

集成式氮化镓器件实现更高 DC/DC 转换效率及功率密度



宜普电源转换公司 Alex Lidow, David Reusch, 及 Johan Strydom

生长在硅晶体上并构建成为一种增强型氮化镓(eGaN[®])场效应晶体管可推动全新并让人惊叹的终端应用的出现,[例如无线电源传送、光学遥感技术(Lidar)及包络跟踪等应用[1]。此外,[由于氮化镓场效应晶体管在性能方面取得重大进展,因此可以在目前大部分的应用替代硅基功率MOSFET器件包括AC/DC DC/DC功率转换应用,[并且将取得这些旧有器件目前的120亿美元市场份额。

氮化镓技术的发展进程还是刚刚开始。由于该技术远远未能达到它的理论上性能极限,因此我们可以合理地预期这种器件可以根据像摩尔定律般改进--摩尔定律预测微处理器技术的发展将最少在未来十年内在产品性能方面可以在每两年至四年之间得以倍增。

除了性能及成本得以改善外,由于氮化镓技术最大的机遇是它的固有特性可在相同的衬底上集成多个器件,因此对功率转换市场的影响深远。与常用的硅集成电路技术相反,氮

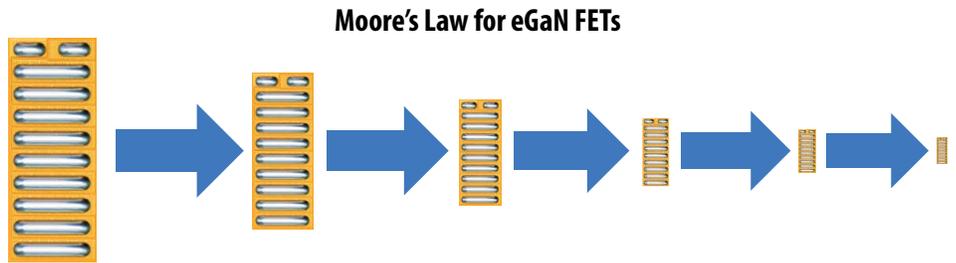


图1: 我们预测氮化镓场效应晶体管的性能可在每两年之间得以倍增,因此可以用更小的外形设计实现更高的性能

化镓技术将来可让设计师更直接地及以低成本在单个晶片上实现单片式功率系统。

目前在功率转换应用中最常用的基本拓扑是半桥拓扑,因此它成为发展功率系统片(SoC)的起点。

图2展示了第一个商用的增强型单片式半桥氮化镓集成电路。这个系列的第一个产品是EPC2100,它的额定电压为30 V。上面的场效应晶体管(Q1)的导通电阻($R_{DS(on)}$)典型值为6 m Ω ,而下面的场效应晶体管(Q2)的导通电阻($R_{DS(on)}$)型值为1.5 m Ω 。它使用了可以改善开关速度及散

热性能的芯片封装方式,其尺寸为6 mm x 2.3 mm。图3是器件的pin-out配置。Gate 1是高侧栅极引脚。GR1是高侧栅极回路引脚。Gate 2是低侧栅极引脚。 V_{SW} 是半桥的开关节点,包含在印刷电路板上的、以并联连接的35只焊锡引脚。 V_{IN} 是对顶部场效应晶体管(Q1)的漏极提供输入电压,包含8只以并联连接的引脚。 P_{GND} 是在下面的场效应晶体管(Q2)的源极端的功率接地连接,包含29只以并联连接的引脚。通过集成两个功率场效应晶体管而形成单片式器件可以去除互连电感及印刷电路板上晶片与晶片之间所需的空隙,从而提高效率(尤其是在更高频率时)及提高功率密度并同时降低组装成本。

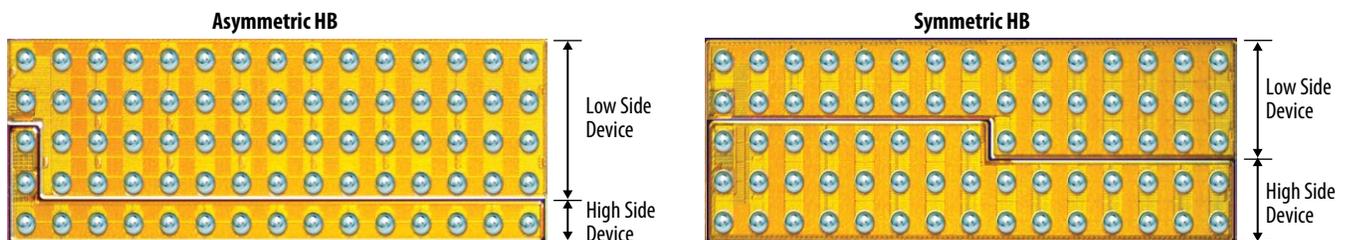


图2: 在单晶片上集成两个氮化镓场效应晶体管(eGaN FET)形成单片式半桥器件并使用芯片尺寸封装(Bump Side)

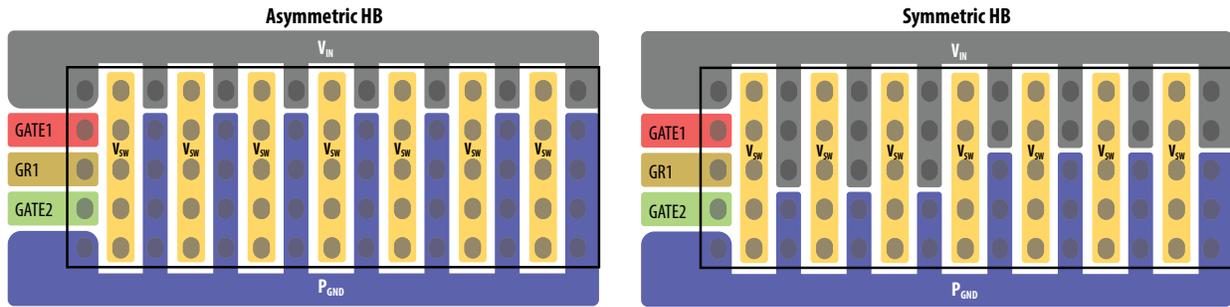


图3: 图2所展示的器件的Pin-out

器件型号	配置	V _{DS}	R _{DS(on)} @5 V _{GS} 最大值 (mΩ)	Q _G 典型值 (nC)	Q _{GS} 典型值 (nC)	Q _{GD} 典型值 (nC)	Q _{OSS} 典型值 (nC)	Q _{RR} (nC)	I _D (A)	脉冲 I _D (A)	半桥开发板
EPC2100	双路 不对称	30	8.2 2.1	3.6 15	1.3 4.8	0.6 2.7	6.1 29	0	10 40	100 400	EPC9036
EPC2102	双路	60	4.9	8	2.5	1.5	26 31	0	30	220	EPC9038
EPC2101	双路 不对称	60	11.5 2.8	3.3 13	1.1 3.9	0.5 2.2	9.3 45	0	10 40	80 350	EPC9037
EPC2103	双路	80	5.5	6.5	2.2	1.1	30 34	0	30	195	EPC9039
EPC2105	双路 不对称	80	14.5 3.6	2.7 11	0.9 3	0.5 2.1	11 51	0	10 40	70 300	EPC9041
EPC2104	双路	100	6.8	6.8	2.3	1.4	35 41	0	30	180	EPC9040

表1: 集成式氮化镓功率器件的产品选型指南

表1展示出半桥式集成电路系列的所有器件。在这个系列的首三个半桥集成电路成员，高侧场效应晶体管的尺寸大约是低侧器件的四分之一，具备高V_{IN}/V_{OUT}比，在降压转换器可实现最高DC/DC转换效率（见图4）。在需要对称的芯片尺寸的应用中，例如砖式电源、马达驱动器及D类音频放大器，表1所列出的最后两个半桥IC的高侧与低侧场效应晶体管的芯片尺寸相同，如图2及3所示。

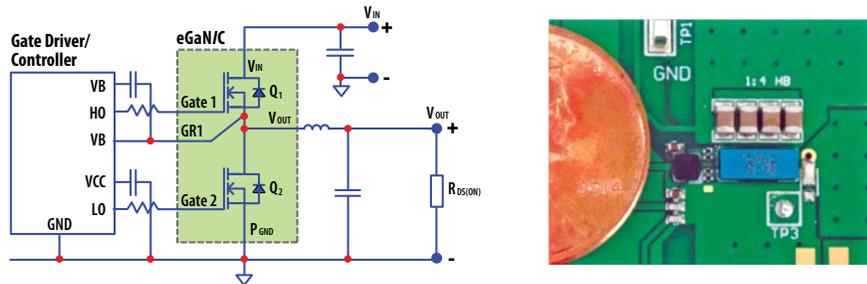


图4: 这是一个12 V_{IN}、1.2 V_{OUT}的降压转换器。左图是电路原理图。右图是使用EPC2100 eGaN半桥器件的实际电路。

图4展示出一个12 V_{IN}转1.2 V_{OUT}的负载点降压转换器及图5展示出测量所得的电路效率。在500 kHz及10 A时，降压转换器的峰值效率接近93%；在20 A时的效率则超过91.5%。

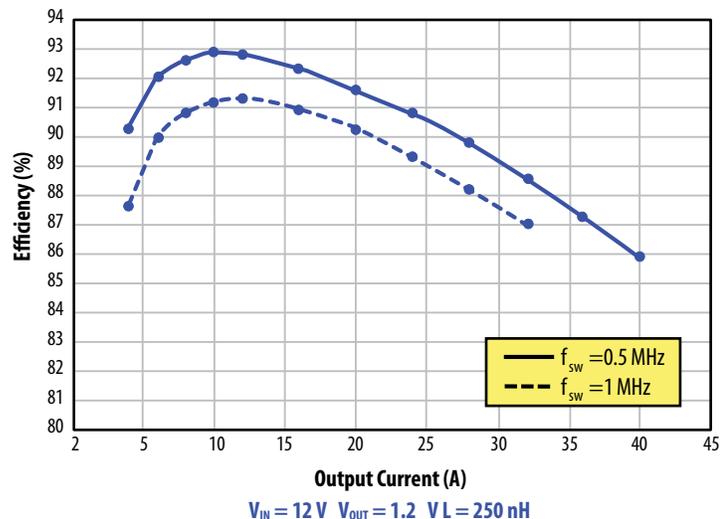


图5: 采用EPC2100 半桥器件的降压转换器工作在500 kHz及1 MHz时所实现的总效率

在更高频工作条件下,集成器件的优势更为明显。图6比较了两个降压转换器分别工作在1 MHz及4 MHz频率时它们在不同输出电流的效率。蓝线代表采用分立式氮化镓场效应晶体管 (eGaN FET) 的转换器。黑色线代表采用EPC2100单片式半桥器件的降压转换器。由于半桥式器件的尺寸比两个分立式场效应晶体管的总晶片尺寸小33%,因此同步整流器场效应晶体管(Q2)的阻抗高出大约50%,以及在低频及大电流情况下,采用单片式半桥器件的降压转换器的效率较低。可是,当频率增加至4 MHz,单片式半桥器件的峰值效率比分立式器件的峰值效率高出大约2% (见图6)。

去除在晶片与晶片之间的空隙并配以最优越的功率环路布局可以大大减少总功率环路电感至低于200 pH - 这是少于分立式器件EPC2015所述的一半电感[2]。这使得电压在三分之二纳秒范围内转换,以及在25 A开关时的过冲也只是3.6 V(见图七)。

现在让我们探究具备更高输入电压时的负载点转换的情况。图8展示出采用EPC2101并工作在500 kHz频率下的转换器的效率。这个EPC2101是一个60 V半桥式氮化镓集成电路,可以转换高很多的总线电压,例如它可以高效地从28 V及42 V直接转至1 V。图9展示了这个转换应用的开关节点波形图。

当负载点转换的输入电压更高时,图10展示了转换器在采用EPC2105晶体管并工作在500 kHz频率时的效率。EPC2105是一个80 V半桥式氮化镓集成电路,可以高效地从48 V直接转至1 V。当全降压转换器系统在16 A时可实现超过80%的峰值效率并可减去数据通信系统通常需要的两级电压转换。

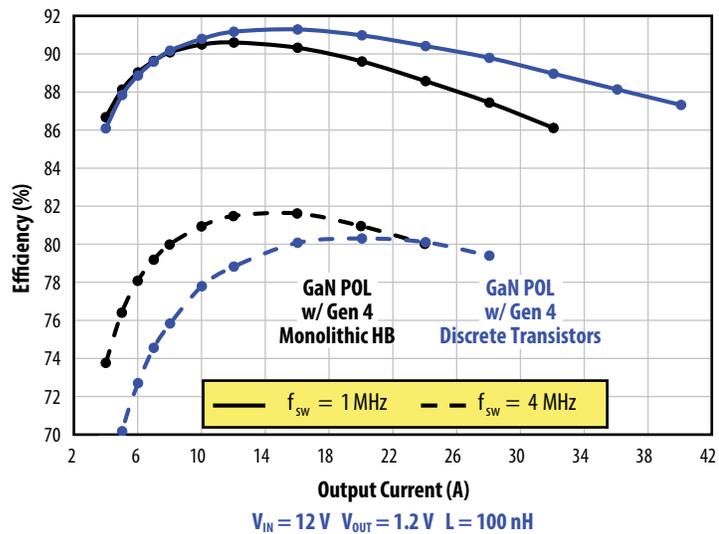


图6: 与分立式氮化镓场效应晶体管 (Q1: EPC2015; Q2: EPC2023) 相比采用EPC2100半桥器件的降压转换器的总效率

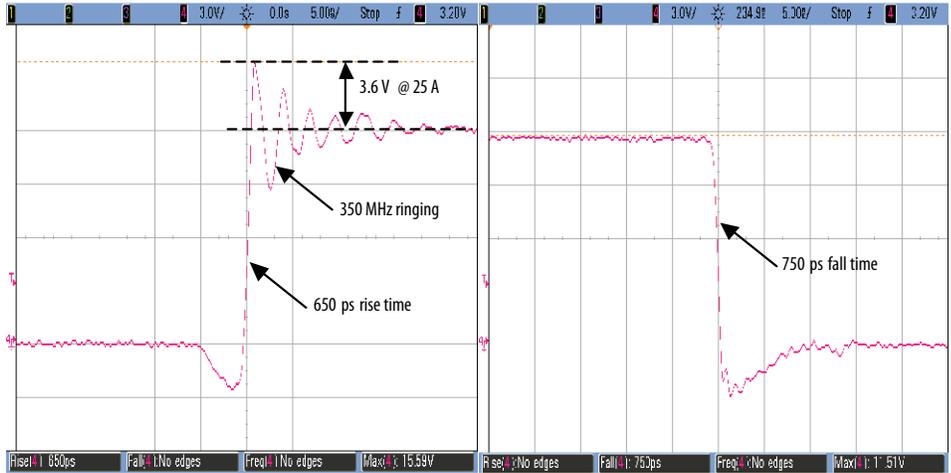


图7: EPC2100器件的开关节点波形图: 12 V V_{IN} 转至 1.2 V V_{OUT} 、25 A I_{OUT} 、1 MHz、650 ps 上升时间及750 ps 下降时间

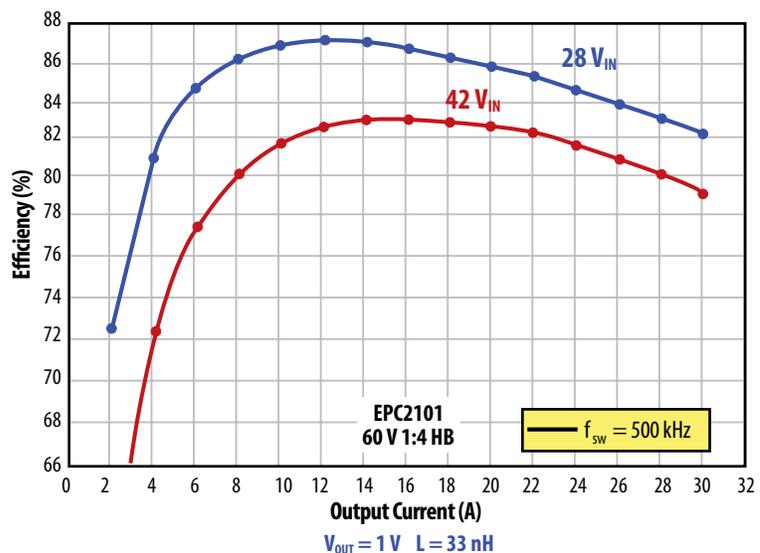


图8: 采用EPC2101半桥式集成电路的降压转换器的总效率

在需要更高比例的对称元件的应用中,图2展示出80 V的EPC2103及60 V的EPC2102为单片式半桥eGaN集成电路提供两个尺寸相同的芯片。图11展示了一个 48 V_{IN} 转 12 V_{OUT} 的负载点降压转换器的总系统效率。要实现更低的降压比及更高的占空比,图11展示出对称的半桥氮化镓器件可取得更高的效率,以及具备快速开关性能,在 48 V 输入电压及 20 A 的输出电流下,上升时间为 2.1 ns 及下降时间为 1.4 ns (见图12)。

分立式氮化镓场效应晶体管大批量生产已经达五年之久并进驻了很多目前采用硅MOS-FET器件的传统应用。由于全新技术的学习曲线及发展比旧有器件更快速,因此氮化镓器件在效率方面的绩效差距正在不断扩大[3]。现在设计师可以利用单片式eGaN半桥器件系列中的三个器件节省占板面积、提高效率及降低系统成本。当功率转换系统工作在数MHz频率时,集成多个分立式器件变得更为重要,从而实现高系统效率及高功率密度。

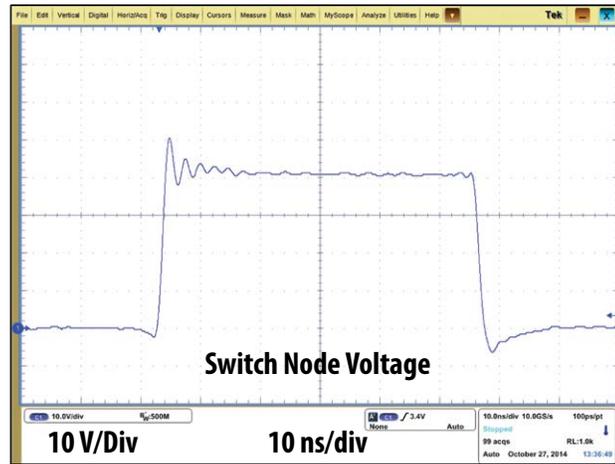


图9:在 $V_{IN} = 42\text{ V}$ 、 $V_{OUT} = 1\text{ V}$ 、 $I_{OUT} = 20\text{ A}$ 及 $f_{sw} = 500\text{ kHz}$ 时的开关节点电压

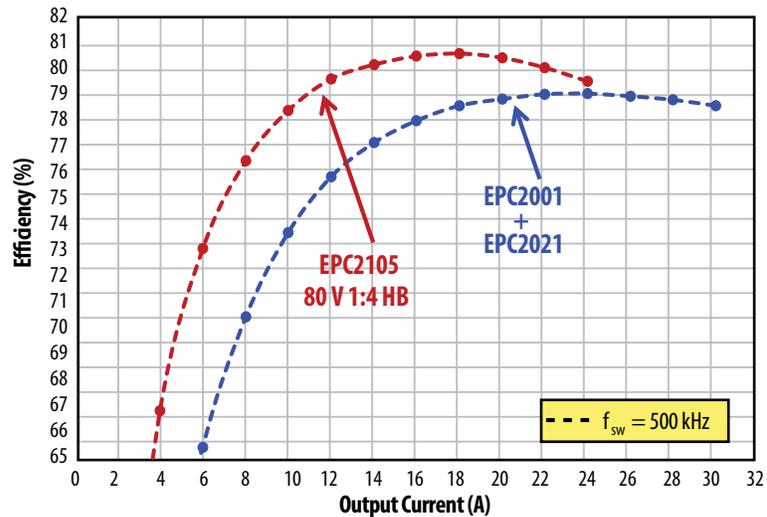


图10:比较采用EPC2105半桥式集成电路与采用分立式氮化镓场效应晶体管(eGaN FET)的降压转换器的总效率

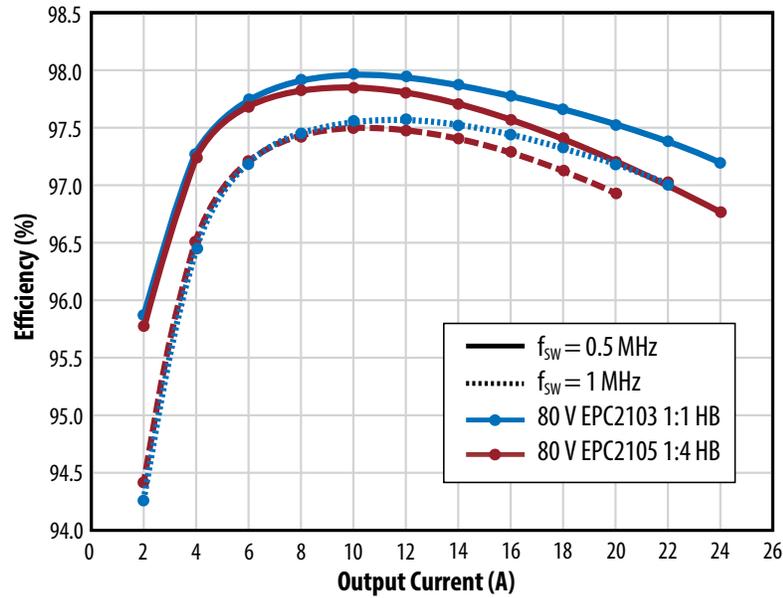
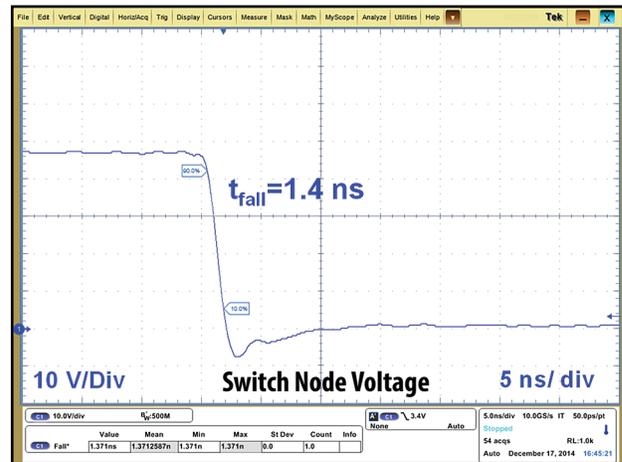
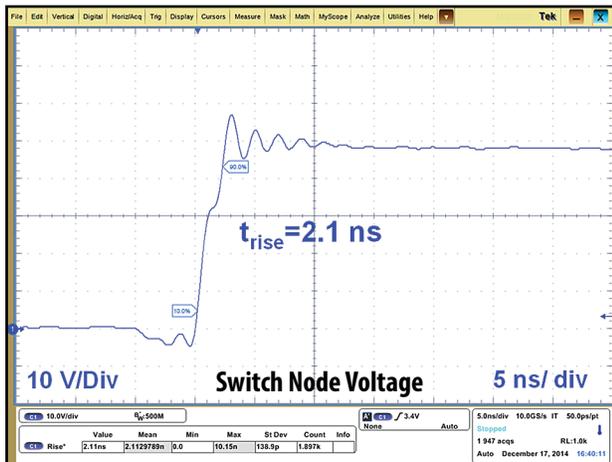


图11:采用EPC2103及EPC2105半桥器件的降压转换器的总效率。



$$V_{IN} = 48 \text{ V} \quad I_{OUT} = 20 \text{ A}$$

图12:EPC2103的开关节点波形图,在48 V转12 V及20 A的输出电流下,上升时间为2.1 ns及下降时间为1.4 ns。

参考资料:

- [1] A. Lidow, J. Strydom, M. de Rooij, and D. Reusch, "GaN Transistors for Efficient Power Conversion, Second Edition," J. Wiley, 2015.
- [2] D. Reusch, J. Strydom, "Understanding the Effect of PCB Layout on Circuit Performance in a High Frequency Gallium Nitride Based Point of Load Converter," APEC 2013, pp.649-655, 16-21 March 2013.
- [3] <https://epc-co.com/epc/Products/eGaNFETs/Gen4eGaNFETs.aspx>