit aux cas des microcircuits, on peut déduire qu'il y avait des défaillances antérieures dues à un montage avec défauts. Afin de reconnaître rapidement de pareils cas, γ a un poids supérieur à celui de α dans l'expression (7). Si α est plus petit et β plus grand, on peut supposer qu'il s'agit de défauts de matériel ou erreurs du processus technologique.

Si $\beta > 1$ les produits ne sont pas fiables et la production doit être stoppée.

Il est à remarquer que le niveau qualitatif de la production n'augmente pas en utilisant cette méthode, parce qu'il s'agit d'une méthode passive. L'avenir des méthodes qui assureront vraiment la qualité désirée des produits seront les méthodes actives.

Aujourd'hui on ne peut plus utiliser seulement des méthodes simples et empiriques (le plus souvent des contrôles optiques) afin d'assurer une production homogène, ayant un niveau

[5]) Si en (1) on met $\alpha = t - \gamma$, alors $F(\alpha + \gamma) = 1 - \frac{1}{e} = 0{,}632$.

qualitatif élevé. On doit trouver la racine des maux, ce qui n'est réalisable qu'avec une discipline nouvelle, en voie de formation, de spectre large, qui fera appel à de nombreuses techniques et sciences.

3. Le test thermique accéléré

A titre d'exemple, pour vérifier le niveau de fiabilité correspondant à $\lambda = 10^{-9}$/h par l'intermédiaire d'essais de vieillissement, il faudrait effectuer ces essais sur 1000 pièces pendant 114 ans et trouver une seule pièce défectueuse [14]. C'est pour cela que – afin d'évaluer la fiabilité d'un composant dans un délai de quelques semaines seulement – on fait appel aux essais dits accélérés.

Par définition, un essai accéléré est un essai au cours duquel les niveaux de contraintes appliquées aux IC sont supérieurs à ceux prévus en utilisation; on fait cet essai en vue de raccourcir le temps nécessaire à l'observation des IC sous contraintes, ou d'accélérer ce comportement pour une durée d'observation donnée. L'essai accéléré suppose une connaissance approfondie des mécanismes de défaillance, essentielle dans toutes les évaluations de la fiabilité.

L'utilisation systématique des essais aux températures élevées a été suggérée par *Peck* [11] au début des années 60. Accueillie au commencement avec réserve et scepticisme, cette technique a fini par s'imposer comme très utile, tant aux fabricants qu'aux utilisateurs des IC.

L'expérience et l'utilisation pratique des composants électroniques ont montré que la durée de vie n'est pas infinie et dépend également des conditions d'utilisation. Pour certains IC jugés bons au début, il est possible d'observer pendant le fonctionnement et avant la fin de la vie utile:

– des défaillances catastrophiques qui entraînent l'arrêt du fonctionnement normal du dispositif,

– des défaillances par dérive, qui provoquent un fonctionnement défectueux, entraînant une variation importante d'une caractéristique au cours du temps.

En pratique, dans le processus d'évaluation de la fiabilité d'un produit, le test thermique accéléré seul n'est pas suffisant; il faut aussi faire des essais par contraintes échelonnées. Ces

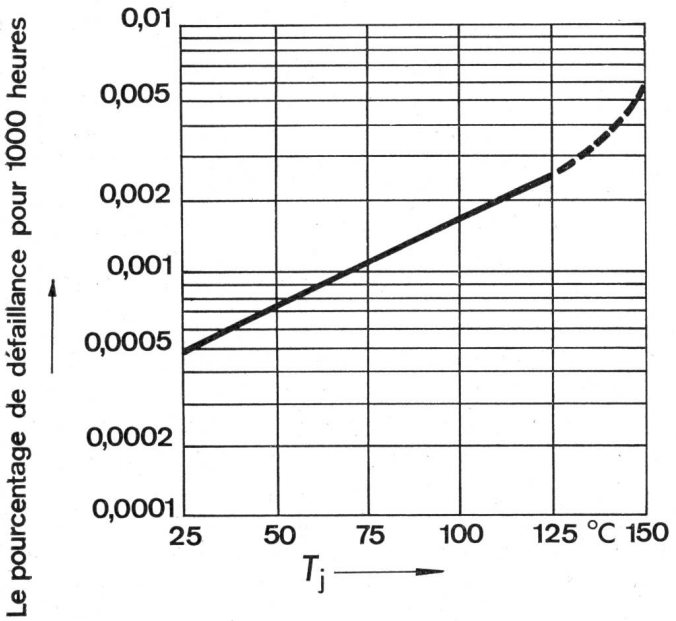

Fig. 2 **Taux de defaillance λ_b en fonction de la température T_j**

essais consistent à prendre un échantillon de faible taille et à le soumettre aux épreuves avec les contraintes croissantes suivantes: température, puissance, tensions, éventuellement mécaniques.

L'examen détaillé des résultats obtenus facilite considérablement l'évaluation de la fiabilité du produit dans un bref délai.

Dans le cas des IC à enrobage plastique les «leak-tests» n'ont aucune raison d'être faits, car il n'y a pas de vide à l'intérieur. Par contre les essais de pénétration de l'humidité peuvent être faits.

Normalement – après enrobage plastique – on pratique les essais de série suivants[6]):

1 – Un durcissement de 16 heures à 160 °C
2 – Un cyclage thermique (10 fois de – 65 °C à + 150 °C)
3 – Un vieillissement humide (100 % humidité relative) de 12 heures à 90 °C
4 – Un vieillissement sec de 12 heures à 90 °C
5 – Un vieillissement de 24 heures à 150 °C

En ce qui concerne l'équivalence du nombre d'heures de fonctionnement à une température standardisée de 55 °C par rapport au nombre d'heures de fonctionnement à des températures plus élevées ou plus basses, on a établi [15] les facteurs de température suivants, aujourd'hui généralement acceptés:

Température °C	Facteur de transformation pour équivalence à 55 °C
25	0,37
85	2,5
125	6,8
150	8,0
200	18,7

Le test thermique accéléré a un désavantage important: il y a une grande probabilité que les niveaux élevés de «stress» (contraintes) produisent des mécanismes d'avaries qui n'ont pas habituellement lieu lors de conditions d'utilisation normale. D'autre part, il est vrai aussi que pour l'évaluation comparative des diverses séries de microcircuits, ce désavantage ne devrait plus exister.

En tout cas, le test thermique accéléré n'est pas une panacée universelle pour économiser du temps ou pour mettre sur pied des tests économiques concernant la durée de vie et le comportement des microcircuits intégrés.

4. Un essai de prédiction du taux de défaillance des IC

Dans la littérature spécialisée [16; 17] on rencontre une formule empirique établie par *Ryerson* [16] qui permet de prédire le taux de défaillance des microcircuits avec un degré de précision relativement bon. Cette formule est:

$$\lambda_M = \lambda_b F_C F_P F_Q F_E \qquad (8)$$

où

λ_b = le taux de défaillance de base (voir fig. 2)
F_C = le facteur de complexité (voir tableau I)
F_P = le facteur du boîtier (pratiquement sans influence, donc égal à 1)
F_Q = le facteur de qualité (voir tableau II)
F_E = le facteur d'ambiance (voir tableau III)

Quoique – au moins du point de vue théorique – l'hypothèse de l'indépendance en température de ces quatre facteurs F_C,

[6]) Le nombre et la durée des essais varient d'un fabricant à l'autre.

F_P, F_Q, F_E semble fragile, les essais d'application ont montré une bonne corrélation.

– Les valeurs du facteur F_E ont été déduites des expériences faites par les militaires, surtout les Américains. Le facteur F_C reflète les variables du processus (comme par exemple le nombre de couches épitaxiales, de diffusions, d'oxydations et d'opérations de masque), la complexité physique (le nombre de fonctions, de couches d'oxyde, de métallisations, etc.), aussi bien que la complexité fonctionnelle.

– Le facteur F_Q est le seul qui a été déduit à partir de considérations théoriques et est influencé le plus par l'évolution de l'industrie des microcircuits.

Les essais faits en vue d'appliquer cette formule empirique et de prédire le taux de défaillance des microcircuits ont conduit à une concordance jugée suffisante à bonne, entre les résultats prédits et réellement obtenus.

5. Les défaillances usuelles et la fiabilité des grands systèmes

Les recherches entreprises récemment [16; 18; 19] conduisent à la conclusion que la distribution (en pourcentage) des défaillances usuelles est la suivante:

Contacts (mauvais ou intermittents)	33 %
Défauts de métallisation	26 %
Erreurs dues à la photolithographie	18 %
Etanchéité	10 %
Défauts de surface	7 %
Divers	6 %

Si l'on tient compte que ces microcircuits sont utilisés dans de grands systèmes, on peut s'interroger sur l'influence des IC défectueux sur la fiabilité des grands systèmes ou sur les coûts des services de ces systèmes. Supposant qu'un tel grand système contienne 10000 microcircuits et que chaque service coûte 625 fr.s. [17], on arrive à dresser le tableau IV pour les divers pourcentages de IC défectueux.

La dernière rubrique a été obtenue en supposant un prix de 25 fr.s. pour le microcircuit de rechange installé.

On observe aisément qu'en mettant en place des contrôles intermédiaires et finals efficaces pour les microcircuits fabriqués, toutes les valeurs contenues dans la rubrique «coût réparation» (voir tableau IV) au-delà de 1 % de IC défectueux, représentent de l'argent gagné ou épargné.

On arrive ainsi, par une autre voie, à la même conclusion – connue depuis longtemps – qui nous incite à demander de la part des fabricants de microcircuits des contrôles sévères de qualité, des essais réguliers de fiabilité et de durée de vie, aussi bien que des tests complets de série par contraintes échelonnées. De même, on ne pourrait pas suffisamment insister sur l'importance des recherches ayant comme but l'amélioration de la qualité des contacts, aussi bien que la mise au point de nouvelles méthodes actives de mesure pour contrôler la qualité et la fiabilité des microcircuits – en général – et des contacts, en particulier.

Nous souscrivons à l'idée d'un contrôle d'entrée 100 % des microcircuits à l'utilisateur, en sachant qu'un tel contrôle coûte moins cher que le remplacement ultérieur, sur les cartes, des IC contrôlés d'après le critère de satisfaire à un certain AQL. Surtout pour la fiabilité demandée aux grands systèmes, les contrôles d'entrée 100 % des IC s'avèrent nécessaires.

Avec les expériences accrues de fiabilité – qui sont à la mode aujourd'hui – il sera nécessaire, peut-être, d'opérer des changements dans la philosophie du «screening», notamment la nécessité du screening pour la totalité de la production.

Tableau I

F_C	Description
1...2	Portes digitales, circuits simples
3...4	Flip-flops et compteurs
4...14	Circuits linéaires
10	Produits nouveaux, changement majeur ou interruption du processus

Tableau II

F_Q	Classe	Description
1	A	100 % screening, limit testing, action corrective
2	B	100 % screening
15	C	Lot acceptance screening
30	D	Procédés de fabrication sans screening

Tableau III

F_E	Description
1	Laboratoire
2	Installations fixes
5	Installations portables
7	Installations mobiles
10	Fusées

Tableau IV

IC défectueux %	Nombre d'avaries	Coût réparation (fr. s)	% du prix du système
0,1	10	6 250	2,5
1	100	62 500	25
2	200	125 000	50
5	500	312 500	125

6. L'analyse des défauts

L'analyse des microcircuits défectueux représente la réaction absolument nécessaire pour l'amélioration continuelle de la qualité des IC de la fabrication courante.

Normalement elle est faite par le fabricant de microcircuits, mais il semble qu'une toute petite partie des rebuts ou des IC tombés en panne dans les grands systèmes arrivent de nouveau à la fabrique d'origine, en vue de cette analyse des défauts. L'explication est relativement simple, car l'utilisateur ne s'alarme que si un nombre relativement élevé du même type de microcircuits tombe en panne au bout d'un certain temps de fonctionnement, dans un certain grand système, chez le client.

D'après notre opinion, il serait beaucoup plus utile et plus efficace – tant pour le fabricant que pour l'utilisateur – de retourner à la fabrique tous les IC défectueux, en les accompagnant d'une feuille d'observations où seraient mentionnés les facteurs jugés utiles dans l'analyse des défauts (par exemple: où a fonctionné cet IC, pendant combien de temps, à quelle température, avec ou sans ventilation, avec ou sans charge, le type de défaut observé, etc.)

La technique actuelle connaît des dispositifs hautement automatisés avec des ordinateurs qui permettent l'examen de chaque broche sur chaque séquence défectueuse. Mais l'examen final des rebuts, en vue de trouver la cause intime et profonde de chaque défaut, devra toujours être fait par une personne très qualifiée, si l'on veut aboutir rapidement et certainement à l'amélioration de la qualité des microcircuits.

Bibliographie

[1] Integrated electronic systems. Edited by the Staff of Science and Technology, Aerospace Division, Westinghouse Electric Corporation. Englewood Cliffs, N. J. Prentice Hall, 1970.

[2] *L. Armstrong:* Semi-Conductors. IC users seek outside testing help. Electronics 45(1972)22, p. 76...80.

[3] *H. C. Edfors:* Reliability considerations in plastic encapsulated microcircuits. Reliability Analysis Center, Techn. Memo. RADC-TM-71-1.

[4] *J. Vaccaro:* Semi-Conductor reliability within the U.S. Department of Defense. Proc IEEE 61(1974)2, p. 169...184.

[5] *A. Tamburrino, J. Brauer* and *V. Kapfer:* The reliability of plastic encapsulated microcircuits. Mikroelectronic 4(1971), p. 675...696.

[6] *A. Tamburrino* and *V. Kapfer:* Failure mechanism in plastic encapsulated microcircuits. Rome Air Develop. Cen. Techn. Rep. RADC-TR 69-111.

[7] *M. Church:* Evaluation of plastic packaged ICs. In: Microelectronics Section Reports. Vols. I/IV. Crane, Ind., Naval Ammunition Depot, 1971.

[8] *B. Reich* and *E. B. Hakim:* Environnemental factors governang field reliability of plastic transistors and integrated circuits. Proceedings of the Annual Symposium on Reliability Physics 10(1972), p. 82...87.

[9] *F. Fischer:* Moderne Methoden zur Absicherung der Zuverlässigkeit von Halbleiterbauelementen. Mikroelektronik 4(1971), S. 654...674.

[10] *F. Fischer:* Einfluss der Wahl des Ausfallkriteriums auf die Verteilung der Lebensdauer bei Benutzung der Weibull-Verteilung. Qualität und Zuverlässigkeit 15(1970)2, S. 33...37.

[11] *D. S. Peck:* The analysis of data from accelerated stress tests. Proceedings of the Annual Symposium on Reliability Physics 9(1971), p. 69...78.

[12] *F. H. Reynolds:* Thermally accelerated aging of semiconductor components. Proc. IEEE 62(1974)2, p. 212...222.

[13] *M. L. Shooman:* Probalistic reliability, an engineering approach. New York a. o. McGraw-Hill, 1968.

[14] *H. Arciszewski:* Analyse de fiabilité des dispositifs à enrobage plastique. Onde Electrique 50(1970)3, p. 230...240.

[15] *J. Adams* and *W. Workman:* Semiconductor network reliability assessment. Proc. IEEE 52(1964)12, p. 1624...1635.

[16] *J. B. Brauer:* Microcircuit testing: Matching the value with the cost. Mikroelektronik 3(1969), p. 321...385.

[17] *E. F. Dertinger:* Status of reliability requirements in governement contracts. Proceedings of the National Symposium on Reliability and Quality Control 11(1965), p. 125...135.

[18] *H. A. Schafft:* Testing and fabrication of wire-bond electrical connections – a comprehensive survey. Washington National Bureau of Standards, 1972.

[19] *A. P. Kemény:* Life tests of SSI integrated circuits. Microelectronics and Reliability 13(1974)2, p. 119...142.

Adresse de l'auteur:

Titu I. Băjenesco, Hasler S.A., Dép. 60c, Belpstrasse 23, 3000 Bern 14.