

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: 68 (1977)

Heft: 18

Artikel: Maintenabilité, Fiabilité et Disponibilité des Systèmes Electroniques

Autor: Bajenesco, Titu I.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915069>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.02.2025

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

Maintenabilité, Fiabilité et Disponibilité des Systèmes Electroniques

Par Titu I. Bajenescu

621.3:62-192

Comme la fiabilité, la maintenabilité est un paramètre de la conception des systèmes électroniques. L'article se propose de familiariser le lecteur avec les problèmes et le langage spécifiques en présentant l'équation de probabilité, la corrélation entre la maintenabilité et la fiabilité, la disponibilité, les types de maintenance et le programme de maintenabilité. L'article contient également quelques essais de définition de la maintenabilité, tout en mentionnant les notions les plus utilisées selon MIL-STD 721 B.

Analogue der Zuverlässigkeit ist auch die Wartbarkeit ein Projektierungsparameter der elektronischen Systeme. Der Artikel möchte den Leser mit den spezifischen Problemen und der spezifischen Sprache vertraut machen; Wahrscheinlichkeitsgleichung, Korrelation Wartbarkeit-Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Wartbarkeitsarten und Wartbarkeitsprogramm werden erläutert. Der Artikel umfasst auch einige Definitionsversuche der Wartbarkeit und erwähnt die meist verwendeten Begriffe nach MIL-STD 721 B.

1. Introduction

L'effort scientifique et technique des derniers 15 à 20 ans pour quantifier l'aptitude à la maintenance d'un système électronique a donné naissance à une nouvelle branche appelée maintenabilité [1]¹⁾. Il n'en existe pas encore une définition généralement acceptée. D'habitude on la définit comme la caractéristique d'un matériel qui s'exprime par la probabilité que ce matériel – lorsqu'il nécessite une intervention de maintenance – soit remis dans un état de fonctionnement donné dans les limites de temps spécifiées, lorsque le travail est effectué selon des procédures prescrites et des conditions données.

Depuis un certain temps on accorde un intérêt croissant à la maintenabilité, parce qu'on s'est rendu compte, d'une part, de l'accroissement des dépenses annuelles pour la maintenance résultant de l'accroissement des travaux à effectuer et, d'autre part, du coût de l'indisponibilité des matériels lorsqu'ils ne sont pas en mesure d'assurer les services attendus. La fig. 1 [2]¹⁾ montre la place de la maintenabilité par rapport à l'ensemble des performances d'un système électronique. La ligne pointillée sépare l'objectif à atteindre des résultats du compromis envisagé. Il s'agit, en effet, d'établir un compromis entre la fiabilité et la maintenabilité [2; 3] pour réaliser l'objectif de disponi-

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

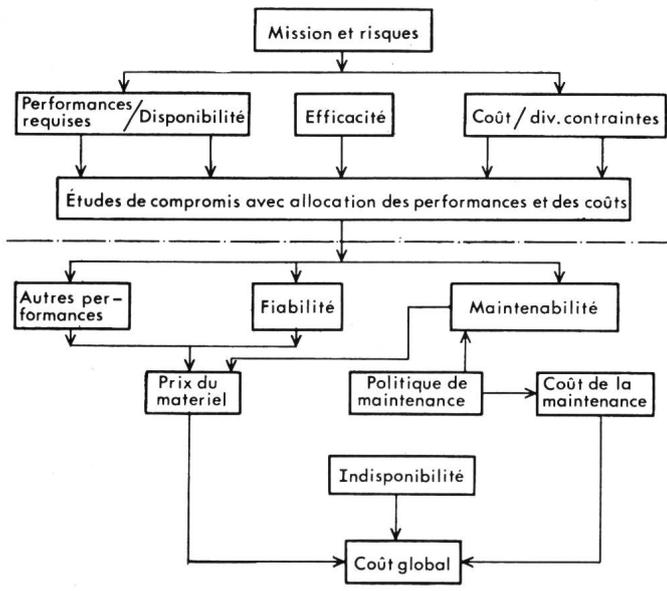


Fig. 1 Relations entre la maintenabilité, les autres performances d'un matériel électronique et son coût global

bilité. L'objectif de maintenabilité est normalement spécifié sous la forme d'un temps cumulé maximum d'immobilisation (T_{ei}) pour une période d'observation donnée. Ce temps représente la somme des temps nécessaires aux interventions de maintenance corrective (indice c) et aux interventions de maintenance préventive (indice p):

$$T_{ei} = N_c M_c + N_p M_p \quad (1)$$

N_c nombre d'opérations de maintenance corrective
 M_c moyenne des temps pour les tâches de réparation
 N_p nombre d'interventions de maintenance préventive
 M_p moyenne des temps pour les interventions de maintenance préventive.

N_c est un paramètre de fiabilité déterminé et connu dans chaque cas. Si l'évaluation des autres trois paramètres conduit à des valeurs qui ne satisfont pas T_{ei} , l'ingénieur de maintenabilité pourra demander une modification de la conception du système ou agira lui-même sur la politique de maintenance dans les limites des coûts prévus.

2. Aspect pratique

La maintenabilité se propose d'optimiser la conception d'un équipement ou d'un système de manière qu'il puisse fonctionner dans le cadre des prescriptions spécifiées initialement par le client, tout en tenant compte des pannes et de leur réparation. Elle est basée sur de nombreux calculs, statistiques et analyses des défaillances.

Face à l'intérêt accru manifesté par les clients et l'industrie, des spécialistes sont formés en maintenabilité qui puissent accomplir les tâches nouvelles. En effet, c'est à l'ingénieur de conception de résoudre les problèmes de maintenabilité pendant la période de conception du système. Les exigences minimales comprennent la nécessité de prévoir des circuits de test incorporés (manuels ou automatiques), la connaissance de la qualité et du type des points de test, ainsi que du niveau d'isolation défectueuse, l'obligation d'assurer un accès facile à n'importe quel composant, de «modulariser» les fonctions afin de simplifier les travaux de maintenance, etc. [4; 5].

3. Définitions selon MIL-STD

Selon le standard militaire américain MIL-STD 721 B, les notions les plus utilisées concernant la maintenabilité sont définies comme suit:

Fiabilité: Aptitude d'un système à accomplir une fonction requise dans des conditions données pour une période de temps donnée.

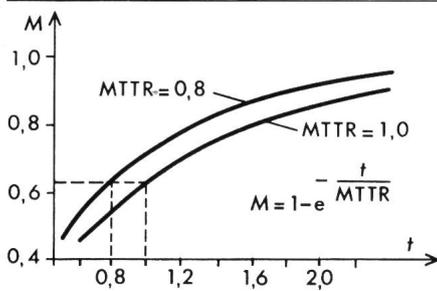


Fig. 2 Maintainabilité M en fonction du temps accordé pour une réparation, la MTTR étant paramètre

Disponibilité: Indicateur du degré où un système est opérationnel, par rapport au temps total considéré.

Temps de non-opération: Durée pendant laquelle le système n'est pas opérationnel, due à la défaillance d'un composant ou d'un circuit.

MTTR (Mean Time To Repair ou Moyenne des Temps des Tâches de Réparation): Temps total de la maintenance corrective divisé par le nombre total des actions de maintenance corrective, pendant une durée de temps donnée.

Maintenabilité: Caractéristique du projet et de l'installation exprimée par la probabilité qu'un équipement puisse être dépanné en un temps donné, avec des moyens donnés et dans des conditions données, en retrouvant la fiabilité initiale.

4. MTTR

La MTTR indique la durée probable d'une intervention corrective et constitue le paramètre de maintenabilité correspondant à la MTBF²⁾ de la fiabilité [3]. Afin d'évaluer la MTTR d'un système, on constate aujourd'hui une tendance qui demande au constructeur une liste d'au moins 50 pannes probables, avec l'estimation des MTTR respectives. Ensuite on fait un sondage au chronomètre sur quelques-unes de ces pannes pour confirmer la valeur des estimations. Afin d'améliorer la MTTR on fait appel à une manutention rapide et au développement des contrôles internes (monitoring).

La MTTR peut être définie comme la moyenne arithmétique du temps demandé pour la réalisation des actions de maintenance.

$$MTTR = \frac{N_1 \lambda_1 R_{p1} + N_2 \lambda_2 R_{p2} + \dots + N_n \lambda_n R_{pn}}{N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2 + \dots + N_n \lambda_n} \quad (2)$$

N nombre d'éléments ou d'équipements similaires

λ taux de défaillance d'un certain élément ou équipement défini comme le nombre des défaillances par unité de temps

R_p prévision de temps de réparation corrective d'un élément ou équipement

Le temps de réparation R_p comprend la localisation du défaut et son isolation, le démontage, l'échange, le réassemblage (remontage), l'alignement (ajustement) ainsi que le contrôle.

Le temps de non-opération de la maintenance préventive est très petit par rapport aux actions de maintenance corrective et peut être négligé dans l'expression de la maintenabilité M .

Les équipements et les systèmes existants ont une maintenabilité inhérente dans l'environnement où ils fonctionnent; pour des cas semblables, la MTTR peut être déterminée à partir des

²⁾ Mean Time Between Failures ou Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement.

données de test ou des données qui constituent «l'histoire» de l'installation, d'après la formule

$$MTTR = \frac{\text{Temps total de non-fonctionnement dû aux réparations}}{\text{Nombre total des actions de maintenance corrective}} \quad (3)$$

5. L'équation de probabilité

En électronique, on accepte généralement l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constant dans le temps. La probabilité de survie du système $R(t)$ présente la forme

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Les défaillances qui conduisent à des maintenances et à des réparations non-cataloguées ont lieu comme des événements isolés. La probabilité d'achever la réparation d'une défaillance aléatoire en un temps donné (comme contrainte) dépendra dans une large mesure du type de cette défaillance. Cette probabilité, la maintenabilité M peut être calculée à l'aide de la loi exponentielle, si la MTTR est connue. Dans le cas de la distribution exponentielle négative, elle devient

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (5)$$

μ $1/MTTR$, nombre de réparations que l'on peut effectuer par unité de temps
 t valeur imposée pour finir la réparation

La probabilité de n'avoir pas fini l'action de maintenance à l'intérieur de la contrainte de temps donnée est

$$Q_m = e^{-\mu t} \quad (6)$$

Pour un temps imposé de réparation, la probabilité d'assurer le succès de la maintenance dépend initialement de l'habileté du personnel élaborant le projet pour obtenir une valeur réduite de la MTTR. Pour le client, une valeur élevée de M représente une grande probabilité d'économiser de l'argent destiné à la maintenance, aussi bien qu'une prévision rassurante concernant l'efficacité du système. L'effet des différentes MTTR sur la probabilité M par rapport à deux valeurs imposées du temps de réparation, est représenté sur la fig. 2.

6. Fiabilité et maintenabilité

Les prévisions de fiabilité sont particulièrement utiles si elles sont utilisées conjointement avec la MTTR pour la prévision des dépenses de maintenance (estimation du nombre homme-heure de maintenance, du temps de maintenance par heure de fonctionnement, etc.) pour une durée donnée de fonctionnement.

La MTBF et le taux de défaillance λ peuvent servir à prédire les taux moyens de défaillance des composants ou des systèmes, en fonction du temps. Cette information révèle les zones qui demandent un haut degré de maintenabilité, car MTBF et MTTR sont, dans un certain sens, complémentaires (fig. 3).

En plus, le modèle mathématique peut fournir des informations utiles pour l'effort de maintenabilité, comme la redondance, les composants critiques, etc. Quoique les prévisions de fiabilité soient affectées d'erreurs, elles se sont avérées être un instrument essentiel pour la phase de conception de n'importe quel projet.

En désignant par T la contrainte de temps de la mission, la probabilité de survie R ou fiabilité est donnée par

$$R = e^{-T/MTBF} = e^{-\lambda T} \quad (7)$$

La probabilité d'erreur ou de défaillance Q sera donc

$$Q = 1 - e^{-\lambda T} \quad (8)$$

En électronique, les pannes ne sont que très rarement dues à l'usure; par contre les surtensions, les parasites dangereux, les contraintes thermiques locales jouent un rôle fort important. L'énumération de ces paramètres fait penser que la maintenance est le prolongement de la fiabilité. Ces deux dernières techniques, la fiabilité et la maintenance, se soutiennent mutuellement. C'est pour cela que la maintenance pourrait être définie, au premier abord, comme une fonction consistant à faire revenir ou à maintenir tout matériel dans son état fonctionnel et disponible.

Les altérations du matériel peuvent être classées en deux catégories: prévisibles et accidentelles. Les altérations prévisibles sont dues à l'usure et au vieillissement, tandis que les altérations accidentelles sont imprévisibles.

Un équipement fiable devrait tomber en panne peu de temps après sa vie utile pour prouver qu'il n'y a pas de gaspillage de qualité. Pour compenser la nature accidentelle de ces pannes, l'électronique a besoin d'une fiabilité plus grande.

Quoique les défaillances électroniques ne soient pas dues à l'usure, mais à des influences accidentelles diverses, le vieillissement existe. Les matières plastiques, par exemple, qui sont très utilisées en électronique, évoluent lentement avec le temps, se transforment chimiquement ou absorbent l'humidité. En fonctionnement ces transformations sont accélérées par la chaleur. Par contre, l'humidité peut intervenir au stockage.

C'est ainsi qu'on arrive à la définition que la maintenabilité est une probabilité, celle qu'un équipement puisse être dépanné en un temps donné, avec des moyens donnés et dans des conditions données, en retrouvant la fiabilité initiale. Il en résulte que la maintenabilité est une caractéristique intrinsèque de l'équipement, lequel doit avoir les qualités suivantes: accessibilité, présence de points-tests, dimensions optimales des sous-ensembles du point de vue rechanges.

L'expérience montre que 80% des problèmes d'entretien sont fixés dès la planche à dessin. Vue cette importance, l'organisation de la maintenance de dépannage doit prévoir les points qui suivent:

- Méthode de localisation des pannes
- Présence des éléments de rechange nécessaires et des outillages spéciaux
- Environnement calme et propre
- Interventions sur le matériel: démontages et remontages prévus
- Contrôle de fonctionnement
- Rétablissement de la situation (commande des éléments de rechange consommés, tenue à jour des documents, améliorations éventuelles à mettre en route).

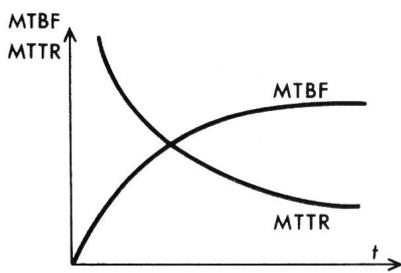


Fig. 3 Variation dans le temps de MTBF et MTTR

Les temps morts doivent être réduits au minimum; c'est alors, seulement, qu'un dépannage devient la reproduction fidèle d'un modèle de dépannage reconnu comme le meilleur et garantit la fiabilité des équipements.

7. Disponibilité

Pour les systèmes et les grands systèmes électroniques il importe d'assurer à tout moment la disponibilité; à présent elle est obtenue par l'ensemble fiabilité-maintenance-renouvellement. Comme la prévision des pannes et surtout leur localisation dans le temps sont extrêmement difficiles, l'entretien préventif a été abandonné, car contrairement au but recherché, il faisait augmenter le taux d'avarie du matériel électronique sophistiqué. Les voies utilisées aujourd'hui afin d'obtenir une disponibilité poussée des systèmes sont:

- le développement de la fiabilité, des alarmes, de la surveillance permanente et de la maintenabilité du matériel
- la mise au point de la maintenance corrective
- le renouvellement prévu et calculé des sous-ensembles ou des éléments [6].

L'expérience récente montre que ces voies sont justes, assurant une très bonne disponibilité du matériel électronique.

La disponibilité pourrait être définie comme la probabilité qu'un pourcentage prédit d'opérations ayant la durée T n'ait pas de défaillances qui ne puissent pas (dû à la maintenabilité) être réparées le laps de temps de réparation t permis. Cette probabilité est souvent dénommée disponibilité de mission; au niveau d'un équipement on écrit

$$A_E = 1 - e^{-\mu t} (1 - e^{-\lambda T}) \quad (9)$$

$$\text{donc } A_E = 1 - Q_m \cdot Q \quad (10)$$

La loi du produit peut être appliquée aux disponibilités d'un équipement afin d'obtenir la disponibilité d'un système; on aura donc - si les équipements sont montés en série -

$$A_s = A_{E1} \cdot A_{E2} \dots A_{En} \quad (11)$$

Suivant la même philosophie, la disponibilité d'un système redondant parallèle sera

$$A_p = 1 - e^{-\mu t} (1 - e^{-\lambda T})^2 = 1 - Q_m \cdot Q^2 \quad (12)$$

Indépendamment de l'expression utilisée, M a une influence importante sur la valeur de la disponibilité. En général, les composants et l'équipement sont les plus fiables possibles, et n'importe quelle amélioration ultérieure de la fiabilité coûtera extrêmement cher. C'est pour cela que l'application des techniques de la maintenabilité effective est souvent le facteur le plus important pour l'amélioration de la disponibilité.

8. Types de maintenance

On distingue trois principes de maintenance: la maintenance curative, la maintenance corrective et la maintenance préventive.

La *maintenance curative* consiste à dépanner les défaillances imprévisibles caractérisant la jeunesse d'un dispositif et à prévoir les améliorations utiles respectives. Elle est d'autant plus valable que le matériel est nouveau ou amélioré, donc au moins en partie inconnu dans son comportement à terme. C'est une activité de recherche nécessaire pour la mise au point initiale des prototypes.

Eine Hand voll Trümpfe:



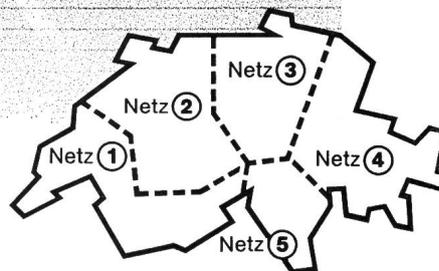
Natelphon – das Autotelephon von BBC – ermöglicht Gespräche wann, wo und mit wem Sie wollen.

Es ist ein vollwertiges Telefon für Ihr Büro auf Rädern.

Natelphon heisst für Sie:

**jederzeit erreichbar
schneller als die Konkurrenz
überall Verbindung**

Eine neue Dienstleistung der PTT-Betriebe und von BBC – für Sie!



Wer zuerst kommt, natelephoniert zuerst!

SEV

Ich weiss:
die Anschlüsse sind beschränkt.
Deshalb bitte rasch

den Natelphon-Prospekt mit allen Details

ein Angebot für Kauf

Miete

Name, Firma _____

Adresse _____

PLZ/Ort _____

Telephon _____
Einsenden an BBC, Abt. ENR-V,
5300 Turgi, Tel. 056-29 96 11

Sprechfunk, Datenfunk,
Richtfunk, Rundfunk,
Sprachverschlüsselung:
moderne Technik –
robust gebaut.



BBC
BROWN BOVERI

... eine solide Sache!

BBC Aktiengesellschaft
Brown Boveri & Cie
Abt. ENR-V, 5300 Turgi,
Tel. 056-29 96 11.

Zweigbüros in Baden, Basel,
Bern, Lausanne und Zürich.

Autorisierte Verkaufs- und
Servicestellen in Aarau,
Aubonne, Basel, Bellinzona,
Disentis, Genf, Hochwald,
Hünibach, Lausanne,
Leysin, Ligerz, Luzern,
Moudon, Moutier, Neuhaus-

sen, Niederurnen, Rothrist,
Sargans, Schaan, Sierre,
St. Blaise, St. Moritz, Uzwil,
Zürich.

501 316 VI

Kaum ein anderes Bürogerät hat in letzter Zeit soviel dazugelernt wie das Telefon.

Bis vor kurzem konnten nur grosse Betriebe mit grossen Zentralen die heutigen Möglichkeiten des Telefons voll ausschöpfen. Deshalb hat Hasler die EHZ 8/30 gebaut. Das ist die erste vollelektronische Haustelefonzentrale für kleinere und mittlere Unternehmen. Sie ist überall dort am Platz, wo 10 bis 30 interne Anschlüsse benötigt werden.

Mit einem Telefon, das an die EHZ 8/30 angeschlossen ist, kann man mehr als nur telefonieren. Zum Beispiel Anrufe automatisch zur Sekretärin umleiten lassen. Zeit sparen, indem man oft benötigte Telefonnummern in kurze Kennziffern verwandelt. Geld sparen, indem man die selbständige Wahl der Amtsgespräche in 4 Kategorien einteilt: unbeschränkt, nur nationale Verbindungen, nur Ortsgespräche oder Amtsgespräche nur via Telefonistin – je nach Tätigkeit und Kompetenzen der internen Teilnehmer. Man kann eine Personensuchanlage mit Vorwahl und/oder Nachwahl anschliessen. Konferenzgespräche selber aufbauen. Und die EHZ 8/30 sogar mit einer andern Firma gemeinsam benutzen. Telefonapparate mit Wählscheibe oder mit Wähltastatur anschliessen. Und so weiter. Die elektronische Haustelefonzentrale EHZ 8/30 von Hasler ist kleiner als ein mittlerer Aktenschrank und ebenso geräuschlos. Deshalb braucht sie keinen eigenen Raum. Sie kann in jedem Büro installiert werden. Schnell und ohne grosse Kosten.

Wenn Sie noch mehr wissen möchten, senden Sie uns den Coupon. Oder fragen Sie bei Ihrer Kreisteledirektion nach der EHZ 8/30 von Hasler (Tel. 13 bzw. 113).



Hasler AG, Abt. Information
Belpstrasse 23, 3000 Bern 14
Telefon 031 6521 11
Telex 32413 hawe ch

Bitte senden Sie uns den Prospekt über die erste vollelektronische Haustelefonzentrale für kleinere und mittlere Unternehmen.

Firma _____
zHd. von _____ Tel. _____
Adresse _____
PLZ/Ort _____

Hasler

La *maintenance corrective* consiste en dépannages rendus fonctionnels par la maintenabilité. Elle s'applique également aux pannes prévisibles qu'il n'est pas intéressant de prendre en maintenance préventive. La maintenance corrective est le moyen de remettre en route un équipement dans les meilleures conditions. Ces dépannages inévitables aident à préparer l'entretien préventif.

La *maintenance préventive* est la plus délicate à réaliser. Elle est bien adaptée à l'électromécanique, où certaines altérations peuvent être constatées avant les pannes. Mais en électronique, où les altérations sont inaccessibles, une maintenance préventive est impraticable, sauf pour une exception: si l'équipement fonctionne dans une atmosphère corrosive ou dégradante. Dans ce cas les altérations sont lentes et visibles. La maintenance préventive est a priori bien adaptée à la prévention de pannes accidentelles par l'intermédiaire des redondances [3].

9. La politique à suivre

Au cours des années, on a utilisé toute une série de tactiques afin d'assurer une maintenabilité maximum des systèmes électroniques. Une d'entre elles consistait à utiliser seulement des composants de très haute fiabilité, car c'est ainsi que l'importance de la maintenabilité diminue. Un autre point de vue était d'utiliser une redondance avancée afin d'optimiser la disponibilité des systèmes et de minimiser le temps hors-service [7]. Cette tactique (aussi bien que d'autres du même type) n'a pas résolu le problème de la maintenabilité, car la complexité des systèmes augmentait plus vite que la fiabilité. En plus, l'utilisation d'un degré avancé de redondance double les coûts, en augmentant tant les dimensions de l'équipement que les coûts de maintenance [8].

La seule manière de résoudre effectivement le problème est d'accorder toute l'attention à la maintenabilité pendant la période de conception, en analysant périodiquement le projet et en préconisant le degré de maintenabilité réalisable.

Les études de fiabilité apportent une aide au service de maintenance dans tous les problèmes liés à la détermination de la politique optimale de maintenance. Cette optimisation peut avoir pour but soit de minimiser les coûts de maintenance (personnel et stock de pièces de rechange), soit de maximaliser la disponibilité du produit pour un coût donné.

En ce qui concerne les coûts de maintenance et la politique de renouvellement, on peut généralement choisir entre trois méthodes: remplacer un composant lorsqu'il est défaillant, le remplacer lorsqu'il a atteint un certain âge ou s'il risque de défaillir avant cet âge, ou bien encore le remplacer préventivement à période fixe suivant l'âge de l'équipement.

10. Le programme de maintenabilité

D'habitude, un programme de maintenabilité pour un système électronique comprend trois phases [3; 7; 9; 10]:

- le développement du concept de maintenabilité, où sont établis les buts de la conception et les lignes directrices pour réaliser les besoins de maintenabilité;
- le développement d'une technique de prévision de la maintenabilité qui soit applicable pour les premières étapes de conception et développement, quand les modifications sont effectives et plus économiques [11]. Les prévisions sont faites en passant en revue les circuits respectifs et en analysant les effets de chaque défaillance possible. Si les prévisions de main-

tenabilité indiquent la non-aptitude à réaliser les objectifs du système on fait des recommandations d'action corrective. Ces procédures établissent un degré de confiance qu'une MTTR spécifiée sera réellement constatée pendant une certaine durée d'exploitation;

- la démonstration de la maintenabilité après l'installation et le contrôle du système. Le but d'une telle démonstration est de confirmer la maintenabilité imposée par le cahier de charge du projet et par les spécifications du client [12].

Toutes ces activités et leur interaction résultent du schéma d'organisation de la maintenabilité donné dans la fig. 4.

11. En guise de conclusion

Des contrats récents, surtout aux USA, demandent la prise en considération de la maintenabilité dès le stade de projet; on demande même des calculs prévisionnels sur la maintenabilité ainsi que la validation ultérieure de ces prévisions par des démonstrations ad-hoc.

On a vu que la maintenabilité commence avec les prévisions faites dans la phase de conception, mais les bénéfices [8; 12; 13] apparaissent seulement pendant le fonctionnement et la vie du système.

Au niveau de la conception d'un équipement ou d'un système, on a trois voies à disposition, soit la réduction des moyens nécessaires à la maintenance, la diminution du temps d'immobilisation pour la maintenance et la prévention des pannes graves ou des dégâts importants susceptibles d'entraîner une durée de remise en état importante.

L'optique qui dit qu'au prix d'un effort certainement très grand la maintenance d'équipements de pointe pourra être supprimée, est une optique qui tend à oublier que la fiabilité n'est que probabilité; une sécurité de principe est donc au moins à prévoir (la maintenance corrective, p.ex.). Cette optique n'est certainement pas valable pour le *matériel industriel*, car la rentabilité est la raison principale de son existence. Or, le matériel fiable coûte normalement cinq à dix fois plus cher que

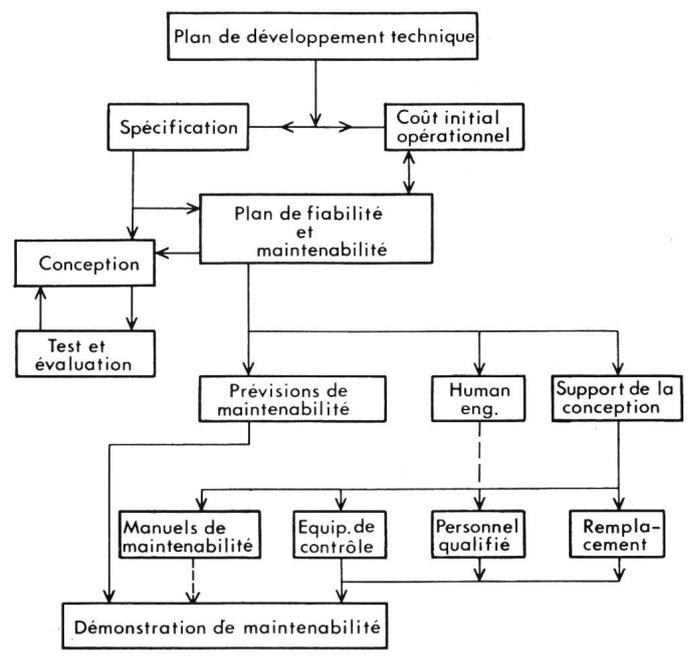


Fig. 4 Organigramme de la maintenabilité

le matériel standard, alors que la maintenance revient annuellement à environ dix pour cent du prix d'achat du matériel standard. Il est donc évident que la fiabilité coûte alors beaucoup plus cher, surtout si l'on tient compte des pertes par interruption.

La garantie d'un constructeur d'équipements électroniques peut être prolongée par un contrat d'assistance technique payant. A la limite c'est le contrat de fiabilité, actuellement en développement dans les industries de pointe. Mais on prévoit que dans une dizaine d'années, un contrat sur deux sera de disponibilité pour l'équipement vital des entreprises industrielles. A l'heure actuelle, la maintenance tend à devenir une offre de services à faire aux utilisateurs. Si en curatif et correctif l'offre est assez facile (on prend un équipement en panne et on le rend en état de marche), en préventif la situation est moins confortable, car on intervient sur un matériel en état. Les organes qui tomberont en panne dans un mois sont en grande partie sains aujourd'hui et il n'est pas possible d'avancer ce phénomène. Par contre, les avaries dues au vieillissement sont prévisibles.

Bibliographie

- [1] *T. I. Bajenesc*: Initiation à la fiabilité en électronique moderne. Paris, Masson, 1977.
- [2] *C. Guyot*: Initiation à la maintenabilité. Paris, Dunod, 1969.
- [3] *B. Hamelin*: Entretien et maintenance. Paris, Editions Eyrolles, 1974.
- [4] Maintainability: We talk about it, but what is it? *Electronic Design* 23(1975)4, p. 71.
- [5] *S. Goldstein*: Design maintainability into equipment. *Electronic Design* 23(1975)4, p. 72...74.
- [6] *A. S. Goldman* and *T. B. Slattery*: Maintainability: A major element of system effectiveness. New York, John Wiley, 1964.
- [7] *E. Dombrowski*: Einführung in die Zuverlässigkeit elektronischer Geräte und Systeme. AEG-Telefunken Fachbuch, Berlin, Elitera-Verlag, 1970.
- [8] *W. Dreger*: Vereinbarungen zur Verfügbarkeit als Teil der Leistungsangaben eines Systems. *Qualität und Zuverlässigkeit* 20(1975)2, S. 35...39.
- [9] *A. Polard* et *C. Rivoire*: Fiabilité et statistiques prévisionnelles. Paris, Editions, Eyrolles/Editions d'organisation, 1971.
- [10] *D. Hesse*: Praktische Erfahrungen der Zuverlässigkeitsarbeit. Berlin, VEB Verlag Technik, 1973.
- [11] *S. M. Fitch* and *D. L. Rechtenbaugh*: Digital data system. Testing and maintenance. *Bell Syst. Techn. J.* 54(1975)5, p. 845...860.
- [11] *N. J. Elias*: Overseas autovon maintainability field trials. *Microelectronics and Reliability* 9(1970)1, p. 51...58.
- [13] *J. Wehrli*: Expériences faites au cours de la première année d'exploitation de la station terrienne pour satellites de Loèche. *Bull. Techn. PTT* 53(1975)9, p. 330...336.

Adresse de l'auteur

Titu I. Bajenesc, QRA-Engineer, Hasler S. A., Belpstrasse 23, 3000 Berne 14.

Die elektromagnetische Verträglichkeit

In einer kurzen Übersicht über verschiedene am internationalen EMV-Symposium 1977 in Montreux diskutierte Themenkreise wird eine Einführung in die Disziplin der elektromagnetischen Verträglichkeit gegeben. Einige Fragen der Immunität werden diskutiert und entsprechende Messmethoden erwähnt.

1. Einleitung

Aus der unkontrollierten gegenseitigen Beeinflussung von Nachrichtensendern vor rund 50 Jahren und der mit steigender Erzeugung und Nutzung elektrischer Energie notwendig gewordenen Funkentstörung ist die Disziplin der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV, häufiger EMC, für Electromagnetic Compatibility) herangewachsen. Sie beinhaltet die Nutzung des elektromagnetischen Spektrums als natürliche Ressource und den Schutz elektronischer und biologischer Systeme vor störenden Einflüssen elektromagnetischer Felder. Diesem weiten Themenkreis war das zweite internationale Symposium «Electromagnetic Compatibility» gewidmet, das, verbunden mit einer Fachausstellung, vom 28. bis 30. Juni 1977 in Montreux abgehalten wurde. Insgesamt 111 Beiträge zu den 19 Tagungsthemen wurden einem Fachpublikum von etwa 400 Personen aus 25 Ländern präsentiert. Das Symposium stand unter dem Patronat von *F. Locher*, Generaldirektor der Schweizerischen PTT; die Organisation erfolgte unter Leitung von Prof. Dr. *F. E. Borgnis*, ETHZ.

Schwerpunkte des diesjährigen Symposiums waren: kompatibler Entwurf grosser elektronischer Systeme (Flugzeug-, Satelliten-, Schiffs- und Verkehrssysteme), Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf lebende Organismen [1]¹⁾ sowie Frequenzplanung, quasiimpulsive Störungen und statistisch-physikalische Modelle von Störsignalen [2].

Abwechselnd mit dem EMV-Symposium in Montreux führt die Polnische Elektrotechnische Gesellschaft alle zwei Jahre in Wroclaw ein eigenes EMV-Symposium durch. Traditionsreicher als die europäischen ist jedoch das jährlich in den USA durchgeführte EMV-Symposium, das dieses Jahr bereits zum 19. Mal stattfindet.

Trotz dieser regelmässigen Fachtagungen und einem geschätzten Marktvolumen von über einer Milliarde SFr. im Jahr 1978 [3] ist die Disziplin der elektromagnetischen Verträglichkeit heute erst einem relativ kleinen Kreis von Fachleuten vertraut.

2. Versuch einer Definition

Wie *R. C. Kirby*, Direktor des CCIR in Genf, in seinem einleitenden Referat zum Symposium bemerkte, sind zwar schon mehrere Definitionen des Begriffs EMV vorgeschlagen worden, diese waren aber oft durch das Interessengebiet des Gremiums verfärbt, das den

Vorschlag eingebracht hatte. Eine allgemein anerkannte Definition besteht bis heute nicht. Das IEEE Standard Dictionary definiert EMV wie folgt: «The capability of electronic equipment or systems to be operated in the intended operational electromagnetic environment at designed levels of efficiency». Diese Definition beinhaltet jedoch nur einen Teilaspekt der EMV, denjenigen der Immunität. Diese überholte Umschreibung entstand aus dem Umstand, dass anfänglich die Störsicherheit eines Systems meistens nachgerüstet wurde. In der neueren Literatur trifft man auf eine umfassendere Definition: Die Verträglichkeit oder Kompatibilität eines Systems ist sein Vermögen, in die bestehende elektromagnetische Umwelt integriert zu werden, ohne übermässige Störungen anderer Systeme zu verursachen und ohne dass die Umwelt die Funktion des neu eingeführten Systems nachteilig beeinflusst.

3. Die elektromagnetische Umwelt

Die Erscheinungen der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Raum werden durch die Maxwell'schen Gleichungen beschrieben. Dieses Gleichungssystem fasst alle Erfahrungen zusammen, die in den verschiedenen Teilgebieten der Elektrizitätslehre (Elektro- und Magnetostatik, Elektromagnetismus) gemacht werden. Dass diese Erscheinungen nicht durchwegs dem Nutzen unserer Zivilisation dienen, zeigen Störungen der Nachrichtenübertragungswege durch unerwünschte Signale oder, im Extremfall, die Folgen einer Nuklear-explosion in der Exosphäre, deren Gammastrahlung Moleküle aus der äusseren Atmosphäre ionisiert (Comptoneffekt). Aus dem Comptonstrom entsteht ein grossflächiger Stromstoss, dessen elektromagnetischer Impuls (NEMP) stark genug ist, um ungeschützte elektrische Anlagen auf der Erde erheblich zu beschädigen (Tagungsthema M). Da anhand der Impulsform gewisse Rückschlüsse auf die Konstruktion der Bombe möglich sind, wird bei der Publikation entsprechender Daten starke Zurückhaltung geübt. Schutzelemente für verschiedene transiente Signale wurden in einem Vortrag besprochen. Es zeigt sich, dass die Einhaltung eines Schutzpegels letztlich ein ökonomisches Problem darstellt. In Halbleiter-elementen sind Beschädigungen durch transiente Signale vorwiegend thermisch bedingt, einmalige Impulse von 28...38 W Spitzenleistung verursa-

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.