

如何量化不同整合度的 GSM/GPRS 功率放大器系统效能

By Mendy Ouzillou
Silicon Laboratories Inc.
Austin, TX

仅仅在三年前，GSM 功率放大器解决方案的整合度还很糟糕，传送系统解决方案需要不同的组件支持低频、高频和功率控制，输入和输出的匹配电路也需要多颗离散零件，另外还有谐波讯号的滤波功能、解耦合电容以及电源控制功能的所有支持零件。当时无法实现功能整合的原因在于制程技术、仿真工具、对于高 Q 值 (低损耗) 被动零件的需求以及 3GPP (GSM) 规格的严格要求。但在过去两年里，功率放大器解决方案已将外部功能和零件整合为多芯片模块，使得解决方案的体积和复杂性都大为降低。到了最近，功率放大器技术又有新发展，低成本而高良率的单石解决方案开始出现，进一步减少设计所需的零件数目和复杂性。

对于设计工程师来说，功率放大器效能的测量和比较绝非易事。由于功能整合度的提高，功率放大器效能的重要量化指针都已重新定义，因此要比较不同整合度的功率放大器，规格的制定背景已变得和规格本身同样重要。本文将分析功率放大器的两个重要效能指针，分别是功率和效率，我们将在不同整合度和功率控制架构下对其进行分析。为了有效比较两种不同整合度的功率放大器，我们将以天线和电池做为系统解决方案的效能参考点，再把它们合并成一个指针 – 平均突发电流 (average burst current)。这些观念只要略做修改，就能扩及其它射频传送系统。

注：本文假设 GSM900 和 DCS1800 的天线负载为 50Ω ，功率放大器是在 3.5 V 以及 25 °C 的正常环境下操作，电池的输出电压则为 3.7 V。关于电子表格中所列的计算过程，请至以下网站查询：www.silabs.com/pa-calculations。

功率放大器输出功率与天线功率的比较

针对不同整合度或不同架构的功率放大器，评估其效能的最佳方式是指定天线功率要求，然后再回头计算功率放大器的输出功率要求。一般说来，校准后的天线功率水准在低频带 (GSM) 为 32.75 dBm，高频带 (DCS) 则为 29.75 dBm。

传送系统所使用的功率控制架构会影响功率放大器为了满足天线要求而必须产生的功率水准，目前应用最广泛的功率控制架构则是闭回路功率控制、供应电压功率控制以及供应电流功率控制 (图 1-3)。

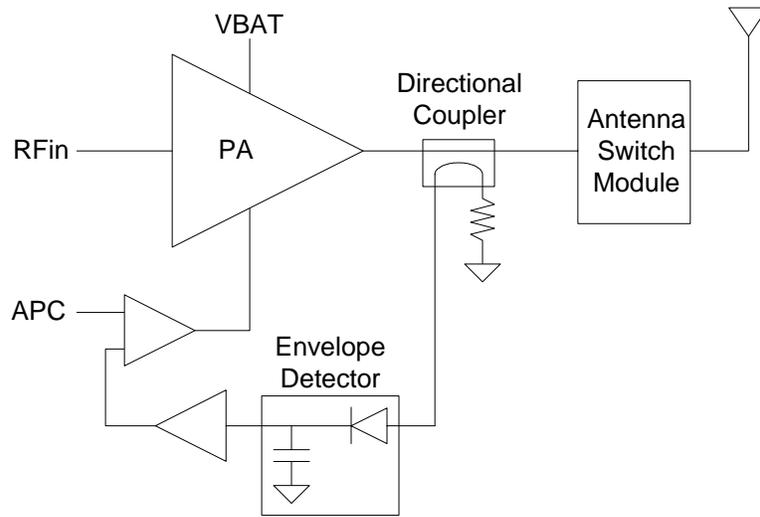


图 1：闭回路功率控制架构

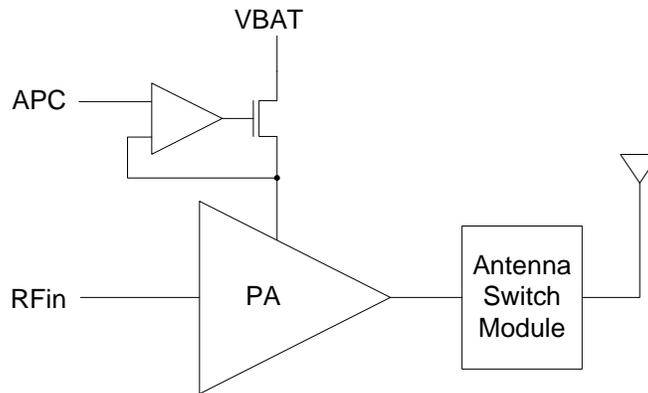


图 2：供应电压功率控制架构

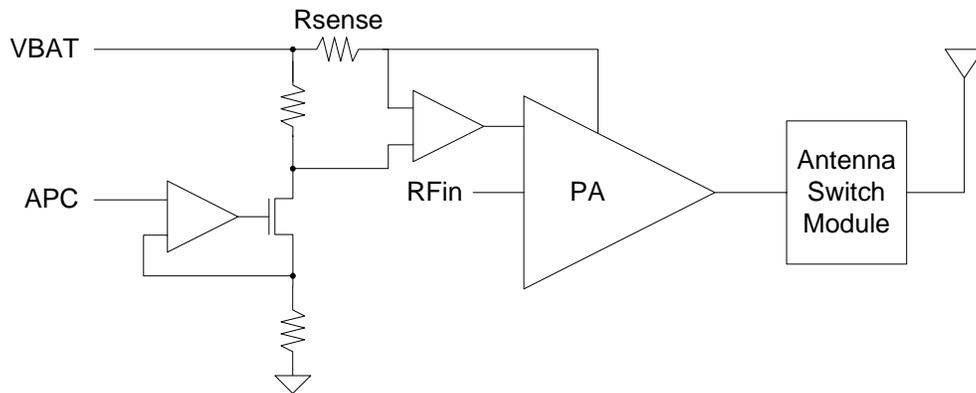


图 3：供应电流功率控制架构

新的多芯片模块和单石解决方案已能将功率控制电路全部整合在一起，系统设计人员可将它们视为黑盒子，只要关心它们的输出功率水准即可，但对于整合度较低的解决方案来说，功率控制方式仍会影响输出功率的要求。

闭回路功率控制架构是应用最广泛的功率控制方式，某些常见的功率放大器解决方案仍会使用外部功率控制方式，但其外接的方向耦合器却会造成插入损耗；为了补偿这个额外的功率损耗，功率放大器要为 GSM 多提供约 0.25 dB 功率，为 DCS 多提供大约 0.30 dB 的功率。

供应电压功率控制架构的应用也很广泛，部份原因就在于它不需要方向耦合器。这种功率控制架构必须在功率放大器和电池之间增加一个很大的 MOSFET 晶体管或稳压器。单石功率放大器解决方案会采用供应电压功率控制方式，同时将稳压器整合至组件中，虽然采用这种功率控制方法的多数解决方案都已整合所有的功率控制电路，仍有些功率放大器解决方案需要外接 MOSFET，这颗晶体管会在电池和功率放大器之间产生 20 至 100 mΩ 串联电阻，使得电路效率降低，输出功率也变得更小。输出功率降低是因为电池和功率放大器之间的串联电阻会造成电压降，使得功率放大器的操作电压减少，进而降低了它的输出功率。

最后一种功率控制架构会测量电池到功率放大器的电流，并藉此来控制功率放大器的输出功率。电流感测电阻通常在 75 mΩ 到 100 mΩ 范围内，由于它是电池和功率放大器之间的串联电阻，所以会降低电路的工作效率，进而减少输出功率。因此此架构相当复杂，采用这种控制方法的多数解决方案会将所有的必要组件全部整合在一起，包括电流感测电阻在内。

许多现有解决方案的谐波效能并不理想，系统工程师必须评估额外滤波器对于输出功率需求的影响，如果除了天线开关模块 (ASM) 所提供的滤波器之外，系统还要增加谐波滤波功能，功率放大器就必须增加 0.20 dB 的输出功率来补偿插入损耗。

藉由分析输出功率的重要影响因素，工程师就能针对两种不同整合度的功率放大器解决方案，详细比较它们的输出功率要求。

天线功率 (GSM)	单石功率放大器	采用外部闭回路功率控制的功率放大器
功率放大器最大输出功率 (dBm)	34.2	35.0

功率放大器最大输出功率 (W)	2.63	3.16
功率放大器在最大功率时的工作效率	50%	52%
电池和功率放大器之间的电阻性损耗 (Ω)	0.12	0.12
最大功率时的电池电流 (A)	1.49	1.74
扣除损耗后出现在功率放大器电池输入端的操作电压 (V)	3.52	3.49
功率放大器在新操作电压下的最大输出功率 (dBm)	34.2	35.0
功率放大器在新操作电压下的效率 (根据最大功率时的电池电流所得到的一阶近似值)	50.0%	52.0%
方向耦合器、谐波滤波器以及功率放大器和天线开关模块之间任何损耗所造成的插入损耗 (dB)	0.00	0.45
天线开关模块造成的插入损耗 (dB)	1.20	1.20
天线所要求的功率	32.75	32.75
功率放大器为满足天线要求所需的操作功率 (dBm)	33.95	34.40

表 1：根据天线功率所得到的功率放大器操作功率

系统效率与功率放大器效率的比较

3GPP 规格并未对行动台 (mobile station) 的工作效率设下任何强制要求，但是「效率」最高的行动台将会提供最长的通话时间。虽然功率放大器对于通话时间的影响非常大，但这不表示效率最高的功率放大器就能提供最长的通话时间。

基本上，系统效率就是在天线达到特定输出功率水准下，电池所需供应的电流，因此在分析系统效率时，就必须包含从电池到功率放大器的直流路径上的所有电阻性损耗、功率放大器和天线开关之间的插入损耗、功率放大器和系统操作条件以及来自于外部和内部电路的任何其它电流消耗。了解这些损耗的产生机制后，您就会明白系统功耗以及功率放大器对于系统功耗的影响。

功率放大器和天线之间的很小损耗有可能对系统效率产生重大影响，从表 1 即可看出与系统效率有关的并不是功率放大器的输出功率，而是功率放大器在该输出功率下的工作效率以及功率放大器之后的损耗值。

功率放大器效率 50.00%		
功率放大器后的插入损耗 (dB)	系统效率	效率降幅
0.10	48.86%	1.14%
0.20	47.75%	2.25%
0.30	46.66%	3.34%

功率放大器效率 30.00%		
功率放大器后的插入损耗 (dB)	系统效率	效率降幅
0.10	29.32%	0.68%
0.20	28.65%	1.35%
0.30	28.00%	2.00%

0.40	45.60%	4.40%	0.40	27.36%	2.64%
0.50	44.56%	5.44%	0.50	26.74%	3.26%
1.00	39.72%	10.28%	1.00	23.83%	6.17%
1.10	38.81%	11.19%	1.10	23.29%	6.71%
1.20	37.93%	12.07%	1.20	22.76%	7.24%
1.30	37.07%	12.93%	1.30	22.24%	7.76%
1.40	36.22%	13.78%	1.40	21.73%	8.27%
1.50	35.40%	14.60%	1.50	21.24%	8.76%
1.60	34.59%	15.41%	1.60	20.75%	9.25%
1.70	33.80%	16.20%	1.70	20.28%	9.72%

表 2：插入损耗所造成的系统效率下降

由于效率会受到影响，因此厂商有着很强烈的意愿，要将天线和功率放大器之间所有零件的插入损耗减至最小，特别是插入损耗最大的天线开关模块。厂商的目标不仅是减少插入损耗，然后使用输出功率较小的功率放大器，而是希望使用输出功率最小、并能在该功率下达到最高效率的功率放大器。

在电池和功率放大器之间的路径上，任何损耗都会对系统效率产生巨大影响，例如很小的电阻性损耗就会导致系统效率下降；此时，效率所受的影响会直接正比于功率放大器的输出功率水准。

功率放大器输出功率 (dBm, W)	34.20	2.63
功率放大器效率	50%	
Burst 时的直流功率 (W)	5.26	(功率放大器的电池输入接脚)
电池电压 (V)	3.70	

电阻性损耗 (Ω)	电池电流 (A)	功率放大器电池输入接脚的电压	系统效率	效率降幅
0.100	1.48	3.55	48.00%	2.00%
0.150	1.51	3.47	46.93%	3.07%
0.200	1.55	3.39	45.81%	4.19%
0.250	1.59	3.30	44.62%	5.38%

表 3：电阻性损耗所造成的系统效率下降

设计人员应将电池和功率放大器之间的阻抗减至最小，例如让电池连接头尽量靠近功率放大器，这种做法将为他们带来极大好处。

系统效率还有另一个较为细腻层面，那就是分析辅助电源供应和外部支持电路的各种电流；除此之外，收发器电流也应纳入考量，这样才能计算出从收发器到功率放大器输入端所需的驱动功率。

功率放大器输出功率 (dBm, W)	34.20	2.63
功率放大器效率	50%	
Burst 时的直流功率 (W)	5.26	(功率放大器的电池输入接脚)
电池电压 (V)	3.70	

Burst 时的各种电流	电流 (mA)	系统效率	效率降幅
各种收发器解决方案之间的电流差异	80.00	47.34%	2.66%
辅助电源供应	7.00	49.76%	0.24%
闭回路功率控制电路 + APC 电流	8.00	49.72%	0.28%

表 4：各种电流所造成的系统效率下降

列出主要的损耗项目之后，功率放大器效率的定义即可扩大包含所有的损耗项目，进而成为系统效率的定义，这样工程师就能利用这个系统效率值对任两种功率放大器进行一阶比较。

系统效率 (GSM)	单石功率放大器	采用外部闭回路功率控制的功率放大器
功率放大器的操作功率 (dBm)	33.95	34.40
功率放大器的操作功率 (W)	2.48	2.75
针对操作功率和操作电压调整后的功率放大器效率	48%	48%
电池和功率放大器之间的电阻性损耗 (Ω)	0.12	0.12
Burst 时的电池电流 (A)	1.47	1.64
扣除损耗后出现在功率放大器电池输入端的电压 (V)	3.52	3.50
电阻性损耗造成的系统效率降幅	2.29%	2.55%
方向耦合器、谐波滤波器以及功率放大器和天线开关模块之间任何损耗所造成的效率损失 (dB)	0.00%	4.72%
天线开关模块造成的系统效率损失	11.59%	11.59%
其它各种电流 (mA)	80	88
其它各种电流造成的系统效率降幅	2.60%	2.58%
系统效率 (天线端的效率)	32.9%	29.5%

表 5：系统效率

藉由调整功率放大器的输出功率，使两种功率放大器在天线产生同样的功率，此时前述的系统效率值就能做为极有用的系统效能指针。值得注意的是，虽然采用外部闭回路功率控制方式的功率放大器拥有较高的功率放大器效率，但是将所有的损耗都加入考虑后，它的系统效率反而较低。

平均 Burst 电流：天线输出功率和系统效率

推导出两种功率放大器的系统效率和输出功率需求后，我们就能计算系统从电池汲取的电流值，也就是平均 Burst 电流，它能让设计人员加入系统效率和天线端功率等两项重要的优劣评比参数，然后把它们结合在一起，成为将整个传送系统都纳入考量的单一指针；对于功率放大器效率和输出功率这么复杂的问题，没有其它指针能够如此简洁而容易的表达出其精髓。

平均 Burst 电流的定义是全部 8 个槽 (slot) 的 Burst 电流平均值：

$$\text{平均 Burst 电流} = (\text{天线端输出功率}) / (\text{系统效率} \times \text{电池电压})$$

下列公式可轻易将平均 Burst 电流转换为通话时间：

$$\text{通话时间} = \text{电池容量} / \text{平均 Burst 电流}$$

功率放大器 (GSM)	天线端功率 (dBm)	天线端效率	平均 Burst 电流 (mA)
单石功率放大器	32.75	32.9%	1548.1
采用外部闭回路功率控制的功率放大器	32.75	29.5%	1725.8

表 6：两种功率放大器根据平均 Burst 电流的比较结果

系统设计人员在产品发展过程里都必须面对困难的设计挑战。零件的选择和比较就像是其它任何计划，如果可供选用的零件太多，整个工作就变得极为困难，尤其是这些零件还有着不同的功能整合度。选择功率放大器时，很重要的一点是根据整合度来重新定义关键参数，平均 Burst 电流让系统设计人员能根据较为实用的系统效能指针来做出决定。

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>