

國立交通大學

理學院應用科技學程

碩士論文

無線區域網路產品的可靠度分析與評估-  
以 IEEE 802.11X 基地台為例

**A Field Case Study of Reliability Analysis & Evaluation of  
Wireless Local Area Network System  
(for IEEE 802.11X Access Point)**

研究生：王順正

指導教授：張起明 博士

中華民國 九十五 年六月

# 目錄

摘要

Abstract

謝誌

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	V
第一章 緒論.....	1
1-1 研究目的與研究重要性.....	1
1-2 論文架構.....	3
第二章 文獻探討.....	5
2-1 無線區域網路系統(WLAN System)簡介.....	5
2-2 無線區域網路基地台(WLAN AP)可靠度之文獻探討.....	9
第三章 研究方法.....	11
3-1 WLAN AP 可靠度定義 .....	15
3-2 WLAN AP 平均失效間隔時間(MTBF) .....	20
3-3 WLAN AP 平均失效間隔時間預估(MTBF Prediction).....	22
3-4 零件表面熱分佈試驗.....	25
3-5 WLAN AP FMEA 與 FTA 分析.....	27
3-6 WLAN AP 加速壽命試驗 .....	33
3-7 WLAN AP MTBF 適合度檢定 .....	38
3-8 WLAN AP 可靠度展示試驗 .....	40
3-9 RF 射頻晶片減額定設計 .....	42
3-10 WLAN AP 零件失效物理現象 .....	45

第四章 結果與討論.....	46
4-1 可靠度試驗結果 .....	46
4-2 失效分析 .....	52
4-3 討論 .....	54
第五章 結論與建議.....	57
5-1 結論 .....	57
5-2 未來研究建議.....	59
5-3 研究貢獻 .....	60
參考文獻.....	62
附錄.....	65
附錄一 平均失效間隔時間預估結果資料 .....	65
附錄二 零件表面熱分佈試驗結果數據.....	68
附錄三 失效模式與效應分析法(FMEA) .....	69
附錄四 失效樹分析法(FTA Analysis) .....	74
附錄五 K-S 適合度檢定.....	78
附錄六 零件的減額定水準 .....	80
附錄七 強度-應力干涉理論.....	82

## 圖目錄

圖 1-1 無線區域網路概略架構 .....	2
圖 1-2 論文架構 .....	4
圖 2-1 簡易模式的 WLAN.....	6
圖 2-2 基礎模式的 WLAN.....	6
圖 2-3 無線區域網路系統圖 .....	8
圖 3-1 WLAN 可靠度分析與評估進行步驟 .....	11
圖 3-2 新產品開發階段的可靠度分析與評估 .....	13
圖 3-3 平均失效間隔時間展示試驗前的篩選試驗.....	14
圖 3-4 零件表面熱分佈量測試驗 .....	26
圖 3-5 Intersil Prism 802.11b 超外差收發機架構圖 .....	27
圖 3-6 IEEE802.11 b/g 超外差收發機架構圖.....	29
圖 3-7 WLAN 系統失效樹分析圖 .....	30
圖 3-8 射頻晶片包裝下熱傳導示意圖.....	43
圖 3-9 RF 射頻晶片的減額定曲線 .....	43
圖 3-10 射頻晶片表面加散熱片的減額定曲線.....	44
圖 3-11 不同氣流下的射頻晶片減額定曲線.....	44
圖 4-1 MIL STD781D 試驗計畫圖.....	47

圖 4-2 MTBF 加速壽命試驗.....	51
圖 4-3 積體電路燒毀.....	51
圖 4-4 電解電容器爆裂.....	53
圖 4-5 失效次數統計柏拉圖.....	53
圖 4-6 失效率最高的前 10 大零件統計圖 .....	56



## 表目錄

表 3-1 WLAN AP 之 FMEA 分析表 .....	32
表 4-1 MTBF DEMO. 試驗結果報告表 .....	49
表 4-2 失效型態統計表 .....	51



無線區域網路產品的可靠度分析與評估-  
以 IEEE 802.11X 基地台為例  
**A Field Case Study of Reliability Analysis & Evaluation of  
Wireless Local Area Network System  
(for IEEE 802.11X Access Point)**

研究 生：王順正

Student : Shun-Cheng Wang

指導 教授：張起明

Advisor : Chi-Min Chang



Submitted to Degree Program of Applied Science and Technology  
College of Science

National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
in

Degree Program of Applied Science and Technology

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

無線區域網路產品的可靠度分析與評估-  
以 IEEE 802.11X 基地台為例  
研究 生：王順正 指導 教授：張起明 博士  
國立交通大學理學院應用科技學程碩士論文

**中文摘要**

隨著行動電腦與無線網路設備的普及化，人們對無線區域網路的依賴性日益增加，因而無線區域網路基地台的可靠度要求也相對提高。因為 IEEE 802.11X WLAN AP 是最廣泛使用於 WLAN 的無線區域網路基地台，所以本文針對開發階段的 IEEE 802.11X 無線區域網路基地台離型機樣本，進行平均失效間隔時間的可靠度壽命預估與加速壽命試驗，將兩者結果進行比對以驗證實驗的合理性，並與零件表面熱分佈試驗進行失效模式分析，進而了解無線區域網路基地台的平均壽命與產品失效模式，且進一步分析無線網路基地台失效可能發生的原因，以供研發人員作為系統設計改善與零組件選用上的參考，以期提高無線區域網路基地台的可靠度，俾便提供大眾更完美的通訊服務品質。

**關鍵詞：**無線區域網路基地台、可靠度、平均失效間隔時間，加速壽命試驗、失效模式分析

**A Field Case Study of Reliability Analysis & Evaluation of  
Wireless Local Area Network System  
(for IEEE 802.11X Access Point)**

**Student : Shun-Cheng Wang      Advisor : Dr. Chi-Min Chang**

**Master Thesis Submitted to Degree Program of Applied Science and  
Technology  
College of Science  
National Chiao Tung University**

**Abstract**

The mobile computer & wireless local area network(WLAN) is very popular all over the world so far. And we believe that the wireless local area network access point (WLAN AP) and device equipment are key components to internet communication. The IEEE 802.11X wireless local area network access point (IEEE 802.11X WLAN AP) is widely used in WLAN communication. Therefore high reliability is required. This is a field case study of reliability for the mean time between failure (MTBF) of the IEEE 802.11X WLAN AP. We obtain the failure mode information and mean time between failure (MTBF) value via the accelerated life test result and thermal profiles test result of the IEEE 802.11X WLAN AP in prototype stage. And the testing result can be utilized as an important reference for engineers to improve the design and the components selection of IEEE 802.11X WLAN AP.

**Keywords :** wireless LAN access point, reliability, mean time between failure(MTBF), accelerated life test, failure mode analysis

## 謝 誌

用心的耕耘就會得到愛的收穫，有了愛的收穫就會帶來美好的成果，擁有美好的成果就能品嚐到永恆的幸福與快樂。交通大學理學院碩士在職專班的這兩年，首先要感謝我的指導教授 張起明博士的耐心指導，每當研究工作面臨困難與瓶頸時，老師總是從旁協助與支持，讓問題都能迎刃而解，使得順正從學校畢業將近十年後，再拾起課本重溫學生舊夢的甘苦，並且能在一邊工作一邊求學的短短兩年中，完成本論文的研究，順利畢業，而且從老師身上學習到許多在可靠度的專業領域中不可多得的知識與經驗，促使自己有所進步與成長。此外，非常感謝在碩士論文口試時，交大物理研究所 林登松教授及專程由外地前來擔任學位考試委員的 莊祚敏教授、曹志毅博士與 黃清標博士等諸位教授，細心的指正與建議，並提出許多寶貴的建議，使本論文在撰寫的內容上更趨於完善，在此特地向擔任學位考試委員的教授們致上最崇高的謝意。



順正離鄉背井在外地工作求學多年，與家人聚少離多，但是父母親與我的太太美容學妹以及亞旭電腦公司的同事鄧淑珍小姐，不斷地在精神與士氣上，給予極大的鼓舞與激勵，使得順正能夠在忙碌日子當中，順利地完成學業，在此特別將論文研究的成果與畢業的榮耀獻給最愛我的爸爸、媽媽與美容，並向弟弟與淑珍致上十二萬分的謝意。

在此同時也感謝交通大學理學院老師們的諄諄教誨與傾囊相授，以及應用科技研究所之同窗好友在課業上的相互砥礪及協助，使得順正能夠百尺竿頭，更進一步地成長卓壯。

# 目錄

摘要

Abstract

謝誌

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	V
第一章 緒論.....	1
1-1 研究目的與研究重要性.....	1
1-2 論文架構.....	3
第二章 文獻探討.....	5
2-1 無線區域網路系統(WLAN System)簡介.....	5
2-2 無線區域網路基地台(WLAN AP)可靠度之文獻探討.....	9
第三章 研究方法.....	11
3-1 WLAN AP 可靠度定義 .....	15
3-2 WLAN AP 平均失效間隔時間(MTBF) .....	20
3-3 WLAN AP 平均失效間隔時間預估(MTBF Prediction).....	22
3-4 零件表面熱分佈試驗.....	25
3-5 WLAN AP FMEA 與 FTA 分析.....	27
3-6 WLAN AP 加速壽命試驗 .....	33
3-7 WLAN AP MTBF 適合度檢定 .....	38
3-8 WLAN AP 可靠度展示試驗 .....	40
3-9 RF 射頻晶片減額定設計 .....	42
3-10 WLAN AP 零件失效物理現象 .....	45

第四章 結果與討論.....	46
4-1 可靠度試驗結果 .....	46
4-2 失效分析 .....	52
4-3 討論 .....	54
第五章 結論與建議.....	57
5-1 結論 .....	57
5-2 未來研究建議.....	59
5-3 研究貢獻 .....	60
參考文獻.....	62
附錄.....	65
附錄一 平均失效間隔時間預估結果資料 .....	65
附錄二 零件表面熱分佈試驗結果數據.....	68
附錄三 失效模式與效應分析法(FMEA) .....	69
附錄四 失效樹分析法(FTA Analysis) .....	74
附錄五 K-S 適合度檢定.....	78
附錄六 零件的減額定水準 .....	80
附錄七 強度-應力干涉理論.....	82

## 圖目錄

圖 1-1 無線區域網路概略架構 .....	2
圖 1-2 論文架構 .....	4
圖 2-1 簡易模式的 WLAN.....	6
圖 2-2 基礎模式的 WLAN.....	6
圖 2-3 無線區域網路系統圖 .....	8
圖 3-1 WLAN 可靠度分析與評估進行步驟 .....	11
圖 3-2 新產品開發階段的可靠度分析與評估 .....	13
圖 3-3 平均失效間隔時間展示試驗前的篩選試驗.....	14
圖 3-4 零件表面熱分佈量測試驗 .....	26
圖 3-5 Intersil Prism 802.11b 超外差收發機架構圖 .....	27
圖 3-6 IEEE802.11 b/g 超外差收發機架構圖.....	29
圖 3-7 WLAN 系統失效樹分析圖 .....	30
圖 3-8 射頻晶片包裝下熱傳導示意圖.....	43
圖 3-9 RF 射頻晶片的減額定曲線 .....	43
圖 3-10 射頻晶片表面加散熱片的減額定曲線.....	44
圖 3-11 不同氣流下的射頻晶片減額定曲線.....	44
圖 4-1 MIL STD781D 試驗計畫圖.....	47

圖 4-2 MTBF 加速壽命試驗.....	51
圖 4-3 積體電路燒毀.....	51
圖 4-4 電解電容器爆裂.....	53
圖 4-5 失效次數統計柏拉圖.....	53
圖 4-6 失效率最高的前 10 大零件統計圖 .....	56



## 表目錄

表 3-1 WLAN AP 之 FMEA 分析表 .....	32
表 4-1 MTBF DEMO. 試驗結果報告表 .....	49
表 4-2 失效型態統計表 .....	51



# 第一章 緒論

## 1-1 研究目的與研究重要性

近年來，由於通訊產業競爭日益激烈，在電子產品方面的品質相對地要求提高，當產品在研發階段時，如果能將可靠度導入產品設計，則產品品質就會達到良好的水準，使產品能夠順利製造生產及銷售，惠及顧客同時增加競爭力。因此可靠度應列為產品研發階段的主要考量因素之一。

由於最近網際網路的普及，許多資訊都藉由網路傳遞，人類生活上對網路的依賴性大幅增加。再加上近年來無線網際網路技術的精進使得生產成本降低，又具有輕薄短小與無所不在的方便性，於是網路通訊從有線邁入無線，而無線區域網路系統(Wireless Local Area Network system; WLAN system)的使用也由企業普及到一般的家庭。但也正因為它的普及與人類依賴性的增加，如果 WLAN system 產品的失效率高，則可能造成使用者的不便及社會活動的損失[1]。

一般而言，WLAN system 由硬體與軟體兩部份所構成，軟體用來控制資料封包傳輸的通信協定與程式；硬體則分為客戶端(client)與主機端(host)，客戶端即一般的無線網路卡(WLAN card)或手持式行動電話(cell phone)，主機端則是指無線區域網路基地台(wireless local area network access point; WLAN AP)。因為目前行動電話受到通訊頻寬與處理器速度的限制，所以較少用在上網工作(如上傳下載資料)，僅用於人們的通信工作。因為筆記型電腦(notebook)與掌上型電腦(PDA)的普及，而一般的無線網路卡與基地台本身具有體積小功能強的特性，加上免除網路線佈線工程的成本，促成了無線網路的蓬勃發展。因為客戶端(client)本身只是透過無線網路，連接上主機端(host)，

來傳送或接收來自遠端的資訊。或是將伺服器(server)上分享(share)的資源作讀取、儲存的工作。一些複雜處理與運算的工作可透過無線網路，將資料傳送到伺服器上，處理完後再送回客戶端，無線區域網路的概略架構，如圖 1-1 所示。所以相當適合大企業使用，因為可以節省許多成本與系統維護費用。

在價格與性能方面，因為 WLAN AP 所採用的硬體架構簡單，且基地台體積小所佔空間少，通訊能力無遠弗界，所以構成功能強且少失效的區域網路，相當經濟與實用。對大企業來說無非是節省成本的良策，所以相當值得推廣與研究。

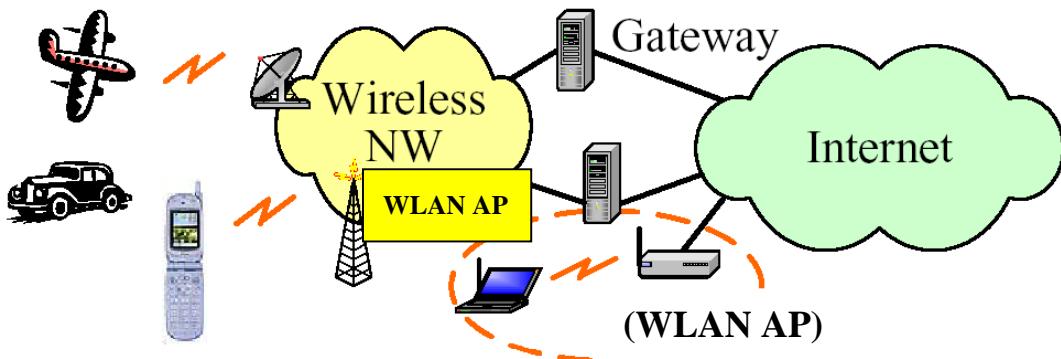


圖 1-1 無線區域網路概略架構

有關無線網路可靠度方面的期刊與論文，目前大多以研究 WLAN 設備所採用的射頻積體電路方面的電子元件(components)或資料封包傳輸方面的軟體通訊協定(protocol)或演算法為主(例如 IEEE IJQRM)，較少有無線區域網路系統方面整合性的研究文獻。但由於人們對無線網路使用率與依賴性日益提高，無線區域網路系統一旦失效，將對許多人造成相當大的不便與困擾，所以如何提高無線區域網路系統的可靠度，是相當值得投入研究的一個領域[1]。

近年來相關之期刊論文中[2][3][4]，常見針對產品可靠度評估進行研究發表，而目前企業界在對系統產品進行可靠度評估時，則常用

到平均失效間隔時間預估(MTBF prediction) 與平均失效間隔時間展示(MTBF demonstration)。企業界為節省試驗時間，更會配合加速壽命試驗，當失效發生時，則進行失效分析，而在產品設計時，想找出失效原因則又應用失效模式效應分析法(Failure Modes and Effects Analysis; FMEA)。本論文配合上述可靠度學理與實務應用現況，以無線區域網路系統(WLAN system)中之無線網路基地台(WLAN AP)為研究對象，並以 WLAN AP 的硬體可靠度為主。

## 1-2 論文架構

本論文的架構如圖 1-2 所示，在第一章中，陳述進行研究的動機與目的。第二章則對無線區域網路系統以及無線區域網路相關產品之現有可靠度研究文獻進行整理與探討，包括現有的無線區域網路的系統產品、關鍵零組件與軟體可靠度的分析與評估。第三章研究方法則就實際個案展開探討，以現有文獻中的方法對某無線區域網路基地台進行可靠度之定義，平均失效間隔時間(MTBF)之定義與預估以及加速壽命試驗與失效分析，以確定失效發生的主要原因。在進行加速壽命試驗時則觀察產品的失效模式，並依蒐集到的數據分析出產品的 MTBF，及對試驗中發生失效的產品樣本進行失效分析，且根據不同的 MTBF 展示試驗的結果，找出失效樣品所分析出的失效模式，而進一步歸納出 WLAN AP 產品中影響產品可靠度的因素。第四章則是對試驗結果進行討論，並探討 MTBF、FMEA 與可靠度之關連性。第五章則是個案的結論、未來研究與建議以及本研究的貢獻。

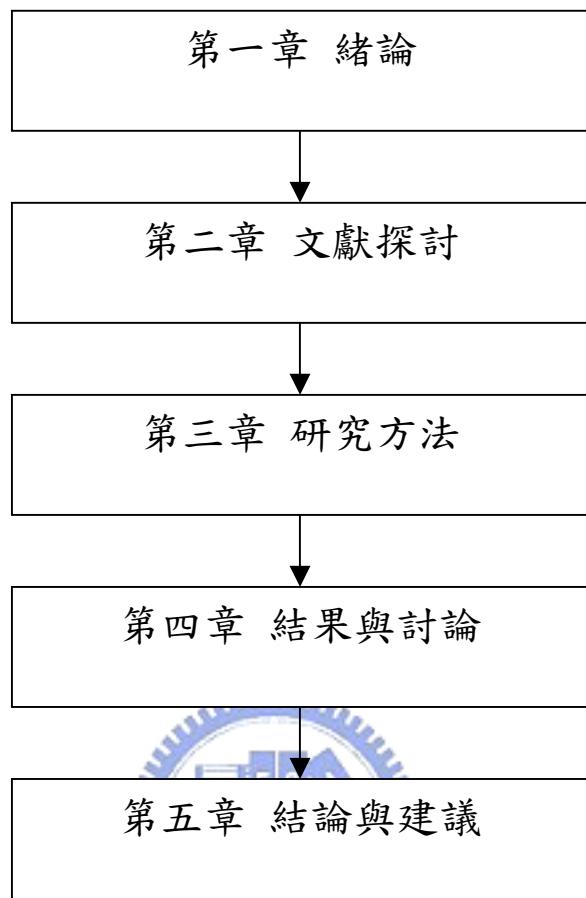


圖 1-2 論文架構

## 第二章 文獻探討

### 2-1 無線區域網路系統(WLAN System)簡介

目前所普遍使用的無線區域網路基地台的起源，是國際電子電機工程師學會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)於1997年至1999年陸續通過IEEE 802.11及IEEE 802.11a、IEEE 802.11b[21]無線區域網路標準的制定，並在2003年也正式確立IEEE 802.11g標準，各大廠商也陸續推出各種無線通訊零組件、設備以支援符合該項標準。

IEEE 802.11是目前使用最廣的無線區域網路通訊協定，它將基本的無線區域網路稱為BSS(Basic Service Set)依組成方式的不同分為基礎模式(Infrastructure Basic Service Set，又稱Infrastructure Mode)及簡易模式(Independent Basic Service Set，IBSS，又稱Ad hoc Mode)兩種。

簡易模式(Ad-hoc Mode)的無線區域網路是一種純粹的無線區域網路運作架構，此模式採用點對點的通訊方式，數個無線區域網路裝置所形成的移動端點(mobile node)可以互相連接通訊與傳遞資料，而不需架設無線網路基地台作仲介裝置，如圖2-1所示。由於無需依賴基地台的資料轉送，無線裝置可以隨時隨地自己形成一個無線通訊網路，適用於臨時需要彼此通訊，而且僅是點對點傳輸的場合，由於不經過基地台轉送，通訊範圍較小，亦無法連上有線端的網際網路(internet)，因此在一般環境下實用性較差。

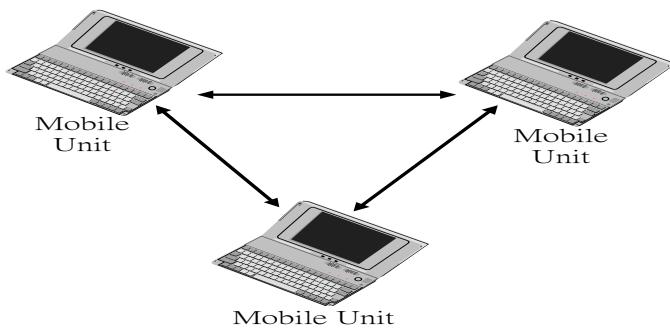


圖2-1 簡易模式的WLAN

如圖2-2 所示，在基礎模式的WLAN中，BSS 可以藉由在傳統有線區域網路中，用架設無線區域網路基地台(Access Point，AP)的方式，直接透過基地台轉傳送(forward)有線與無線網路間傳遞的資料，可將BSS 連接上傳統有線網路，形成一個網路系統(Distribution System LAN，DSLan)，並可以使用此種方式結合多個BSS 與有線網路，組成延伸服務模組(Extended Service Set)。

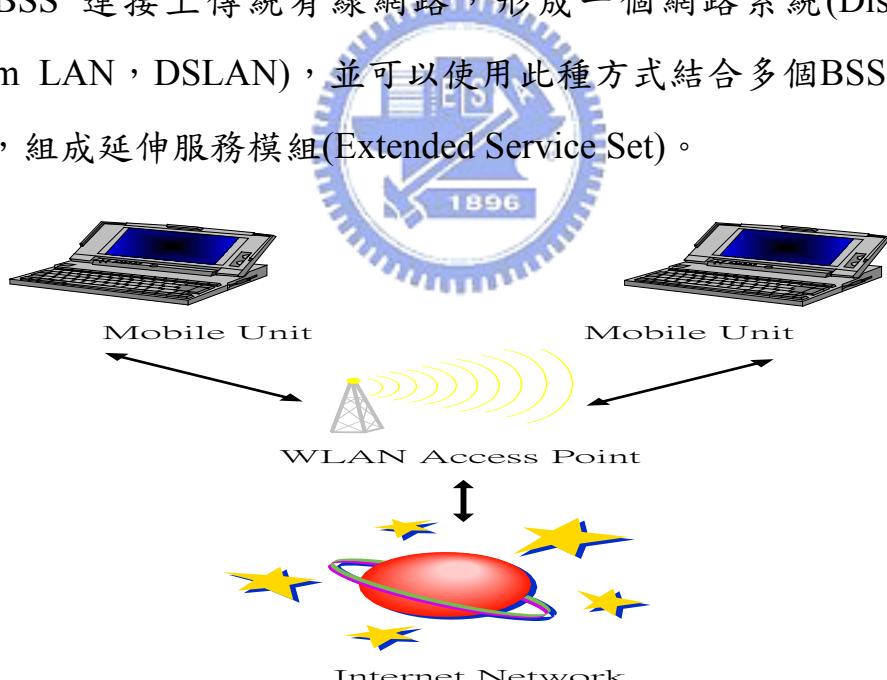


圖2-2 基礎模式的WLAN

一般情形之下，延伸服務模組是為了擴展無線區域網路的服務範圍，藉由此種設置方式，使用者可以在不同的無線區域網路基地台的通訊範圍之間進行漫遊(Roaming)，而且網路連線不至於中斷，適合

大範圍的網路通訊運用。

由於簡易模式網路並沒有固定的網路拓樸(topology)，所以幾乎都可在任何地點形成獨立運作的區域網路，而且網路是由數個無線裝置行動點自行溝通組成通訊網路，並無中央控制的管理者存在，因此網路管理人員難以對此種網路架構作適當監控。基礎模式下的無線區域網路則是建構在有線網路上，透過基地台的連接，網管人員可以掌握基地台與無線區域網路中各種行動裝置的運作情形，以達到各種網路管理與系統維護。目前網際網路的使用相當普遍，無線區域網路的建設也以基礎模式的網路架構為主，因此本研究將針對此種網路模式作探討。

本論文是對 IEEE802.11X 系列的無線區域網路傳輸基地台 (access point) 進行硬體可靠度分析與評估，進行研究的對象為 IEEE802.11X 系列的無線區域網路傳輸基地台，將基地台本身視為一個系統主體，也就是母系統，其中的子系統包括機構(mechanical)子系統，電器(electronic)子系統與軟體(software)子系統等三部份，如圖2-3所示。機構子系統包括的硬體如機殼(housing)與基地台的I/O界面連接器背板或抗電磁干擾隔離罩(shielding cage)等。電器子系統就包括印刷線路板(PCBA)與PCBA上面的主動與被動元件等零組件，主動元件就是RF射頻晶片與控制晶片等零組件，被動元件是電阻電容或電感器等；即受到主動元件指揮工作的零組件。軟體子系統則是基地台本身燒錄在系統韌體上用來指揮系統運作的軟體程式，例如燒錄在NOR Flash中的image driver等程式。因為軟體的性質與硬體相差頗大，其相關的研究進行也沒有硬體久，它的可靠度分析與評估，屬於另外的一個研究領域，機構子系統因為都是由構造較簡單的機械零組件所構成，系統工作時屬於較靜態的部份，是較為堅

固的子系統，所以本研究是針對系統電器子系統進行可靠度分析與評估，並就對無線區域網路基地台的壽命進行探討。

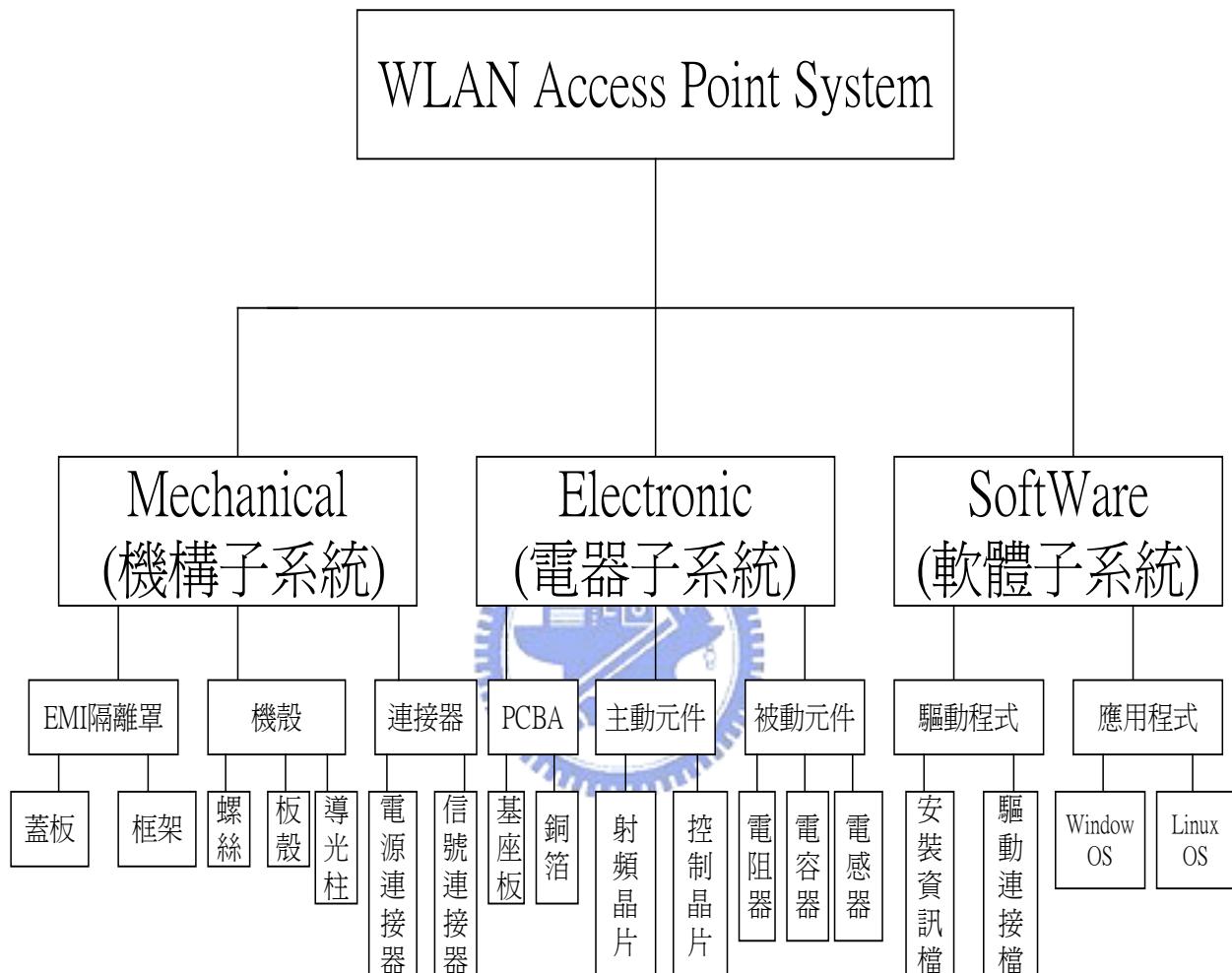


圖2-3 無線區域網路系統圖

除此之外，因為無線區域網路基地台(AP)本身幾乎都在室內使用，所以在規格書上所定的使用環境條件也是以室內(in-door)環境為準，加上產品在開發階段的工作都是在模擬室內環境的實驗室進行，所以設計研發工程師本身也是將自己所設計的產品作為室內的用途。根據IEC60529 所訂定的標準規範[22]，如果是室內使用的系統

產品，則考慮到的使用條件是以溫度為主，較無溼度，防水與防塵上的考量。但是如果是在室外供大眾上網使用的基地台(out-door AP)，則需要考量到防水與防塵的問題。例如目前架設在機場與火車站的走廊供旅客上網用的AP，因為有受到雨淋日晒與沙塵的問題，在產品設計階段就需要考量到這些使用環境因素方面的問題。所以當ODM客戶要求室外基地台的產品時，機構工程師自然就要設法在相同的印刷線路板(PCBA)之下，設計出具有防水，抗太陽輻射與防塵的AP機體外殼。因為這樣的機殼又妨礙到系統本身的散熱，所以如何作最佳化(optimal)的設計也是考驗著機構工程師的設計能力。

## 2-2 無線區域網路基地台(WLAN AP)可靠度之文獻探討

在現有的期刊與文獻當中，在探討相關WLAN AP系統產品可靠度的論文並不多見，大部份現有的文獻係針對WLAN AP相關的零組件與通訊協定作研究。

WLAN AP的最重要關鍵零組件就是射頻晶片(RF chip)，射頻晶片對於WLAN AP的重要性就如同電腦當中的CPU一樣。而在一般射頻晶片(RF chip)元件的可靠度研究與新元件製造技術的成果評估上，由於高頻率振盪與高電場所造成的熱載子引致的時變性劣化一直是非常重要的評估項目，目前的RF Chip都由場效電晶體所構成，所以採用CMOS相容的製程，即NMOS與PMOS，而熱載子的效應最嚴重的首推小尺寸的NMOS，因為其電子質量較輕易受電場加速，而且尺寸較小的元件其電場強度也越強，高頻振盪與電場所造成的熱應力破壞性也越大。所以抵抗熱應力對元件的破壞，自然也成為晶片設計與製程上可靠度的一大挑戰。例如T. Ma 與L. Vishnubhotla 等人的相關的研究論文曾指出在RF射頻晶片製造的去光罩製程中，是採取氟

電漿去光罩處理，而氟電漿處理時間越長的樣品，其線性區汲極電流降低的程度越低，亦即對熱載子效應與熱應力的抵抗力越強，晶片的可靠度也相對的提高[5][6][7]。

此外，在與RF射頻晶片類似產品的可靠度研究文獻中，有K. T. San與G. Verma曾指出，快閃記憶體晶片(flash memory)在可靠度上的考量和RF射頻晶片是相同的，因為構成晶片的場效電晶體及雙載子接面電晶體技術是相似的，兩者都是由數十萬個微小場效電晶體所構成的積體電路，只是晶片在系統產品中所扮演的工作角色不同。RF射頻晶片在系統中是負責發射與接收由資料封包所構成的無線電波，而快閃記憶體晶片是負責儲存系統中的資料封包。因為溫度的因素，造成晶片的場效電晶體氧化層內大量電洞的產生，被認為是許多快閃記憶體發生可靠度問題的一個主要原因 [8][9][10]。J. S. Wirttrs等人也曾研究指出，快閃記憶體在寫入以及抹去的過程中，經歷了高電場的電應力。高電場下的熱載子在快閃記憶體中製造了氧化層電荷和表面缺陷，兩者皆破壞了在氧化層中熱載子傳輸的效率，並且造成了元件臨界電壓的漂移，使得快閃記憶體所記憶的資料遺失，同理，如果臨界電壓的漂移發生在RF射頻晶片，則會形成RF射頻晶片發生頻頻飄移的頻偏現象，使系統通訊功能異常。所以溫度因素造成熱應力的破壞而影響晶片的可靠度[11][12][19]。

上述各篇論文在本論文的研究中都是屬於偏重元件物理層面的研究，所以要對WLAN AP的系統可靠度進行探討，需要由現有研究相關產品可靠度的文獻進行彙整，其中包括由WLAN AP的相關產品方面(無線網路模組與射頻晶片)有關的可靠度相關研究，並再配合本研究之可靠度測試試驗的驗證，確定試驗結果的合理性，再由試驗結果對WLAN AP系統進行可靠度評估與分析。

### 第三章 研究方法

由於電子業的可靠度除了常用到統計與數學的方法[13]來估算可靠度模式如 MTBF 及 MTTF 外，亦常實地進行各種硬體可靠度壽命試驗(life test)，大致上可分為機構試驗(mechanical test)-諸如衝擊試驗(shock test)、振動試驗( vibration test)，跌落試驗(drop test)等，電性試驗(electrical test)諸如-電源陡降試驗(power drop test)、雷擊試驗(power line surge/ sag test)、軟體試驗(soft ware test) 與環境試驗(environmental test)-諸如溫溼度循環試驗(temperature/ humidity cycling test)等[2][20]，及加速試驗(accelerated test)等，藉由試驗找出會影響產品可靠度的主要因子(factor)，再由研發設計來改善產品的性能。

本論文的主要目的是針對無線區域網路基地台的硬體進行可靠度分析與評估，先對產品進行可靠度壽命預估，再進行可靠度壽命驗證試驗，並找出系統最脆弱的部份而作設計的改善，以提高系統可靠度，其研究進行的步驟如圖 3-1 所示。

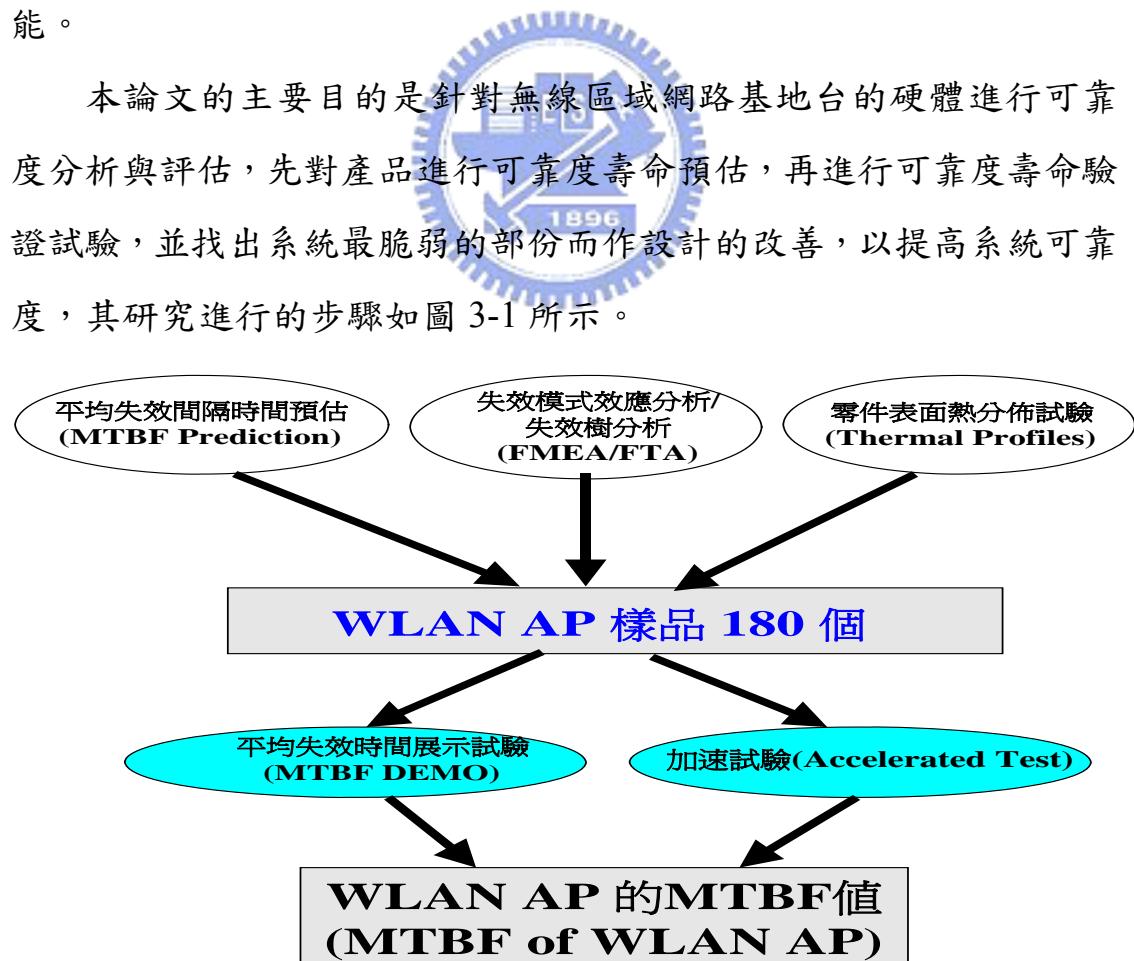


圖 3-1 WLAN AP 可靠度分析與評估進行步驟

本論文研究之初，在新產品概念研發計畫評估後，確定產品可以開發，即利用目前現有的可靠度預估與可靠度測試的方法，對產品進行評估與分析。新產品開發階段的可靠度評估如圖 3-2 所示，茲簡述如下，當新產品概念形成之後就要建立功能規格需求，包括可靠度需求，再依可靠度需求制定可靠度計劃，並進行可靠度分析與評估。然後依可靠度評估的結果進行零件選料，作為硬體工程師設計開發的參考，並作工程樣品試產(engineer samples pilot run)以供平均失效間隔時間展示試驗(MTBF demonstration)使用。在進行平均失效間隔時間展示試驗前需先進行各項篩選試驗(screen test)，以排除浴缸曲線中的早夭期(early failure)失效。篩選試驗是依據 IEC68 的標準規範的方式進行，先進行預燒(burn-in)篩選試驗，再進行電性應力篩選試驗，最後進行機械與環境應力篩選試驗，各項篩選試驗的進行如圖 3-3 所示。經過各項篩選試驗後的工程試產的樣品，共有 180 台進行平均失效間隔時間展示試驗。最後顧客再依據平均失效間隔時間展示試驗結果作為是否能進行大量生產的參考。

在可靠度預估方面，先由物料清單(bill of materials; BOM)得知所有的零組件，進一步由零組件規格書(data sheet)得到每一項零件的失效率與平均壽命。利用目前業界常用的 Bell-core (Tele-cordia)的可靠度預估軟體，進行可靠度的平均失效間隔時間預估(MTBF prediction)[13]。為了進一步確定所估計出產品壽命預估值的合理性，再對產品進行平均失效間隔時間展示試驗(MTBF demonstration test)與加速壽命試驗。平均失效間隔時間展示試驗是為了驗證平均失效間隔時間預估值的合理性。為了縮短平均失效間隔時間展示試驗的試驗時間與節省試驗樣品數目，所以在本研究中，特地利用溫度加速壽命試驗，以儘早得到試驗結果。即平均失效間隔時間展示試驗中配合加

速壽命試驗。因為根據第二章文獻探討中的研究指出，溫度是造成電子系統產品破壞與老化的因素，對產品可靠度的影響很大，所以本研究的試驗以溫度為加速壽命試驗的加速因子。並藉由加速壽命試驗找出平均失效間隔時間預估與平均失效間隔時間展示試驗兩者間的關連性，並比對失效模式效應分析法(failure modes and effects analysis; 簡稱 FMEA )及失效樹分析法(fault tree analysis; 簡稱 FTA)與零件熱分佈試驗的結果，分析產品發生失效的主要原因，以求改善，失效分析方法進行的步驟如圖 3-2 所示。

而新產品在離型手工樣品(prototype)階段要先進行零件表面熱分佈試驗(thermal profiles test)，確認新產品中所有選用的零件都是可用的。其結果如附錄二所示。

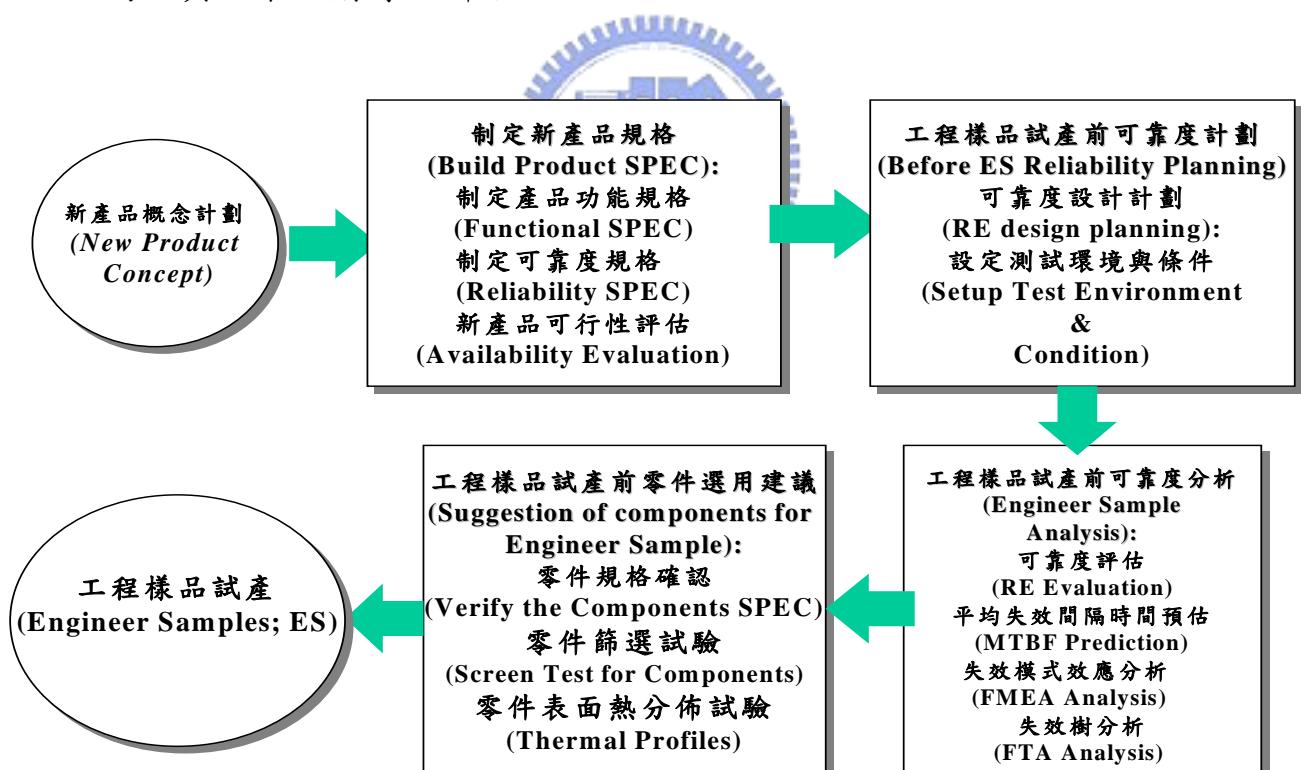


圖 3-2 新產品開發階段的可靠度分析與評估

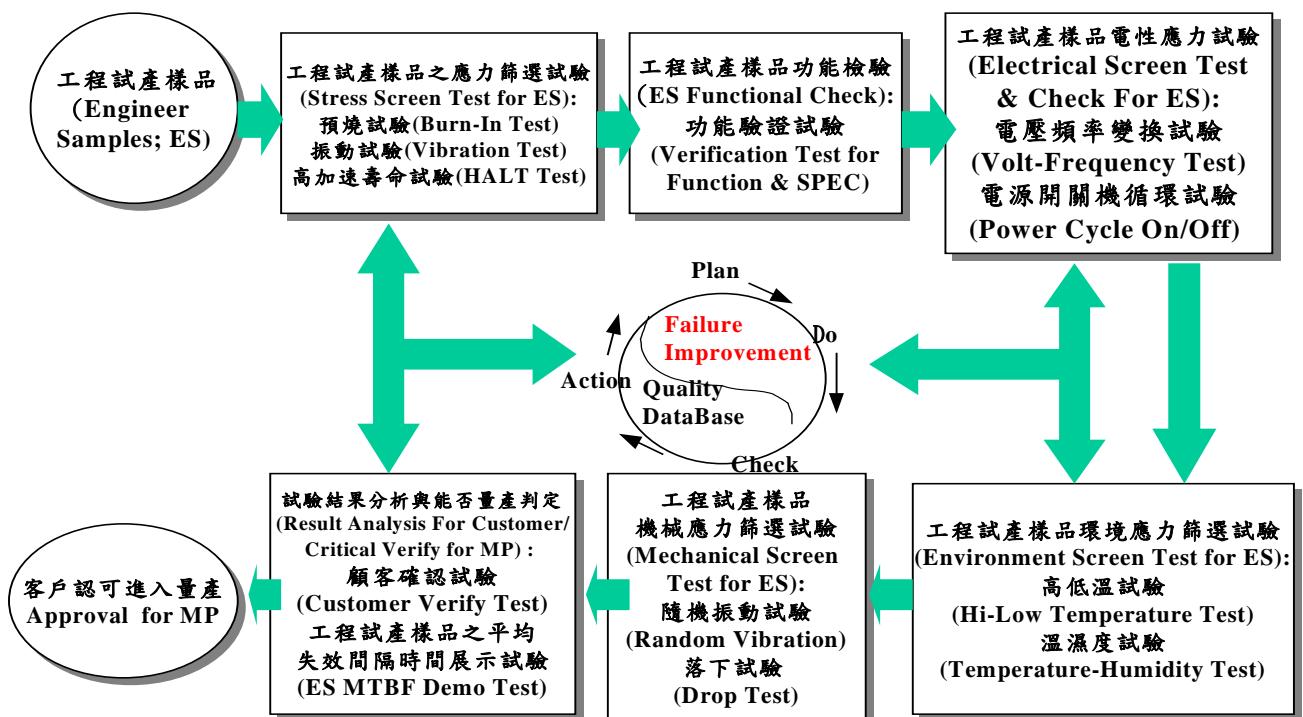


圖 3-3 平均失效間隔時間展示試驗前的篩選試驗

經過對 WLAN AP 以上述各種方法作可靠度分析與評估之後，接著更進一步探討與研究通訊 IC 元件方面的可靠度，IC 元件的製程在近幾年來，已邁入奈米製程(nano-meter of devices)，以達到體積小及耗電少的方便性。因為目前許多晶圓代工廠在晶片的製造上均邁進奈米化製程，所以一些關鍵零組件晶片也非常可能用到奈米級的晶片，所以本研究針對使用某一特定 RF 射頻晶片的 WLAN AP 產品進行加速壽命試驗，以現階段 A 公司由日本某大電器公司所接獲的訂單，並由 A 公司進行代工生產與研發(ODM)過的 WLAN 產品為基礎，探討其主要晶片組在奈米化之後的可靠度。目前可由產品可靠度測試報告中，分別探討電器特性、機構特性與環境特性對產品功能特徵量(performance)的影響。先探討每個因子(factor)對功能的影響，接著用物理的觀點來解釋試驗的結果，並找出因子間的交互作用(interaction)[14]。所以需對電子零組件奈米化作深入瞭解，並作多方

面討論，例如目前行動數據通訊 WLAN 產品所容易面臨的問題就是散熱與耗電的問題，當 RF 無線晶片組散熱不良溫度過高時，會造成效能下降與有效距離縮短。耗電量太高，雖然通訊的信號強度較好，但是會造成電池待機時間過短的不方便。所以針對 WLAN 產品在不同的使用時機與地點，其主要 IC 在將來被奈米化之後，則導熱性與導電性隨之增加，工作方式與失效型態的機率分配 model 型式及其參數，也隨之不同，如此一來是否更具合適性，以及所容易面臨的可靠度問題，如結構強度、MTBF 失效間隔時間、失效分佈機率模式，如 Chi-Squared 與指數分配參數等[15]，驗證物理與數學方面的研究結果進行探討，是本論文研究的一些內容。所以這個研究內容屬於物理、數學與統計學的綜合領域。

以下就本論文所涉及 WLAN AP 之可靠度定義與數學理論、平均失效間隔時間之分析、可靠度預估、失效分析、加速壽命試驗、適合度檢定、可靠度展示試驗及減額定設計、失效物理現象等論題敘述其理念與方法如次：

### 3-1 WLAN AP可靠度定義

可靠度(Reliability)由字面上來說即為可以信賴的能力，如果就計量值上的考量，則可以翻為可信賴度，簡單稱為信賴度或可靠度。習慣上，如果只關心產品可以信賴的特質，則可翻譯成信賴性或可靠性。

從最簡單而通用的型式來看，可靠度是一種成功的機率，可視為一種用機率來描述系統、裝備或產品組件品質水準的指標。所以 ASQC、ISO 8402與IEC 271等都有對可靠度下不同的定義或說法[20]，幾乎大同小異。例如針對機械元件方面，則定義出可靠度就是機械元件的耐受強度大於所承受應力的機率。即完成目的或任務的成

功比率或成功機率。還有定義指出，可靠度就是還有殘存可用的壽命或時間的機率，或是從一開始，在使用環境條件下執行功能而不失效的時間[20]。另外根據AGREE (Advisory Group on the Reliability of Electrical Equipment)，則有一個較為明確且廣泛接受的定義如下：『可靠度是指一產品(系統或裝備)於期望的壽命時間內與所規定的使用環境與工作條件下，執行其預期功能而不產生失效、失效的機率』。所以要研究產品的可靠度，首先就是要從系統面深入了解產品的特性，再針對產品的特性進行可靠度的分析。

要完整地確定產品或系統的可靠度，應先了解產品的特性並且確定以下四個條件，也是AGREE定義所說明可靠度要有的四項重點，即產品規定的使用環境與工作條件，產品期望的使用時間，產品預期達成的功能，以及產品不故障或不失效的機率。要描述可靠度，這四個重點缺一不可。



#### (一)規定的使用環境與工作條件(Operating conditions)：

在產品或系統的使用過程中，都會受到內外在環境所造成應力的影響。典型的情況如：溫度、溼度、鹽霧、振動、撞擊、壓力、拉力、剪力、電壓、電流與輻射等因素。根據經驗顯示，每個使用環境條件對功能上都有一定的影響。因此需要在使用前加以了解，設法消除或減少使用環境條件對產品所造成的影响。而本研究主要是針對某日系大廠所委託ODM設計代工生產的WLAN AP為主，所以規定的使用環境條件是來自產品的規格書，分別為溫度:0~45°C；溼度:0~95%RH；振動為4.00G、5~500Hz；AC與DC電壓為100~240V AC、5V DC。

#### (二)預期達成的功能(Adequate performance)：

任何產品在使用的過程中都會要求展現其指定的功能，但是基於

可靠度的考量，必須明確訂定出產品應該發揮功能的程度，才算是成功或滿意，所以要建立判定失效的準則(Failure criteria)，以便明確地指出、敘述或定義「什麼是產品的成功或失敗，產品令人滿意的結果為何」。但是產品的機能通常都會隨著時間而改變，其功能為成功或失敗只是一線之隔。所以只能清楚描述失效模式，在可靠度方面就會常利用不超出規格的機率值加以量化。本論文 WLAN AP 產品的功能是看發射信號是否正常，以100公尺內達到58dBm為合格標準的規格。

### (三)期望的使用時間(Time)：

一項產品的使用要考量到時間的因素，因為自然界中的物質容易因時間而衰變，使用愈久愈不可靠。如一架戰鬥機飛得愈久，其作戰後安全返航的機率就減少。因此在使用時間內，才可期望某種程度的功能。界定可靠度時要先確定產品的期望使用時間(或任務時間)才有意義。如果使用時間超過產品的可用壽命期(useful life period)，則可靠度的要求就無意義。本論文 WLAN AP 產品的使用壽命是客戶考量到產品保固期限所規定的，產品在功能正常之下使用之連續工作平均時間需要達到40,000小時，也就是平均失效間隔時間MTBF的值要達到40,000小時以上。

### (四)不失效的機率(Probability)：

可靠度本身因為是個機率值，所以我們要用機率與統計的方法界定出產品可靠度的機率函數或數值，一般可由試驗得到可靠度的數值。將產品中抽象的可靠度用明確的機率值表示，我們將可得到一個明確的尺度，以做為工程上比較、選擇、保證、管理與改進的參考。本論文 WLAN AP 產品的可靠度也來自客戶的要求，需要在功能正常與規定的使用期間下(MTBF 下限值為 40,000 小時;  $\lambda(t)=2.5 \times 10^{-5}$  次/

小時)，並有 90%的自信水準。

因為可靠度就是用來衡量產品可靠程度的指標，在不同的時間點，量測的功能指標的參數值也會不同，所以目前的趨勢就是將可靠度指標當成時間的函數，常用的指標有四種：

#### (一)可靠度 $R(t)$ :

因為可靠度是時間的機率函數，所以可寫成  $0 \leq R(t) \leq 1$ 。論者為了討論上的方便，另外定義一個不可靠度函數  $F(t)$ ，由於成功與失敗是互斥事件，所以可靠度  $R(t)$  與不可靠度  $F(t)$  兩者機率值的和為一，即  $R(t)=1-F(t)$ ， $F(t)$  為不可靠度，也就是累積失效機率。所以根據推算，本產品假設零件失效率為一定，當產品工作任務時間達到 MTBF 值為 40,000 小時，可靠度  $R(t=MTBF)=36.78\%$ 。

#### (二)失效率 $\lambda(t)$ :

失效率就是某產品工作到某特定時間點，其瞬間的每單位時間失效的產品個數與未失效產品個數的比率。對於失效率為常數的電子產品，通常以平均失效率表示，其單位為次/千小時( $1 \times 10^{-3}$  次/hr)或是次/百萬小時( $1 \times 10^{-6}$  次/hr)，對於高可靠度的零件則採用菲特(Fit;即 failure unit)為單位，1 菲特=次/十億小時( $1 \times 10^{-9}$  次/hr)。所以根據推算，本產品的失效率為  $\lambda(t)=2.5 \times 10^{-5}$  次/小時。

#### (三)平均壽命(MTBF & MTTF):

把所要衡量的產品概略分為可修護的系統產品與失效就更換的元件產品兩大類。所以在可靠度的壽命指標上，可維修的產品為平均失效間隔時間(mean time between failure; MTBF)，失效發生後就丟棄的不可維修元件類產品為平均失效時間(mean time to failure; MTTF)。

#### (四)失效機率密度函數 $f(t)$ :

其定義為產品在某單位時間失效發生之比率，假設某一系統、產

品或裝備在規定的使用環境與工作條件下，在特定的時間內，能順利完成預定任務的成功機率為  $R(t)$ 。上述定義，可靠度為一個時間的函數，將其數學式以機率的形式加以表示，則其導出為[16]：

設有  $N_0$  個樣本組件加以測試，在時間  $t$  後，有  $N_s(t)$  個組件仍完好，其餘  $N_f(t)$  個失效，則組件經過  $t$  時間的可靠度  $R(t)$  為

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0} = \frac{N_s(t)}{N_s(t) + N_f(t)}$$

相對之下，累積失效的機率即不可靠度  $F(t)$ ，其數學方程式可以表示成：

$$F(t) = \frac{N_f(t)}{N_0} = \frac{N_f(t)}{N_s(t) + N_f(t)}$$

因為成功與失敗機率的值相加為一，所以  $R(t) + F(t) = 1$ 。

當測試由時間  $t$  增加至  $t + \Delta t$  時，在此時間內有  $\Delta N_f$  個組件發生失效，因此  $f(t)$  為單位時間失效發生的件數佔總件數  $N_0$  之比率，為一個機率密度函數(probability density function)，而  $(\Delta N_f / \Delta t) * (1 / N_0)$  為單一組件單位時間失效發生的次數，因此組件失效時間之機率密度函數(probability failure density function)  $f(t)$  為：

$$\begin{aligned} f(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} [(1 / N_0) / (\Delta N_f / \Delta t)] \\ &= - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t + \Delta t) - R(t)}{\Delta t} = - \frac{dR(t)}{dt} \end{aligned}$$

$$\text{而且 } N_s(t) = N_0 \times R(t)$$

其中  $F(t)$  為失效累積分佈函數 (failure cumulative distribution function)，由統計理論可得

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(\tau) d\tau = \int_t^\infty f(\tau) d\tau$$

$$\Rightarrow f(t) = - \frac{dR(t)}{dt} = \frac{dF(t)}{dt}$$

### 3-2 WLAN AP平均失效間隔時間(MTBF)

本論文 WLAN AP 產品的可靠度也來自客戶的要求，需要在功能正常與規定的使用期間下，其有 90%的的信心水準 MTBF 值下限為 40,000 小時； $\lambda(t)=2.5 \times 10^{-5}$  次/小時。

可靠度最常用的參數之一為產品的期望壽命(Expected Life)，而對於可修復系統則稱為平均失效間隔時間(Mean Time Between Failure，MTBF)，不可修復系統則稱為平均失效時間(Mean Time to Failure，MTTF)，其數學上的定義為[7]：

$$\text{MTBF (MTTF)} = \int_0^\infty t f(t) dt = - \int_0^\infty t \frac{dR(t)}{dt} dt$$

$$= - t * R(t) \Big|_0^\infty + \int_0^\infty R(t) dt = \int_0^\infty R(t) dt - t * R(t) \Big|_0^\infty$$

所謂失效率(failure rate)即是在某一時間範圍( $t_1 \sim t_2$ )或單位時間( $\Delta t$ )內，平均分配到每一單位時間的失效機率，但此一定義必須以在某一時間點 $t_1$  開始以前尚未失效為條件。故失效率可表示如下式：

$$[R(t_1) - R(t_2)] / [(t_1 - t_2) * R(t_1)]$$

由上式可知，失效率為一時間函數。如果將有關的時間範圍寫為  $[t, t + \Delta t]$ ，則式可改寫為：

$$[R(t) - R(t + \Delta t)] / [\Delta t * R(t)] = [R(t_1) - R(t_2)] / [(t_1 - t_2) * R(t_1)]$$

$\lambda(t)$  瞬間失效率 (instantaneous failure rate) 的定義為：當計算失效率所採用的時間間隔趨近於零時的極限值。因此，失效率函數  $\lambda(t)$  可寫成：

$$\begin{aligned}\lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t \times R(t)} \\ &= \frac{1}{R(t)} \left[ -\frac{d}{dt} R(t) \right] = \frac{-f(t)}{R(t)} = \frac{-dR(t)}{dt} \end{aligned}$$

失效率  $\lambda(t)$  如果為常數  $\lambda$ ，則失效機率密度函數呈現指數分配 (exponential distribution)，則 MTBF 與  $\lambda(t)$  互為倒數，即

$$\begin{aligned}\lambda(t) = \lambda &= \frac{1}{MTBF} \Rightarrow \hat{MTBF} = \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{T}{r} ; T = \sum_{i=1}^r t_i \\ \Rightarrow 2m &= 2 \times \lambda \times T = (2 \times T) / MTBF = 2 \times r \times \hat{MTBF} / MTBF = \chi^2(2r, \alpha)\end{aligned}$$

上式中  $\lambda$  為失效率， $\hat{\lambda}$  為失效率估計值， $\hat{MTBF}$  為 MTBF 估計值， $T$  為總試驗時間， $r$  為總試驗時間  $T$  中實際失效的樣本個數， $m$  為為總試驗時間  $T$  中預期平均失效的樣本個數。

### 3-3 WLAN AP 平均失效間隔時間預估(MTBF Prediction)

可靠度預估的目的主要是為瞭解產品在開發設計階段中，能對不同的設計提出快速的替代方案，供設計者參考，以掌握產品的變異與預防失效特性。

目前對於可靠度預估所使用之方法種類眾多。而一個好的預估方法，不外乎就是能以省時省力的方式取得準確性高的預估值。而更重要的考量，是依產品類型隨著研發設計的進展，作適當的選擇應用，因此本研究分別列舉幾個常用的預估方法做探討。

#### 3-3-1 類似裝備法(Similar Equipment Method)

執行可行性分析時，因尚未完成任何產品特性的規劃與設計，所以對於其可靠度是否能滿足需求，僅能就以往類似產品可靠度的經驗與資料，比較兩者之異同加以分析推算，據以估計新產品之可靠度。進行類似裝備可靠度預估時，其實施程序如下[22]：

- (1) 確立研發產品的種類與型式、操作模式與條件、使用環境，以及任何已知的資料。
- (2) 根據以上資料，在現有產品中找出性質相近，已經發展成功產品的使用狀況和可靠度條件。
- (3) 將類似裝備的這些資料與研製產品的條件加以分析比較，特別注意其操作條件和使用環境應儘可能相近。
- (4) 綜合以上結果，利用現有產品可靠度資料，評估與判斷新研發產品的可靠度值。

#### 3-3-2 類似複雜性法(Similar Complexity Method)

一般而言，產品的可靠度與其複雜性有關，越複雜的產品，越不

容易達到高可靠度的需求。特別是電子產品，由於所使用的主動元件越多，發生失效的機率就越高，則可靠度就越低。

基於此道理，一些歷史悠久的公司或企業即根據他們過去的經驗，發展出一套可靠度與產品複雜性（功能複雜性，零件數目多寡）的圖表資料，其考慮的條件包括使用環境（如空用、地面固定、地面運動、船用、飛彈及太空環境），以及低級、一般、高級三種品質等級的零件。因此只要找出新產品中預定使用的主動零件數量、使用環境及品質等級即可以查閱MIL-STD-338A 中的圖表，再粗略估計該產品可能的可靠度水準[22]。

### 3-3-3 類似技術法(Similar Technology Method)

類似功能預估法的原理與類似複雜性相同，此種功能法係根據產品顯著的功能特性與操作可靠度間的統計相關性分析，由可靠度觀點建立最顯著功能與預期產品可靠度兩者之間迴歸方程式，作為估算產品可靠度的依據，則此法可參照MIL- STD -338A 做探討〔17〕。

### 3-3-4 零件計數法 ( Part Count Method )

當產品發屬於產品初步設計時，雖然設計尚未完全成型，但是大致上所使用之零件種類、數量、品質水準及使用環境條件等必要條件都已初步確定，此時即可應用零件計數法來預估產品的可靠度水準。零件計數法可參考MIL-HDBK-217F 美國海軍標準規範，其計算方程式如下[20]：

$$\lambda_{eq} = \sum_{i=1}^n N_i (\pi_Q * \lambda_G)_i$$

方程式  $\lambda_{eq}$  為產品之總失效率、 $\pi_Q$  為第  $i$  項電子零件之品質修正係

數、 $\lambda_G$ 為第*i*項電子零件之一般性（Generic）失效率、 $N_i$ 為與第*i*項電子零件相同之零件數量、 $n$ 為產品中所用電子零件之類別數。

### 3-3-5 零件應力分析法（Part Stress Analysis Method）

零件應力分析法適用於產品細部設計階段，於此階段時有關零件使用的應力（負荷）及環境已經過詳細分析，運用這些細部資料所預估出來的失效率數據理當較為精確。應力分析法所運用之失效率預估模式如同MIL-HDBK-217F 美國海軍標準規範的方法，一般通式如下 [20]：

$$\lambda_p = \lambda_b \times \pi_E \times \pi_Q \times \pi_L \times \pi_s$$

其中 $\lambda_p$ 為零件失效率， $\lambda_b$ 為零件基本失效率，隨零件種類及所受之應力而不同， $\pi_E$ 為環境係數， $\pi_Q$ 為零件之品質修正係數， $\pi_L$ 為學習係數，係對新產品所增加之安全因子， $\pi_s$ 為第二類電性修正應力係數。零件應力分析法所須考慮的因子較多，因此較零件計數法為複雜。

### 3-3-6 Bell-core 分析法

Bell-core 可靠度預估為美國貝爾電信公司（the Bell-core Client Companies, BCCs）在選購設備時所發展出來的。可靠度就是指設備隨著時間而功能失效的頻率，是一種定量的衡量方法，且對於保養、維修成本及設備的持續服務等，可靠度均有關鍵影響。Bell-core 分析法的目的就是要將零組件與系統等硬體設備的可靠度預估方法予以文件化，但此處所指的零件，並不包括由軟體程式所造成的失效。

對於採購的電子設備，Bell-core 建議設備供應商運用以下的三

方法：

方法一、方法二與方法三用來提供電子產品的預估可靠度。而對於此三方法的優先次序，Bell-core 要求設備供應商必須優先提供方法一（零件計數法）的所有零組件預估可靠度，而方法二及方法三由採購者決定。

方法一：零件計數法；假設組件失效率可用個別零件的失效率累加計算之。

零組件穩定期失效率可以下式表示：

$$\lambda_{SS} = \pi_E \sum_{i=1}^m (N_i * \lambda_{ssi})$$

式中m = 組件共有m個不同型式的零件

$\lambda_{SS}$  = 組件穩定期失效率

$N_i$  = 第i零件型式在組件中的數量

$\lambda_{ssi}$  = 第i個零件的穩定期失效率

$\pi_E$  = 組件環境因子



方法二：合併零件計數法與試驗室數據，以統計方法所求之零組件失效率。

方法三：依據實際運轉所得數據，以統計方法預估運轉中 (In Service) 產品的可靠度。

在可靠度預估的實務運用方面，企業界常會分別運用美軍軍規標準及美國商業標準兩種預估方法，估算符合工業界實務應用的經驗式合理可靠度預估值，以供顧客參考。本研究則採用Bell-core 分析法之方法一的方式來預估產品的壽命，其結果如附錄一所示。

### 3-4 零件表面熱分佈試驗

系統產品在新產品研發的雛型樣品階段，為了驗證產品於常溫及

高溫下工作時之零件表面溫度狀況。常進行零件表面熱分佈量測試驗。通常都先拆解產品外殼，將熱電偶線(thermal couple)貼於各關鍵零組件的表面，如圖3-4所示，再組上外殼，並將產品的待測樣品置於產品所允許最高工作溫度的環境中，讓待測樣品高溫工作一段時間，使待測物的周圍溫度達到熱平衡的狀態，以熱電偶溫度記錄器(thermal couple recorder)量測關鍵零組件的表面溫度，並記錄每一個量測點所量測到的溫度，再與零件規格書比較每一個被量測到的零組件在工作時，零件表面溫度是否高於零件規格書中該零件工作時所允許的最高溫度。若某零件的表面溫度高於零件規格書中該零件工作時所允許的最高溫度，則表示該零件需要進行散熱或更換其他在工作時較不容易發熱的替代零件。此外研發人員也可以根據零件表面熱分佈量測的資料來估算各個零件的接合點溫度，其方法詳述於第三章3-9節中。本研究之零件表面熱分佈試驗結果如附錄二。

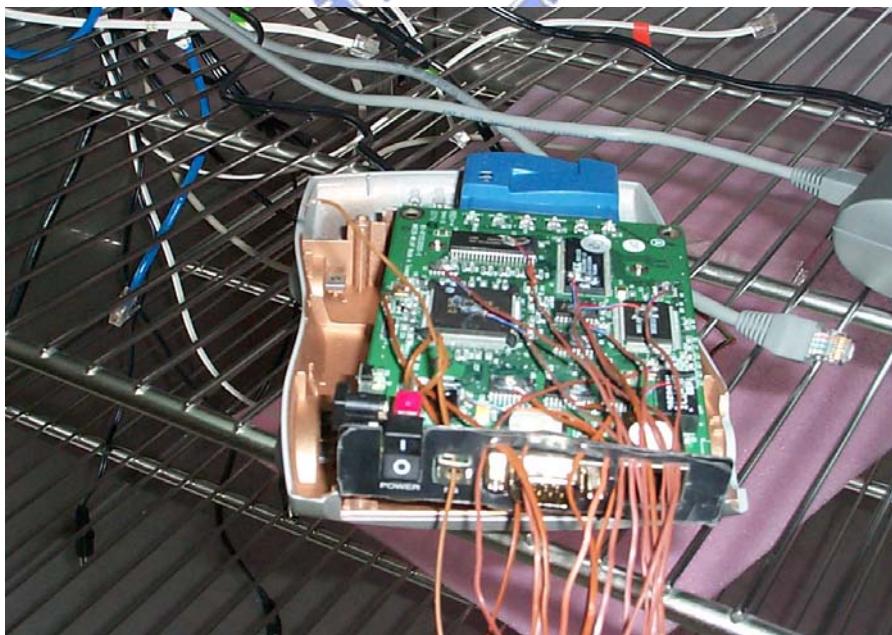


圖3-4 零件表面熱分佈量測試驗

### 3-5 WLAN AP FMEA 與FTA分析

FMEA 與 FTA 是可靠度工程上兩種很有用的分析工具，其詳細的介紹如附錄三與附錄四。本節將其手法應用在 WLAN AP 的失效分析中。

在 FTA 失效樹分析方面，除了軟體因素之外，分為電子與機構方面，到最底層的基本事件(basic event)在電器子系統可分成主動元件(積體電路晶片)與被動元件(如電阻與電容器)失效。在機構子系統方面可分為金屬因素(如金屬散熱片過熱)與非金屬因素(如導光柱過熱熔化)等。

因為 WLAN 產品的 RF 射頻晶片組一般都需要使用超外差收發機 (super-heterodyne receiver/transceiver) 結構的晶片組，如圖 3-5 所示，超外差式結構優點是擁有較佳的動態範圍、靈敏度和頻率選擇性，並且在給定的性能要求下開發周期較短、風險較小。而其缺點是元件數量較多、並且需要昂貴的成本。因為使用零件多，所以可靠度的問題也相對較多，而且系統工作時，會產生高頻率的電磁波轉成熱能，當高溫加速試驗下，負責供電的線路會因為電阻阻值過大而導致供電異常，且傳輸效率亦隨溫度而變化，使系統損壞或當機。所以進行失效分析時需要在常溫下檢測功能以確定是否為溫度過高所造成的失效。

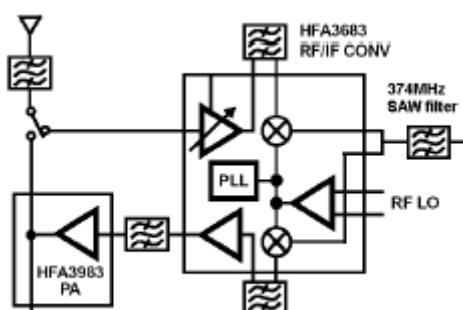


圖 3-5 Intetrsil Prism 802.11b 超外差收發機架構圖

一般的超外差收發機在接收無線信號時會形成接收機，架構如圖3-6所示，訊號經由天線接收之後，首先經由帶通濾波器(BPF)負責抑制頻帶外的強干擾訊號。由於WLAN 為分時多工(TDD)收發系統，因此需要發射/接收切換開關(T/R switch)作為發射或接收時鏈路的切換。接下來訊號經由低雜訊放大器(Low Noise Amplifier，LNA)，目的在放大接收無線訊號並減少接收機後級電路對整體電路雜訊的影響，以減小後級電路造成訊號雜訊比(SNR)的衰減。故LNA 的增益越大，後級電路雜訊對訊號的影響越小，但相對的後級電路因輸入訊號變大，線性度的要求較為嚴格，因此必須合理的分配LNA、混頻器(mixer)與中頻放大器的增益/損耗。

對一般超外差接收機而言，LNA 與混頻器之間會加入鏡像消除濾波器提供鏡像訊號干擾的抑制作用，如圖3-6超外差接收機所示。不過由於電路設計時，LNA 與mixer 均以差動的方式來實現，若要在之間加入單端的鏡像消除濾波器，則LNA 的輸出端及mixer 的輸入端均需加入BALUN 將差動訊號轉換成單端，並且需要匹配至50歐姆電阻。所以無法在LNA 與mixer 之間直接作適當搭配(conjugate matching)，以增加增益及減少匹配時所需元件數目，進一步地減少晶片面積。因此在這篇論文探討時，在架構設計上稍做修改，設計了兩顆LNA，一為單端另一個則為差動，並且將鏡像消除濾波器加在兩顆LNA 之間。

在超外差接收機架構上，整體超外差接收機電路包含元件有：

- (1) CMOS RFICS(TSMC 0.25  $\mu$  m)：T/R switch、single-end LNA、differential-LNA、mixer、Quadrature VCO.
- (2) Passive off-chip components : RF BPF、image reject filter、BALUN、IF374MHz SAW filter.

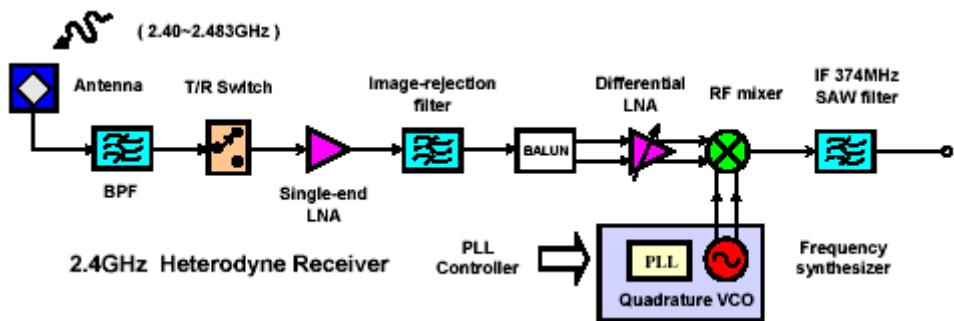


圖 3-6 IEEE 802.11b/g 超外差接收機架構圖

(3) Other components : frequency synthesizer(MC12210)、PLL controller(PIC).

所以WLAN AP可視為一串聯系統。當中任何一個元件損壞時都會造成系統無法正常工作。如果將WLAN AP系統進行失效樹圖分析，如圖3-7所示，大略可以得知，造成WLAN AP系統失效的主要原因，可分為電子元件、機構與軟體等三方面的失效。



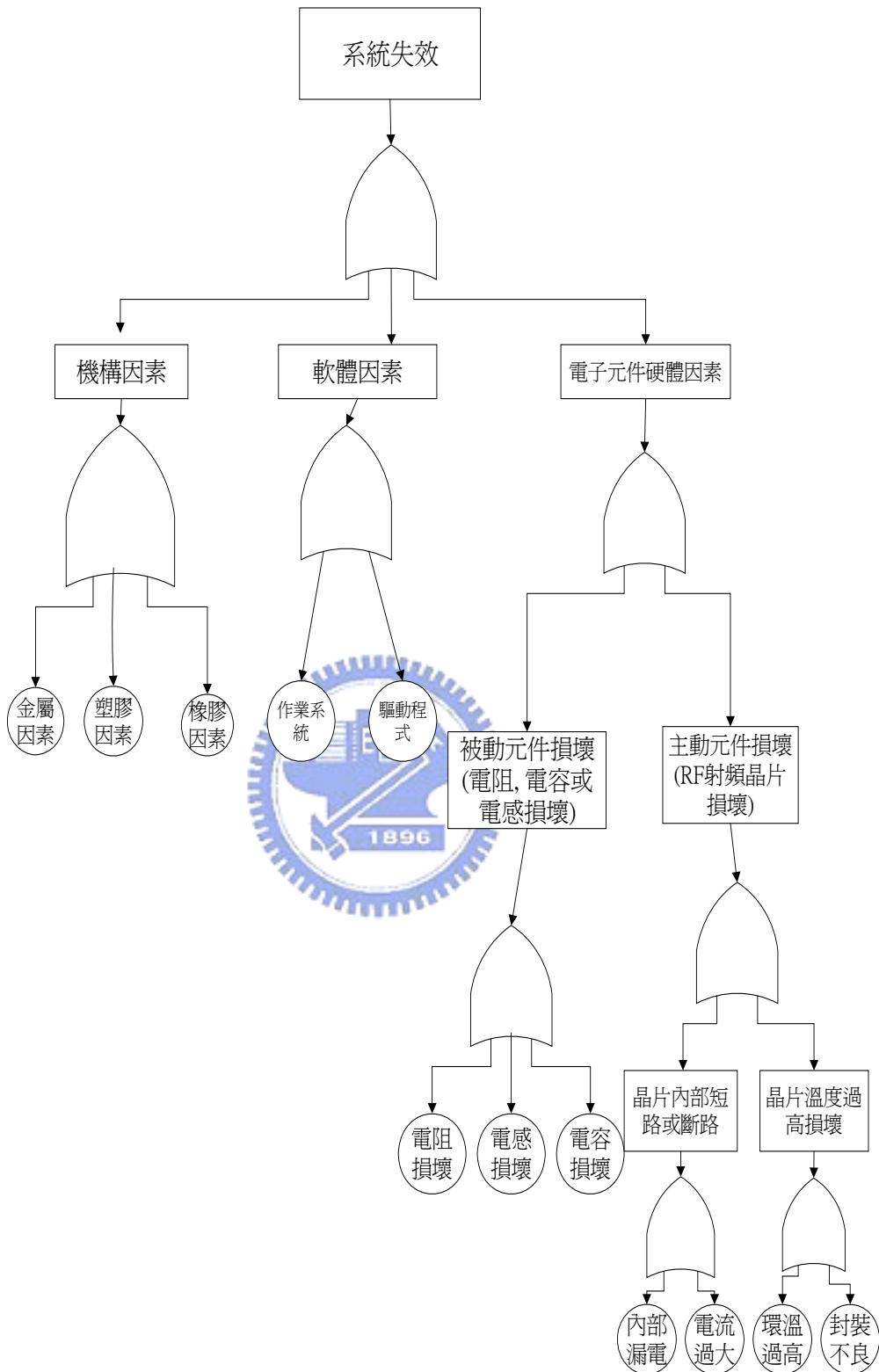


圖 3-7 WLAN 系統失效樹分析圖

FMEA 是一項最直接而且非常成熟的可靠度分析工具，起源於 1950 年代，被廣泛應用在在產品開發、設計、製造及維修過程中的一項預防性分析工作，其詳細說明於附錄三中。WLAN AP 之 FMEA 之執行步驟如下：

Step 1 確定系統任務：

WLAN AP 之主要任務為連上頭端並傳送資料

Step 2 決定系統分解層次：分解至子系統層次：

WLAN AP 之子系統可分為電氣系統與機構系統

Step 3 決定機能別區塊(functional block)：

$$\boxed{\text{WLAN AP 硬體機能}} = \boxed{\text{機構機能}} + \boxed{\text{電子迴路(PCBA)機能}}$$

Step 4 定義系統可靠性區塊：

$$\boxed{\text{機構機能}} = \boxed{\text{保護 PCBA}} + \boxed{\text{維持 PCBA 工作時之散熱}}$$

$$\boxed{\text{電氣回路(PCBA)機能}} = \boxed{\text{傳輸資料}} + \boxed{\text{告知使用者目前系統狀態}}$$

Step 5 列舉出每個區塊之失效型態：

機構方面：暫時性停機、短路、不工作、機件損壞

電氣方面：暫時性停機、不工作、傳輸效率降低

Step 6 選出有效之失效型態：

當機、短路、不工作、機件損壞、效率降低。

Step 7 找出失效模式發生之原因：

機構方面：Cage or Housing 變型、冷焊空焊、缺漏件、過熱、PCBA 移動。

電子方面：Chip 損壞、FLASH Memory Data Loosed、Components 品質不良

Step 8 填寫 FMEA Table

Step 9 將損害程度等級填入 FMEA Table：

將各種失效之可能性、嚴重性、偵測性分三級來評估

### Step 10 檢討解決問題之對策

本論文所研訂出 WLAN AP 之 FMEA 表如表 3-1 所示，由 WLAN AP 系統的失效發生的可能性、嚴重性與可偵測性三方面來探討，得到系統受到熱應力破壞而失效是最需要優先處理的技術問題。

表 3-1 WLAN AP 之 FMEA 分析表

No:	Subsystem	失效模式	失效原因	評估			處理優先順序	對策
				可能性	嚴重性	可偵測性		
1	Mechanical	Holding	Cage or Housing 變型	2	3	3	18	加強抽驗或簡化形狀
		No Power	Cold Solder	1	3	3	9	加強抽驗 PCBA
		No Power	缺漏件	1	3	3	9	Relayout or 改善製程
		Holding	散熱不良	3	3	2	18	改善 Housing or Heatsink
		PCBA 鬆動	PCBA 不良	3	2	2	18	OQC 檢驗時搖動機身
		外觀損壞	包裝不良	1	1	3	3	改善 Packing
2	Electrical	Shutdown	Chip 損壞	3	3	3	27	慎選零組件
		斷訊	Flash Data Loosed	2	3	3	18	慎選零組件
		斷訊 But Restart OK	零件不良	3	2	3	18	慎選零組件
Remark: 可能性，嚴重性與可偵測性:權重 3 代表最強，1 代表最弱。								

所以根據失效模式的優先處理順序，如果 RF 射頻晶片(chip)損壞，則造成系統的永久性失效，所以影響系統的嚴重程度也最大。

### 3-6 WLAN AP 加速壽命試驗

由於近年來資訊產品的生命週期愈來愈短，因此能在短時間推出新產品的人就是贏家。在科技不斷進步的今天，產品的可靠度也隨著顧客對品質的要求相對的被重視，然而可靠度指標水準MTBF必需由產品的壽命試驗數據以獲取；但產品壽命試驗數據的取得，不易依正常的使用環境條件快速地來獲得，尤其對於高壽命的產品而言。因此欲儘速獲取產品之失效數據以推估產品的可靠度值，一般可利用提高對於產品所施加之環境應力值的方式進行產品的加速壽命試驗，以期待產品在短時間內產生失效，以獲取產品壽命試驗數據，再依其失效數據分佈情形來作分析，並推估正常環境應力下之壽命分佈狀況。

加速壽命試驗是應用較正常使用環境更嚴苛的條件，以期待在時間上加速產品的劣化程度，進而推定產品在正常使用狀態下的壽命分佈狀況或其失效率。如果影響產品的劣化程度之條件單純，便很容易來擬定加速壽命試驗計畫。但是產品的失效模式常因承受之嚴苛環境應力不適當，而導致失效模式不同於正常使用條件，且常因產品的失效條件都較為複雜。若要對這些影響失效的因子均同時考慮以進行加速壽命試驗，勢必會因失效模式的不同而使得加速性不成立，也可能發生實用性不佳的加速壽命試驗模式。因此，為求擬定一適當的加速壽命試驗計畫，大都可透過事先了解產品的特性，再予以規劃，以免加速壽命分析無法正確推估正常狀況下之失效狀況。

為了增快產品的上市推出的時機，如何在要在有限的時間內以正常使用條件取得失效數據，而完成產品的可靠度分析，則明顯地有所困難，所以如何在短時間內了解產品的壽命分佈及其可靠度狀況是一重要的課題。由相關文獻中可得知，溫度是一般電子產品最好的加速因子之一，所以溫度加速壽命試驗可達此一目的[5][22]，但常因推

估壽命水準極高，如果在正常環境下使用，常需要好多年與大量樣本才能得知產品壽命。加上產品壽命往往是服從機率分配的型態，存在著某一度的變異，所以要用正常使用的環境條件驗証所推估之壽命的分佈結果是否正確，常面臨許多困難。故本研究動機乃利用一已知壽命之關鍵零組件來訂定產品的約略壽命，擬定一適當的加速壽命測試的方法，期望能在短時間內來獲取失效數據，進行分析數據並建立適當模式以推估正常應力使用下之壽命值。並由驗証試驗與廠商所提供之壽命值來相比對，計算其誤差值且判斷是否落於卡方(Chi-Squared;  $\chi^2$ )分佈的範圍中。

為了能縮短所需測試的時間及花費之資源，可於短時間內評估產品的可靠度，常對產品施加較嚴苛之應力，使產品早期發生失效[2]，所進行之試驗稱為加速壽命試驗[22]。一般而言，加速壽命試驗考慮的因素大多包含有3個要素，分別為環境應力、測試時間及試驗所須之樣本數，如何在3種因素中各選一適當值來進行試驗並依其試驗結果來預估產品可靠度變化情形，則是一重要之課題。

加速壽命試驗的成敗關鍵是如何掌握加速壽命試驗之加速因子(Accelerated Factor)，該加速因子可表示為將高低應力分別施於產品上，觀察產品失效結果與加速試驗的程度，再應用其結果去預估正常使用應力試驗下之壽命。一般標準化的電子零件，其加速壽命參數及可靠度模式，可由美軍軍方標準手冊 (MIL-HDBK-217F)及其相關規範中查得。加速應力試驗分析模式主要是依照所選擇的加速應力之類別與產品工作的模式來決定。一般對溫度敏感的電子產品，都利用熱應力如溫度來做為產品之嚴苛負荷或環境來加速獲得失效數據，其分析的方式則可採阿忍尼斯(Arrhenius) 模式[22]；如為非熱應力敏感的產品，如電壓等，則使用反乘幕法則(Inverse Power Law)模式[29]；

如為複合應力模式(Combination Model)則可利用Eyring 加速壽命試驗模式來估計壽命與加速環境應力間之關係[22]；除此之外，也可利用使用者對產品使用累積之經驗，建立零件所適用之加速壽命之模式，其中加速壽命試驗的方法可分為頻率加速，即增多間歇動作的反覆次數，或以連續反覆動作而謀求頻率加速的有效性，另一方面則是加重動作應力或環境應力，短時間內使製品強制失效的方法，又稱強制劣化試驗[22]。在所施加之嚴苛應力中，通常施加一定應力，但也有使用應力隨時間變化的逐步加嚴應力試驗。應力加速法須慎選應力的種類、大小等。所施予嚴苛應力中包含有環境溫度、濕度、產品所承受之工作應力、電壓及其增多間歇動作的反覆次數等。

所以加速壽命試驗是在物理與時間上，加速產品的劣化速度，以較短的時間試驗，獲取必要之壽命分佈數據，進而予以推估產品在正常使用狀態的壽命或失效率[20]。

若依加速應力分析的過程來區分，一般所使用的加速測試方式有兩種模式，其一為物理模式，其二為統計模式。在物理模式中是對於產品施予較嚴苛應力，再依其失效情況來推估正常使用應力下之壽命分佈，在所施予嚴苛應力中可分為熱應力、非熱應力與複合應力等，所以物理模式就是用來驗證試驗的假設條件中，產品的物理性質的假設是否合理。其二為統計模式，其中若對於產品已有了一些使用經驗，或是已知產品失效分佈相關公式，則可採用貝氏法則(Bayser)，另一方面則是找尋常態應力和嚴苛應力條件二者累積機率函數(Cumulative Distribution Function；簡稱為CDF)之間的關係，稱為時間轉換式[18][22]，所以統計模式就是根據現有已知的資料，來推估未知狀況的方法。

在電子業常用的加速壽命試驗中，最常使用的就是熱應力負載

[6]，一般電子工業就是對其組件採提高溫度的測試法，來加速隨機失效的發生，也可當作不良製品的早夭加速壽命測試，一般許多的化學反應諸如金屬的生鏽、潤滑劑的失效或半導體物質[4]的擴散都符合阿忍尼士定律(Arrhenius Law)。

根據最原始的阿忍尼士定律，當一個物質經由化學反應而變成另一個新物質時，化學家所感興趣的是：新物質的性質與原來物質的性質有何不同、反應發生的速率有多快、以及控制這速率的因素有那些。有關這方面的探討均屬於化學動力學(Chemical kinetics、或稱反應動力學，Reaction kinetics)的領域。一般而言，影響反應速率的因素有四個，即：反應物的本性、催化劑、反應物之濃度及溫度；在工業上試驗部分通常都可控制了反應物本性、催化劑及溫度等變因，探討反應速率的濃度效應，在電子元件產業的可靠度試驗部分，則控制反應物本性、催化劑及濃度，觀察環境溫度對反應速率的影響。

當產品對於使用溫度的改變有著明顯的加速效果時，Arrhenius 模式可用來探討產品反應速度和溫度間的關係，在文獻中也用此方式來討論各種化學變化與溫度的關係。其中溫度變化對於電子產品壽命的影響，有著十分密切的關係，因為電子元件內部的化學變化是隨著溫度變化速度不同而有所改變，例如電解電容內部的電解液會隨溫度增加而導致化學反應速率的增加，化學變化的發生是導致元件快速產生失效的主因，故這種關係在化學上稱做阿忍尼士方程式(Arrhenius Equation)其反應速率與溫度間最初的關係可表示成下式：

$$k = A \cdot \exp \left( -\frac{E_a}{R \cdot T} \right)$$

k為化學反應發生時的反應速率係數(rate coefficient)，A為常數，E<sub>a</sub>為活化能(activation energy)，單位為仟焦耳(Kilo-Joule)，R為理想氣

體常數(universal gas constant)，T為絕對溫度值 (in degrees Kelvin)。R 值常為  $8.314 \times 10^{-3}$  kJoule mole<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>。

所以方程式可表示成

$$G = C \cdot \exp \left( -\frac{E}{B \cdot T} \right)$$

G 為化學反應的反應速率

C 為加速因子常數

E 為化學反應時所需之“活化能量(activation energy)“單位為(電子伏特：eV)

B 為波氏(Boltzman)常數(0.00008623 eV/K)

T 為某加速條件下的絕對溫度

假設能找出某一產品性質Q係數，和產品的壽命值 $\eta$ 之間的某種關係，則該產品的化學反應速率和產品之壽命乘積應該相等於Q，即

$$G \eta = Q$$
$$\eta = \left( \frac{Q}{C} \right) \cdot \exp \left( -\frac{E}{B \cdot T} \right)$$

此處 $\eta$ 代表產品的壽命值，Q 和C，都為常數將上式取對數，可得知

$$\ln(\eta) = U + \frac{E}{B \cdot T}; \text{ 此時 } U = \ln(Q/C)$$

T 為絕對溫度，單位為Kelven，此即為Arrhenius 加速圖紙的由來[22]。

在工業實際的應用上，是將各項資料點繪在特殊設計的圖表上，可利用圖解的方式，很快且容易地求出縱座標是以 $\ln(\eta)$ 為單位，而橫座標單位為 $1/T$ ，將其各點繪置在特殊設計的圖紙之上，找出一條適合的直線，此種圖解法也可用在加速壽命測試之中。

若於嚴苛應力下進行加速壽命試驗，可得2 組數據，則Arrhenius

模型成立時的加速率為

$$AF = (G_1 / G_2) = \left( \frac{\eta_2}{\eta_1} \right) = \text{Exp} \left\{ \left( \frac{E}{B} \right) \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right\}$$

AF為加速率即加速因子(accelerated factor)，代表物質在不同溫度之下相對反應速率的比值，即產品壽命的比值，所以只要知道兩種試驗的條件溫度( $T_1$  、 $T_2$  )，即可得知加速因子A，其中有關於活化能E是分子於發生化學反應作用中，所需具備的最小能量，單位為電子伏特eV(Electron- Volts)，物質的活化能愈大表示物質活性愈小，愈不容易發生化學反應，化學性質愈穩定。所以活化能大的產品，高溫與低溫的反應速率差異愈大，溫度差異所造成的溫度加速因子愈顯著。當試驗的溫度差距範圍不大時，則活化能E 值均可設定為常數[20]，其數值的大小，可利用試驗，將其失效數據繪入 Arrhenius 加速壽命圖紙中可求得。在本試驗中兩種試驗的條件溫度( $T_1$  、 $T_2$  )為( $45^\circ\text{C}$  、 $25^\circ\text{C}$ )，因為 $45^\circ\text{C}$ 是客戶所訂的產品最大工作溫度，所以 $45^\circ\text{C}$ 為最大值，活化能E則以數位交換機的印刷電路板所求到的值 $0.75\text{ eV}$ 為準[22]。

### 3-7 WLAN AP MTBF適合度檢定

假定產品失效數據服從某一種機率分配(即產品壽命或失效率呈現某一特定的機率分配)而所求得其參數之估計方法。分配的假定中，在許多的情形中雖然可以利用某種的事前資訊來設定，但實際上所獲得的數據是否可以套用在由事前資訊假定所建立之壽命機率分配，並不能完全加以保證。因此，假定分配進行可靠性數據解析時，到底假定的壽命分配有無錯誤時，則有需要利用適合度檢定的方法進行確認。

一般業界在產品由雛型機進入小量試產(pilot run)階段時為了得

知較為準確的產品壽命資訊(如故平均障間隔時間或平均失效時間及平均失效率)等，經常會取一定數目的試產階段產品進行壽命試驗，就如同在電子系統產品製造廠常進行的MTBF Demo. Test。一般都是對這些具代表性的試產階段樣本進行壽命試驗(如加速壽命試驗或老化試驗)，所得到的值再透過卡方分配或指數分配等機率分配來換算出產品的平均失效間隔時間或產品的平均壽命。

壽命機率分配的統計檢定從以前學界與業界就一直在研究及應用，一般常使用的檢定法有卡方(Chi-Squared)檢定以及Kolmogorov-Smirnov檢定(以下簡稱K-S檢定)，其K-S檢定法將介紹於附錄五中。

關於卡方適合度檢定，此種假設檢定的測試統計量是由Karl Pearson在1900年首先提出的，卡方統計量是個用途很廣的統計量，能夠應用在許多不同類型的假設檢定中，其步驟如下[20]：

1. 蒐集資料：某一母體有 $C$ 個不同的屬性{ $X_1, X_2, \dots, X_c$ }，茲自此母體中隨機抽出 $n$ 個樣本，令 $O_i$ 與 $E_i$ 分別代表第 $i$ 個區間之失效數觀察值與失效數的期望值，

$$i=1,2,\dots,n \Rightarrow n = \sum_{i=1}^C O_i \quad (i=1..n)$$

2. 檢定假設：令 $F(x)$ 為未知的母體的機率分配函數，及 $F_0(x)$ 為某一完全被表明的壽命機率分配函數，若 $F(x)$ 有某些參數未知，則可由樣本參數估計後的測試統計量代入。此時 $H_0$ 代表虛無假設，虛無假設就是假設母體的失效率 $\lambda$ 為定值，即產品的失效機率密度函數為指數分配。 $H_1$ 代表對立假設，也就是與虛無假設相反的假設，即即產品的失效機率密度函數不服從指數分配。

$$\begin{cases} H_0: F(x) = F_0(x) \\ H_1: F(x) \neq F_0(x) \end{cases}$$

3. 假設檢定的測試統計量：令隨機變數  $X$  抽自此母體，並假設  $P_i = P\{X \in A_i\}$ ， $A_i$  代表資料中的某一特定屬性。在虛無假設  $H_0$  下， $X \sim F_0(x)$ ，即母體的機率分配服從某一已知的機率分配。定義期望值  $E_i = E(x) = nP_i$ ， $i = 1, 2, \dots, c$ ， $E(x)$  代表虛無假設  $H_0$  為真時，資料屬性在  $A_i$  內之期望值個數，進行假設檢定的測試統計量為：

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^c \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

上式在可靠度工程中，為一般較常使用而且比較易於計算的式子。

4. 尋找並判斷拒絕域：接著查卡方分配表，可由卡方分配表中，由相對應的信心水準與試驗中的故障數所求得的自由度，查出拒絕域的  $\chi^2$  臨界值，判斷測試統計量  $\chi^2$  是否被接受域所包含（試統計量  $\chi^2$  不在拒絕域當中），如果被接受域所包含表示無充分理由推翻虛無假設  $H_0$ ，所以接受虛無假設  $H_0$ 。因檢定統計量  $\chi^2$  之精確分配不易求出，在應用上，需考慮大樣本。



### 3-8 WLAN AP 可靠度展示試驗

在可靠度的 MTBF 展示試驗方面，首先選定某一開發階段的 WLAN AP 機種，該機種為西元 2004 年亞洲市場佔有率最高的機種之一，其所使用的 RF Chipset 為 ODM 代工生產客戶的指定用料，亦為美國某一通訊晶片組大廠之台灣代理商所提供之 0.13um(130 奈米)製程的 IEEE802.11x 晶片，在 prototype 階段取樣本 180 台，置放在溫濕度試驗櫃(temperature humidity testing chamber)中進行加速壽命試驗。

為了排除產品的早夭期失效，以免影響壽命試驗的結果，所以待測物在進行壽命試驗之前，先進行環境篩選試驗(environment stress

screening test; ESS test)。對於電子裝置的瑕疵加速篩選而言，NASA 已證明隨機振動(random vibration)與溫度循環(temperature cycling)是最有效率的，其次為預燒篩選試驗(burn-in screening test)[17]。所以這 180 待測物樣本先進行 24 小時的 45°C 預燒篩選試驗(因為產品規格中的最高使用環境溫度條件為 45°C)，在進行 30 分鐘的隨機振動試驗，最後在進行 24 小時的溫度循環試驗，而試驗的條件則是根據 IEC 68-2-14Nb 的規範條件。先進行破壞性較低的預燒篩選試驗及最後進行破壞性高的溫度循環試驗是為了避免累積性破壞對產品的影響。

進行完 ESS test(24 小時的 45°C 預燒篩選)之後，就進行 45°C 的 MTBF 溫度加速壽命試驗。進行 MTBF 加速壽命試驗期間，每一天都檢查 chamber 中 180 台的待測物樣品是否有失效的狀況出現。根據阿忍尼方程式(Arrhenius Equation)在溫度 45°C 下，用一般數位交換機的印刷電路板之活化能為 0.75 eV[22]所求得加速因子為 6.3018 取整數為 6，求得在攝氏溫度 45 度時，加速因子為 6，也就是待測物在攝氏溫度 60 度工作 1 小時相當於常溫攝氏溫度 25 度時工作 6 小時。試驗進行到 MTBF 值為客戶要求的 40,000 小時的定時終止試驗。在試驗中發現有待測物失效時，立即取出並進行與初步的 FMEA 與 FAT 分析與比較。定時終止試驗採用 MIL-STD-781D 的方法，詳細情形在第四章第一節的試驗結果中說明。

### 3-9 RF射頻晶片減額定設計

在產品的設計過程當中，因為考量到將來產品在使用時，產品的零組件會受到使用環境及工作所產生應力的破壞，所以對於施加於零組件上之有限度的電氣應力、熱應力與機械應力實際情況，在產品設計時，就將環境應力設定為低於其特定額定值，稱為減額定(De-rating)。所以減額定設計就是限定零組件在使用時所承受的電氣應力、熱應力或機械應力的值，使零組件在規格書所規定的額定使用環境條件中，具有足夠的設計安全邊界(safety margin)，使失效率降低而提高產品的可靠度。一般電子零組件的減額定參數，電阻為功率，電容為電壓，積體電路為接合溫度(junction temperature)。所以當產品設計階段時，可靠度工程師以應力分析法與熱分析(thermal analysis)法進行可靠度預估，確定應力值合乎減額定的要求，如果發生超應力(over stress)的零組件，則須請研發工程師進行改善。所以假如一個產品預期要能可靠地操作，貢獻因素之一必須是納入實際零件減額定的保守設計方式。

在WLAN AP的研發過程，最常見的就是RF設頻晶片組的溫度的減額定設計。RF射頻晶片在操作時，會有大量的能量耗散(dissipate)在元件中，這些能量會變成熱，使元件溫度升高。若溫度太高，元件則會損壞。熱傳分析在功率元件中相當的重要。

電晶體耗散功率最大的地方是集極和基極接面處，通常也是溫度最高處。在RF射頻晶片的熱傳分析中，如圖3-8所示，我們把此接合溫度(junction temperature)稱 $T_J$ 。 $T_{J\ max}$ 為晶片能承受最高的接面溫度，一般在150到200°C。 $T_A$ 為矽晶片(dies)的環境(surrounding ambiance)溫度； $T_c$ 為RF設頻晶片的環境溫度。 $\theta_{JA}$ 為接面和環境間的熱阻(thermal resistance)。

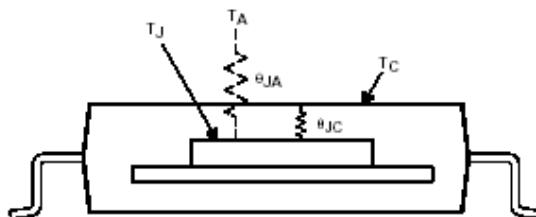


圖3-8 射頻晶片包裝下熱傳導示意圖

RF射頻晶片耗散在晶片的功率 $P_D$ 愈大， $T_J$ 愈高，當環境溫度上升時，RF射頻晶片能承受最大的功率會下降，一般會有一個功率減額曲線(power-de-rating curve)存在，如圖3-9所示。我們可以寫下式：

$$T_J - T_A = \theta_{JA} \times P_D$$

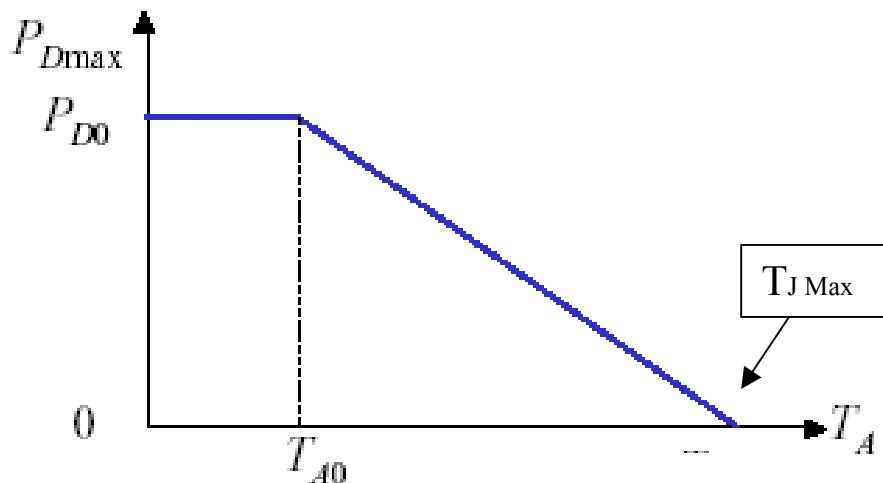


圖3-9 RF射頻晶片的減額定曲線

所以晶片的表面散熱愈好，熱的累積效應愈低，則表示會有較多的輸出電能轉變為晶片的工作效率，而減少廢熱能的產生，所以可以在產品開發時，在晶片表面安裝散熱片(heat-sink)，如圖3-10所示，或增加晶片周圍的通風，藉由空氣流動來防止廢熱的累積，如圖3-11所示。

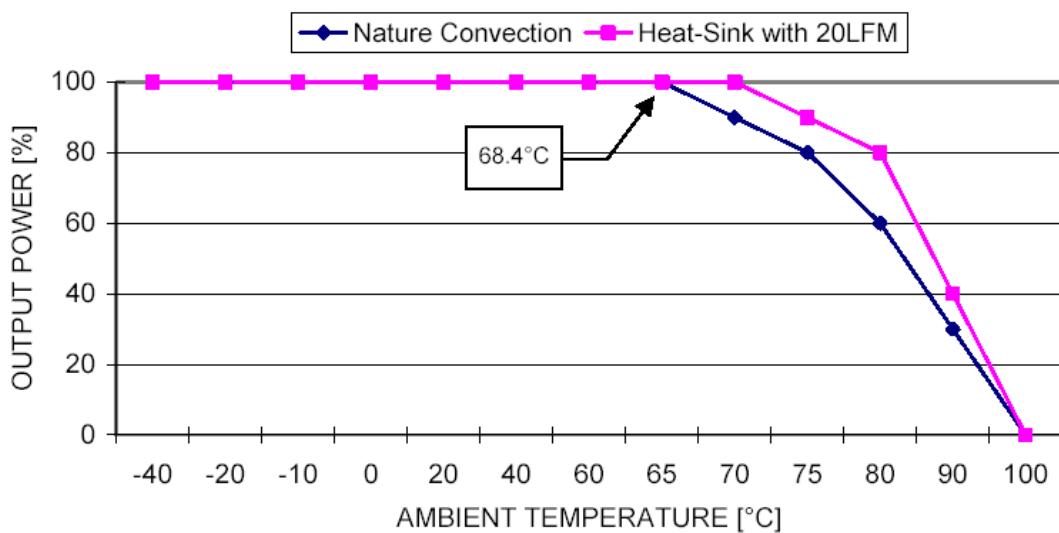


圖3-10 射頻晶片表面加散熱片的減額定曲線

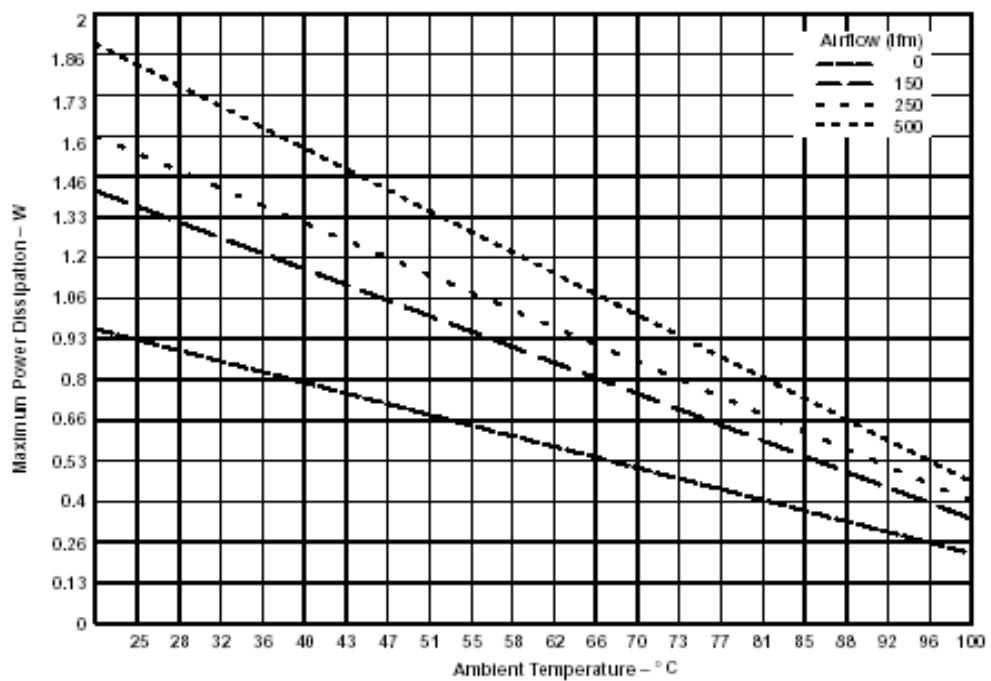


圖3-11 不同氣流下的射頻晶片減額定曲線

在附錄六中顯示每一種常見零組件類型的建議減額定因子，該表中所提供的百分比(%)為減額定參數的額定值，除非用°C與NA標示則會有所不同。溫度減額定是由最大溫度取額定值，除非用別的方法標示則會有所不同。NA表示不適用，指出在開始的狀況下不會達到最大額定水準的狀況。此外兩個額定水準或安全裕度也顯示在下表3-2

中，產品在惡劣條件下操作，稱之為嚴厲水準，例如汽車與飛機的環境；產品在溫和條件下操作，稱之為開始水準，例如辦公室的環境。而根據RF射頻晶片代理商的業務工程師表示，目前推出市面的RF射頻晶片在設計上都採5%的供應電壓與80%的工作電流，溫度則不考慮，即RF射頻晶片工作時的接合溫度不超過125°C就屬正常。

### 3-10 WLAN AP 零件失效物理現象

WLAN AP 系統一定會用到 RF 射頻晶片，RF 射頻晶片在工作時需要發出 2.4GHz 的微波頻率作為通信的信號。而根據布朗克方程式的描述， $E=h*f$ ，其中 E 表示能量，h 為布朗克常數，f 為頻率，原本無線射頻晶片的工作頻率就非常高，有些消耗的電功率能量轉換為熱能(由熱分佈試驗可得知)，使晶片溫度增高而造成晶片在工作當中燒燬，並且會造成 PCBA 印刷線路板受熱而彎曲變型，使得焊接的 BGA 錫球容易斷裂。如果將損壞的樣品經過超音波與染色試驗分析，常發現晶片與印刷線路板焊接的焊錫出現裂錫(solder crack)的情況。

在被動元件失效方面，經研究分析，較常發生的則是控制直流電壓的電解電容器發生爆裂的現象。電解電容器因為本體內部填滿電解液，但是如果電解電容器所在的位置為基板中靠近無線射頻晶片或在高溫的地方，溫度過高時旁邊的零組件的溫度也相對提高，當電解電容器本體包裝的金屬材料受不了內部電解液熱膨脹所產生的壓力時，則會發生爆裂的現象。

而且一般電子與機構零組件的耐受強度與常受到的應力都是服從機率分配，而非呈現某一定值，所以研發工程師在設計產品的時候，也必須考慮到強度-應力干涉理論，如附錄七所示，將零組件的破壞極限給予一個可接受的緩衝變異，以提高系統的可靠度。

## 第四章 結果與討論

### 4-1 可靠度試驗結果

本試驗是根據美國海軍 MIL-STD-781D 標準規範的定時逐次試驗計劃圖形法，如圖 4-1 所示，本次試驗之待測物樣品數為 180 個樣本，即 180 個開發階段之無線網路之基地台雛型機(prototype)，進行平均失效間隔時間展示試驗(MTBF demonstration test)，如研究方法所述，為減少試驗耗費時間及在溫度  $45^{\circ}\text{C}$  下進行加速壽命試驗，如圖 4-2 所示，以求得新產品之平均失效間隔時間，根據阿忍尼斯方程式(Arrhenius Equation)在攝氏溫度  $45^{\circ}\text{C}$  下，數位交換機之印刷線路板活化能為 0.75 eV 所求得加速因子為 6.3818 取整數為 6，也就是說待測物在攝氏溫度  $45^{\circ}\text{C}$  高溫的溫度櫃當中工作一小時的時間相當於常溫攝氏溫度  $25^{\circ}\text{C}$  之下工作 6 小時，在試驗過程中，每天檢查試驗中的待測物功能是否正常，並且彙集成 MTBF 週報，詳細的試驗結果如表 4.1 所示，所以由試驗結果可以得知產品的失效率為常數(constant failure rate)。

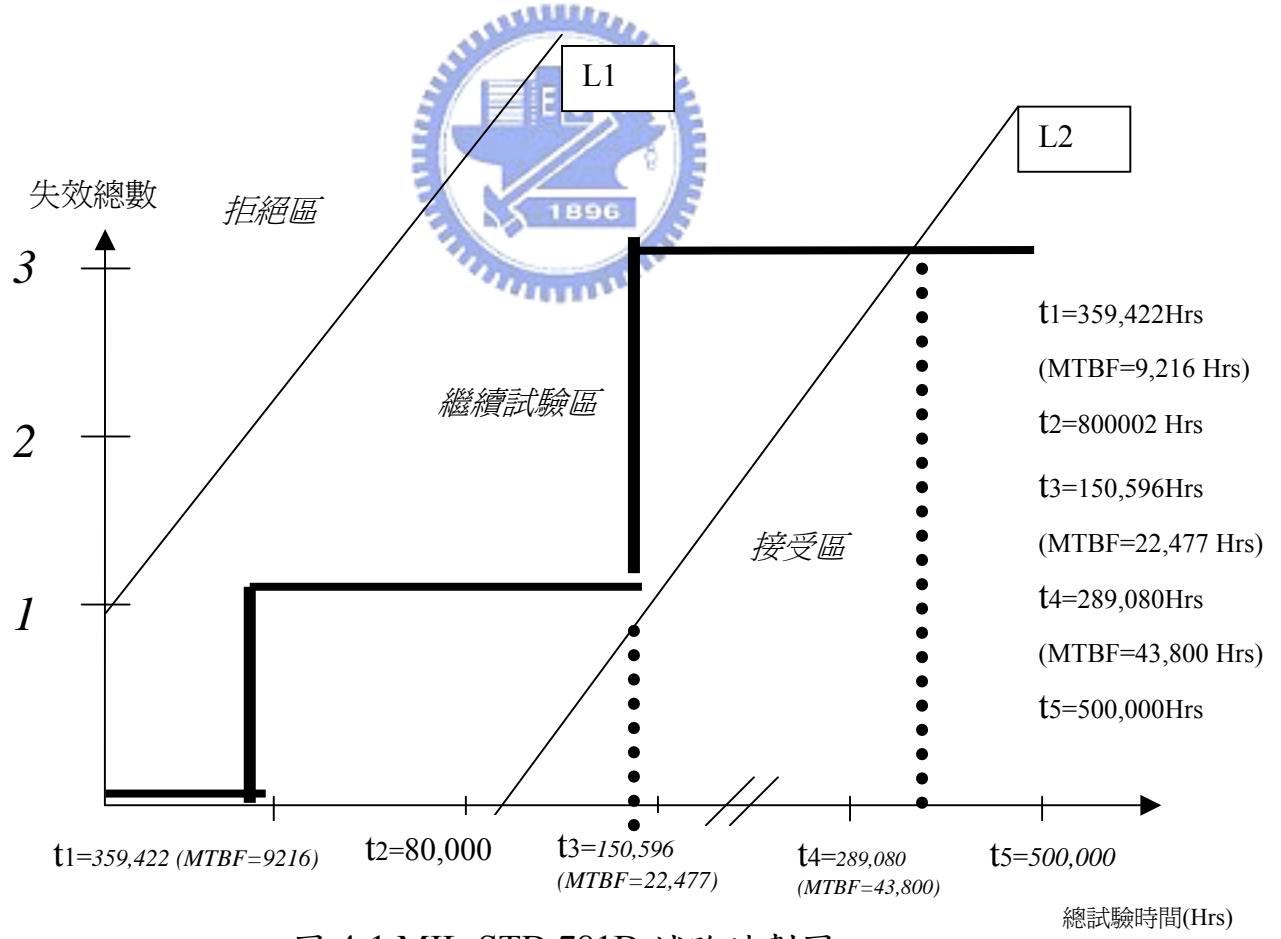
由於要判斷所研究的 WLAN AP 的可靠度是否符合客戶的要求，生產者冒險率  $\alpha$  與消費者冒險率  $\beta$  分別設為 10%，也就是 90% 的信心水準與 90% 的檢測力(power)之下， $\theta_0$  與  $\theta_1$  分別代表生產者與消費者欲達到的壽命(分別為 60,000 與 40,000 小時)。判別率 D(discrimination)為  $\theta_0/\theta_1=1.5$ ，需要進行 4.5 倍產品保固期的總試驗時間，試驗進行 45 天後所求的之待測物之失效間隔時間為 43,800 小時，信心水準為 90%，一共有 3 個樣本在試驗中失效，並且把試驗的結果進行卡方分配的適合度檢定(fitness test)，計算出當有 90% 的信心水準時，因為失效樣品數為 3 台，所以自由度為 8，得到判斷臨界值為 13.4，此時的樞紐量(pivot)為 10.1987，因為採用單尾假設檢定，

所以沒有推翻虛無假設(null hypothesis)，證明假設合理，所以可以接受試驗結果，當產品有 43,800 小時的平均壽命時，會存在 90%的信心水準。在定時試驗計劃圖形法中 L1 與 L2 分別代表拒絕線與接受線，方程式為：

$$\text{拒絕線 } L1 = \ln(\theta_0/\theta_1) / \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_0}\right) \times r - \ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right) / \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_0}\right)$$

$$\text{接受線 } L2 = \ln(\theta_0/\theta_1) / \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_0}\right) \times r - \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right) / \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_0}\right)$$

L1 與 L2 兩條平行線的斜率為  $\text{Slope} = \ln(\theta_0/\theta_1) / \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta_0}\right)$ ，r 為起始整批拒收的不良品個數，即試驗開始時，用以判斷該批樣品允收與否的臨界值。



當試驗的值落在拒絕區，表示整批試驗樣品都不合格，而且有設計上或未篩選過濾出的缺陷，需要整批試驗樣品退回廠內重工(rework)，並且需要準備另一批改善設計的樣品重新進行試驗。當試驗的值落在繼續試驗區表示試驗需要繼續進行，當試驗的值落在接受區表示整批試驗樣品已經達到客戶所要求的產品壽命值，可靠度水準高於客戶的要求，所以可以終止試驗的進行。



表 4-1 MTBF demonstration 試驗結果報告

Model :WLL035 IEEE 802.11 b/g Wireless Access Point Target MTBF :43800 Hrs Failure Rate= 1/43800=0.000022831 Confidence level = 90% Assume the Failure was appeared in the Boundary of inspect point; N=n*6=30*6=180 Pcs														
Test Date	01/06/05'	01/13/05'	01/20/05'	01/27/05'	02/03/05'	02/10/05'	02/17/05'	02/24/05'	03/03/05'	03/10/05'	03/17/05'	03/24/05'	03/31/05'	04/07/05'
Total Test Time(Hrs)	24	192	360	528	696	864	1032	1200	1368	1536	1704	1872	2040	2208
Pi	0.000548	0.003826	0.003811	0.003797	0.003782	0.003768	0.003753	0.003739	0.003725	0.00371	0.003696	0.003682	0.003668	0.003654
ei=N*Pi	0.0986	0.688689	0.686053	0.683426	0.68081	0.678204	0.675607	0.673021	0.670445	0.667878	0.665321	0.662774	0.660237	0.65771
Oi=Defect Quantity	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
ei-Oi	0.0986	0.311311	0.686053	0.683426	0.68081	1.321796	0.675607	0.673021	0.670445	0.667878	0.665321	0.662774	0.660237	0.65771
$Xi = [(ei - Oi)^2 / ei]$	0.0986	0.140723	0.686053	0.683426	0.68081	2.576137	0.675607	0.673021	0.670445	0.667878	0.665321	0.662774	0.660237	0.65771
Cumlated Oi=C	0	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
X-Sq Value in Table (90%;r=2c+2)	4.6	7.8	7.8	7.8	7.8	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
MTBF Hrs	2020.93	9216.825	17281.55	25346.27	33410.99	22477.57	26848.21	31218.85	35589.49	39960.13	44330.77	48701.41	53072.05	57442.69
Sum $Xi = 10.1987 < \text{Chi-Square: } \chi^2 (a=0.9, r=2c+2=8) = 13.4; \Rightarrow \text{Fitness OK}$														



圖 4-2 MTBF 加速壽命試驗



圖 4-3 積體電路燒毀

表 4-2 失效型態統計表

失效型態	電器特性		機構特性		軟體特性	
失效細項	主動元件	被動元件	金屬因素	非金屬因素	驅動程式	作業系統
失效次數	2	1	0	0	0	0
備註	晶片燒燬	電容爆裂				

## 4-2 失效分析

針對失效樣本進行 FMEA 與 FTA 分析，經過 FTA 初步分析，發現失效發生的原因都為電器子系統方面的失效，如圖 4-3 所示。失效統計結果為表 4-2 所示，經過研究分析，WLAN AP 系統失效的柏拉圖如圖 4-5 所示。晶片燒燬是因為無線射頻晶片(RF chipset)在工作時需要發出 2.4GHz 的微波頻率作為通信的信號。而根據布朗克方程式的描述， $E=h*f$ ，其中 E 表示能量，h 為布朗克常數，f 為頻率，原本無線射頻晶片的工作頻率就非常高，有些消耗的電功率能量轉換為熱能，使晶片溫度增高而造成晶片在試驗當中燒燬，而且損壞的樣品經過超音波與染色試驗分析，亦發現晶片與印刷線路板焊接的焊錫出現裂錫(solder crack)的情況。

在被動元件失效方面，經研究分析，則是控制直流電壓的電解電容器發生爆裂的現象。電解電容器因為本體內部填滿電解液，但是這顆電容器所在的位置為基板中靠近無線射頻晶片的地方，無線射頻晶片本來就是一個熱源，溫度過高時旁邊的零組件的溫度也相對提高，當電解電容器本體包裝的金屬材料受不了內部電解液熱膨脹所產生的壓力時，則發生爆裂的現象，如圖 4-4 所示。

再將失模式型態與零件表面熱分佈試驗(thermal profiles test)資料進行比對發現失效發生的元件也是工作溫度較高的元件，證明了熱應力是造成電子系統產品失效的主因。所以根據這些失效發生的原因，經本文研究發現，未來可以由三方面來進行改善，即機構子系統方面，電器子系統方面與軟體方面。在機構子系統方面可以在設計產品的外殼時，儘量增加散熱孔密度，使產品工作時所產生的熱容易散去，進而提高產品的可靠性。在電器子系統方面可以藉由線路佈置(PCBA layout)的方法將產品工作時容易發熱的元件之間的距離拉

長，避免使容易發熱的元件過度集中於某處而造成熱累積，使產品失效。在軟體方面，則可以在撰寫程式的時候，加入封包流量(packet traffic)管制與系統休眠(suspend)的指令集，當封包流量過高時則使晶片頻率降低，封包流量過低時，則系統進入半休眠或全休眠的待命狀態，來維持系統的穩定。

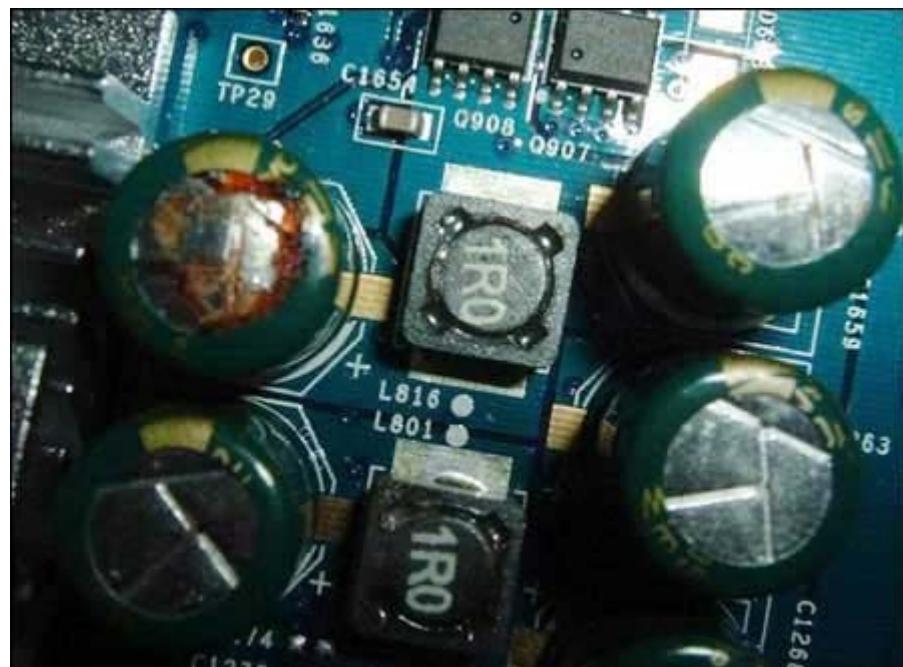


圖 4-4 電解電容器爆裂

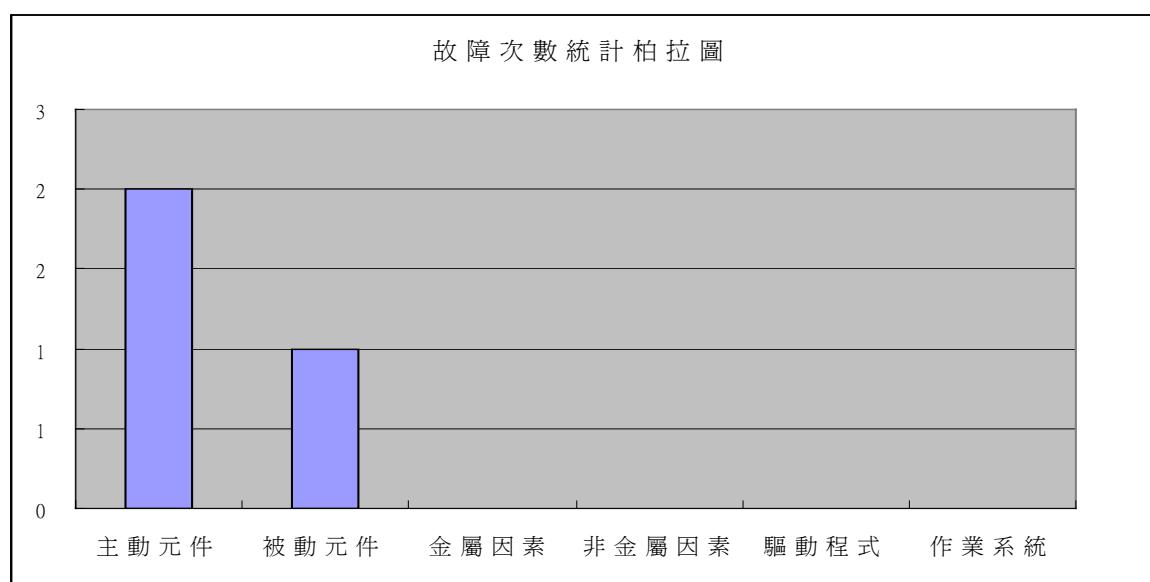


圖 4-5 失效次數統計柏拉圖

## 4-3 討 論

在本次試驗之待測物樣品數(sample size)為 180 個樣本中，失效分析發現有三個樣品(即 3 台 WLAN AP 基地台)在加速壽命試驗當中發生失效，而且經過分析都是電子元件的失效。其中以關鍵零組件中的 RF 射頻晶片燒燬發生兩次，電解電容器爆裂發生一次。

根據物理上的推測分析，依照布朗克(Plank)於 1918 年所導出的方程式的描述， $E=h*f$ ，其中  $E$  表示能量， $h$  為布朗克常數， $f$  為物體所產生的頻率，原本無線射頻晶片工作時，就會發出 2.4GHz 左右的通信電磁波，頻率屬於高頻帶的區間。而 RF 晶片中的矽晶片(dies)與晶片中所內建的石英振盪器因為在收到空氣中的無線電波信號會發生高頻率的共振現象(resonance)，高頻振動容易與 IC 封裝材料發生磨擦而生熱，使得有些消耗的電功率能量轉換為熱能，形成系統的主要熱源，矽晶片與封裝材料的接合面(junction)也因為受到熱應力的破壞，而使接合面斷裂，導致晶片不能工作，使系統失效。所以用 HP 功率量測儀(Power Meter)由天線端量測電磁波的輸出時，則量不到天線輸出功率(antenna power)。證明系統的失效原因是因為 RF 射頻晶片的燒燬所引起的。

另外在電容器爆裂的部份，因為發生爆裂的電容器是位於 RF 晶片旁邊負責控制電源的電解電容，因為電容原本就存在一定的生產良率，有些電容有可能封裝的金屬外殼強度較低。電容器又位於主熱源 RF 晶片旁邊。再加上電解電容的電解液因高溫而發生化學反應，導致化性的改變，並形成高蒸汽壓的液體充滿在電容器內部，當溫度達到某一臨界溫度使電容器無法承受內部的壓力時即發生爆裂，使系統的電源端失效，造成基地台雖然接上電源卻不過電的現象。

本研究用 Bell-Core MTBF Prediction(目前已經改稱 Tele-cordia

prediction)所估算出的 MTBF 值為 110,376 小時(  $\lambda=9.059 \times 10^{-6}$  次/小時 )，如附錄二，而實際取 180 個樣品進行 MTBF Demo. 試驗 45 天所得到的 MTBF 為 43,800 小時 (  $\lambda=2.283 \times 10^{-5}$  次/小時 )，雖然都達到客戶要求的標準，但是兩者相差頗大，經研究發現，因為 MTBF Demo. 試驗都是採時間目標的方式進行，到達 MTBF 目標值就終止試驗的進行，一般常用來驗證產品是否能達到要求的壽命，但是用來預估可靠度的零組件資料庫更新速度沒有新零組件上市速度快，所以預估值有時需要以試驗加以驗證其合理性，因為 MTBF Demo. 試驗只有用 180 個樣品進行 45 天，如果再將試驗時間延長則可以的得知預估值與試驗值的差異。

Bell-Core 只是零件計數法的可靠度預估，環境及工作因素考量不足，亦未考量結構與組裝狀況，所以誤差在所難免。所幸可靠度預估是用在設計過程的可靠度評量，可以隨著設計的進展採用更精確的方法，也可以依據經驗加以修正。

另外由 Bell-Core 進行 MTBF 預估的過程中，發現電解電容器的失效率大於 RF 射頻晶片，但是本研究 MTBF 驗證試驗結果卻發現 RF 射頻晶片失效率卻是電解電容器的 2 倍，如圖 4-6 所示，解釋其可能的原因如下：在 MTBF 預估的過程中，一般的預估軟體無法考慮到系統產品中各個零件的相對位置，因為零件所在的相對位置因為相鄰零件的影響而有不同的熱累積情況，熱應力破壞的情況自然與零件相對位置密切相關。

而根據零件表面熱分佈試驗與減額定設計資料比對的結果，發現有許多零組件在工作時的溫度雖然比零組件的規格書所規定溫度低，但是零組件有可能因為熱能的累積，而導致耗電增加與過熱損壞，所以在進行超音波與染色失效分析試驗時亦發現焊接部份有裂錫

的現象。現有的系統，因未能考慮熱效應，對電子零件之選用，未來宜參考減額定設計的方法，來降低零組件工作的表面溫度，亦可以採所有零件中最嚴格的水準提高系統的可靠度。產品在設計時，可適當設定減額定水準值以確保系統的穩定。

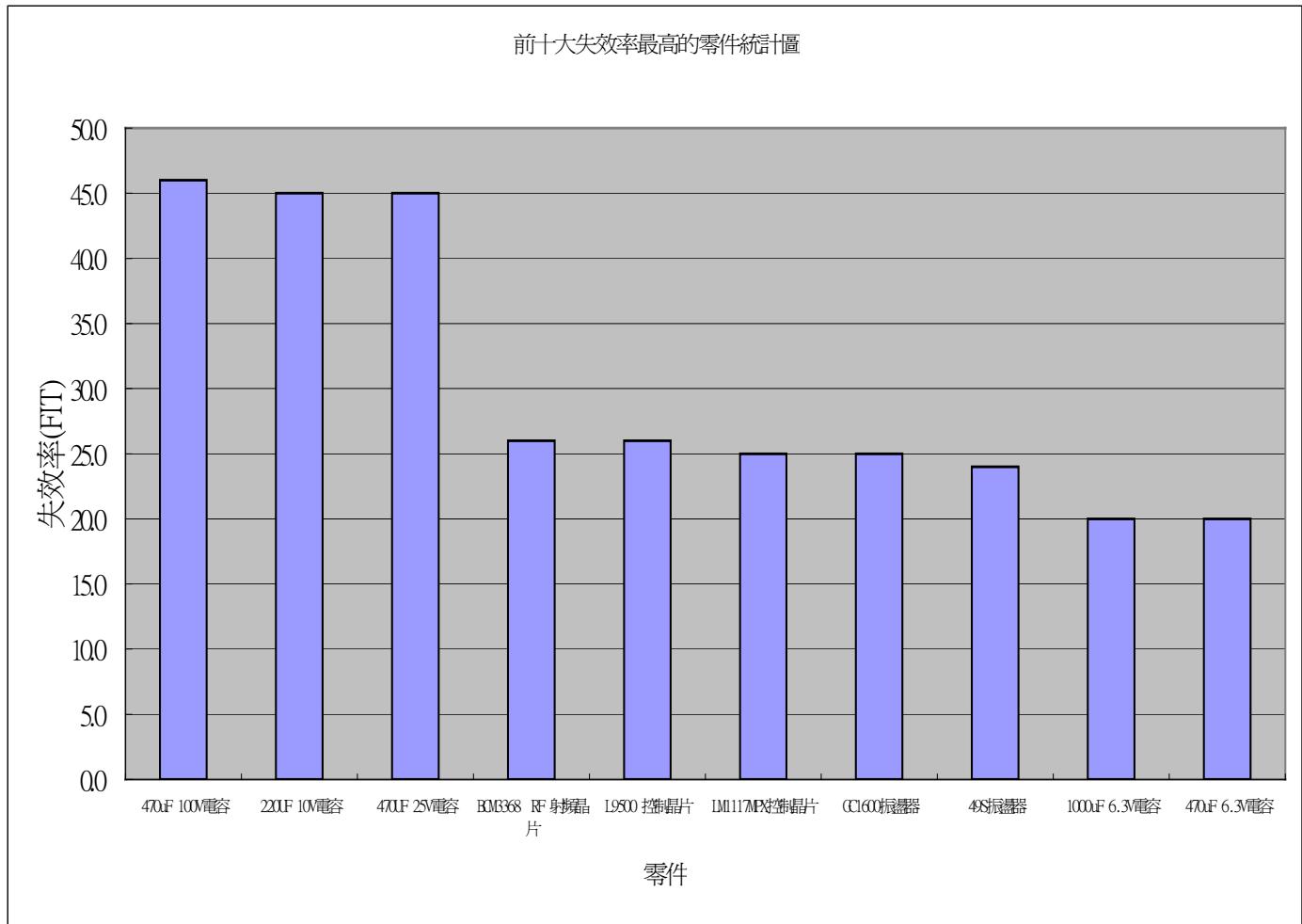


圖 4-6 失效率最高的前 10 大零件統計圖

## 第五章 結論與建議

### 5-1 結 論

從 WLAN AP 的關鍵零組件 RF 射頻晶片的失效情況來看，電子元件在奈米化之後，雖然電功率的消耗降低與導熱性變好，但是晶片單位面積的電晶體密度相對增加，晶片中元件間的距離也減少，導線間距離也拉近，晶片工作時的振動頻率也提高，當晶片工作時，難免發生部份的電能無法轉換成機械能而形成廢熱，此時則應該考慮晶片本身對熱應力耐受的程度，所以可由晶片設計的技術來改善。在量子物理學(A quantum dot)[23]中曾經提出，晶片的耗電量(power consumption)愈大，則漏電流(leakage current)的情況就愈嚴重。晶片表面溫度就愈高，這已可以藉由本研究之零件表面熱分佈試驗(thermal profiles test)的結果得到證實。所以在晶片製程邁入奈米化尺度的今天，可在晶片設計的階段，縮短電晶體射極(source)與集極(drain)的距離，使得電晶體工作時所產生的電阻值(resistance)降低，以減少耗電量，使電晶體較不容易發生短路與漏電流的現象，而減少熱的產生與工作溫度的提高。並從電力消耗與晶片接合點溫度(junction temperature)運用減額定設計(de-rating design)的方法，將晶片工作時的額定的電功率與溫度等應力水準，減低到原來的 70~90%，以直接提高晶片組的可靠度，間接也增加系統的可靠度。

另一方面，則可以對晶片進行溫度循環與電源邊際測試等可靠度試驗，來發現晶片設計階段的缺點進行改進。此外系統產品在 PCBA 線路板的零件位置佈局時，除了考慮線路的單純化之外，應特別注意元件工作時的熱效應。因為散熱管理往往是決定電器系統產品效能高低的關鍵，所以這方面可在產品離型開發時，即進行熱流模擬與分析，並進行零件表面熱分佈試驗，當修改 PCBA 上的零件佈置有所困

難時可以請機構工程師由產品的外觀或用晶片散熱裝置來改善，可以在機殼進行開模射出成型前多在產品機殼的表面開散熱孔，或是在容易造成過熱的零組件上使用散熱膏或固態致冷散熱裝置移除系統工作時所產生的廢熱，避免系統因為過熱而影響可靠度。

因為根據零件表面熱分佈的試驗結果發現，本研究驗證產品使用的環境溫度是決定可靠度的因素之一，所以當系統產品在開發階段時也可採行減額定(de-rating)設計的觀念與方法。也就是對於施加於零件上之有限度的電氣應力、熱應力與機械應力由現有的實例進行評估。先由零件規格書中得知零件所能耐受應力的程度，在產品設計導入階段(design-in)時，將零件所受應力設計為低於其特定額定值，進行減額定設計。因為一個產品預期要能可靠地操作，貢獻因素之一必須是納入實際零件減額定的保守設計方式。而溫度減額定是由最大溫度取額定值，所以先訂產品在溫和條件下操作，稱之為開始水準，例如辦公室的室內環境。再訂產品在惡劣條件下操作，稱之為嚴厲水準，例如汽車與飛機外部的環境。所以在產品的雛型樣品(prototype)研發完成而且功能正常時，即導入減額定設計參數來進行設計改善的工作，最後再由嚴厲水準制定產品的使用環境條件，以降低失效發生的機率，以增加系統可靠度。

當產品在開發設計階段以可靠度預估的方法求出產品壽命之後，則表示該設計為可行的，但是預估所得到的資料只為產品在 prototype 階段研發成功前的靜態資料，再加上預估資料庫更新速度沒有新零組件上市速度快，所以需要進行壽命試驗以佐證估計值的準確性。

根據本研究得到以下的結論：

- 一. 失效物理現象分析可以確實了解產品發生失效的原因，是掌握產品可靠度的基礎科技，要妥善建立應用。
- 二. 可靠度預估無法充分納入所有產品設計與製造之影響因素，所以預估值與可靠度試驗必須進行比對，以了解產品之開發所面臨的實際問題。預估用在設計過程是必要的，但是不能取代展示試驗之驗證結果。
- 三. 本研究發現，電解電容位置靠近高溫零件密集區域，造成失效的問題，應該可藉由資深工程師作 FMEA 而予以預防。
- 四. FTA 為有系統地探索失效問題的工具，根據應用之經驗，既可用於事前之預防，也可用於事後的分析。
- 五. 由試驗過程及結果分析得知，如果產品之可靠度水準高於所要求之水準，則非常適合選用逐次試驗之方式作為判斷接受與否之試驗。
- 六. 以產品可靠度資訊之獲得速度來看，我們可先作失效分析、設計導入、成效預估試驗，然後作展示試驗來確認產品可靠度。所以各種研究分析的方法可以再重新安排搭配。



## 5-2 未來研究建議

本試驗是以加速壽命試驗來驗證產品壽命的預估值，雖然得到合理的結果，但是目前 MTBF 預估的方法與軟體都只考慮電子零件單純的工作環境條件，但是有許多零件的壽命與零件在系統中的所在位置與工作性質息息相關，所以會發生預估結果與驗證試驗結果有所差異的情況。這也是未來可靠度預估軟體需要改善的地方，因為目前熱流模擬軟體與線路佈置軟體已經非常發達，如果可靠度預估軟體能夠與熱流模擬軟體與線路佈置軟體相互結合，則所預估的結果一定更為

精準。而軟體的可靠度方面，因為產品使用軟體的比例也日亦提高，所以軟體可靠度也日益重要，將來在產品設計時，也需要一併將產品軟體可靠度納入考量，才能確保產品的可靠度，所以軟體也是個很值得投入的研究領域。

此外本試驗是純粹以溫度作為無線網路基地台的加速壽命試驗因子，但是目前高加速壽命試驗(HALT)的設備是日益普及，而且因為環保意識的抬頭，使得產品用料上多出許多相關法令的限制，如歐盟通過即將實施的 RoHS 有害物資管理與 Lead-Free 無鉛用料等法令，都是限制有害物質的使用。但是目前環保用料的可靠度資料仍然缺乏，尤其目前生產線在使用符合 RoHS 法規的錫銀銅焊錫取代以往的錫鉛焊錫，使製程溫度提高 40 度左右。這些多出來的熱應力對零組件造成累積性破壞，使產品的可靠度下降與不良率提高，也是將來值得研究的領域。而且系統產品的生命週期也一直在減少，所以將來可利用高加速壽命試驗的方法來驗證無鉛產品的可靠度。



### 5-3 研究貢獻

本研究的試驗是針對開發階段的 WLAN AP 進行可靠度分析與評估。將 WLAN AP 的主要零件如 RF 射頻晶片的失效率進行大膽假設，假設失效率為定值，並配合實際應用在 WLAN AP 系統產品時，所會面臨到可靠度的問題進行預估與驗證試驗。驗證試驗是以溫度作為變數探討溫度與壽命的關連性，較之前元件相關的研究更具廣度，而 RF 射頻晶片相關的系統產品在市面非常多，所以本研究所估計 WLAN AP 無線區域網路基地台的平均壽命與產品失效分析，以供研發人員作為零件選擇與改善設計的參考，而且根據實驗結果所得到的失效間隔時間，則可提供製造廠商與使用者作為決定保固期與汰換時

間的依據。

由本研究的可靠度預估產品壽命與展示試驗得知，產品的預估壽命為 11,0376 小時，其中最脆弱的零件為電解電容與 RF 射頻晶片，實際測試 43,800 小時，試驗中失效樣品亦為 RF 射頻晶片與電解電容，使得試驗值驗證預估的結果。而且將試驗資料進行卡方適合度檢定，結果為顯著，並比對熱分佈試驗結果，證明進行研究時，假設零件失效率為定值的假設條件為正確。

在展示試驗的結果方面亦可了解，雖然由產品壽命預估的結果發現，電解電容的失效率(46 fit)比 RF 射頻晶片的失效率(26 fit)高，但是驗證試驗卻發現反而 RF 射頻晶片的失效率比電解電容的失效率高，經過分析發現是零件在印刷線路板位置因素所造成，所以進行可靠度預估如果考量到零件位置的影響將更為精確。

此外由美國海軍 MIL-STD-781D 標準規範的定時逐次試驗計劃發現，因為 WLAN AP 與其零件的可靠度已達到某一程度，所以逐次試驗可以迅速獲得試驗結果，非常試用在 WLAN AP 與其相關產品的壽命試驗上。

本研究在產品開發階段時，因為未考慮到減額定設計，雖然將樣品進行熱分佈試驗發現結果為合格，但是試驗結果卻與零件的臨界規格接近，而且分析失效的樣品發現，失效樣品有出現 RF 射頻晶片燒毀、電解電容爆裂、焊錫裂錫與印刷線路板受熱彎曲變形等失效物理現象，所以造成零件受熱應力破壞而損毀。若在設計導入階段先進行強度應力干涉分析與減額定設計，則可使產品的可靠度相對提昇。

## 參考文獻(Reference):

1. AirDefense, Inc., "Understanding the Layers of Wireless LAN Security & Management", AirDefense White Paper, 2003.
2. Boulanger, M. & Escobar, L.A.,(1994)" Experimental Design for Class of Accelerated Degradation Tests", *Technometrics*, V.36, pp.260-272.
3. Yang, C.R. and Kim, J. T. , 1995 , "Temperature Accelerated Life Test(ALT) at the Circuit Board Level" , *IEEE/CPMT Elect Manufacturing Technology Symposium* , pp158 ~ 165.
4. Young C.R. , Yoo, J.N. , 1997 , " Assessment of Failure Rate of Printed Board Assemblies by The High Temperature Accelerated Life Test " , *IEEE/CPMT Elect Manufacturing Technology Symposium*, pp 1~ 5.
5. Munkoti, R. & Dhar, P., 1988, "Highly Accelerated Life Testing(HALT) For Multilayer Ceramic Capacitor Qualification" , *IEEE/Transactions on Component, Hybrids. and Manufacturing Technology*. V.11, No.4 , pp342 ~ 345.
6. T. Lo, W. Ting, D. Kwong, J. Kuehne, and C. Magee, "MOS characteristics of fluorinated gate dielectrics grown by rapid thermal processing in O with diluted NF , " *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 11, pp. 511–513, Nov. 1990.
7. T. Ma, "Metal-oxide-semiconductor gate oxide reliability and the role of fluorine," *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 10, no. 4, pp. 469–471, 1992.
8. G. Verma and N. Mielke, "Reliability Performance of FTOX BasedFlash Memories," *Proceeding of international Reliability Physics Symposium*, 1988,p.158
9. K.T. San, C. Kaya, and T. P. Ma, "Effects of Erase Bias on Flash EPROM Device Reliability, " *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol42, January 1995,p150.

- 10.S. Hadded, C.Chang, A. Wang, J. Bustillo,J.Lien,,T.Montalvo, and M.V Buskirk,"An investigation of Erase-Mode Dependent Hole Trapping in Flash EEPROM Memory Cell" *IEEE Electron Device Letters*, Vol.11, November 1990,p.514.
- 11.J. S. Witters et al.," Degradation of tunnel-oxide floating gate EEPROM device and the correlation with high field current-induced degradation of thin gate oxide.", *IEEE Trans. Elect. Dev.* Vol. ED-36, No. 9, P.1663-1682, 1989
- 12.S. S. Chung and C. M. Yih, "A New Oxide Damage Characterization Technique for Evaluating Hot Carrier Reliability of Flash Memory Cell after P/E Cycles." *In Symp. On VLSI tech.*,pp. 111-112,1997.
- 13.可靠性方法與應用,陳耀茂 編著,雙葉書廊,1998.
- 14.Chiao, C.H. & Hamada, M.,(1996),"Robust Reliability for Light Emitting Degradation Measurements", *Quality & Reliability Engineer International*, V.12, pp.89-94.
- 15.Lawless, L. F.,(1983) "Statistical Method in Reliability", *Tech-nomeetrics*, V.25, pp.305-315.
- 16.Kapur, K. C and Lamberson, L. R., 1977 , *Reliability Engineering Design* , John Willey & Sons, New York.
- 17.Ramakumar R., *Engineering Reliability Fundamentals and Applications*, PTR Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- 18.Nelson, W. , 1990 , Accelerated Testing Statistical Models , Test Plans and Data Analyses , A Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY& SONS Inc.
- 19.L. Vishnubhotla et al., "Mobility and reliability improvements of fluori-nated gate oxide for VLSI technology," in Proceedings of the Int. *Symp. on VLSI Technol.*, Sys., and Appl., 1995, pp. 44-48.

20. 可靠度工程課程講義，張起明，國立交通大學可靠度工程, 2006
21. IEEE Std. 802.11-1999, “IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Network:-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications”, IEEE, 1999.
22. 可靠度保証-工程與管理與技術之應用，柯輝耀，中華民國品質協會，1999.
23. Richard Turton, 李雅明 譯“The Quantum Dot.” 天下文化出版社, 2000



# 附錄一 平均失效間隔時間預估結果資料

## Reliability MTBF Prediction Sheet

Model	WLL035	II E: 1
Standard	Telecordia SR-332 Issue 01, GB, GC	BOM Ver: MA0
Unit Ambient Temperature	45 °C	Date: 2005/01/06

MTBF Value :110376 Hours

Document Version	Ver 1.0	Issue Date: 2005/01/06
------------------	---------	------------------------

Phase	N/A	Author: Avril Tseng
-------	-----	---------------------

Part Number	Description	Qty	λ b	π E	π Q	λ P	λ P*QTY
1800-00213A	E/C,470uF 100V +-20%	6	46.0	1.2	5.9	325.68	1954.08
1800-00068A	E/C,220UF 10V +-20%	5	45.0	1.2	5.9	318.6	1593
1800-00080A	E/C,470UF 25V +-20%	6	45.0	1.2	5.9	318.6	1911.6
1000-012400	IC,PBGA316,BCM3368 WLAN RF Chip	1	26	3.3	1.0	85.8	85.8
1000-01042A	IC,PLCC28,L9500,High-Voltage Ringing SLIC for VoIP Application	1	26	3.3	1.0	85.8	85.8
1012-001770	IC,SOT-223,LM1117MPX-1.8,800MA VOLTAGE REGULATOR	1	25	3.3	1.0	82.5	82.5
2000-000760	X'TL,SMD,GC1600006,16MHz 18pF +-30ppm	1	25.0	1.0	1.0	25	25
2000-005380	X'TL,49S(DIP),24MHZ 20PF +-15PPM	1	24.0	1.0	1.0	24	24
1800-00256B	E/C,DIP,ELZ108M010T1A6H160,1000uF 10V +-20%	1	20.0	1.2	5.9	141.6	141.6
1800-00474A	E/C,DIP,ELZ477M6R3T2A6E110,470uF 6.3V +-20%	1	20.0	1.2	5.9	141.6	141.6
1011-007520	IC,TSOP II 54, HY57V281620HCT-H, 133MHz 8M*16 SDRAM 3.3V	1	19	3.3	1.0	62.7	62.7
1011-008800	IC,TSOP56,TE28F320J3C110,3V 32MBIT INTEL STRATAFLASH MEMORY	1	18	3.3	1.0	59.4	59.4
1011-00736A	IC,TSOP II 44,IS61LV6416-10T,10ns 3.3V 64K*16 HIGH-SPEED CMOS SRAM	1	18	3.3	1.0	59.4	59.4
1001-000060	IC,SMD,SN75240,TRANSIENT SUPPRESSOR 1B96	1	15	3.3	1.0	49.5	49.5
1007-00433A	IC,SO16,MM74HC4052MX,DUAL 4-CHANNEL ANALOG MULTIPLEXER	1	15	3.3	1.0	49.5	49.5
1007-005210	IC,US8-8,NC7SZ74K8X,TINYLOGICTM UHS D-TYPE FLIP-FLOP WITH PRESET AND CLEAR	1	15	3.3	1.0	49.5	49.5
1012-004210	IC,SOP8,MP1580HS,4.75~25V 2A STEP-DOWN SWITCH-MODE REGULATOR	1	15	3.3	1.0	49.5	49.5
1013-000490	IC,SOT23,NC7SZ04M5X,TINYLOGICTM UHS INVERTER	1	15	3.3	1.0	49.5	49.5
1016-000200	IC,SOT-23,MAX809S,3-Pin Microprocessor Rest Monitors	1	15	3.3	1.0	49.5	49.5
1099-001450	IC,SOP8,TISP6NTP2ADR,P-GATE OVERVOLTAGE PROTECTORS	2	15	3.3	1.0	49.5	99
1800-00497A	E/C,DIP,470uF 10V +-20%	2	10.0	1.2	5.9	70.8	141.6
1800-00528A	E/C,DIP,ESM477M035T1A5H150,470uF 35V +-20%	1	10.0	1.2	5.9	70.8	70.8
2106-000030	TACT SW 4PIN(TS-01PV-130)	2	8.0	1.0	1.0	8	16
1900-001160	FERRITE BEAD,SMD,AMB1608R601NT,0603 600R +-25%	30	7.0	1.0	1.0	7	210
1900-001210	FERRITE BEAD,SMD,AMC3216Q500NT,1206 50R, +-25%	2	7.0	1.0	1.0	7	14
1900-002190	FERRITE BEAD,0805,60R +-25%	2	7.0	1.0	1.0	7	14
1901-001310	FERRITE CHOKE,DIP,RL1010-100K,10uH +-10%	1	7.0	1.0	1.0	7	7
1901-001560	FERRITE CHOKE ,,,,WBC0610R6H	2	7.0	1.0	1.0	7	14
1901-002660	INDUCTOR COIL,DIP,100uH +-10%	1	7.0	1.0	1.0	7	7
1901-002990	CHOKE INDUCTOR,DIP,15uH +-10%	3	7.0	1.0	1.0	7	21
1902-004070	DIPLEXER,DIP,PASSBAND:5~65MHZ 88~860MHZ	2	7.0	1.0	1.0	7	14
1203-000170	T/F,SMD5,ARI235TR0502T,1CT:1	1	4.0	1.4	1.0	5.6	5.6
1205-000070	T/F,SMD16,LF-H41S,T/R=(1:1)(1:1)	1	4.0	1.4	1.0	5.6	5.6
1302-000110	VARISTOR,0402,V0402MHS03,42V 3pF	5	4.0	1.7	1.0	6.8	34
1500-000670	TRANSISTOR,SOT-23,PNP,MMBTA92	2	4.0	1.7	1.0	6.8	13.6
1500-001180	TRANSISTOR,SMD,2SB1188,IC=-2A VCE=-32V PNP 0.5W	2	4.0	1.7	1.0	6.8	13.6
1501-00029A	TRANSISTOR,SOT23,MMBTA42LT1,300V 500mA NPN	2	4.0	1.7	1.0	6.8	13.6
1502-000660	TRANSISTOR,SOT252,MTD6P10E	2	4.0	1.7	1.0	6.8	13.6
1599-000390	TRANSISTOR,SOT363,MBT3946DW1T1	2	4.0	1.7	1.0	6.8	13.6

1601-000220	DIODE,DIP,1N5400,50V 3A	1	3.0	1.7	2.4	12.24	12.24
1601-000280	DIODE,SMD,ES2D,2A 200V	2	3.0	1.7	2.4	12.24	24.48
1601-000370	DIODE,SOT23,BAV99,Switching DIODE	3	3.0	1.7	2.4	12.24	36.72
1601-001240	DIODE,SMD(SMA),B340A,3A 40V	1	3.0	1.7	2.4	12.24	12.24
1601-001650	DIODE,SOT23,MMBD7000LT1,100V 200MA,DUAL SWITCHING DIODE	4	3.0	1.7	2.4	12.24	48.96
1603-001010	LED,DIP,(G),3 1/2 *4,L-934ZP/4GD-RV	1	3.0	1.7	2.4	12.24	12.24
1603-001340	LED(G)*3,DIP,3 1/2 ,L-934ABB/3GD-RV	1	3.0	1.7	2.4	12.24	12.24
<b>1000-012410</b>	<b>IC,SMD,BCM3420,SILICON DIGITAL CABLE TUNER</b>	<b>1</b>	<b>2.6</b>	<b>3.3</b>	<b>1.0</b>	<b>8.58</b>	<b>8.58</b>
2404-001030	PHONE JACK 8P8C,(E5388-E00212)	3	1.6	1.0	1.0	1.6	4.8
2404-00042A	PHONE JACK 6P4C(DBK)(E5564-80A012)	2	1.2	1.0	1.0	1.2	2.4
2407-000010	USB JACK,DIP,E8144-B01321	1	1.2	1.0	1.0	1.2	1.2
1705-000030	0603*4,YC164-JR-0733R,8PIN-4R 1/16W 5% 33R	4	1.0	2.5	1.8	4.5	18
1705-00003A	0402*4,8PIN-4R 33R 1/16W 5%,YC124-JR-0733R	4	1.0	2.5	1.8	4.5	18
1802-001540	M/C,0805,0.068uF 50V +-10%	2	1.0	1.4	4.0	5.6	11.2
1802-00166F	M/C,0805,CC0805ZRY5V8BB224(Lead-Free),0.22uF 25V +80%-20%	3	1.0	1.4	4.0	5.6	16.8
1802-00175A	M/C,0805,0805B474K160BP,0.47uF 16V +-10%	2	1.0	1.4	4.0	5.6	11.2
1802-00197C	M/C,0805,CC0805MKY5V8BB105(Lead-Free),1uF 25V +20%	1	1.0	1.4	4.0	5.6	5.6
1802-00298G	M/C,1206,CC1206ZKY5V7BB475(Lead-Free),4.7uF 16V +80%-20%	2	1.0	1.4	4.0	5.6	11.2
1802-003200	M/C,1812,C1812Y474M251T(Lead-Free),0.47uF 250V +-20%	2	1.0	1.4	4.0	5.6	11.2
1802-00349G	M/C,0603,CC0603JRN09BN270(Lead-Free),27pF 50V +-5%	2	1.0	1.4	4.0	5.6	11.2
1802-00351B	M/C,0603,CC0603JRN09BN330(Lead-Free),33pF 50V +-5%	6	1.0	1.4	4.0	5.6	33.6
1802-00354G	M/C,0603,CC0603JRN09BN470(Lead-Free),47pF 50V+-5%	2	1.0	1.4	4.0	5.6	11.2
1802-00378F	M/C,0603,CC0603JRN09BN471(Lead-Free),470pF 50V +-5%	9	1.0	1.4	4.0	5.6	50.4
1802-00387H	M/C,0603,CC0603KRX7R9BB102(Lead-Free),1000pF 50V +-10%	22	1.0	1.4	4.0	5.6	123.2
1802-00397A	M/C,0603,CC0603KRX7R9BB332(Lead-Free),3300pF 50V +-10%	7	1.0	1.4	4.0	5.6	39.2
1802-00401A	M/C,0603,0603B472K500NT,4700pF 50V +-10%	2	1.0	1.4	4.0	5.6	11.2
1802-00418H	M/C,0603,CC0603KRX7R7BB473(Lead-Free),0.047uF 16V +-10%	7	1.0	1.4	4.0	5.6	39.2
1802-00424J	M/C,0603,CC0603KRX7R9BB103(Lead-Free),0.01uF 50V +-10%	7	1.0	1.4	4.0	5.6	39.2
1802-004490	M/C,0603,1uF 16V +80%-20%	3	1.0	1.4	4.0	5.6	16.8
1802-00506B	M/C,0402,220PF 50V +-10%	1	1.0	1.4	4.0	5.6	5.6
1802-006110	M/C,0603,5600pF 50V +-10%	1	1.0	1.4	4.0	5.6	5.6
1802-007530	M/C,0603,CC0603KRX7R9BB822(Lead-Free),8200pF 50V +-10%	1	1.0	1.4	4.0	5.6	5.6
1802-007670	M/C,1206,LMK316F226Z(Lead-Free),22uF 10V +80-20%	4	1.0	1.4	4.0	5.6	22.4
1802-00805A	M/C,1206,CC31F1E106Z-TSM,10uF 25V +80%-20%	1	1.0	1.4	4.0	5.6	5.6
1802-008170	M/C,0805,CC0805JRN00BN102(Lead-Free),1000pF 100V +-5%	4	1.0	1.4	4.0	5.6	22.4
1802-00839A	M/C,0805,JMK212BJ475MG-T,4.7uF +-20%	12	1.0	1.4	4.0	5.6	67.2
1802-00860A	M/C,0603,CC0603JRN09BN100(Lead-Free),10pF 50V +-5%	2	1.0	1.4	4.0	5.6	11.2
1802-009480	M/C,1206,CC1206KRX7R0BB104(Lead-Free),0.1uF 100V +-10%	8	1.0	1.4	4.0	5.6	44.8
1802-01114A	M/C,0603,CC0603GRNP09BN181(Lead-Free),180pF 50V +-2%	1	1.0	1.4	4.0	5.6	5.6
1802-01116A	M/C,0603,CC0603GRNP09BN151(Lead-Free),150pF 50V +-2%	12	1.0	1.4	4.0	5.6	67.2
1802-01240X	M/C,0603,CC0603JRN09BN221(Lead-Free),220pF 50V +-5%	4	1.0	1.4	4.0	5.6	22.4
1802-01309A	M/C,1206,CC1206MRY5V7BB106(Lead-Free),10uF 16V +-20%	23	1.0	1.4	4.0	5.6	128.8
1802-01318X	M/C,0603,CC0603ZRY5V8BB104(Lead-Free),0.1uF 25V+80%-20%	111	1.0	1.4	4.0	5.6	621.6
1805-000180	C/C,DIP,CD1010F103Z2KVA5S525,0.01uF 2KV +80%-20%	1	1.0	1.4	4.0	5.6	5.6
2406-000190	1*4P WAFER,DIP,P:2.0,2420-04ST1	2	0.8	1.0	1.0	0.8	1.6
1702-00024J	R,0603,RC0603JR-070R(Lead-Free),1/10W 5% 0R	9	0.5	1.4	1.0	0.7	6.3
1702-00038G	R,0603,RC0603JR-0722R(Lead-Free),1/10W 5% 22R	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-00044F	R,0603,RC0603JR-0733R(Lead-Free),1/10W 5% 33R	9	0.5	1.4	1.0	0.7	6.3
1702-00057G	R,0603,RC0603FR-0775R(Lead-Free),1/10W 1% 75R	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-00064F	R,0603,RC0603FR-07110R(Lead-Free),1/10W 1% 110R	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-00075A	R,0603,RC0603FR-07180R,1/10W 1% 180R	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-00096F	R,0603,RC0603JR-07300R,1/10W 5% 300R	9	0.5	1.4	1.0	0.7	6.3
1702-00117G	R,0603,RC0603JR-07470R(Lead-Free),1/10W 5% 470R	4	0.5	1.4	1.0	0.7	2.8
1702-00160A	R,0603,RC0603FR-074K75,1/10W 1% 4.75K	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-00178F	R,0603,RC0603JR-071K5(Lead-Free),1/10W 5% 1.5K	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-00186O	R,0603,1/10W 5% 2.7K	3	0.5	1.4	1.0	0.7	2.1
1702-00189F	R,0603,RC0603FR-073K6(Lead-Free),1/10W 1% 3.6K	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-00194G	R,0603,RC0603JR-074K7(Lead-Free),1/10W 5% 4.7K	8	0.5	1.4	1.0	0.7	5.6
1702-00214A	R,0603,RC0603FR-0717K4,1/10W 1% 17.4K	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-00242A	R,0603,RC0603FR-071K,1/10W 1% 1K	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-00251B	R,0603,RC0603FR-0710K,1/10W 1% 10K	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7

1702-00252J	R,0603,RC0603JR-0710K(Lead-Free),1/10W 5% 10K	12	0.5	1.4	1.0	0.7	8.4
1702-00259G	R,0603,RC0603JR-0715K(Lead-Free),1/10W 5% 15K	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-00262F	R,0603,RC0603FR-0720K(Lead-Free),1/10W 1% 20K	8	0.5	1.4	1.0	0.7	5.6
1702-00417A	R,0603,RC0603FR-0751R,1/10W 1% 51R	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-00418A	R,0603,RC0603FR-07430R,1/10W 1% 430R	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-00461B	R,0603,RC0603JR-071K(Lead-Free),1/10W 5% 1K	8	0.5	1.4	1.0	0.7	5.6
1702-00545B	R,0603,RC0603FR-07267K(Lead-Free),1/10W 1% 267K	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-00589F	R,0603,RC0603FR-07100K(Lead-Free),1/10W 1% 100K	14	0.5	1.4	1.0	0.7	9.8
1702-00690A	R,0805,RC0805FR-0749R9,1/8W 1% 49.9R	4	0.5	1.4	1.0	0.7	2.8
1702-007100	R,0805,1/8W 5% 0R	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-007460	R,0805,1/8W 5% 75R	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-01052A	R,0805,RC0805FR-071K,1/8W 1% 1K	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-011980	R,0805,1/8W 5% 10M	4	0.5	1.4	1.0	0.7	2.8
1702-012200	R,1206,1/4W 1% 49.9R	4	0.5	1.4	1.0	0.7	2.8
1702-013590	R,0603,RCT034123FTP,1/10W 1% 412K	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-016890	R,0603,1/10W 1% 162K	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-016940	R,0603,1/10W 1% 383K	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-01891A	R,0603,RC0603FR-07390R,1/10W 1% 390R	5	0.5	1.4	1.0	0.7	3.5
1702-01939A	R,0603,RC0603FR-0756R,1/10W 1% 56R	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-019880	R,0603,1/10W 1% 5.36K	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-01989A	R,0603,RCT036192FTP,1/10W 1% 61.9K	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
1702-02077A	R,1206,RC1206FR-070R,1/4W 1% 0R	1	0.5	1.4	1.0	0.7	0.7
1702-02179A	R,0805,RC0805JR-071M(Lead-Free),1/8W 5% 1M	2	0.5	1.4	1.0	0.7	1.4
2410-00003D	POWER JACK,DIP,TK18-001,6.3 § 2.1mm	1	0.4	1.0	1.0	0.4	0.4
3037-000412	PCB,PKE220VB-D17, ID:37-000062 REV2	1	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2



## 附錄二 零件表面熱分佈試驗結果數據

THERMAL PROFILES TEST DATA FORM						
UNIT TESTED : 1 S/N:			PAGE _____ OF _____			
ENGINEERING SPECS: WLL035 with 802.11g Mini-PCI			DATE :2005/06/01			
F/W: BOM Ver.XP BOM			LAB NAME : RE			
TEST SPECS :			TEST BY : Johnson Wang			
TEST PROCEDURE :			CHK BY : K.Y. Chen			
TEST EQUIPMENT USED : YOKOGAWA Thermal Couple RecordKSON Temperature-Humidity. Chamber						
REF #	Component (Reference /Description)	Test Condition & Result: 24Hrs Result: (°C)			Standard Operating Temp. (°C)	Remark
		45°C 95%RH	55°C 90%RH	60°C 90%RH		
1	U3 BCM3368	84.2			85	
2	U9 BCM5325	83.1			85	
3	Q2 2SB772	77.1			70	
4	Q3 2SB772	78.7			70	
5	U4 MC34063A	58.2			70	
6	U7 24438161	66.8			70	
7	U23 MP5308	61.9			70	
8	C11 100V 470uF	101.3			105	
9	U22 MC34063A	62.0			70	
10	U17 BCM3416	93.1			125	
11	U18 BCM3401	71.1			75	
12	U11 BCM3406	71.5			75	
13	U1 BCM2050	68.8			70	
14	Cage of Mini-PCI	65.3			70	
15	Surface of Housing	63.0			70	
COMMENTS : The testing sample was in the ping mode during the test 4% Loss. .(with lynsis housing) .						
SNR, Down Stream Power, Up Stream Power(Before/Past Test):						
TEST RESULTS : ( V ) ACCEPTABLE				( ) FAILED		

### 附錄三 失效模式效應分析法(FMEA)

FMEA 是一項最直接而且非常成熟的可靠度分析工具，這種技術起源於 1950 年代，被廣泛應用在在產品開發、設計、製造及維修過程中的一項預防性分析工作。針對特定的產品性質特徵，推估產品所可能發生的問題，進而深入探究這些問題對產品所造成的影响、影響的程度、發生的原因、發生的頻率及問題發生後被使用者檢知的難易度等，協助研發設計人員及早發現產品設計上的弱點造成潛在性的缺陷進而進行改善，使產品更容易達成設計目標及合乎顧客的要求。

FMEA 是一門古老的的技術，因其對產品品質與可靠度有實質的助益，故持續應用於不同產業，並累積修正與改進，形成現時普遍使用型態，其演進的歷史如下：

1950 年，美國 Grumman 飛機公司首先提出 FMEA，應用於飛機主要操控系統的失效分析工作。

1957 年，波音(Boeing)與馬丁(Martin Marietta)公司正式在其工程手冊中列出 FMEA 之作業程序。

1960 年代初期，美國航空太空總署(NASA)將 FMEA 的系統方法成功地應用於航空太空發展計畫。

1974 年，美國軍方出版軍用 FMEA 標準作業程序 MIL-STD-1629，又於 1980 年改版為 MIL-STD-1629A，它至今仍為全球重要之 FMEA 參考標準規範之一。

1985 年，國際電工技術學會 IEC(International Electro technical Commission)修改 MIL-STD-1629A，出版國際標準規範 IEC-812。此外，ISO 9000 及歐盟產品 CE 標誌，也將 FMEA 的方法運用視為重要的設計管計與安全分析方法。

在 1970 年代，美國汽車工業受到石油危機與國際間強大的競爭

壓力，不得不導入可靠度工程技術，以提高產品品質與產品的系統可靠度，FMEA 即為當時所使用的工具之一。

1980 年代以後，許多汽車公司開始發展內部之 FMEA 手法，引進了定量評點法去評估潛在失效，而與美軍標準規範漸有差別。隨後汽車業更將 FMEA 方法應用到製程上。就分析對象之不同，汽車業建立「設計失效分析 Design FMEA」與「製程失效分析 Process FMEA」兩套程序，並開始要求零組件供應商採用來分析所生產零件之設計與製程。後來由於各汽車公司的規定不盡相同，卻紛紛要求推行 FMEA 下，零件供應商的額外負擔額外沉重。為改善此一現象，在美國品管學會(ASQC)的贊助下，北美三大汽車 Ford、Chrysler、General Motor 等的「汽車互助團;AIAG」，致力整合各汽車公司之規範與表格的統一。

1993 年，在歷經數年的努力後，AIAG 終於完成「潛在失效模式與效應分析參考手冊」。藉由此份手冊的指導，汽車工業統一了 FMEA 失效分析的標準作業程序與表格，並且奠定了 FMEA 在工業界的地位。

1995 年，FMEA 參考手冊完成修定二版，並成為 SAE 的正式技術文件 SAE J-1739。

2003 年，高科技電子產業導入 FMEA 的方法。例如，半導體業的產業特性為產品生命週期短、交期快，市場變動快、風險高、競爭對手多、價格競爭激烈、製程複雜、研發需求強、產品少量多樣化與技術能力密度高。半導體晶圓製廠維持競爭優勢的關鍵之一即為製程技術、生產效率和產品良率。將 FMEA 的手法導入於製程技術中，作為半導體製程技術研發與改善有極大的助益。

FMEA 實施的時機可從產品的整體壽命週期來探討，大體來說

FMEA 可分成四個階段：

階段一：設計導入階段(Design-In)。

階段二：雛型開發階段(Prototype or Engineering Sample)。

階段三：製造生產階段(Mass Production or Manufacture)。

階段四：客訴階段(After Service)。

階段	功能
設計導入階段(design-in)	1. 發現所有可能的失效模式。 2. 以現有技術進行設計變更。 3. 決定是否採用高可靠度的零組件。
雛型開發階段(prototype)	1. 找出明確失效原因並進行改善。 2. 零組件用料之確認。 3. 產品壽命,強度與功能確認。
製造生產階段(mass production)	1. 對製程缺失進行工程變更。 2. 用 FMEA 制定標準作業規範。
客訴階段(after service)	用 FMEA 改善產品使用所產生的問題。

FMEA 階段功能表

FMEA 是一項以失效型態為討論重點的支援性與輔助性的可靠度分析技術。利用表格方式來進行工程分析，使產品在設計階段與製程規劃時，早期發現產品可能出現的缺陷及影響程度以更即早提出解決之道。FMEA 是一種系統化之工程設計輔助工具，於 QS9000 中，因分析的對象不同，分成了「Design FMEA」及「Process FMEA」。FMEA 為歸納法之應用，根據零組件的失效資料，由下而上推斷系統的失效模式及其效應，它是一種向前式推演的方法。

目前國際間採用 FMEA 之情況有：

1.ISO 9004 8.5 FMEA 作為設計審察之要項，另外失效樹分析法(FTA)亦是。

2.CE 標誌，以 FMEA 作為系統安全分析方法。

3.ISO 14000 的規範，以 FMEA 作為重大環境影響面分析與問題改進的方法。

4.QS 9000 以 FMEA 作為產品設計與製程失效分析方法。

就 FMEA 在結果分析上的應用來說，在開始新產品或新製程時，參考類似產品設計或製程之 FMEA 分析資料，避免採用不良率高的之設計方法或製造程序，在適當程序中加入檢查點，選擇適當的檢查項目與規格，而類似產品設計與製程之 FMEA 資料更是重要的參考資料之一。所以 FMEA 最重要的價值在於協助改善產品設計與製程，但經過 FMEA 之後所發現的失效模式必然很多，一時無法立即全部加以改善，應從關鍵性的失效模式中根據其關鍵性，建立改進行動之優先順序，循序改善產品設計或製程。經由分析所得失效模式，按其優先順序進行改善，然後再重覆分析、改善，如此不斷的循環，持續提昇產品設計可靠度，降低製程不良率或提高不良品之檢測能力，提昇設計與製造品質。最後將 FMEA 的分析結果回饋給研發單位，可以讓負責產品設計研發工程師了解現行的設計，在實際導入製程時可能產生的問題，以作為改進產品研發設計的參考。

作業流程	重點說明	備註
功能性追究	鑑定潛在原因與不良現象	如 CPU 過熱 $\Rightarrow$ 热管破裂 $\Rightarrow$ 材質因素
提出失效模式	提出系統安全的潛在影響	如斷裂或變形
提出失效原因	提出可以改善的原因	如應力太大
決定改善方向	以經驗或技術預防問題再發生	如採用 SPC/SQC 改善
判定評價 嚴重度:S 發生度:O 偵測度:D	進行評比: 嚴重度為影響系統安全之程度；發生度為發生的頻率；偵測度為發現原因的難易程度。	嚴重度需由改善設計著手。發生度由管制層面著手。偵測度由驗證改善著手。
計算待處理優先性	$RPN=S \times O \times D$	
追蹤改善	由 RPN 值大小進行改善追蹤	RPN 大則納入 SPC/SQC
跟催結果	依改善期限提出追蹤報告	

### FMEA 作業應用流程

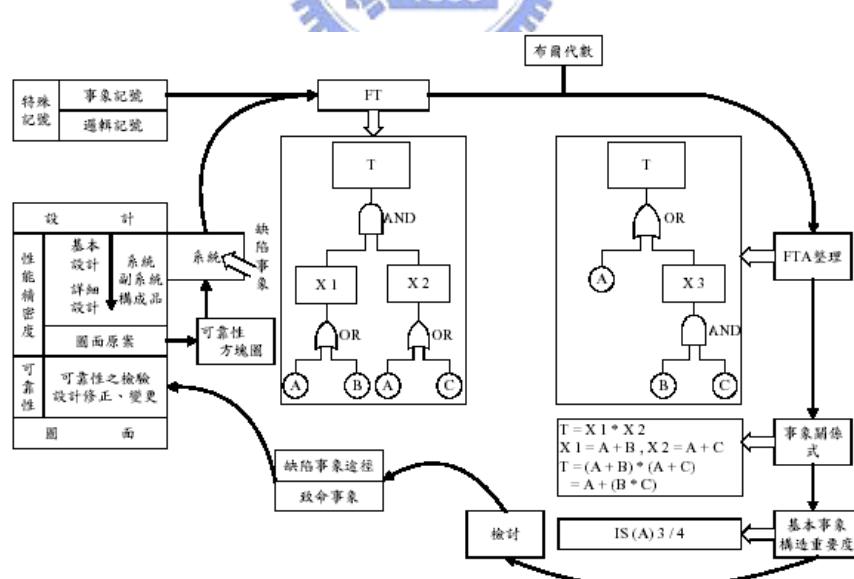


## 附錄四 失效樹分析法(FTA)

失效樹分析(Fault Tree Analysis, FTA)是以事見件符號、邏輯符號等相關記號，尋求會引起主要失效的因素間之邏輯關係，並配合布林代數計算主要失效的發生機率。[22]

失效樹分析的起源是於1960 年代初期，美國洲際飛彈MISSILE (ICBM)，MINUTEMAN 之開發階段中，貝爾電信研究所 (BELL TELEPHONE LABORATORIES) 率先開發出，使用於評價MISSILE 之發射管制系統的安全性。[22]

FMEA 是有關設計完了的系統設計，參照圖面原案、可靠性方塊圖及可靠性要求等，檢討設計上的可靠性問題點，實施必要的設計變更。原則上，這是今後進入試作階段前的設計檢討及設計技術的一部份。失效樹分析概要圖就如下圖所示。



失效樹分析概要圖

## 失效樹之符號表示

FTA 以樹狀圖形描述元件對系統的關係，提供設計工程師、使用者、及管理階層一個視覺上的工具，於是採用各種符號來表示系統關係及相關邏輯，構成FT 圖形可分為事件符號及邏輯符號[22]。

1. 事件符號：附錄四之表1 表示在失效樹分析中的專門符號，用以表示展開之各種失效現象的狀態。

表1 事件符號

符 號	名 稱	說 明
□	故障事件 Fault Event	綜合的故障現象，某種邏輯閘輸出後所產生的結果
○	基本事件 Basic Event	最低層次的基本事件，不可再展開的事件，或可直接影響故障率之事件
◇	待完成事件 Incomplete Event	因系統資訊不足或未完全發展之事件，往下原因不明或確知不具重要性
◆	平常事件 Normal Event	非故障事件，通常發生之現象本來就存在，所以一定會發生，故不需再去探討

2. 邏輯符號：以邏輯閘符號代表各種失效現象之邏輯關係。在各種閘符號中，基本上皆可化為AND 閘與OR 閘兩種，各式符號及符號所代表之含意如附錄四之表2

表2 邏輯符號

符 號	名 稱	說 明
□	及閘 AND Gate	必須所有輸入事件都發生後，輸出事件才會發生
○	或閘 OR Gate	只要有輸入事件一項或多項同時發生，輸出事件即會發生
△	互斥或閘 XOR Gate	在輸入事件僅單項發生時，輸出事件才會發生；若多項同時發生，則輸出事件不會發生
△	優先及閘 Priority AND Gate	輸入事件需按特定的順序一一發生，輸出事件才會發生

## 失效樹分析實施步驟

失效樹分析一般可分為九個步驟，但在特殊情形下某些步驟可省略，以下就各步驟作說明。

1. 系統的理解與把握：藉由設計要求書或系統工作書等設計文書，便能充分理解與把握，對於解析對象系統、機器的性能可靠性和安全性、目標、運用過程等的要求。
2. 解析題目（頭號事象; top event）的選定：選定所要分析的頭號事象，並注意所選定之事象不應為基本事象或否展開事象。
3. 列舉與所定事象有關的第一要素（副系統水準），並細思與之有關的外部要因：將所選定之主要失效（頭號事象）分解為幾個要素，主要失效並是因所分解之幾個要素所造成。
4. 利用邏輯符號連結步驟3 的要因與事象之因果關係：利用AND 閘與OR 閘兩個邏輯符號連結各要因間的關係。
5. FTA 圖製作：利用邏輯符號連結各要因後，製作成FTA 圖。
6. 重估FTA 圖做必要整理：查閱第一次所繪製之FTA 圖中有無共同的要因，若具有共同要因則將其整合，以簡化FTA 圖。
7. 確實分配末端各要因的發生率：收集主要失效之下，末端各要因之發生機率，並填入FTA 圖中。
8. 依據邏輯符號計算頭號事象的發生機率：利用邏輯符號與布爾代數之法則計算頭號事象的發生機率，並填入FTA 圖中。
9. 檢討各要因對上位水準之影響，並檢討改善對策：依據末端要因之發生機率，檢討如何針對各要因建立改善對策。

在依照FTA 實施步驟進行FTA 分析時，必須注意若無法收集到主要失效之下末端各要因事件的發生機率時，步驟7、8 可以省略。[13]

布爾代數計算法則。

在實施失效樹分析時，計算主要失效的發生機率時必須依照布爾代數的法則計算，而布爾代數的計算法則整理於下表。

### 布爾代數計算法則

幂等律	$A + A = A$
	$A * A = A$
吸收律	$A + A * B = A$
	$A * (A + B) = A$
分配律	$A + (B * C) = (A + B) * (A + C)$
	$A * (B + C) = (A * B) + (A * C)$



## 附錄五

### K-S 適合度檢定

在介紹K-S適合度檢定之前，需先定義經驗分配函數，而經驗分配函數的圖形為一階梯函數（Step function），因此，若知  $X_1 < X_2 < X_3 \dots < X_n$  表原隨機樣本  $\{X_i\}$  & ( $i=1$  to  $n$ ) 所對應的順序統計量，且任兩個觀測值  $X_i$  與  $X_j$  ( $i \neq j$ ) 之間不相等，則經驗分配函數可為以下之形式[18]

$$F_n(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x < x_1 \\ \frac{k}{n+1}, & \text{if } x_k < x < x_{k+1}, \quad k = 1, 2, \dots, n \\ 1, & \text{if } x_n \leq x \end{cases}$$

由於K-S適合度檢定的觀念即是利用經驗分配函數  $F_n(X)$  及假定分配函數  $F_0(X)$  接近性，因此定義K-S適合度檢定統計量為

$$D_n = \sup_{i=1,2,\dots,n} |F_n(X_i) - F_0(X_i)| = \max\{ |i/(n+1) - F_0(X_i)| \};$$

其中  $F_n(X)$  為累積觀測值

$F_0(X)$  為欲服從分配之累積失效函數

最後將  $D_n$  值與K-S檢定表，選擇冒險率  $\alpha$  值和  $n$  值所對應到K-S檢定表中的  $d$  值互相比較後進行檢定，或與其他壽命分配之最大  $D_n$  比較，當  $D_n$  值愈小，則代表此壽命分配愈合適。由此可知，K-S檢定是對所假定的累積分配函數設定  $D(n, \alpha/2)$  的寬度，觀察數據是否落在此範圍的一種檢定方法。

所以可分別針對卡方適合檢定與K-S適合度檢定，比較歸納此兩種適合度檢定之差異。

1. K-S檢定能保有原始資料以形成機率或相對次數為依據，進行檢定。而卡方檢定必須將資料離散化以便於分組，因此勢必會損失一些資料的訊息。
2. 在小樣本的情形下，K-S檢定仍然適用，而卡方檢定卻不能使用。
3. K-S檢定使用時，必需要求在檢定假設下之分配 $F_0(X)$  及參數完全被表明為已知，而卡方檢定之中 $F_0(x)$ 分配之參數可為未知，在進行檢定之前，先以適當的統計量估計參數代入後，即可執行此檢定。



## 附錄六 零件減額定水準

零件類別	減額定參數	減額定水準	
		嚴厲	開始
電容器	DC 電壓	60 %	90 %
	與最大限度溫度差距	10 °C	不適用
斷路器	電流	80 %	80 %
接頭	電壓	70 %	90 %
	電流	70 %	90 %
	與最大限度植入溫度之差距	25 °C	不適用
半導體晶片	電力消耗	70 %	90 %
	最大接合溫度	125 °C	不適用
光纖裝置	電力消耗	70 %	90 %
	最大接合溫度	125 °C	不適用
	彎曲半徑	200 %	200 %
	纜線張力	50 %	50 %
保險絲	電流(最大能力)	50 %	70 %
電感	操作電流	60 %	90 %
	電介質電壓	50 %	90 %
	與最熱點之溫度差距	15 °C	不適用
	電力輸出	70 %	90 %
鎢絲燈泡	電壓	94 %	94 %
記憶體	供應電壓	±5 %	±5 %
	輸出電流	80 %	90 %
	最大接合溫度	125 °C	不適用
微型電路板	供應電壓	±5 %	±5 %
	風扇輸出	80 %	90 %
	最大接合溫度	125 °C	不適用
砷化鎵微電路	最大接合溫度	135 °C	不適用
微處理器	供應電壓	±5 %	±5 %
	輸出電流	80 %	90 %
	最大接合溫度	125 °C	不適用
光導體	反向電壓	70 %	70 %
	最大接合溫度	125 °C	不適用
光電晶體	最大接合溫度	125 °C	不適用
繼電器	電阻負載電流	75 %	90 %
	電容負載電流	75 %	90 %
	電感負載電流	40 %	50 %
	接觸電力	50 %	60 %
電阻	電力消耗	50 %	80 %
	與最大限度溫度差距	30 °C	不適用
矽電晶體	電力逸散	70 %	90 %
	衰減(Breakdown)電壓	75 %	90 %

	最大接合溫度	125 °C	不適用
矽化鎢電晶體	電力逸散	70 %	90 %
	衰減(Breakdown)電壓	70 %	90 %
	最大接合溫度	135 °C	不適用
盾狀電阻 (Thyristors)	開機狀態電流	70 %	90 %
	關機狀態電壓	70 %	90 %
	最大接合溫度	125 °C	不適用
微波導管	電力輸出	80 %	90 %
	電力偏向	50 %	60 %
	負荷循環	75 %	75 %
轉動裝置	軸承負荷	90 %	90 %
	與最大限度溫度差距	15 °C	不適用
開關	電阻負載電流	75 %	90 %
	電容負載電流	75 %	90 %
	電感負載電流	40 %	50 %
	接觸電力	50 %	60 %



## 附錄七 強度-應力干涉理論

有關於機械相關產品的可靠度分析通常都以強度-應力干擾理論 (Stress-Strength Interference) 為基礎，以下假設系統或元件的強度為  $X$  (即破壞的臨界點)，作用應力為  $Y$  (即產品使用時所受到的環境應力)，則系統或元件要安全應保證強度不低於應力  $X - Y > 0$ ，即  $X > Y$ 。若  $X < Y$  時，系統即發生失效。則可靠度可表示為：

$$\text{Reliability } R = P(X > Y)$$

$$\Rightarrow \text{Unreliability} = \text{Failure Rate Function } F = P(\text{failure}) = P(X \leq Y)$$

在工程設計上，應力與強度可視為一確定值 (deterministic value) 或呈機率分配 (probabilistic distribution)，如圖一至圖四所示。在傳統的設計上都將應力與強度可視為一確定值，如附錄七之圖一。但是在可靠度設計上，應力與強度則視為機率分佈，如附錄七之圖二到圖四所示。所以圖三之例子的可靠度即可表示為：

$$\begin{aligned} \text{Reliability } R &= P(X > Y) = \int_{y=0}^{y=x} f_y(y) dy = \int_{x=y}^{x=\infty} f_x(x) dx \\ &= 1 - \int_{x=0}^{x=y} f_x(x) dx \end{aligned}$$

在圖四之例子中，假設  $X$  與  $Y$  的機率分配為已知，亦即累積機率密度函數  $F_x(x)$ ， $F_y(y)$  及機率密度函數  $f_x(x)$ ， $f_y(y)$  為已知。則根據應力-強度干擾理論，可靠度可表示如下：

$$\text{Reliability } R = P(X > Y) = P(X - Y > 0) = \iint f_x(x) f_y(y) dx dy$$

其中  $f_{x,y}(x,y)$  為強度  $X$  與應力  $Y$  之聯合密度函數 (joint density function)。如果  $X$  與  $Y$  互為統計上的獨立事件，且都為連續隨機變數 (random variable) 時，則由圖四得知，其可靠度可表為：

$$R = \int_{y=-\infty}^{y=\infty} f_y(y) [1 - F_x(y)] dy = \int_{x=-\infty}^{x=\infty} f_x(x) F_y(x) dx$$

兩個機率分配之疊合區域，則稱為應力-強度干擾區域。

所以由圖上觀察可得知下列幾點：

(1) 干擾區域決定於  $f(x)$  及  $f(y)$  的相對位置，如圖五所示；當  $f(x)$  與  $f(y)$  相距愈遠， $F$  越小；反之，則  $F$  越大。 $f(x)$  及  $f(y)$  的相對位置可用變數平均值之比值  $\mu_x / \mu_y$ ，或其差值  $\mu_x - \mu_y$  來量測。

(2) 干擾區域亦決定於  $f(x)$  及  $f(y)$  的離散程度 (degree of dispersion)，由圖五中實線的重疊區與虛線的重疊區比較便可得知。

因此任何可靠度的量測，應為  $f(x)$  與  $f(y)$  相對位置以及離散度的函數。若  $X$  與  $Y$  為非統計上互相獨立的隨機變數時，失效的機率則必須使用聯合機率密度函數來表示如下：

$$F = \int_{y=0}^{y=\infty} \left[ \int_{x=0}^{x=y} f_{x,y}(x,y) dx \right] dy$$

所以相對的可靠度則表示為：

$$R = 1 - F = 1 - \int_{y=0}^{y=\infty} \left[ \int_{x=0}^{x=y} f_{x,y}(x,y) dx \right] dy$$

所以，只要知道隨機變數  $X$  及  $Y$  的機率分佈，便可利用上述的式子求得可靠度。而且無論有無明確的機率分佈資料時，仍可得到可

靠度指標(reliability index)  $d$ 。但若可預知適當的分佈型式，則可根據等效的常態分配計算相對應的機率。依定義可靠度為  $X > Y$  時之機率，所以  $M = X - Y$  即為安全邊際(safety margin)。

系統的"安全狀態" 可定義為  $M > 0$ ，而"失效狀態" 則為  $M < 0$ ，當  $M = 0$  時所代表的便是區分安全與失效的邊界，即"界限狀態"(limit state)，現在將變數轉換成標準化

之變數，定義其為簡化變數(reduced variables)  $X'$ 、 $Y'$

$$X' = (x - \mu_x) / \sigma_x$$

$$Y' = (y - \mu_y) / \sigma_y$$

其中  $\sigma$  及  $\mu$  分別表示變數之標準差與平均值，一般的材料其中  $\sigma$  及  $\mu$  分別表示變數之標準差與平均值，一般的材料  $\sigma = 0.1\mu$ 。如果限制狀態  $M = 0$ ，用簡化變數表示可寫成

$$\sigma_x X' - \sigma_y Y' + \mu_x - \mu_y = 0$$

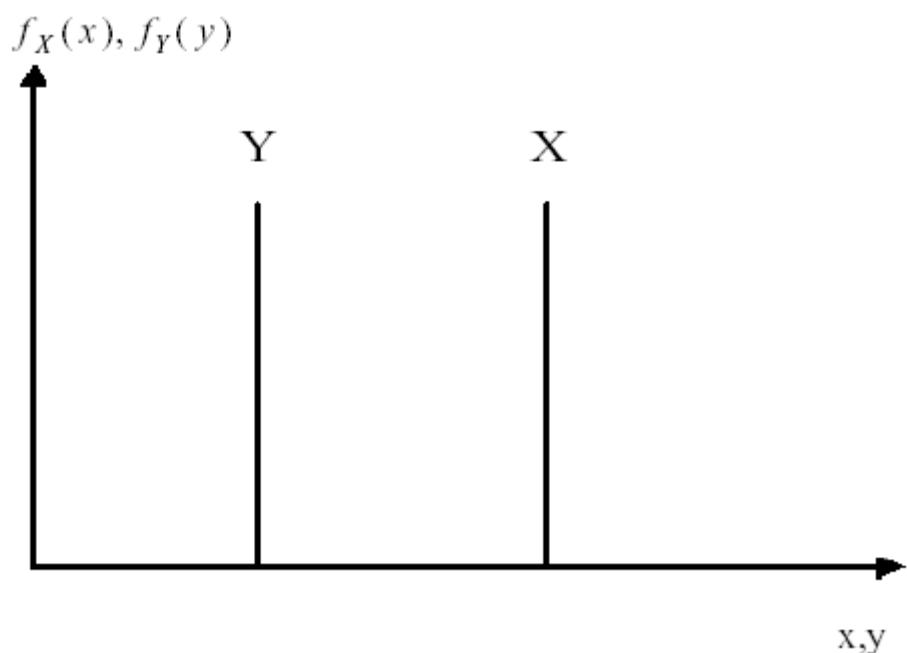
可靠度指標  $\beta$  可由關係求得：

$$\beta = (\mu_x - \mu_y) / \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

當  $X$  及  $Y$  為常態分配(normal distribution)時， $\beta$  即為可靠度指標。在求得可靠度指標  $\beta$  後，便可計算系統的可靠度函數如下所示：

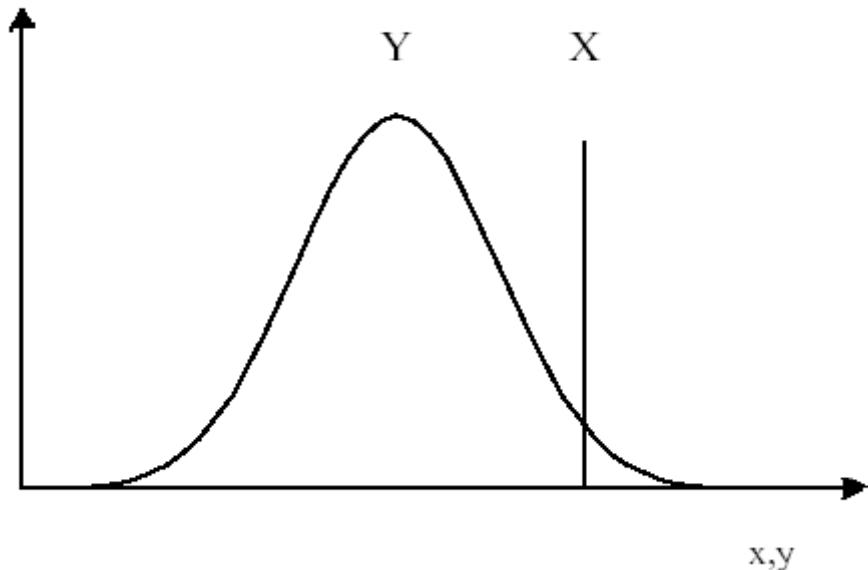
$$R = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_{z=-d}^{z=\infty} \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dz = 1 - \Phi(-\beta)$$

實際上系統或元件的強度X 可能決定於很多因素，例如與材料中包含其他雜質的程度、機械件的加工尺寸精密度等有密切關係，同樣的應力Y 亦然，有許許多多因素合起來，使得不管是強度X 或是應力Y ，都能趨近於一常態分配或其他統計機率分配，因此在分析上會運用統計上的一些手法，在繁雜的數據中找到所需要資訊。



圖一 應力-強度干擾示意圖(一)

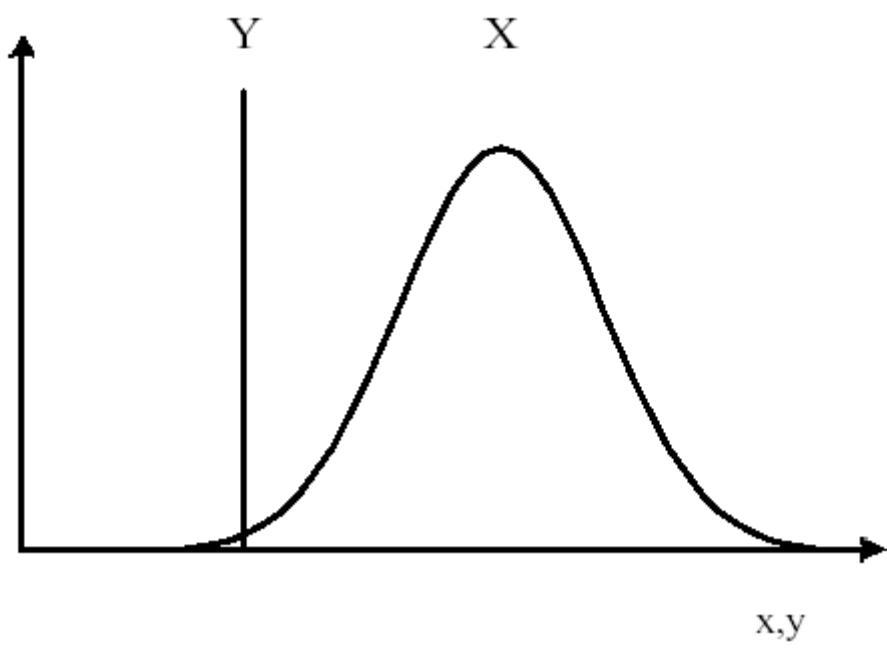
$f_X(x), f_Y(y)$



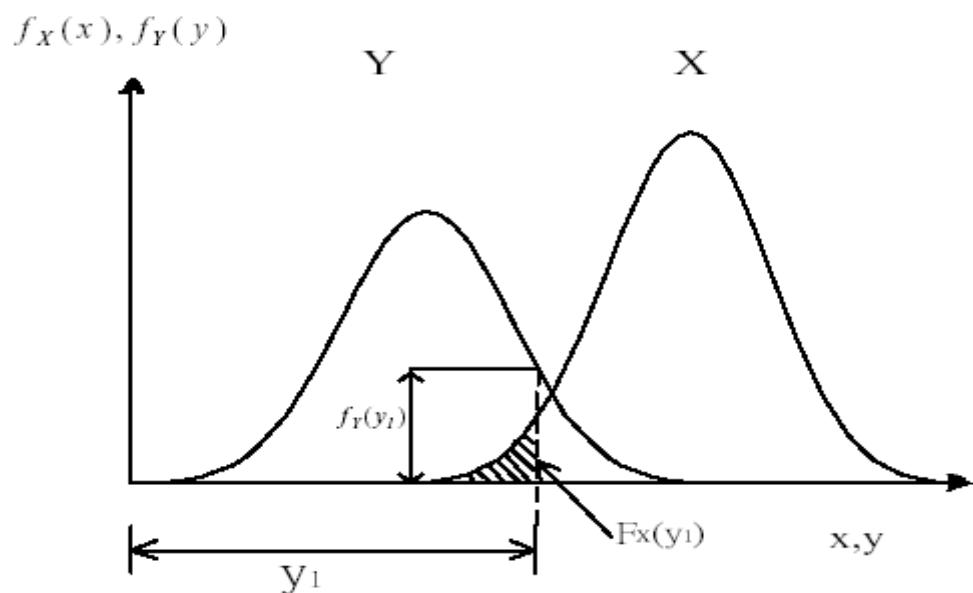
圖二 應力-強度干擾示意圖(二)



$f_X(x), f_Y(y)$



圖三 應力-強度干擾示意圖(三)



圖四 應力-強度干擾示意圖(四)



## 作者簡介

姓名：王順正

性別：男

生日：民國 59 年 2 月 6 日

籍貫：台北市

學歷：高雄市立高雄高工畢業

國立高雄工專二年制工業工程與管理科畢業

私立中原大學工業工程研究所碩士

國立交通大學理學院碩士在職專班應用科技組碩士



經歷：中原大學工業工程學系兼任助教暨研究助理

台灣慧智科技股份有限公司可靠度工程師

國立交通大學可靠度工程兼任助教

亞旭電腦股份有限公司研發可靠度副理

電話：(03)563-9476; 0922128548

E-mail: shuncheng@ms11.url.com.tw