延长电池续航时间

对于当今最先进手机的设计人员来说，他们面临的难题同样是其前辈们曾经苦于应付的，就是要想方设法地延长电池两次充电之间的间隔时间。现在，为了赢得成功，这些设计人员必须构建能够提供高线性度的高效前端系统，而这种高线性度是那些采用复杂编码方案运作的数字网络所需要的。美国 RFMD 公司负责 3G/4G 解决方案的总经理 Chris Novak 指出：用于满足此类要求的可选方案有很多，而且它们各有其优缺点。

我们正处在一场连接与移动技术革命之中。通信技术在全球范围内所发生的引人注目的变化其背后的推动力便来自于这场革命。与此同时，从事网络与移动设备开发的工程师们也面临着巨大的技术挑战。

手持式智能设备销量的飚升带来了高速数据连接业务量的大幅增长，因而对这些挑战起到了推波助澜的作用。据 Cisco 公司预测，随着越来越多的消费者采用手持式设备参与社交网络和娱乐活动，从现在一直到 2016 年，无线数据流量将以接近 80% 的复合年增长率持续攀升。内置无缝连接能力并延长了充电间隔时间的纤巧型设备的兴起将助推无线通信流量的这种爆炸性增长。

为了与数据需求量的这种直线上升保持同步，智能型设备与网络正在逐步地向更宽的频率范围、更宽的信号带宽及更高的数据速率迁移。该发展动向刺激了射频（RF）前端行业的创新活动，工程师们都在积极开发新型设计方案，旨在充分利用电池有限的电能储量。

RF 系统挑战

业界为提高数据速率及改善网络频谱效率进行了诸多的尝试，包括引入采用先进编码方法的新标准，例如：正交频分复用（OFDM）。此类复杂编码方法的缺点之一是：调制会导致已调制信号的振幅变化显著增加 - 这是对用于每个已发送符号的更多信息进行编码所必需的 (见图 1)。此外，频谱效率的改善还会降低 RF 发送系统的效率。这将缩短移动设备处于使用状态的时间，而且也会使其发热。

由于无线数据业务量持续不断地增长，因此提高频谱效率将只能作为解决方案的一个部分。为了帮助满足这一需求，业界正在给网络分配更多的频谱资源。然而，针对数字网络的这些频谱分配缺乏统一的规划。它们分属于独立的政府部门管辖，而且决策者们并不参与成本效益型全球无线电系统的设计工作。目前的情况是：分配给数字网络的频段在各地区之间存在着巨大的差异。这种缺乏协调的方式意味着智能设备不得不应对越来越多带宽各不相同的频段 - 如今，具有不同带宽的蜂窝通信发送频段已超过 36 个，其频率范围介于 695MHz 至 3800MHz。而使该问题进一步复杂化的是那些数量日益增多、且颇具挑战性的 RF 规范，这些规范旨在确保数字网络

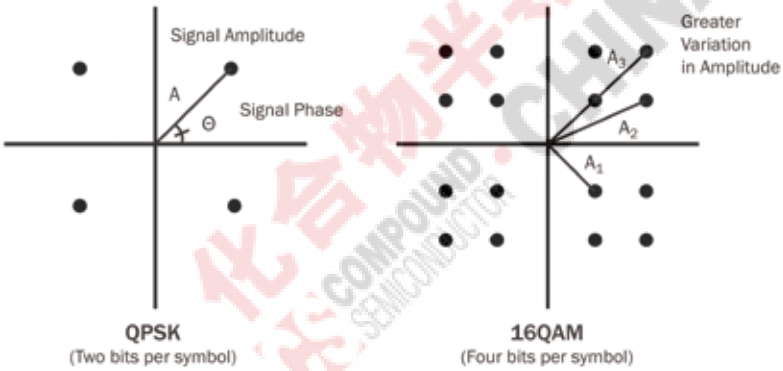

图 1：显示振幅变化增加情况下的调制星座图实例。

能够在不干扰其他无线系统的情况下运作，如公共安全频段、全球定位系统和无线 LAN(WiFi)。

最新的数字网络调制方案对于智能设备的要求之一是实现线性放大。为确保高质量的无线网络，RF 发送系统必须准确和按比例地放大输入信号 - 无论是相位抑或是振幅，严重的失真都是不能容许的。过大的失真有两个不良的后果，即：在已发送信号中出现数据错误；发送能量溢出至其他频段中(因调制分量所致)。在后一种情况中，这将造成对其他数据设备的干扰。

总的来说，改善调制方案的频谱效率将增大信号的波峰因数（即峰值振幅与平均振幅之比，简称 PAR），见图 2。当放大器处于或接近其压缩点时，则 PA 效率达到峰值（见图 3，该图示出了典型功率放大器的压缩曲线和效率）。然而，当 PAR 增大时，PA 从压缩点起将在更多的时间里处于工作状态。换句话说，为了维持充分的线性度并最终保持峰值振幅，将以牺牲效率为代价。

发送操作：电池电量的巨大消耗源

当智能设备发送信息时（特别是在功率级较高的情况下），功率放大器将消耗大量的电池储能。智能设备在两次充电之间所能连续运行的时间（也被称为“电池续航时间”）受控于 RF 前端

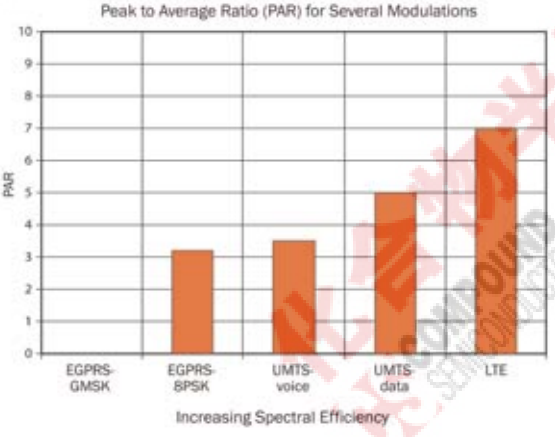

图2：常用数字网络调制方案之峰均比(PAR)的增大。

放大器部分的效率。为了延长电池续航时间，工程师们正在开发具有出色效率及线性度的放大器前端设计方案，以使 PA 能够在更接近压缩点的条件下运作，从而获得更高的效率。

实现这些目标的方法有几种。一种方法是预失真 - 通过给放大器的输入信号施加反向非线性让系统对 PA 非线性予以校正，从而使 PA 在更接近压缩点的条件下操作。或者，也可以采用“前馈”，这是一种基于非线性校正的方法，就是把 PA 输出端上的估计非线性予以去除。而另一种可选的方法则是“反馈（笛尔卡坐标或极坐标）”：检测输出信号、将其与期望的输入信号进行比较并对输入加以校正。最后一种同样很重要的方法是“包络消除与恢复”（EER）。此方法需要对具有相位信息（通过调制放大器的电源在其上产生叠加的振幅信息）的恒定包络信号进行放大。

在总部位于美国北卡罗莱纳州格林斯伯勒的 RF Micro Devices 公司，我们认为：作为 EER 的一个变种，具有附加延迟以保证线性度的包络跟踪 (ET) 在迅速升格为“面向较高功率 RF 发送的最有效的功率优化技术”。其最出色的特性之一是可很好地适用于宽频率范围、宽带宽范围及多种调制方案。这使其非常适合满足全球智能设备

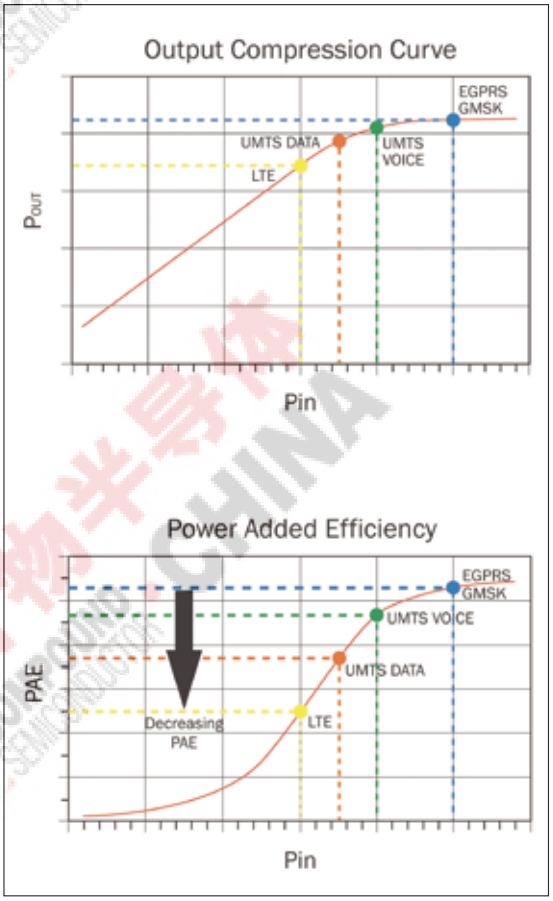

图3：典型功率放大器的压缩曲线和功效(PAE)显示了PAR的增大所产生的影响。

市场的需求。然而值得注意的是：在某些应用中，也许需要通过上述多项技术的组合来实现最佳的性能（见图 4，其对采用几种方法所获得的相对效率改善进行了图示）。

调低发送功率

在新式数字网络中，功率控制方案可在不需要满功率的情况下降低总的发送功率。由此带来的好处并不仅限于节能，因为这种方法还能最大限度地减少不必要干扰，从而获得更高的系统容量。设计可在很大的动态输出功率范围内进行高效发送的 RF 前端，将是在此类网络中实现良好运作的关键。

在大动态范围内提升 RF 效率有很多种方法。其中最显而易见的两种是：1) 在功率足够低、仅由推动级就能输送的情况下将最后的 PA 级关闭；2) 在较低功率下微调偏置电流以减少电流消耗。或者，工程师也可以采用一种 Doherty 配置，即：在低功率条件下将主放大器调节至有利的 (高) 阻抗，而在较高的功率下则接通辅助放大器以保持正确的阻抗。另一种可选方案是运用负载操控法，比如“链路匹配”或“负载开关切换”，即通过接通和断开匹配元件而在很宽的功率范围内保持有利的阻抗。此外，还有平均功率跟踪 (APT) 或多状态功率管理法。借助这种方法，可通过在平均功率下降时调低放大器的电源电压以把 PA 保持在接近饱和的状态。

实际上，所以这些能够在各种调制方案、频段、带宽和输出功率要求下实现效率提升的方法都存在复杂性、成本与优势方面的权衡折衷。不过我们发现：利用 PA 电源管理 (如 DC-DC 转换器) 的系统越来越多。照此下去，将能够以成本效益的方式将单一的转换器技术应用于覆盖所需发送频段及调制方案必需的各种不同的 PA 组件和调制电路 (见图 5)。许多替代方案相形之下都要逊色一些，因为它们虽然能解决相似的问题，但所用的方法却有可能增加每个组件的成本和复杂性。

关于这一点，我们可利用一款放在一起的 ET 设计方框图来说明 (见图 5)。增添预失真可以进一步改善高功率时的效率 - 这可通允许 PA 在更接近压缩点的条件下运作来提升高功率时的效率 (参见图 3 中的示例，了解这种做法为什么能够提高系统效率)。

然而，高效、高带宽的包络跟踪需要一个能

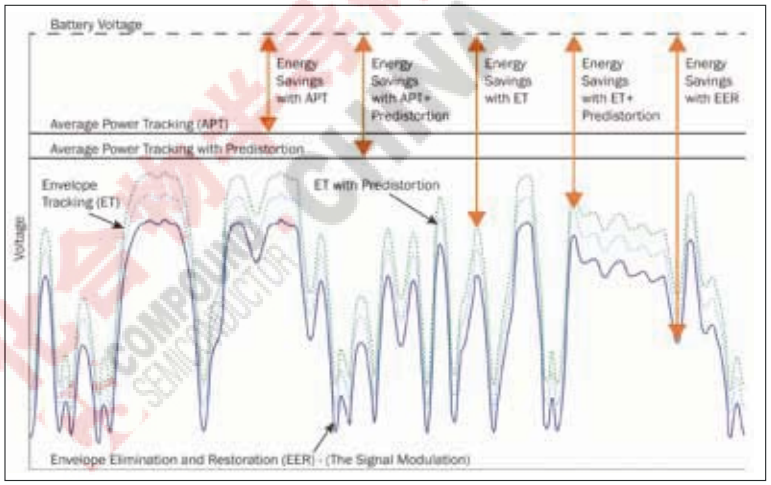

图4: 几种改进方法所实现的功效(PAE)提升之图示（忽略与实现方案相关联的转换效率）。

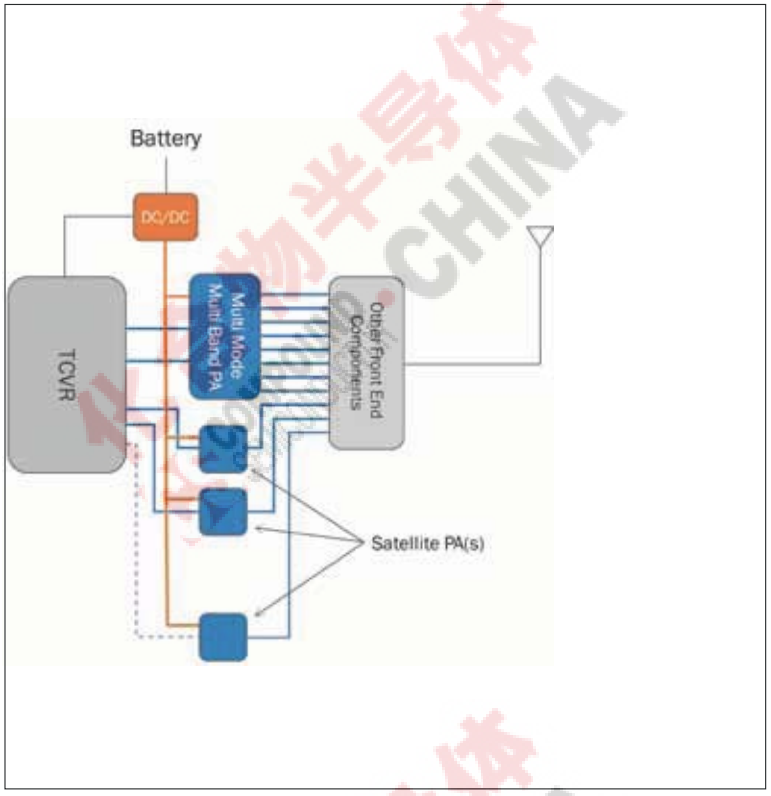

图 5: RF前端的图示－表明了针对多个PA组件进行的PA电源管理(DC-DC转换器)。

够提供快速、准确电压变化（它是跟踪高 PAR 调制的包络所必需的）的 DC-DC 转换器。不幸的是，利用这种方法所获得的 PA 效率提升却被 ET DC-DC 转换器及快速跟踪调制包络所需电路的转换效率下降给抵消掉了（在较宽的带宽范围内运作将降低转换器效率）。不过好的一面是：系统“效率提升”是有利的。换句话说：扣除 ET 实施方案电路的“成本”，PA 效率的提高总体而言还是利大于弊的。

随着发送功率的逐步调低，将会到达这样一个点，即：PA 效率提升带来的好处实际上被 ET 电路转换效率的下降所抵消。当发生这种情况时，必须改变提升效率的方法以实现最佳的性能。可以采用的针对性方案有以下几种：把系统切换至一种具有较高 DC-DC 转换效率的 APT 模式；调整 PA 偏置，或使用相似的低功率效率改进法；或者，采取这些方法的最优组合以确保在各种条件下都能实现高效率的发送操作。

全面集成

我们认为：此类新型 RF 平台系列将需要更精确地协调收发器、电源管理和功率放大器模块。另外，这些最新的设计还必须能够处理复杂的通信及定时信号，以确保收发器的正确操作－这需要在各种不同的效率提升方法之间实现无缝的良好转换，从而在各种调制方案、频率和功率级别下执行发送操作。希望通过电源管理获得的特性包括：能够跟踪高 PAR 包络（假如采用了 ET）的快速、准确的电压变化；避免产生过大的开关噪声；保持频谱纯度及维持足够高的电源转换效率（以获取这种方法的好处）。此外，还必须通过设计使 PA 拥有最优的负载线，从而能够在整个动态范围内运作。这意味着必需进行正确的器件定标（device scaling）和细致的权衡折衷（例如：审慎地选择电源电容），以使智能设备能够满足无线网络的复杂要求。

显然，在可以预见的未来，消费者对于在智能设备中实现移动性和高数据速率连接能力的需求将使 RF 前端市场继续面临着各类复杂性与挑战。为此，工程师们将通过各种组件的创新以及将这些组件集成为一个整体化的 RF 平台，不断地改善和优化新式数字设备的能源使用效率、热性能和电池续航时间。CS