

增强型氮化镓场效应晶体管推动更高效无线电源传送

本文讨论增强型氮化镓晶体管如何在谐振拓扑推动重大的效率改进，以及展示一个工作在6.78 MHz频率范围的无线电源传送系统的范例。

宜普电源转换公司Alex Lidow博士、Michael deRooij 博士及 David Reusch博士

谐振转换器

在更高的开关频率下实现效率方面的改进，我们可以考虑使用谐振拓扑。谐振拓扑在直流-直流变压器的应用中尤为优势，因为没有条例的规限，致使转换器可以通常于谐振频率下工作。我们选用了如图一所示的拓扑来展示从硅基功率MOSFET转用增强型氮化镓晶体管所能取得的机遇。我们使用了一种基于变压器的磁性电感(LM)和漏电感的谐振技术(LK)，以及小型输出电容(CO)来实现零电压开关(ZVS)、限制关断电流并消除体二极管的导通[1]。

在高频谐振总线转换器的应用中，要直接比较含氮化镓晶体管与硅MOSFET器件的设计的性能，我们选用了具有相同阻抗的器件、使用相同电路拓扑及相同版图。由于软开关拓扑减少了与开关相关的损耗，从而使场效应晶体管的栅极驱动及传导构成器件的主要损耗，因此我们所关注的重要品质因数(FOM)为 $QG \times R_{DS(ON)}$ 及 $QOSS \times R_{DS(ON)}$ 。器件的输出电荷对实现ZVS所需能量构成直接影响。减少这个所需能量可以缩短死区时间、延长供电时间及致使高频谐振转换器具更小RMS电流。

相比硅MOSFET器件，氮化镓场效应晶体管(eGaN® FET) [2] 展示极大的性能改进：100V的氮化镓场效应晶体管的栅极驱动品质因数 ($QG \times R_{DS(ON)}$) 的改进大约达四倍[3]，而40V氮化镓器件的栅极驱动品质因数的改进大约达三倍[4]。此外，原边器件的输出电荷品质因数 ($QOSS \times R_{DS(ON)}$) 改进了大约1.6倍，而副边器件的输出电荷品质因数则改进了大约2倍。此外，氮化镓场效应晶体管在其它性能方面的改进包括具备更低的米勒电荷，从而减少原边器件在断开时的开关损耗。另外的一个优势是氮化镓器件使用LGA封装，与传统硅MOSFET的封装(SuperSO8)相比，氮化镓器件的封装具有更低寄生封装电感。集合以上所有的优势在一起，我们可以利用先进拓扑，配合具备低损耗的氮化镓

场效应晶体管[5]来实现数MHz的开关频率。

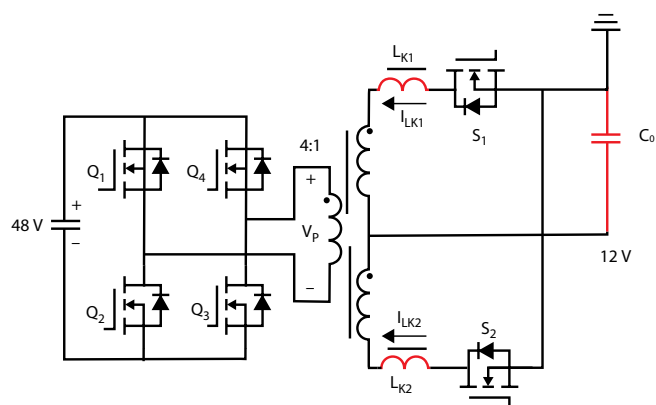


图1: 高频总线转换器的简图。

图2展示了两个设计的器件在1.2MHz频率工作时的实验性开关波形图。两个设计在变压器内通过空气空隙具备相同磁性电感，从而在器件断开时实现零电压开关。由于原边及副边氮化镓场效应晶体管所提供的输出电荷(QOSS)减少了差不多达两倍，因此得以成比例地缩短ZVS的过度时间，从而增加有效占空比，并提高转换器的整体性能。对于含硅MOSFET的设计来说，ZVS所需的死区时间的测量值是87ns，而每个器件的有效占空比被限制在34%。由于氮化镓器件具备更快开关速度，因此其死区时间的测量值被降低至42ns，致使每个器件的有效占空比为42%，同时延长了产电时间。此外，从开关波形图可以进一步看到，与等效硅MOSFET器件相比，氮化镓场效应晶体管的栅极驱动速度在更低栅极驱动电压下仍然是快很多，从而提供更快开关速度及减少栅极损耗。

小贴士:

宜普电源转换公司出版氮化镓场效应晶体管教科书的中文版，新闻可查看第10页

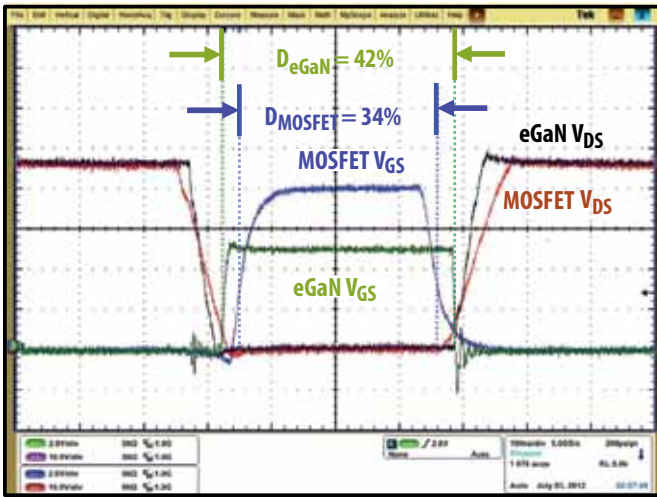


图2: 开关波形图展示了采用原边氮化镓场效应晶体管及硅MOSFET器件的设计在 $f_{S} = 1.2 \text{ MHz}$, $V_{IN} = 48 \text{ V}$ 及 $I_{OUT} = 26 \text{ A}$ 时的有效占空比。

图3展示了两个设计在1.2 MHz频率工作时其效率及功率损耗的比较。与等效硅MOSFET相比,基于氮化镓场效应晶体管的转换器的峰值效率改善了1%,致使其功率损耗减少了大约25%。由于基于这种设计的产品在热管理方面受限,更低的功率损耗可以直接转化为器件处理更高输出功率的性能。在这个范例中,与业界基准的内含硅MOSFET的设计相比,含氮化镓场效应晶体管的转换器可以增加输出功率达65 W之同时可以维持相同总功率损耗。我们假设两个设计均具大约12 W的最高功率损耗,基于氮化镓场效应晶体管的转换器的输出功率可以从270 W增加至325 W。

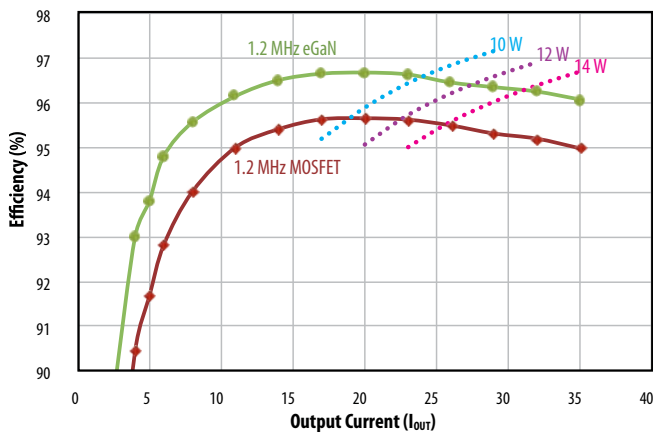


图3: 基于氮化镓场效应晶体管与基于硅MOSFET器件的谐振总线转换器的实验性结果的比较 ($V_{IN} = 48 \text{ V}$, $V_{OUT} = 12 \text{ V}$, $f_{S} = 1.2 \text{ MHz}$)。

无线电源应用

无线电源应用在许多通用产品如移动电话充电器日渐普遍。大部分的无线电源解决方案专注于与工作频率大约为2 kHz的感应线圈解决方案紧密耦合,以及在E[6]、F及S类音频放大器转换器拓扑。但最近业界进一步要求器件可以于还没有开放及没有领有许可证的更低工业、科学及医用频段 - 6.78 MHz频率下工作,而传统的MOSFET技术在这个频率下其性能已接近极限。

增强型氮化镓场效应晶体管可以替代MOSFET器件,因为它们所具备的快速开关速度足以使之成为无线电源应用的理想器件。我们对感应线圈无线能量系统作出实验性的评估,该系统使用半桥拓扑及氮化镓场效应晶体管,于6.78 MHz频率下工作,适合用于多个输出功率为5W的U盘充电负载。我们在功率转换级对这个实验性系统与采用等效MOSFET器件的系统作出比较。

我们所选用的放大器是一个于限定频率下工作的D类音频转换器。该转换器的工作频率在谐振频率之上,由于可以利用零电压开关的优势,因此放大器可以实现最高效率。我们选用体积最小的40V氮化镓场效应晶体管 (EPC2014 [7]),因为它具备低导通电阻及低COSS,这些都是确保最低损耗的因素。图4展示了所建议的无线能量系统的原理图。

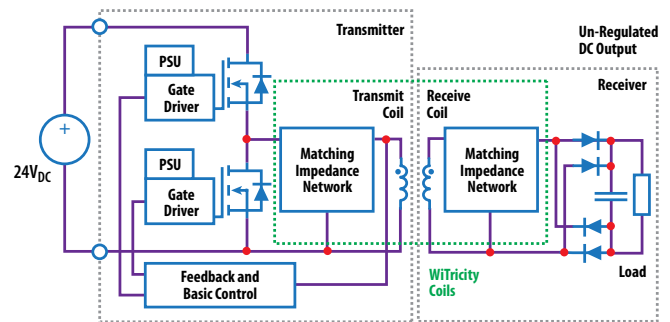


图4: 建议的无线能量系统的原理图。

我们要比较基于氮化镓及等效MOSFET器件的电路性能来展示氮化镓场效应晶体管在无线电源应用的优势。我们选用使用PG-TSDSON-8(3毫米x3毫米)封装的BSZ130N03LS_G[8] MOSFET器件,它跟EPC2014氮化镓器件的导通电阻相约,不同的是MOSFET器件的额定电压为30V,而氮化镓场效应晶体管的额定电压为40V。

我们设计了一个演示板来评估氮化镓及MOSFET器件的性能 [9]。图5显示了氮化镓场效应晶体管解决方案和MOSFET解决方案下作为输出功率函数的效率。该图表展示在功率放大器,相比使用MOSFET的方案,使用氮化镓场效应晶体管的方案可以实现高出4%的放大器效率(功率损耗减少了24%) [10]。

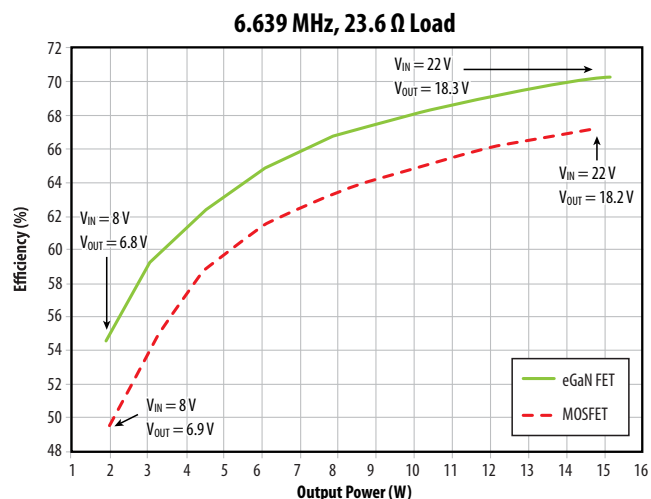


图5: 在固定负载电阻情况下, 我们比较了使用eGaNFET和MOSFET的无线电路板之间的直流入至直流出的效率(包括栅极驱动功耗, 它是输出功率的函数)。

总结

相比硅MOSFET器件, 我们较早前展示了氮化镓晶体管在硬开关的应用中所具备的优势[11], 但其对软开关转换器的贡献则很少提及。我们在这篇文章展示了相比功率MOSFET器件, 氮化镓场效应晶体管在软开关谐振转换器中也可以在效率方面实现极大的改进, 例如应用于中间总线直流-直流转换器及无线电源传送等领域。

参考文献:

1. Y. Ren, M. Xu, J. Sun, and F. C. Lee, "A Family of High Power Density Unregulated Bus Converters," IEEE Transactions, Power Electron, Vol. 20, no. 5, pp. 1045-1054, Sep. 2005.
2. Efficient Power Conversion Corporation, www.epc-co.com
3. EPC2001 datasheet, EPC, <http://epc-co.com/epc/Products/eGaNfets/EPC2001.aspx>
4. EPC2015 datasheet, EPC, <http://epc-co.com/epc/Products/eGaNfets/EPC2015.aspx>
5. David Reusch and Johan Strydom, "The eGaNFET-Silicon Power Shoot-Out Vol. 10: High Frequency Resonant Converters", Power

Electronics Technology, Vol.38, No.9, September, 2012

6. W. Chen, R. A. Chinga, S. Yoshida, J. Lin, C. Chen, and W. Lo, "A 25.6 W 13.56 MHz Wireless Power Transfer System with a 94% Efficiency GaN Class-E Power Amplifier" Microwave Symposium Digest (MTT), 2012 IEEE MTT-S International.
7. EPC2014 datasheet, EPC, <http://epc-co.com/epc/Products/eGaNfets/EPC2014.aspx>
8. BSZ130N03LS_G datasheet, Infineon, www.infineon.com
9. Witricity Corp. supplied the coils with matching networks. The coil set part numbers are 190-000037-01 and 190-000038-01, www.witricity.com
10. Michael de Rooij and Johan Strydom, "eGaNFET - Silicon Shoot-out Vol. 9: Wireless Power Converters", Power Electronics Technology, Vol. 38, No. 7, July 2012
11. Lidow, Strydom, deRooij, and Ma, "GaN Transistors for Efficient Power Conversion" Power Conversion Publications, 2012,