

利用eGaN[®]FET实现 高效、宽负载范围的无线电源传送

氮化镓场效应晶体管 (eGaN FET) 之前在松散耦合式无线电源传送解决方案中, 展示了在采用零电压开关(ZVS)D类或E类放大器拓扑并工作在导通谐振条件下, 这些晶体管具有较高的效率[1、2、3、4及5]。然而, 可行的无线电源系统需要满足这些系统的易用性的要求, 结果是反射式线圈阻抗在负载和耦合变化时显著偏离谐振。由于这些系统仍然需要向负载供电, 因此放大器需要在宽阻抗范围内驱动线圈。诸如A4WP第三等级的标准定义了可以满足易用性因素、宽泛的线圈阻抗范围, 并且可以用作比较放大器的性能的起点。

作者: 宜普电源转换公司应用工程执行总监Michael de Rooij博士

本章根据A4WP第三等级的标准对ZVS D类及E类放大器拓扑在6.78MHz频率下进行测试并通过缩小了的阻抗范围来判断固有的工作范围极限。诸如器件的温度和电压极限等因素将确定每个放大器能够驱动线圈的负载阻抗范围。

符合A4WP第三等级的标准的标称工作范围

A4WP第三等级标准定义了一个宽阻抗范围一由+10jΩ到-150jΩ的imaginary阻抗和1Ω到56Ω的真实阻抗, 在这个范围内放大器需要能够以800mARMS的标称电流驱动功率。当所输送的功率达到16W时会降额。图1的Smith Chart显示了整个阻抗范围(蓝色阴影区域)——也叫“四角”(4 corners)。由于范围是如此宽泛, 所以允许rotate阻抗范围以提高放大器的效率和驱动线圈的性能。这种阻抗旋转在特定的条件下就是指自适应匹配, 因为电路会主动找出线圈最合适的工作阻抗, 如图中蓝色圆弧状虚线所示(针对非特定旋转)。

由于A4WP第三等级的标准的阻抗范围非常宽泛, 因此设计无线电源系统的第一步是确定实际的工作阻抗范围。一旦确定后, 这个数值就能够确定自适应匹配需要多少的discrete steps才可以覆盖第三等级的整个范围。放大器

的实际极限包括器件的额定电压的极限、温度的极限以及在某些情况下的供电电压的极限。在本次实验性分析中, 在28°C工作环境条件下, 我们使用80%的器件额定电压极限和100°C的器件温度极限(红外线相机观察得出)。

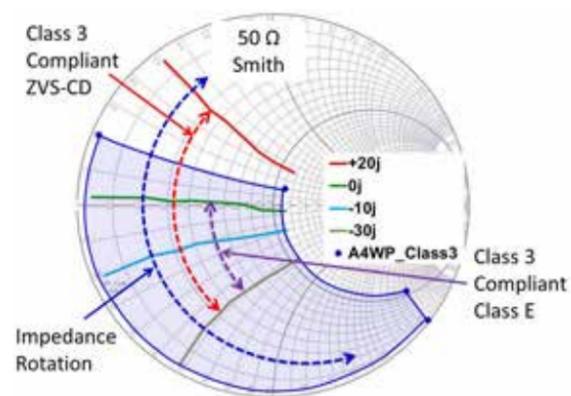


图1: Smith Chart展示实验性测试使用了符合A4WP第三等级标准的反射阻抗范围及分立负载的径迹。

高效无线电源传送的放大器拓扑

本次实验共分析了两种高效的放大器拓扑, 包括采用零电压开关的D类放大器和单终端E类放大器拓扑。图2展示了每一种放大器拓扑的原理图及最理想的工作波形图。

零电压开关D类拓扑使用非谐振式零电压开关tank电路, 在开关转换之间允许开关节点可以self-commutate, 从而在D类拓扑有效地消除与器件的输出电容(COSS)相关的损耗。

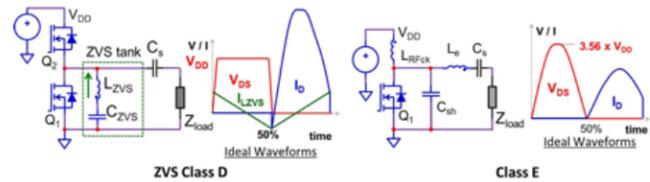


图2: ZVS D类(左图)及E类(右图)放大器的原理图及理想波形图。

采用单器件的E类拓扑使用了谐振电路Le和Csh, 它的谐振频率与工作频率不同以构建零电压开关所需的条件。在这个设计中, 输出电容(COSS)与Csh有效地并联在一起, 因此变成构建零电压开关所需的谐振电路的一部分。在某些情况下, 当外部电容Csh的数值减至零时, 采用E类拓扑的设计的限制为COSS值。

器件的比较

我们利用无线电源传送品质因数(FOM_{WPT}) (其定义请参看附注[5]) 来比较eGaN FET及最优的MOSFET器件(图3)。更优越的器件的FOM_{WPT}数值较低。我们可以看到eGaN FET的固有潜在性能在两个放大器拓扑都更为优越。

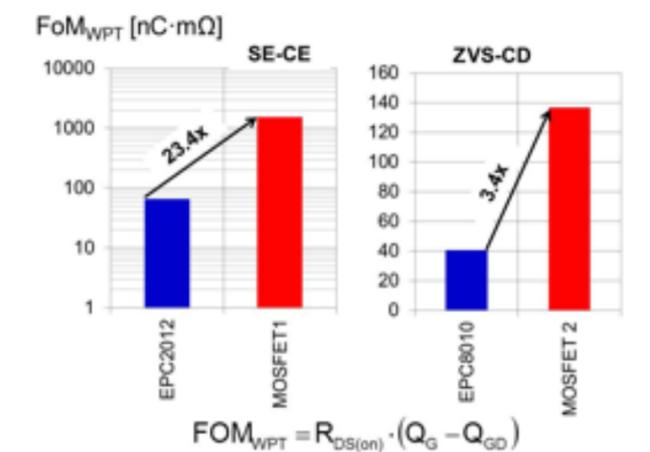


图3: 在E类及ZVS D类放大器拓扑比较基于eGaN FET及MOSFET的无线电源传送品质因数。

实验性验证

我们构建四个放大器, 每种放大器分别采用eGaN FET及MOSFET。基于每个器件的COSS有少许不同而小心调教

每一个放大器的设计, 以确保在每种情况下, 器件的工作条件相同。我们也构建了一个特别的负载来测试, 它可以根据多个真实及虚构的负载设置而独立地配置。该负载使用一个VNA进行校正, 以及让分立负载范围设置在+30j Ω至-30j Ω及1 Ω至56 Ω的范围内变化。图1展示了在不同的虚构设置条件下测量所得的实欧阻抗变化, 可利用这些测量值准确地测试功率时知道有多少功率传送至负载。

图4展示出采用ZVS D类放大器拓扑的各个虚欧阻抗设置的效率结果(包括栅极驱动功率), 而虚欧阻抗设置是实欧阻抗变化与所传送至负载的功率的函数。可以看到, 在相同的工作条件下, 基于eGaN FET的放大器总是高效很多。从本次实验可以看到, 放大器在超过50j Ω范围(图1中的红色圆弧状虚线所示)、器件的电压及温度皆符合规格下, 放大器符合A4WP标准。

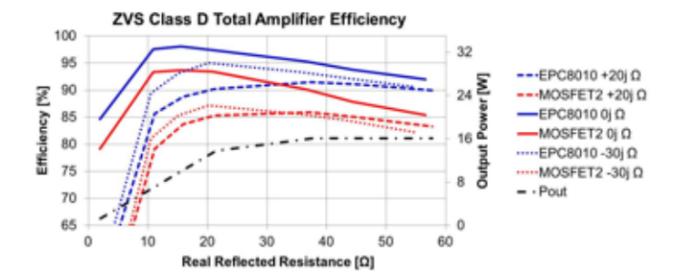


图4: 在作为实欧阻抗的函数的不同虚欧阻抗, 测量基于eGaN FET与MOSFET的ZVS D类放大器的效率的比较。

图5展示出采用E类放大器拓扑的各个虚欧阻抗设置的效率结果(包括栅极驱动功率), 而虚欧阻抗设置是实欧阻抗变化与所传送至负载的功率的函数。可以看到, 在相同的工作条件下, 基于eGaN FET的放大器总是高效很多。本次实验可以看到, 放大器只在超过30j Ω范围(图1中的紫色圆弧状虚线所示)、器件的电压及温度皆符合规格下, 放大器符合A4WP标准。

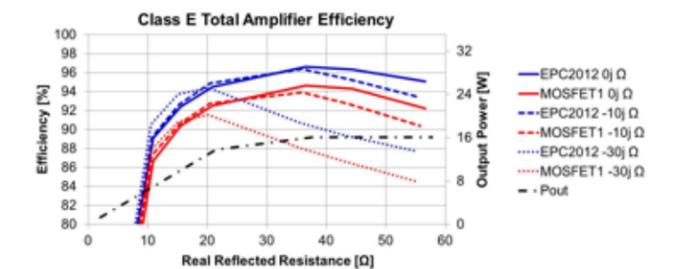


图5: 在作为实欧阻抗的函数的不同虚欧阻抗, 测量基于eGaN FET与MOSFET的E类放大器的效率的比较。

对E类放大器来说还有一点值得注意, 即虚欧阻抗如何影响工作峰值效率。这是因为虚欧阻抗与E类谐振电路Le串联在一起及会改变最优工作点。

总结

本章介绍了零电压开关D类和E类放大器拓扑分别采用

氮化镓场效应晶体管 (eGaN FET) 或 MOSFET、在宽阻抗变化范围内测试及比较它们的效率。在每种情况下, 氮化镓场效应晶体管都能够实现更高的放大器效率。零电压开关 D 类放大器拓扑展示了它可以工作在超过 $50j\Omega$ 的范围内, 而 E 类放大器拓扑只能在 $30j\Omega$ 的范围内而同时保持符合 A4WP 第三等级的标准并工作在指定的电压和温度参数范围内。零电压开关 D 类拓扑的器件额定电压值可以预测并完全在系统的控制之内, 而 E 类放大器拓扑不仅要求双倍的额定电压或更高电压, 而且工作在不同负载条件下有可能导致不可预料的高峰值漏电压。更广泛的工作范围可以将完全符合第三等级标准的分立自适应匹配电路所需的分立 bit 的数量减少至 2 个, 自适应匹配电路中的每个 bit 都将增加无线电源传送系统的成本。对于 E 类拓扑来说, 分立自适应匹配电路有可能需要 3 个或更多的 bit 才能完全符合第三等级标准。

eGaN® FET 是宜普电源转换公司的注册商标。

附注/参考资料:

- [1] M. A. de Rooij, "eGaN® FET based Wireless Energy Transfer Topology Performance Comparisons," International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management (PCIM - Europe), May 2014, pg. 610 - 617.
- [2] A. Lidow, M. A. de Rooij, "Performance Evaluation of Enhancement-Mode GaN transistors in Class-D and Class-E Wireless Power Transfer Systems," Bodo Magazine, May 2014, pg. 56 - 60.
- [3] A. Lidow, "How to GaN: Stable and Efficient ZVS Class D Wireless Energy Transfer at 6.78 MHz," EEWeb: Pulse Magazine, Issue 126, pp. 24 - 31, July 2014.
- [4] W. Chen, et al., "A 25.6 W 13.56 MHz Wireless Power Transfer System with a 94% Efficiency GaN Class-E Power Amplifier," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (MTT), June 2012, pg. 1 - 3.
- [5] M. A. de Rooij, "Performance Evaluation of eGaN® FETs in Low Power High Frequency Class E Wireless Energy Converter," International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management (PCIM - Asia), June 2014, pg 19 - 26.

www.epc-co.com

载誉40年 亚洲地区不容错过的电子制造行业盛会

2015年4月21-23日
上海世博展览馆
1号馆

电子制造
自动化

表面贴装

测试测量

卓越品质
汇聚商机

NEPCON China 2015

2015年4月21-23日
上海世博展览馆



NEPCON China 是亚洲地区集中展示 SMT 和“电子制造自动化”设备及技术规模最大历史最久的展览会之一。加入这个一流的贸易平台, 参展商能够以最便捷和高效的方式维护客户关系, 获取销售线索, 推广新产品, 树立企业品牌形象并进一步增强市场竞争力。同时, 展览会吸引了 22,000 名来自华东, 华中及华北地区的各类电子制造企业高端买家, 行业覆盖 EMS/OEM/ODM, 消费电子, 通信, 计算机, 汽车电子和医疗电子, 配合高质量的参展服务, 参展商和专业买家面对面的交流体验和沟通效果将获得进一步提升。

主办单位



承办单位



www.epc-co.com

联系我们 联系人: 王永林 先生 +86 21 5271 1111 Wang.Yonglin@epc-co.com
 联系人: 李海英 小姐 +86 21 5271 1111 Li.Haiying@epc-co.com