Retour à l'essentiel - considérations sur la fiabilité des alimentations

Par CUI Inc

L'importance de la fiabilité peut être mieux démontrée en utilisant une anecdote que m'a confiée un ami en 2008; alors qu'il travaillait pour une importante société informatique de San Francisco, il avait reçu une livraison de nouveaux PC de bureau un peu problématiques.

En quelques mois, ces ordinateurs ont commencé à planter, avec tout le service informatique mobilisé pour fixer d'éventuels virus dans le système d'exploitation qui affecteraient ces nouveaux ordinateurs - sans aucun résultat. Après beaucoup de recherches, et avec beaucoup de ces PC démontés, il a finalement été révélé que le problème était dû à des condensateurs de bulk de qualité inférieure au sein de l'alimentation en courant AC-DC. Ceux-ci se sont détériorés en cours d'utilisation, et faisaient sortir les rails d'alimentation de leurs limites de régulation nominale, occasionnant des plantages aléatoires.

Cet épisode met en valeur le fait que, bien que les blocs d'alimentation manquent de « glamour », et ne bénéficient pas de la même attention que les processeurs et les écrans reçoivent, ils sont tout aussi vitaux pour le bon fonctionnement du système. Nous examinons ici la fiabilité des alimentations, comment elle est mesurée et comment elle peut être améliorée.

Prédire la durée de vie attendue d'une alimentation

Tout d'abord, quelques définitions:

Fiabilité, $R_{(t)}$: La probabilité qu'une alimentation sera toujours opérationnelle après un temps donné

Taux de défaillance, λ: La proportion d'unités qui tombent en panne dans un temps donné. Il faut noter qu'il y a un taux de défaillance élevé dans les phases de burn-in (vieillissement) et de wear-out (usure) du cycle – voir la figure 1

MTTF, 1 / λ: Le temps moyen d'occurrence d'une défaillance.

MTBF (temps moyen entre pannes) est aussi couramment utilisé à la place de MTTF et est utile pour de l'équipement qui sera réparé et remis en service. MTTF est techniquement plus correct mathématiquement, mais les deux termes sont (sauf dans certaines situations) équivalents et MTBF est le plus couramment utilisé dans le domaine de la puissance.

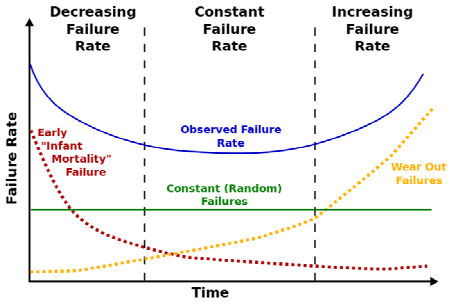


Figure 1: La courbe en baignoire, le taux de défaillance en fonction du temps avec les trois phases du cycle de vie: la mortalité infantile, durée de vie utile et l'usure (wear-out).

La fiabilité d'une alimentation est fonction de plusieurs facteurs: une conception durable solide avec des marges adéquates, des composants de qualité ayant les paramètres appropriés, des considérations thermiques avec le « derating » nécessaire, et un procédé de fabrication fiable.

Pour calculer la fiabilité - la probabilité qu'un composant n'ait pas de défaillance dans un temps donné- on utilise la formule suivante:

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t}$$

Par exemple, la probabilité qu'un composant avec un taux de défaillance intrinsèque de 10^{-6} échecs par heure ne tomberait pas en panne après 100.000 heures est de 90,5%, après 500.000 heures, elle diminue à 60,6%, et après 1 million d'heures d'utilisation elle diminue à 36,7 %.

Une analyse mathématique peut révéler des réalités intéressantes. Tout d'abord, les pannes avec un taux de défaillance constant sont caractérisées par un facteur exponentiel, de sorte que 37% des unités dans un grand groupe vont durer aussi longtemps que le montant du MTBF; ensuite, pour une seule alimentation, la probabilité qu'elle va durer aussi longtemps que sa valeur de MTBF est seulement de 37%; et troisièmement, il y a un niveau de confiance de 37% qu'elle va durer aussi longtemps que l'indique le MTBF. En outre, la moitié des composants d'un groupe auront échoué après seulement 0,69 fois le MTBF.

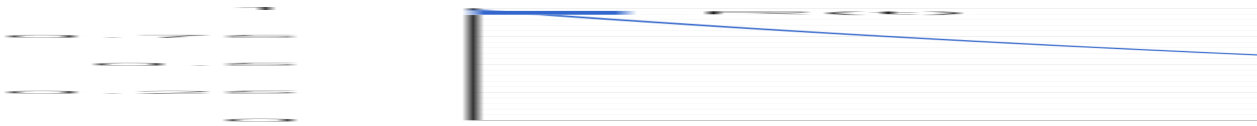


Figure 2: Courbe montrant la probabilité qu'un composant soit toujours opérationnel au cours du temps.

Il convient également de noter que cette formule et la courbe correspondante peuvent être adaptées pour calculer la fiabilité d'un système:

$$R_{(t)} = e^{-\lambda_A t}$$

Où λ_A est la somme totale des taux de défaillance de tous les composants ($\lambda_A = \lambda_1 n_1 + \lambda_2 n_2 + \ldots + \lambda_i n_i$)

Calcul du taux de défaillance

Trois méthodes peuvent être utilisées pour calculer les taux de défaillance, la prédiction (lors de la conception), l'évaluation (en cours de fabrication) et l'observation (pendant la durée de vie).

La prédiction utilise une base de données standard des taux de défaillance des composants et leur durée de vie prévue, généralement MIL-HDBK-217 pour des applications militaires et commerciales ou Telcordia pour les applications de télécommunications.

L'approche MIL nécessite l'utilisation de nombreux paramètres pour les différents composants et comprend des contraintes de tension et de puissance, alors que Telcordia nécessite moins de paramètres composants et peut également tenir compte des résultats de test en laboratoire, des données de burn-in (tests de vieillissement), et des données de test de terrain. Enfin, l'approche MIL donne des données MTBF, tandis que Telcordia produit des nombres FIT, (défaillances par milliard d'heures).

L'utilisation de ces bases de données et de ces techniques signifie que plusieurs hypothèses, souvent incorrectes, doivent être faites, comme l'hypothèse que la conception est parfaite, que les contraintes sont toutes connues, que tout est exploité au sein de ses mesures, que toute défaillance individuelle provoquerait une défaillance complète, et que la base de données est actualisée et validée.

Mais c'est la méthode la plus rapide et, en l'appliquant de façon uniforme dans différents scénarios, elle peut indiquer la fiabilité relative des topologies et des approches de conception, plutôt que la fiabilité absolue.

A l'inverse, l'évaluation est la façon la plus précise de prédire le taux de défaillance, mais nécessite plus de temps et de ressources. Cette méthode soumet un nombre approprié d'unités finies à un test de vieillissement accéléré à température élevée, avec des facteurs de stress soigneusement contrôlés et en augmentation.

La première méthode, l'approche HALT (*Highly Accelerated Life Test*), teste un certain nombre d'unités prototypes sous autant de conditions que possible, avec des cycles pour la température, la tension d'entrée, la charge de sortie, et d'autres facteurs ayant une incidence. Les tests HALT visent à fatiguer un composant, PCB, sous-ensemble, ou produit fini, soit par

d'intenses contraintes avec moins de cycles, ou des contraintes de niveau plus faible mais avec plus de cycles.

Une deuxième méthode, le test HASS (*Highly Accelerated Stress Screen*), est une technique de contrôle de la fiabilité accélérée utilisée pour révéler des failles latentes non détectées par le dépistage du stress environnemental, de burn-in, ou d'autres méthodes d'essai. Les tests HASS utilisent des contraintes allant au-delà des spécifications initiales, mais toujours dans les capacités de la conception telle que déterminée par HALT.

Les contraintes de HASS sont plus rigoureuses que celles fournies par des approches traditionnelles, de sorte que les essais HASS accélèrent sensiblement la découverte précoce des problèmes du processus de fabrication. Les ingénieurs de fiabilité peuvent ensuite corriger les variations qui pourraient autrement conduire à des défaillances sur le terrain et réduire considérablement l'expédition du produit marginal.

L'observation sur le terrain est également possible, mais cela est plus compliqué, car il est impossible de contrôler toutes les conditions auxquelles un approvisionnement a été soumis, rendant donc plus difficile d'entreprendre une analyse fiable du lien de causalité.

Les contraintes qui affectent la fiabilité de l'alimentation

La vie d'une alimentation est affectée par trois types de stress: thermique, mécanique et électrique. Une conception de qualité anticipe chacun d'eux et prend les mesures nécessaires pour réduire à la fois leur occurrence et leur impact.

Le stress thermique prend deux formes: statique et dynamique. Les contraintes thermiques statiques, pour lesquelles les alimentations sont exploitées à des températures élevées, dégradent les composants et leurs matériaux de base. Les condensateurs de bulk peuvent commencer à sécher, ou leurs joints peuvent être stressés, et même des revêtements de résistance peuvent commencer à se détériorer et se décomposer. Des zones d'interconnexion et de raccord peuvent se développer et ne plus correspondre.

Les contraintes dynamiques sont associées aux cycles de chauffage et de refroidissement et à la dilatation/contraction qui en résulte, ce qui conduit à des microfissures.

La gravité du stress mécanique dépend de comment et où l'alimentation sera installée et utilisée. Ce stress peut provoquer des défaillances à la fois intermittentes et matériellement sévères lorsque des fissures se développent et les connexions de circuit commencent à s'ouvrir et, dans certains cas, se reconnecter.

Le stress électrique a lieu lorsque une tension, courant, etc. est appliqué à un dispositif. Des dépassements des seuils se produisent lorsqu'un composant est utilisé au-delà de sa valeur nominale, soit à cause d'une sélection inadéquate ou d'événements ponctuels. Par exemple, quand un condensateur qualifié pour 100 VDC rencontre un pic de 150 VDC en cours de

fonctionnement.

L'amélioration de la fiabilité de l'alimentation grâce à la conception

De toute évidence, la conception sur le papier et la topologie devraient être robustes et prudentes. Elles devraient prendre en compte les effets de transitoires sur la charge et sur la ligne, ainsi que le bruit. Le concepteur doit également déterminer avec soin les valeurs minimales/maximales requises par les paramètres des composants pour assurer un fonctionnement fiable (la notion de valeur «typique» n'ayant presque aucun sens), ainsi que celles des paramètres critiques de deuxième et de troisième niveau, comprenant des facteurs moins connus, tels que le coefficient de certaines valeurs de température dans les composants magnétiques.

Nous avons discuté de la nécessité de gérer les températures de fonctionnement et d'une analyse thermique de la conception, et sa mise en œuvre physique est donc critique.

La modélisation SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) ou des méthodes de modélisation similaires de conception sont essentielles, car utilisant des modèles réalistes, non-simplifiés, de composants, de cartes et de pistes PC afin de vérifier les performances à la fois statiques et dynamiques. De plus, le choix des composants doit se faire avec un objectif de pérennité, avec une marge supplémentaire pour à la fois les valeurs initiales et à long terme, pour beaucoup de leurs spécifications. En outre, la conception doit tenir compte du fait que la plupart des alimentations doivent supporter des flux de courant importants, de l'ordre de 10, 20 ampères ou plus.

Après la conception, la prochaine étape critique est la sélection des composants spécifiques. Comme il est presque impossible de distinguer une unité mal faite ou compromise, la crédibilité du fournisseur est essentielle. En outre, les composants doivent être compatibles avec le procédé de fabrication; avec, le cas échéant, des pattes de fixation, de suffisamment grands points de connexion et de solides fils conducteurs, ou des bornes à vis.

De plus, en ce qui concerne la conception pour permettre la fabrication, même le processus de soudage de base utilisé dans la construction de l'alimentation est un domaine à examiner. Bien que les profils actuels de température de soudure par refusion soient bien établis, les normes réglementaires imposent des composants et de la soudure sans plomb (Pb-free), ce qui signifie également qu'un profil de refusion différent est nécessaire et que tous les composants utilisés doivent également être qualifiés pour opérer dans les limites de la spécification après cette température de refusion supérieure et un temps de trempage allongé.

L'amélioration de la fiabilité de l'alimentation avec des spécifications supplémentaires

En plus d'une conception électrique prudente, le fournisseur d'alimentation peut faire beaucoup de choses pour augmenter la fiabilité globale.

L'utilisation de composants intrinsèquement plus fiables - par leur comportement physique, leur conception, leurs matériaux, ou leurs procédés de fabrication et de test - peut réduire considérablement le risque global, mais se rajoute au coût global. Dans les alimentations, le point de défaillance le plus courant est le condensateur, et par conséquent, utiliser des condensateurs de plus grande longévité aura le meilleur effet.

Une deuxième façon consiste à introduire une redondance. Comme nous pouvons le voir sur la figure 3, les probabilités de plus d'une défaillance de l'unité sont assez faibles. Par exemple, si la fiabilité de toute unité est de 0,99, alors la probabilité de deux unités défaillantes est de 0,9999 dans une conception N=1.

Comme nous l'avons déjà dit, seulement 37% des alimentations seront opérationnelles après la MTTF. Cependant, en ajoutant simplement une alimentation supplémentaire, 60% des systèmes auront au moins une alimentation en fonctionnement après que la même période de temps se sera écoulée.

Poussant cela à l'extrême, on peut calculer que si nous intégrons cinq blocs d'alimentation dans la conception, plus de 50% des systèmes devraient toujours avoir une alimentation fonctionnelle après que le double de la MTTF se soit écoulé.

La méthode N+1 signifie un coût initial plus élevé, mais permet effectivement une capacité de remplacement à chaud pour changer une alimentation défectueuse.

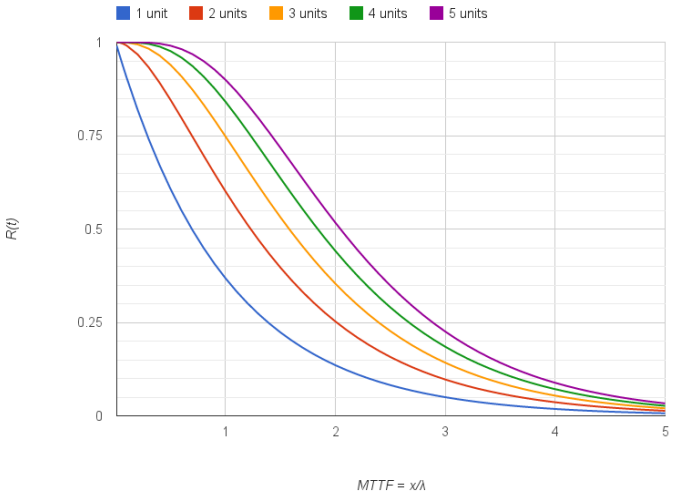


Figure 3: L'effet de la redondance sur le MTTF.

En outre, l'utilisation de composants à des niveaux bien inférieurs à leurs spécifications nominales est une méthode relativement simple pour améliorer la fiabilité.

Si nous regardons la température, un composant qualifié pour un fonctionnement fiable à 85ºC aura une durée de vie nettement améliorée s'il est utilisé à 55ºC - généralement, la vie d'un composant double pour chaque diminution de la température de 10ºC.

Minimiser les élévations de température et les cycles de température est la manière la plus directe d'augmenter la fiabilité, et cette relation entre la température la durée de vie est basée sur une adaptation de l'équation d'Arrhenius:

$$A_R = e^{((Ea/k).(1/T_1-1/T_2))}$$

E_a = énergie d'activation pour les processus qui conduisent à une défaillance - typiquement 0.8eV à 1,0EV
$k = 8.617x10^{-5}$ ev k^{-1} constante de Boltzman
T est la température (ºK), typiquement la température ambiante (298.15ºK, 25ºC)

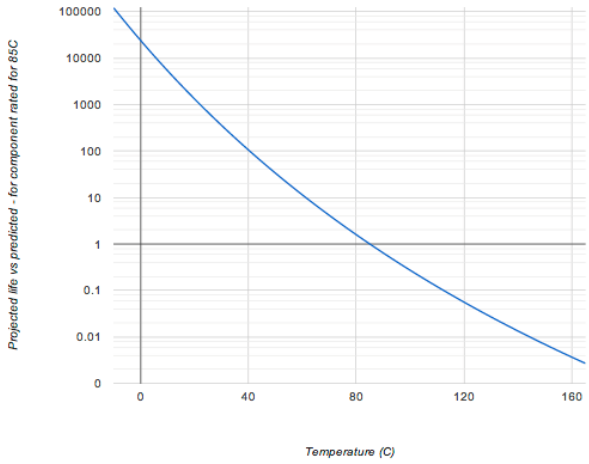


Figure 4: Effet de la température sur la durée de vie prévue d'un composant. Ce graphe est sur la base d'un composant qualifié à 85oC et pour une énergie d'activation (E_a) de 1,0

Mais, puisque tout dépend de la façon dont le client monte l'alimentation, son habitacle, les composants supplémentaires au sein de l'habitacle, ses conditions ambiantes, l'utilisation ou la non-utilisation d'un refroidissement actif tels que des ventilateurs, et d'autres facteurs, tout ceci sera souvent au-delà du contrôle direct de l'OEM.

Les suivants sur la liste sont les tests de vieillissement. Si nous regardons plus haut la figure 1, une défaillance est beaucoup plus probable pendant les premiers stades de la vie des composants par rapport à leur durée de vie utile. Les tests de burn-in (tests de vieillissement) permettent de détecter les unités qui auraient échoué en début d'exploitation et, par conséquent aurait diminué la note globale de fiabilité.

Résumé

La conception d'alimentations fiables n'est pas un jeu de devinettes. Une alimentation fiable nécessite des conditions appropriées en termes de conception et d'analyse, de composants, de processus de fabrication, de tests et d'installation.

Une seule et unique étape ne permettra pas d'assurer une alimentation fiable, puisqu'il existe de nombreuses façons de fragiliser la fiabilité d'une alimentation.

Lorsqu'un vendeur analyse la fiabilité attendue d'une alimentation, il est important d'être cohérent dans les bases de données, les modèles, les conditions environnementales, et la fabrication afin de produire des résultats significatifs qui puissent être comparés entre eux pour différents blocs d'alimentation et implémentations.

À CUI nous suivons les meilleures pratiques pour assurer que nos alimentations sont parmi les plus fiables de l'industrie. Pour de plus amples informations sur nos alimentations et comment elles peuvent être utilisées pour augmenter la fiabilité de votre système, veuillez visiter www.cui.com.