

靈敏度與 GSM 無線電

Gary Levy
Silicon Laboratories Inc.

為 GSM/GPRS 應用選擇收發器時，必須將許多參數列入考慮，例如用料清單 (BOM)、體積、特色和效能。全系統的最低效能要求以及隱含的收發器效能都可明確定義，但是收發器效能指標卻有很大差異。在考慮各種技術規格時，系統靈敏度常被引用做為手機的區隔要素和必須注意的優值 (figure of merit)，其中系統靈敏度對於系統效能的影響極大，因此是最重要的收發器效能規格之一。靈敏度效能的影響不僅限於接收鏈零件，它還會延伸至其它發展趨勢，例如天線設計。電信業者向來都很重視通話品質，在為基礎設施的設備開支求取平衡的同時，他們對於手機要求的要求也日益嚴苛，因此關於電信網路和手機效能的任何討論通常都會回到 GSM 無線電和它的靈敏度。

在觀念上，系統靈敏度的定義是天線連接埠至少需要多大功率，才能在輸出端達到所指定的訊號雜波比或位元錯誤率 (BER)。在 GSM Third Generation Partnership Project (3GPP) 技術規格中，GSM 系統的參考靈敏度是根據特定通道條件和位元錯誤率而定義，但是就如同「參考靈敏度」這個名詞所暗示，它只是通過產品全型認證 (FTA) 的最低要求，而不是任何手機製造商或電信服務供應商的最低要求。製造一部符合 GSM 最低規格要求的手機並不等於製造一部能夠量產和在 GSM 市場的經濟規律下獲得成功，同時又能滿足最終使用者需求的手機，這兩者之間有著非常明顯的差異。

在產品層級，靈敏度是手機製造商的關注焦點，因為它與製造設計和生產餘幅 (production margin) 以及手機通話品質息息相關，手機設計人員也想選擇零件幫助手機實現最高的靈敏度。為了將手機良率提升至最高水準，生產邊限應做適當分配，以解決組裝線上與靈敏度有關的問題，其來源包括預期損耗機制、零件變異、電路訊號線和電路板變異以及其它可能改變的操作條件，例如溫度。除此之外，天線設計也會對靈敏度產生很大影響，內建天線的做法日益受到歡迎，但它們也讓設計更困難，為滿足電話的機械結構要求，天線的位置、體積、造型和效能通常必須做出妥協。

手機製造商和電信業者非常重視靈敏度，因為它直接影響手機通話品質；就理論而言，能夠持續接收更微弱訊號的手機將會提供比其它產品更清晰的聲音，通話中斷的現象也變得更少，例如服務供應以及斷線等問題都會減少。但實際上，更良好的靈敏度讓手機擁有更寬廣的收訊範圍，就算在基地台涵蓋區邊界亦復如此，它對於訊號衰弱的現象也具有更高的抵抗能力。隨著客戶逐漸放棄有線電話，轉而投入行動電話的懷抱，他們對於更良好的網路連線品質 (QoS) 也開始有更高的期待。在此同時，隨著電信業界繼續擴大他們的覆蓋

範圍，他們必須努力管理斷線的問題，這在北美地區尤其重要，因為當地消費者會認為斷線是他們選擇電信業者的最重要條件。還有在北美地區提供手機號碼攜帶服務，以及消費者要求電信業者改善手機的接收靈敏度，這些都是很明顯的趨勢。在努力擴大用戶人數和獲利能力的同時，電信業者也受到壓力要求他們解決 QoS 的問題，這已促使電信業者和許多手機廠商開始研究斷線問題，結果則是北美電信業者向手機製造商提出更嚴苛的靈敏度要求。雖然為高頻操作提供-106 至-107 dBm 靈敏度的手機或許仍能獲得接受，但電信業者現正朝向-108 至-109 dBm 靈敏度邁進，這項困難要求對於產品供應鏈上的所有廠商都有重大影響；幸運的是，目前已有部份零件能讓手機設計達到這項嚴苛的規格要求。

為了更深入瞭解零件層級的靈敏度，我們可將接收鏈的最小可偵測訊號 (MDS) 表示成：

$$MDS = KTBF \times \left(\frac{S}{N}\right)_{\min}$$

其中 K 是波茲曼常數，其值為 1.38×10^{-23} J/°K (每°K 所能電氣耦合的粒子平均能量)；T 是以凱氏溫度表示的系統溫度；B 是系統頻寬；F 是系統雜訊指數； $(S/N)_{\min}$ 是基頻處理器對接收資料進行正確解調所需的最小訊號雜波比。

用天線功率代表靈敏度在系統設計時更有效率，而線性乘法又等於對數加法，所以前述方程式可重新寫成：

$$\text{靈敏度 (dBm)} = 10\log(KT) + 10\log(B) + 10\log(F) + 10\log\left(\frac{S}{N}\right)_{\min}$$

觀察第二個方程式，我們發現 $10\log(KT)$ 定義了 298 °K (25 °C) 時的熱雜訊基準，且其值等於-174 dBm/Hz；雖然雜訊可能低於此位準，但受到測試設備解析度的限制，這些雜訊通常很難量測。

接收頻寬是靈敏度的重要因素，目標訊號能量的頻寬就是由它定義。GSM/GPRS 規定通道間隔為 200 kHz，收發器和基頻電路也有濾波器，其特性會隨著廠商而不同；將這兩者結合在一起就能組成複合濾波器，用來為指定的無線電通道選擇正確頻率範圍。典型收發器和基頻複合濾波器的頻寬為 170 kHz，代入得到 $10\log(170 \times 30^3)$ ，相當於 52.3 dB。

$10\log(S/N)_{\min}$ 定義了基頻系統的訊號雜波比，這個最低要求會隨著基頻廠商而不同。當收發器將資訊送給基頻電路時，它是採用類比同相位 (I) 和正交相位 (Q) 的格式，基頻系統必須從此格式重建原來的數位訊號，然後利用語音或資料編碼解碼器將其中的數位資訊解碼出來。為了確保解調成功，訊號雜波比必須達到最低要求 (通常為 6 dB)。

當雜訊指數 (F) 以功率來表示，並將其寫成 $10\log(F)$ 時，它就能用來定義接收鏈的系統損耗，這包括前端零件的損耗 (L) 以及收發器的雜訊指數。要瞭解這些損耗的來源，圖 1 所示的 GSM 無線電訊號流程會有很大幫助。在接收作業中，天線開關 (ASM) 將輸入訊號轉送至適當的 SAW 濾波器以便選擇頻帶，ASM 和 SAW 濾波器都會讓接收訊號出現插入損耗 (IL)，必須將其列入考慮。在 SAW 和收發器之間有個輸入匹配電路，用來讓 SAW 輸出將最大電壓或功率送至收發器的低雜訊放大器輸入端，收發器會將射頻訊號降頻轉換至中頻，再經由混波降頻轉換至基頻 (另一種做法是直接轉換至直流)，然後選擇適當的接收頻帶。在這個過程裡，收發器會造成接收訊號劣化，這包括輸入匹配電路的效應在內，它就被定義為雜訊指數 (NF)。語音和數據資訊接著會透過基頻界面在收發器和基頻系統之間傳送。

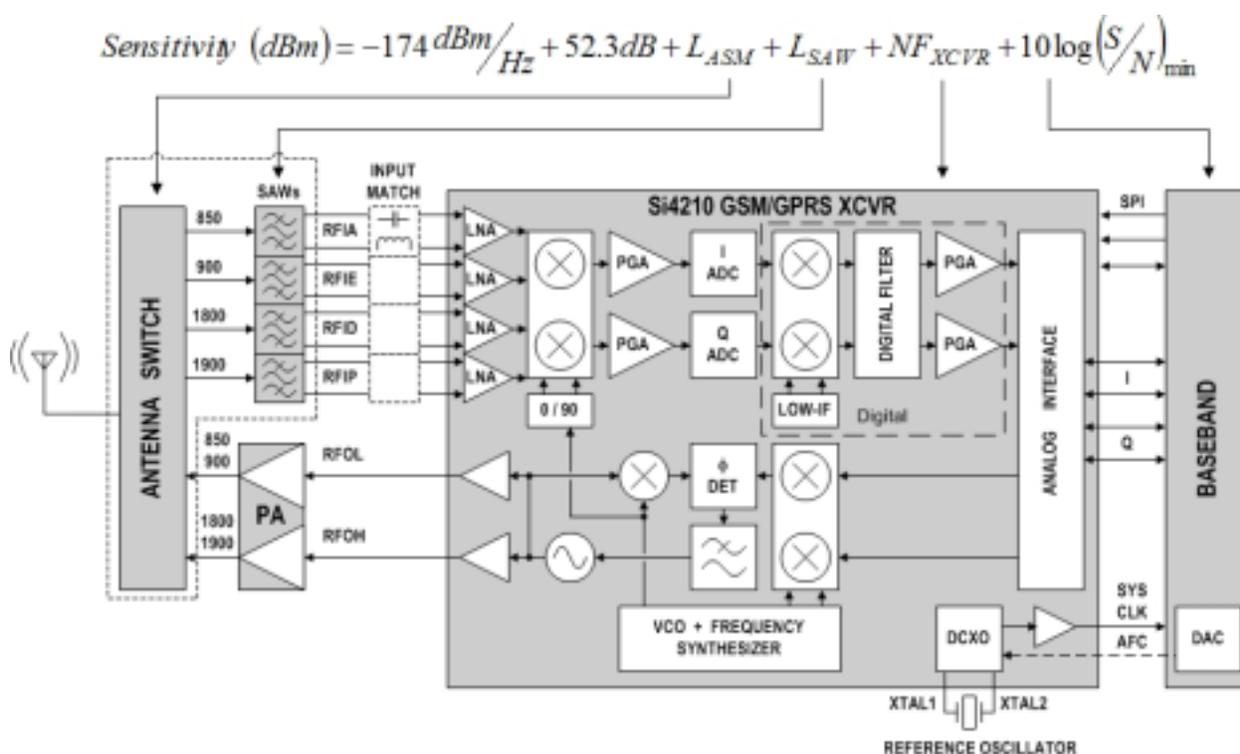


圖 1：GSM 無線電 (以 Silicon Laboratories Aero II 收發器為參考)

靈敏度現已被導成一種特別形式，可用來評估圖 1 接收路徑上的每顆零件。這個方程式的簡化結果不但更簡明直接，其含義也更深刻。由於基頻選擇可能是和軟體有關的系統選項之一，因此要得到最高靈敏度，手機設計人員只須專注於三個射頻方塊：ASM、SAW 以及收發器。表 1 列出了這些零件的典型參數。

觀察表 1 所列的 ASM 零件參數可發現，插入損耗 (IL) 的典型值只略少於 1 dB，就算解決方案的面積已減少超過五成，插入損耗在最理想情形下也只改善 0.3 dB；事實上，雖然很小的 dB 值也很重要，但看起來似乎在短期內，插入損耗已無改善空間。SAW 被動零件的趨勢也很類似，SAW 體積已大幅縮小，插入損耗也獲得改善，每個頻帶約 1.7 - 2.0 dB 左右。考慮 ASM 和 SAW 的影響，加上這些元件四週電路的級數又有限 (level of circuitry)，這項技術的主要推動力量就變成是基材 (substrate) 的實作和體積。雖然產品之間的效能和插入損耗差異仍值得注意，但在現有產品和下一個世代解決方案之間，其未來的可能改善幅度將不會超過 0.3 dB。

根據簡化後的靈敏度方程式，我們若採用最佳前端零件的插入損耗值，並假設基頻的訊號雜波比為 6 dB，就會得到另一個有趣的結果，也就是若收發器為無損耗時，GSM 無線電在理論上的靈敏度基準值將會變成-113.3 dB。這項結果的意義相當不凡，因為要滿足電信業者對於靈敏度的嚴苛要求，我們可以發現收發器的選擇必須很謹慎。整個系統的雜訊指數效能會隨著輸入匹配電路改變，與溫度也有直接關係。要得到最好的雜訊指數，就需要低雜訊放大器提供的高輸入增益，但為滿足阻隔測試和調幅抑制 (AM suppression) 等其它嚴苛的 GSM 規格，系統還需非常良好的線性特性，這讓情形變得更複雜。設計人員很快就會發現，其它效能指標或許可以採用「足夠好」的效能策略，但這種做法對靈敏度並不適用。收發器雜訊指數效能會隨著供應商而改變，但設計人員應要求在所有條件下都能擁有最好的收發器雜訊指數，因為它是靈敏度效能的最大貢獻因素。最重要的是，這些能夠提供大幅改進的解決方案必須已開始供應。

目前生產中的最佳手機可以達到-109 dBm 高頻靈敏度，突顯出收發器對於靈敏度的影響確實很大。市場上也有其它手機的靈敏度僅-106 dBm；對於電信業者來說，這個差距清楚展現了這兩種手機的差異。由於某些次世代收發器已能提供-110 dBm 高頻靈敏度，再加上前述的多項趨勢，雜訊指數效能很可能成為進入市場的競爭障礙之一。

零件	頻帶	體積 (釐米)	參數	25 典型值 (dB)
ASM	900 / 1800	5.4 × 4.0	IL	1.0 / 1.0
ASM	900 / 1800	3.7 × 3.2	IL	0.7 / 1.0
SAW	850	2.0 × 2.5	IL	2.5
SAW	850	1.6 × 2.0	IL	1.9
SAW	850	1.4 × 2.0	IL	1.7
SAW	900	2.0 × 2.5	IL	2.4
SAW	900	1.6 × 2.0	IL	1.9
SAW	900	1.4 × 2.0	IL	1.6

SAW	1800	2.0 × 2.5	IL	3
SAW	1800	1.6 × 2.0	IL	2.2
SAW	1800	1.4 × 2.0	IL	1.7
SAW	1900	2.0 × 2.5	IL	2.6
SAW	1900	1.6 × 2.0	IL	2
SAW	1900	1.4 × 2.0	IL	1.7
XCVR	850 / 900 / 1800 / 1900	7 × 7	NF	3.7 / 3.7 / 4.2 / 4.2
XCVR	850 / 900 / 1800 / 1900	8 × 8	NF	2.9 / 3.0 / 3.3 / 3.7
XCVR	850 / 900 / 1800 / 1900	5 × 5	NF	2.2 / 2.3 / 2.4 / 2.5

表 1：典型的 GSM 無線電零件參數

總而言之，隨著製造商努力尋求產品差異化，同時讓手機適應消費者的要求，進一步的限制可能會出現在射頻電路設計 – 這將對靈敏度產生複雜影響，因為電信業者既希望擴大其通訊覆蓋範圍，又想提出更嚴苛的要求。除非無線通訊體驗對於使用者完全透明，否則靈敏度仍將是電信業者、手機和收發器最重要的區隔要素之一，廠商選擇最佳零件的趨勢將會繼續，收發器也必然是手機在市場上獲勝的最直接路徑。

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

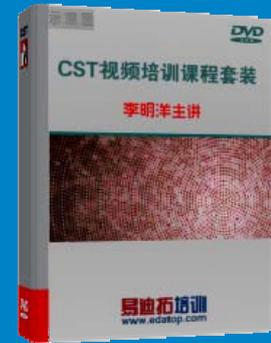
该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>