

可靠性工程技术在用能产品生态设计中的应用

张增照, 谢少锋, 焦志锋

(信息产业部电子第五研究所, 广东 广州 510610)



摘 要: EuP 指令将对全球整个电子信息行业产生革命性的影响, 它强调对环境影响的设计, 特别是产品最小寿命、MTBF、待机能耗的设计; 要保证产品符合生态设计的要求, 必须重视产品功耗的控制, 对产品最小寿命进行设计、预计、分析、评价, 应抓紧可靠性工程技术在企业的推广应用工作。将可靠性工程技术应用于生态设计, 必须认真分析和权衡, 充分理解可靠性设计和生态设计内涵的一致性, 合理利用, 使产品的设计达到最佳化。另外还列举了在生态设计中应如何采用可靠性指标分析, 预计, 降额设计、热设计、电路简化设计等可靠性工程技术的方法。

关键词: 可靠性工程技术; 用能产品; 生态设计; 最小寿命; 平均无故障时间; 预计; 降额

中图分类号: TB114.3; T-651 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-5468 (2008) 02-0001-06

Application of Reliability Engineering Technology to Eco-design of Energy Using Products

ZHANG Zeng-zhao, XIE Shao-feng, JIAO Zhi-feng

(CEPREI, Guangzhou 510610, China)

Abstract: The Eup directive will create revolutionary impact on the international electronic information industry. With the emphasis on the impact of a design on the environment, especially the minimal lifetime, MTBF and the stand-by power consumption, the reliability engineering techniques should be promoted in the industry to ensure satisfying the requirements of eco-design and controlling of the power consumption. The application of the reliability and controlling of the power consumption. The application of the reliability engineering to the eco-design should be based on the full understanding of the consistent meanings between the reliability design and the eco-design to ensure achieving the optimized design. How to use the reliability engineering techniques such as reliability analysis, prediction, derating, thermal design and circuit simplifying in the eco-design are also presented.

Key words: reliability engineering technology; energy-using products; eco-design; minimal lifetime; MTBF; prediction; derating

1 引言

继《关于报废电子电气设备指令》(WEEE)和《关于在电子电气设备中限制使用某些有害物质指令》(ROHS)两大欧盟环保指令之后, 2005年

7月6日, 欧洲议会和欧盟理事会又通过了编号为2005/32/EC的指令, 即 Establishing a Framework for the Setting of Eco-design Requirements for Energy-using Products 《用能产品生态设计框架指令》,

收稿日期: 2007-10-30

作者简介: 张增照 (1964-), 男, 山东青岛人, 信息产业部电子第五研究所科技处副处长, 高级工程师, 硕士, 主要从事可靠性预计、电子元器件选用研究工作。

简称为 EuP 指令。该指令要求自 2007 年 8 月 11 日起, 各个欧共体成员国都要制定相应的法律法规对所有用能产品的设计从环保和节能降耗方面做出规范并实施。

指令要求通过生态设计手段, 达到用能产品在其整个生命周期中的节能降耗的目的; 凡是不能满足环保节能标准的产品都不允许投放市场和投入使用, 这将对全球电子信息行业产生革命性的影响, 并全面改变现有的设计理念。

要积极应对 EuP 指令, 必须保证产品设计符合生态设计的要求, 实际上, 重要的是如何控制产品的功耗, 如何设计、预计、分析、评价产品的最小寿命。

本文从生态设计的要求出发, 分析了可靠性工程技术在生态设计中的作用, 探讨了在生态设计中如何利用可靠性工程技术, 并举例说明了可靠性指标分析, 预计, 降额设计、热设计、电路简化设计等可靠性工程技术在生态设计中的应用。

2 EuP 的要求与影响

EuP 指令考虑了产品在整个寿命周期内对资源能量的消耗和对环境的影响, 对于一个电子产品, 自研发阶段开始, 从原材料的获取, 到产品的制造 (涉及到 RoHS 指令), 以及后来的使用, 直到最后的报废、丢弃及回收再利用阶段 (涉及 WEEE 指令), 都囊括在该指令的范围内。但当前的 RoHS 指令和 WEEE 指令应对策略不包括产品工作的耗能 (功耗) 控制和产品最小寿命设计。而这些设计在 EuP 指令中是一个很重要的环节, 它将对产品是否符合 EuP 指令产生重要的影响。

EuP 指令对我国电子信息行业的影响非常大, 甚至会造成一些技术相对落后、应对不足的企业退出欧盟市场。主要影响有以下几个方面:

a) EuP 指令所涉及的产品范围非常广泛。该指令涵盖了所有投放市场/投入使用的用能产品 (包括电能、固体液体气体燃料), 生成、转换及计量这些能源的产品 (不包括运输工具), 也包括整合入 EuP 终端用途的单独销售的零组件。而电子信息产品几乎都是用能产品, 其中在指令中提到的、在减少温室气体排放方面潜力大的产品, 如供热和热水设备、电机系统、家庭和第三产业用的灯具、家用电器、家庭和第三产业用的办公设备、消费电子系统和 HVAC (热通风空调) 系统将可能首

先受到控制和影响。

b) 在欧盟进口电子信息产品中, 估计大约有 80 % 来自中国, 这将对我国电子信息产品形成新的环保技术壁垒。指令将明显地增加产品成本, 包括材料成本、设计制造成本以及回收处理成本。对于普遍薄利的电子信息行业企业而言, 企业的盈利能力将大受影响。

c) 对整个电子信息产业而言, EuP 指令应该是一场新的 “产业设计革命”, 它第一次在产品设计中引进了全生命周期理念和生态设计的理念, 颠覆了传统设计思想, 即设计不仅关注产品性能等质量指标, 也必须关注产品全寿命的环境影响指标。

d) EuP 指令应该说整体上覆盖了 RoHS、WEEE 指令的要求。其特点主要体现在:

1) 对各类用能产品整个生命周期的环境性能进行了要求, 包括了有害物质的引进、设计、制造、使用、维护以及废弃回收;

2) 在设计上强调了环境性能的设计, 不但控制引进有害物质, 满足产品特有的功能, 还必须满足必要的环境性能指标: 如体积重量、回收材料的使用、产品最小寿命、部件平均无故障时间 (MTBF)、待机能耗;

3) 对用能产品要求建立生态学档案等各类技术资料, 包括对与贯穿整个生命周期相关联的输入和输出 (如材料、排放和废物) 的记述、合格声明与标识、提供给消费者的信息、合格评定的信息等。

从 EuP 指令的要求与影响可以看到, 产品的寿命和耗能同指令的要求是密切相关的, 在生态设计中必须认真预计, 严格控制、评价、分析产品的最小寿命和功耗, 而这正是可靠性工程技术所涵盖的内容。

3 可靠性工程技术在 EuP 生态设计的作用

3.1 可靠性工程技术是开展 EuP 生态设计的重要手段

可靠性工程技术是从产品的整体及其同外界环境的辩证关系出发, 用实验研究、现场调查、故障或维修活动分析等技术方法, 研究产品寿命和可靠性与外界环境的相互关系, 研究产品故障的发生、

发展及其预防和维修、保障直至消灭的规律, 以及增进可靠性、延长寿命和提高效能的一系列技术和管理活动。

可靠性工程技术是贯穿于产品设计、生产、使用、报废的全寿命周期的工程化方法和技术, 它是各门工程专业的综合。可靠性工程强调全员参与、全过程管理控制, 它用可以量化的目标 (效能、寿命、任务成功性、寿命周期费用等), 进行综合权衡与优化, 在设计、管理和试验中择优。其目标是“提高产品效能, 降低寿命周期费用”, 这同 EuP 的要求一致。

一般而言, 产品工作状态耗能低, 其可靠性要比同类高耗能的产品高; 可靠性高的产品, 寿命期内其故障少, 报废少, 资源消耗少, 维修维护费用也会低很多。因此, 产品工作耗能指标和的寿命指标是生态设计的关键点之一。

3.2 要使产品达到 EuP 指令的要求, 应加快可靠性工程技术在企业的推广应用步伐

可靠性工程的发展有 60 年的历史了, 在中国的应用也有 50 年历史 (以中国亚热带电信器材试验站建站始计), 真正引起企业重视是近 20 年的事, 但在民用产品方面, 对可靠性工程技术的应用和普及却十分薄弱, 除少数的大型企业建立了完善的可靠性技术体系外, 其它企业和技术人员却了解不够。

要使产品达到 EuP 指令的要求, 最小保证寿命是必须要考虑并要达到要求的。但我国产品的可靠性水平同其它国家相比, 差距很大, 迫切需提升, 例如: 有文献指出, 美国的康明斯、卡勃彼特柴油机, 大修期为 12 000 h, 而我国的柴油机不过 1 000 h, 有的甚至几十小时、几百小时就出现故障。我国生产的电梯, 平均使用寿命 (指两次大修期的间隔时期) 为 3 年左右, 而国外的电梯平均寿命在 10 年以上, 是我们的 3 倍; 故障率, 国外平均为 0.05 次, 而我国为 1 次以上, 高出 20 倍。日本的汽车、家用电器等产品, 虽然在性能、价格方面与我国彼此相仿, 却能占领美国以及国际市场, 主要的原因就是日本的产品可靠性胜过我国一筹。这些低可靠性水平的产品, 不仅没有竞争力, 也造成大量的资源和成本浪费, 在应对 EuP 指令的过程中, 必然受制于人。

3.3 辩证地认识可靠性工程技术在 EuP 中的作用, 合理地应用可靠性工程技术

有一种观点认为, 可靠性要求同 EuP 的要求是矛盾的, 这是因为, 高可靠性的产品意味着高消耗, 高成本, 例如: 降额设计可以延长寿命, 但会增加资源消耗。事实上, 这仅仅看到可靠性技术的一个方面, 正像传统观念认为“高质量的产品成本高”一样, 然而事实证明却是否定的。

可靠性技术始终坚持在同等性能情况下, 充分权衡可靠性、性能、经济性等指标, 采取各种方法来确保产品低成本、小体积、长寿命。例如: 在降额设计中, 如果采用降低工作应力的方式, 既可延长寿命又可降低功耗还不增加资源消耗, 完全符合 EuP 指令的思想。

因此, 将可靠性工程技术应用于生态设计, 必须认真分析和权衡, 充分理解可靠性设计和生态设计内涵的一致性, 合理利用, 使产品的设计达到最佳化。

可靠性工程技术是达到 EuP 生态设计要求的技术手段和途径之一, 可靠性工程设计技术和管理技术, 可应用于 EuP 设计和管理。另一方面, EuP 生态设计要求 (特别是最小寿命和耗能要求) 必将推动电子信息企业重视和应用可靠性技术。

4 可靠性工程技术在生态设计中的应用举例

一般而言, 产品工作状态耗能低, 其可靠性要比同类高耗能的产品高; 可靠性高的产品, 寿命期内其故障少, 报废少, 资源消耗少, 维修维护费用也会低很多。因此, 产品工作耗能指标和寿命指标是生态设计的关键点之一。在生态设计中, 同可靠性设计直接相关的有产品的最小寿命、零件的最短使用时间、可维护性、工作的耗能等。

4.1 最小寿命指标的选择

EuP 指令强调产品的最小寿命, 零件的最短使用时间 (MTBF), 这实际上就是可靠性指标的另一种表述。

产品的可靠性指标常常用可靠度 (R)、平均无故障工作时间 (MTBF)、平均故障前工作时间 (MTTF)、B10 (BX) 等参数来描述, 其中可靠度表达了产品在规定时间内、在规定的条件下完成规

定功能的概率,例如:某产品在 20 000 h 内的可靠度为 0.95,表示该产品能够在 20 000 h 内不发生功能性故障的可能性为 95 %,描述起来有一些复杂;而 MTBF 和 MTTF 表达起来就简单多了,例如:某产品的 MTBF 为 20 000 h,表示该产品平均每 20 000 h 出现一次故障(统计平均)。

对于系统级产品来说,可靠度是一个合适的可靠性参数,对于设备级产品来说,MTBF 和 MTTF 更容易表达,也更为常用。MTBF 和 MTTF 描述了产品在规定任务时间内的故障强度,但是有以下的不足:

a) 比较适合描述寿命分布形式为指数分布的产品的可靠性,例如:电子类的产品;不太适合描述寿命分布形式为非指数分布的产品的可靠性,例如:机械类产品和结构类产品。

b) 参数表达了产品的故障强度,但是难以根据这些参数来判断产品的耗损寿命(报废时间),难以确定大修期。

对于有些产品,其可靠性是随其工作时间逐渐下降的,到了其耗损阶段,故障发生的频率会陡然增高,进入故障高发期。

为此,人们引入 B10 寿命,表示有 10 %的产品发生故障的那个时间点,产品工作到这个时间点后,预期有 10 %的产品将会发生故障。扩展开来,BX 寿命比 B10 寿命有更为广泛的应用,描述为,当 X 为 10 时称为 B10 寿命,当 X 为 5 时称为 B5 寿命。比较常见的 BX 寿命是 B0.1、B1、B5、B10、B50 寿命。因此,BX 更适合于表征产品的最小寿命(严格地讲应为最小保证寿命),也更适合评估产品的报废期。

4.2 寿命指标的预计

为了提出合理的寿命指标来指导产品设计,需要在设计中预估产品的最小寿命,这样可以保证产品具有满足用户的可靠性指标,也可约束和指导产品设计满足 EuP 指令的要求。要达到此目的,可靠性预计是一种成熟而实用的方法,它有成熟的标准可参照。

可靠性预计是根据组成设备的元器件、组件、部件的可靠性经验和数据及可靠性模型,对产品可靠性水平进行估计的方法。这是一个由局部到整体,由小到大的综合过程。

可靠性预计标准主要有美国军用标准 MIL-

HDBK-217、国家军用标准 GJB 299C、美国贝尔手册 SR-332、CNET、HRD 和西门子手册。不同标准和不同类别的元器件的失效率预计模型有差异,应查找相应的标准,但基本预计方法可用下式表示:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_{bi} \left(\prod_{j=1}^m \pi_{ij} \right) \quad (1)$$

$$\text{MTBF} = 1/\lambda \quad (2)$$

$$BX = -\text{MTBF} \ln\left(\frac{X}{100}\right) \quad (\text{指数分布时}) \quad (3)$$

式中: λ —产品的故障(失效)率,指数分布时为常数;

λ_{bi} —第 i 种元器件的基本失效率;

π_{ij} —第 i 种元器件的第 j 种 π 系数;

n —产品所用元器件的种类数;

m —第 i 种元器件的 π 系数个数;

MTBF—产品平均无故障(工作)时间;

BX—产品可靠度为 $X/100$ 的保证寿命。

若在产品设计阶段,就对产品寿命可能达到的指标进行定量预计,可预计产品的最小寿命,为产品选择适当的保修期,估计保修期间的维修费用和备用件费用;可以在方案论证、产品竞标、寿命指标确定、制订评价试验计划、制订维修保障方案时做到有的放矢,并能改进产品设计,提高其可靠性和保障性,使其满足 EuP 指令的要求。

4.3 通过降额设计,提高寿命,降低功耗

降额设计是指元器件以承受低于其额定值的应力方式使用。应力是指施加在元器件上并能影响故障率的电气、机械或环境应力。

电子元器件在使用或储存过程中,总存在着某种比较缓慢的物理化学变化。当这一物理化学变化过程发展到一定的阶段,元器件的特性退化、功能丧失,即失效。物化过程与电应力和温度有密切的关系。当温度升高或电应力加大时,这些物理变化的过程会大大加快,器件的失效过程被加速。

当施加在元器件上的电应力(电压、电流、功率)不同时,产品的寿命也不同,可表示为:

$$\frac{\theta_r}{\theta} = \left(\frac{P}{P_r} \right)^\alpha \quad (4)$$

式(4)中: P_r —基准电应力(额定电应力);

P —工作电应力;

θ_r —在应力 P_r 下的寿命;

θ ——在应力 P 下的寿命;

α ——幂指数, 一般 $\alpha \geq 5$, 所以上式也称做 5 次幂法则。

显然, 当对电应力进行降额设计时, 一方面, 可以降低产品的电应力 (减少功耗), 另一方面也可以延长产品的使用寿命, 一举两得。

降额设计可通过两种途径解决:

a) 通过提高元器件的强度来实现, 这是容易实现的方法, 也会延长寿命, 但会造成资源和成本的增加, 不符合生态设计思想, 需认真权衡得失。

b) 降低工作应力。例如: 降低电源电压、功率或降低电流, 这种方法可降低功耗, 节省资源, 可靠性也高, 符合生态设计理念。例如: 计算机 CPU 就是通过降低电源电压 (自 5 V 一直降到 1.8 V), 在速度不断提高的情况下, 使其耗能和体积都控制在合理的范围内。

4.4 合理的储备设计, 降低维护成本, 延长产品寿命

贮备有时也称之为冗余。为了提高可靠性, 在构成产品时, 增补一些工作单元或后备单元, 即使其中之一发生故障, 而整个产品仍能照常工作, 这称为贮备设计。贮备设计是提高产品可靠性的主要方式之一。但是, 如何设计, 需认真权衡, 盲目的贮备, 虽然会提高可靠性, 也会增加成本, 浪费资源, 因此, 必须仔细研究贮备模式和特点, 求得最佳。

例如: 在串、并组合贮备中, 如何连接才能提高产品可靠性又不增加成本呢? 从图 1 可见, 在串、并组合贮备时, 仅当单元可靠度足够高 (对 (a) 方式, $R > 0.62$; 对 (b) 方式, $R > 0.38$) 时, 才有效果; 否则, 若单元可靠度不高时, 组合贮备系统还不如单个单元的可靠度高。不但可靠性不高, 还浪费了资源。

对比 (a) 与 (b) 的两种贮备方式, (b) 的贮备效果要优于 (a) 的效果, 但所用资源的差别不大。

这一结论在电池组的连接应用中是最直接的, 先并联后串联构成的电池组其可靠性高, 寿命也长, 但成本和资源消耗同串联后并联比是一样的, 如图 2 所示。

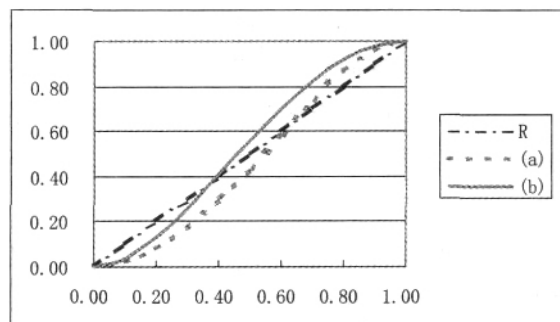
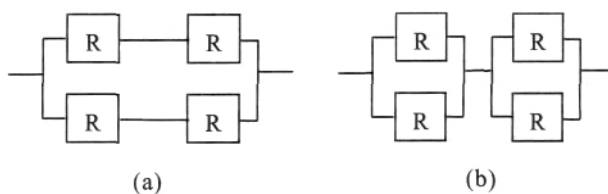


图 1 串并组合贮备系统

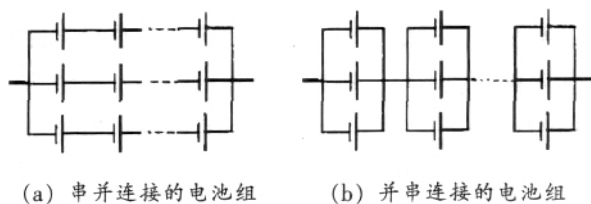


图 2 电池组采用串并组合贮备时的不同方式

4.5 认真实施简化设计和功能优化, 节省能耗和资源, 延长寿命

简化设计, 是可靠性设计的重要方法, 在相同性能时, 产品结构简单, 不但可靠性高, 而且节省资源和能耗, 因此, 应将简化设计应用于生态设计。简化电路的目的是要大大减少元器件的数量, 为此, 除了要尽量革除电路中那些作用不大的元器件外, 还不可拘泥于原来的电路形式, 认真简化电路, 下述原则是可以采用的:

a) 在满足技术性要求的情况下, 尽量简化方案及电路设计和结构设计, 减少整机元器件数量及机械结构零件。

b) 尽量实施系列化设计。在原有的成熟产品上逐步扩展, 构成系列, 在一个型号上不能采用过多的新技术。采用新技术要考虑继承性。

c) 尽量实施统一化设计。凡有可能均应用通用零件, 保证全部相同的可移动模块、组件和零件都能互换。

d) 尽量减少元器件的规格、品种, 增加元器

件的复用率,使元器件的品种、规格与数量比减少到最小程度。

4.6 合理的热设计

产品的热量一方面来自产品自身发热,另一方面来自环境的热。高温将影响产品的寿命,因此,热设计包括两个方面,一是减少设备(线路)内部产生的热量,实际是降低功耗,这是电路设计的一项指标;二是减少热阻,是电子设备结构设计的目的之一。

热设计使元件不在高温条件下工作,以避免参数漂移,这样才能保证电气性能稳定,保持电气性能稳定,延长使用寿命。

电子设备进行系统热设计时应与电路和结构设计同步进行。在电路设计时,应尽量减少电路发热量;减少热元件的数量;选择耐热性和热稳定性好的元器件、原材料,采用降额设计法等。在结构设计时应合理地选择冷却方法;进行传热通道的最佳设计;尽量减少热阻和摩擦发热部件。

在电路设计中,优化电路设计,最大限度地降低电路能功耗,例如:在众多楼梯或公共场合的声控、光控开关电路中,电源部分的不同设计,功能相同,但功耗可相差5到6倍(如图3所示)。

在图3(a)方法中,由于用电阻器限流,使大部分功耗都发生在电阻器上,导致电阻器发热严重,不可靠,功耗也大。在(b)方法中,由于利用了电容器的交流阻抗限流,电容基本不发热,不但降低了功耗,也提高了可靠性。



图3 功耗不同的电源电路的设计方法

要充分考虑经济性、体积、重量、耗材等因素,应最大限度地利用传导、辐射、对流等基本冷却方式,避免外加冷却设施。这样既提高了可靠性,又节省了资源。例如:同样的外壳结构,仅仅在机壳开口处加一个挡板,其对流散热效果不同(如图2所示),冷却效果也不一样。

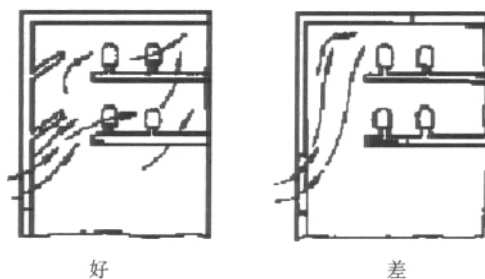


图4 不同的对流散热效果

5 结束语

a) EuP指令将对全球整个电子信息行业产生重大的革命性的影响,并全面改变现有的设计理念。

b) EuP指令整体上覆盖了RoHS、WEEE指令的要求。强调了环境影响性能的设计,不但控制引进有害物质,还必须满足产品最小寿命、部件平均无故障时间(MTBF)、待机能耗等环境指标。

c) 将可靠性工程技术应用于生态设计,必须认真分析和权衡,充分理解可靠性设计和生态设计内涵的一致性,合理利用,使产品的设计达到最佳化。

d) 要使产品达到EuP指令的要求,应加快可靠性工程技术在企业的推广应用步伐。

e) 要积极应对EuP指令,必须保证产品设计符合生态设计要求,要重视产品的功耗的控制,对产品最小寿命进行设计、预计、分析、评价。

f) 在生态设计中应采用可靠性工程技术,如可靠性指标分析,预计,降额设计、热设计、电路简化设计,以使产品满足EuP指令的要求。应继续研究其它可靠性工程技术,如元器件选用(包括RoHS检测、元器件优选)、产品耗能评测、产品寿命试验评价、产品微观失效分析、容差设计等技术在生态设计和评价中的应用。

参考文献:

- [1] 李正家. 通信用VRLA蓄电池可靠性指标及计算探讨[J]. 邮电设计技术, 2002, (1): 44-48.
- [2] 陈炳生. 电子可靠性工程 系统设备的可靠性理论与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 1987.
- [3] 张增照, 潘勇. 电子产品可靠性预计[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [4] GJB/Z 299B-1998, 电子设备可靠性预计手册[S].
- [5] MIL-HDBK-217F-2002, 电子设备可靠性预计手册 Notice [S].
- [6] 周源全. 可靠性评定[M]. 北京: 科学出版社, 1990.