

降压型开关电源的发展

作者: Yang Hongwei

电源作为电子产品的动力中枢，其续航能力直接决定着电子产品的使用寿命。随着集成电路制造工艺的不断进步，数字电路的电源电压一直下降，但系统的供电电源还是在较高的电位，因此必须靠降压型电源来提供较低的供电电源。开关电源技术问世之前，线性电源作为各类电子产品的主要电源，能够实现直流高电压向直流低电压的单向变换，适用于低压差的电压转换和低负载电流的应用。要提高电子产品的性能，节约能源，关键是要解决电源的性能问题。由于开关电源具有功耗小、变换效率高等优良性能，加上生产成本低，已经逐渐取代了线性电源，在电子行业得以广泛使用。

开关电源发展之初，功率级多采用分立器件，应用简单的异步整流技术，如图（1）所示。

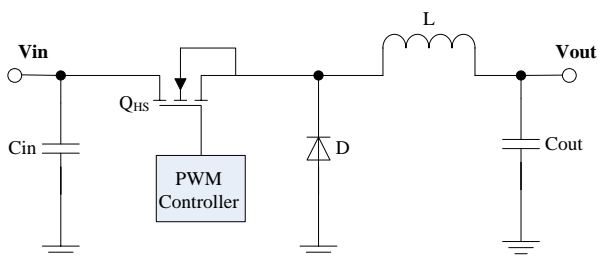


图 (1) 异步整流 DCDC BUCK

同步整流技术采用 MOSFET 代替整流二极管，由于 MOSFET 的导通电阻很低，整流器件的导通损耗大大降低，提高了转换效率，同步整流技术尤其适宜应用在低电压、大电流的场合。同步整流 BUCK 如图（2）所示。

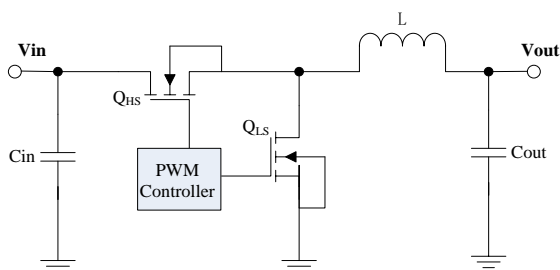


图 (2) 同步整流 DCDC BUCK

进入 90 年代中后期，随着集成电路的发展，MOS 分立元件集成到芯片中，DCDC BUCK 整体性能大幅提高，同时降低了成本，显示出强大的生命力。对于电流不是很大的 BUCK，功率级 High Side MOS 多采用 PMOS，这样控制电路简单。而对于大电流 BUCK，则改用经济的 NMOS，NMOS

的栅电压要通过自举电路抬高，如图（3）所示。

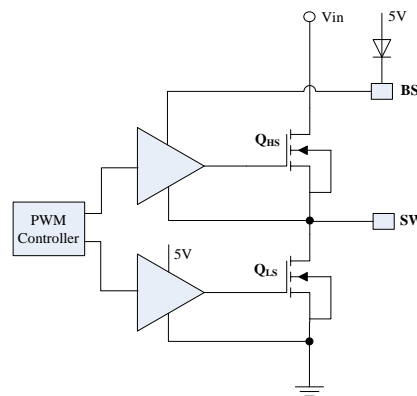


图 (3) 带自举电路的同步整流 DCDC BUCK

DCDC 按控制环路可分为电压模式控制（图 4）和电流模式控制（图 5）。

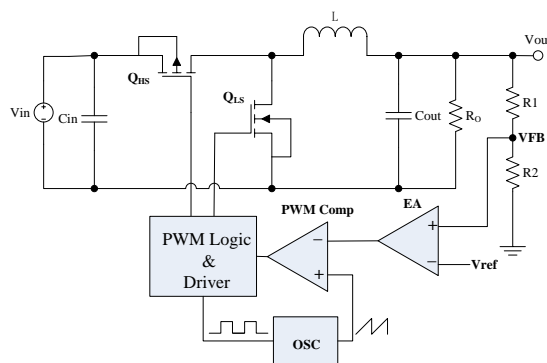


图 (4) 电压模式 DCDC BUCK 控制原理图

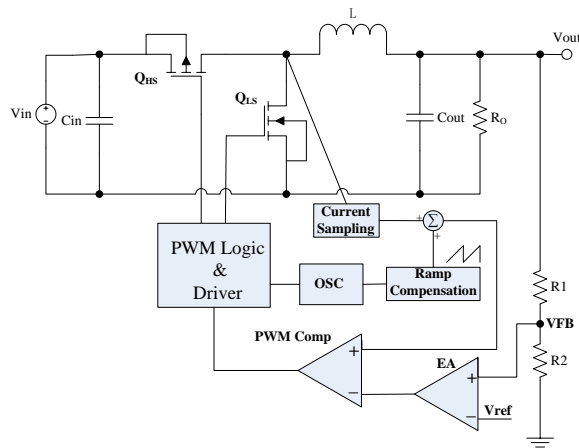


图 (5) 电流模式 DCDC BUCK 控制原理图

电压控制模式系统结构简单，因其只有电压反馈一个环

路，动态响应慢，存在双极点，补偿复杂。电流模式控制在保留电压控制模式的基础上，又增加了一个电流反馈环，即存在电压反馈外环和电流反馈内环的双环控制系统。电流模式控制闭环响应快，单极点系统易于补偿。但当占空比 (D) 大于 50% 时，易产生次谐波振荡，各种谐波补偿电路应运而生，弥补了不足，在很长一段时间，电流模式控制 DCDC 一直是电源的主流。

受到摩尔定律的指引，半导体制程的线宽不断缩小，智能手机、平板电脑和数码相机等市场上的便携式设备做得越来越轻薄，功能越来越强大。然而数码产品所需电源电压不断下降，电流不断增加，对电源性能的要求不断提高，传统 PWM 模式 DCDC，已不能满足市场需要。

近些年，COT (Constant-On-Time) 控制架构得以广泛应用。COT 架构的 DCDC 具有几大优势：1、控制电路简单，不需要误差放大器和电流采样电阻。2、对负载的变化响应快速。3、轻载时仍有较高效率。输出级电容的 ESR (串联等效电阻) 自带电感电流信息，只要其“信息”足够 (所产生纹波可以和电容纹波比拟) 就可以作为电流检测电阻使用，以实现只用输出电压就可以获得电流模式控制 [1] [2] [3]。在输出电压纹波要求不高的应用中，可以在电容上叠加一个电阻去产生这样的纹波信号，如图 (6) 中的 R3。

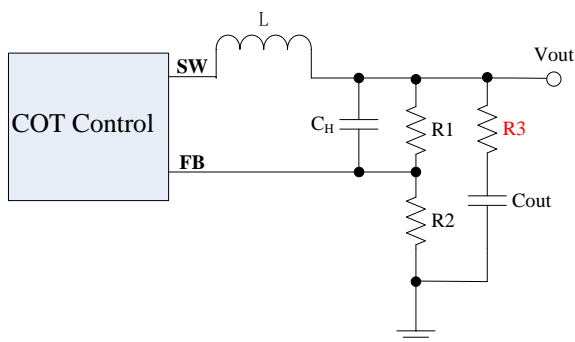


图 (6) COT 应用电路

通常用具有较高 ESR 的电容 (电解电容, 固态电容 (OSCON), 高分子有机半导体固体电容器 (POSCAP)) 来实现这种纹波。受严格的输出调整电压规格限制, 以及成本和尺寸压缩的需要, 电源设计者转向成本更低, 尺寸更小, ESR 更低的陶瓷电容 (ceramic) [1]。使用带陶瓷电容的 COT 架构, 就必须“造出”带有电感电流信息的幅度足够大的纹波, 图 (7) 为纹波产生电路, 产生的纹波可由公式 (1) 计算得出 [1]。

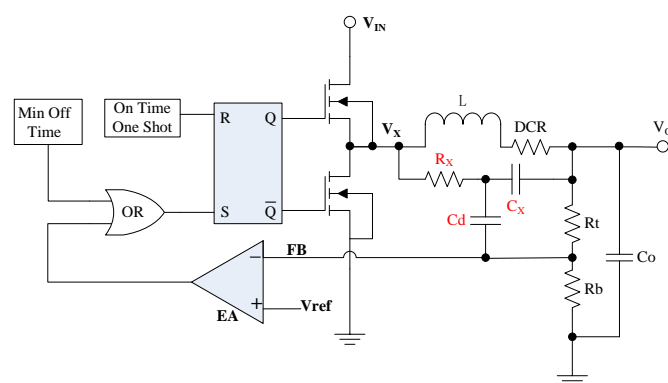


图 (7) COT 架构的 DCDC BUCK 纹波产生电路

$$V_{-}(C_X(PP)) = (I_{-}(L(PP)) \times L) / (R_X \times C_X)$$

公式 (1)

与图 (6) 同一款芯片的另一种应用, 如图 (8) 所示: 为获得较小的输出纹波, 不用 R3, 而用 RA, CA 产生了带有足够电感电流“信息”的纹波, 加载在反馈电压信号上。

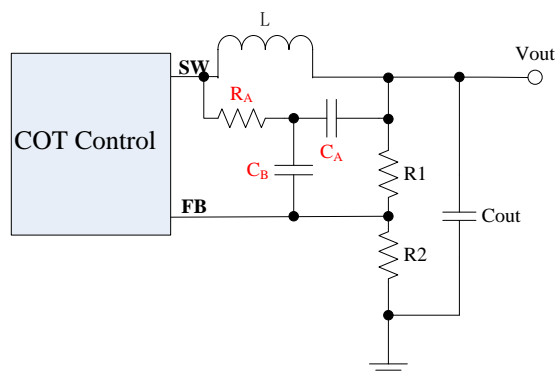


图 (8) 采用纹波注入的最小纹波输出应用电路

思瑞浦研发的 TPP2020 DCDC BUCK, 采用 COT 技术, 输入电压最高可达 20V, 输出电压 5V 到 1V, 输出电流可达 3A, 效率最高可达 93%, 其应用电路如图 (9) 所示。

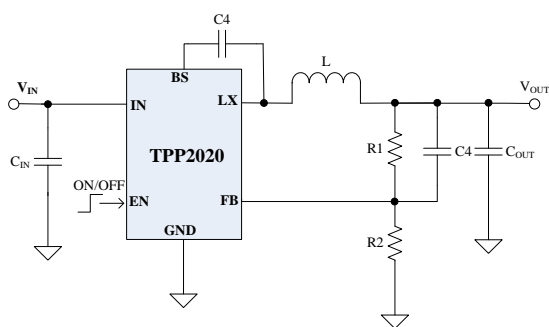


图 (9) TPP2020 应用电路

DCDC BUCK 随着微电子技术的发展以及电子产品电源的

需要而不断创新，从异步整流到同步整流，功率器件从片外分立 MOS 到片内集成大功率 MOS，从单环电压模式到双环电流模式，从复杂环路和补偿电路到简单的 COT 架构（误差放大器，补偿电路，甚至振荡器都可以不要），从

PWM 到 PFM 操作……如今 COT 架构更是以其无与伦比的优势在电源领域得以大力发展。未来，还会有新的技术不断创造出来、融入进来，使我们的 DCDC BUCK 性能更加卓越…

参考文献

1. Shangyang Xiao, "Ripple Generating Circuit for Constant-On-Time Controlled Buck Converters", powerelectronics.com/regulators/ripple-generating-circuit-constant-time-controlled-buck-converters
2. Kuang-Yao (Brian) Cheng, "Adaptive Ripple-Based Constant On-Time Control with Internal Ramp Compensations for Buck Converters", p.440, 2014, IEEE
3. Shuilin Tian, "Small-signal Model Analysis and Design of Constant-on-time V2 Control for Low-ESR Caps with External Ramp Compensation", p.2944, 2011, IEEE

 **3PEAK and the 3PEAK logo are registered trademarks of 3PEAK INCORPORATED. All other trademarks are the property of their respective owners.**
