

论通信电源开关技术发展情况

林伟平

摘要: 本文围绕通信用高频开关电源技术的发展, 从变换器拓扑、建模与仿真、数字化控制及磁集成几方面展开了以下的谈论。

关键词: 数字控制; 通信电源; 磁集成

1 引言

通信用高频开关电源向集成化、小型化方向发展将是未来的主要趋势, 功率密度将越来越大, 对工艺的要求也会越来越高。在半导体器件和磁性材料没有出现新的突破之前, 重大的技术进展可能很难实现, 技术创新的重点将集中在如何提高效率和减小重量, 因此需要不断提高开关频率和采用新的电路拓扑结构, 这就对高频开关电源技术提出了更高的要求。

2 通信用高频开关电源技术的发展

2.1 变换器拓扑

软开关技术、功率因数校正技术及多电平技术是近年来变换器拓扑方面的热点技术。采用软开关技术可以有效地降低开关损耗和开关应力, 有助于变换器效率的提高; 采用 PFC 技术可以提高 AC-DC 变换器的输入功率因数, 减少对电网的谐波污染; 而多电平技术主要应用在通信电源三相输入变换器中, 可以有效降低开关管的电压应力。同时由于输入电压高, 采用适当的软开关技术以降低开关损耗, 是多电平技术将来的重要研究方向。

为了降低变换器的体积, 需要提高开关频率, 从而实现高的功率密度, 这就必须使用较小尺寸的磁性材料及被动元件, 但是提高频率将使 MOSFET 的开关损耗与驱动损耗大幅度增加, 而软开关技术的应用可以降低开关损耗。目前的通信电源工程应用最为广泛的是有源箱位 ZVS 技术, 20 世纪 90 年代初诞生的 ZVS 移相全桥技术。以及 90 年代后期提出的同步整流措施。

2.1.1 ZVS 有源箱位

有源箱位技术历经三代, 且都申报了专利。第一代是美国 Vicor 公司的有源箱位 ZVS 技术, 将 DC-DC 的工作频率提高到 1MHz, 功率密度接近 200W/in³, 然而其转换效率未超过 90%。为了降低第一代有源箱位技术的成本, IPD 公司申报了第二代有源箱位混凝土技术专利, 它采用 P 沟道 MOSFET, 并在变压器二次侧用于 Forward 电路拓扑的有源箱位混凝土, 这使产品成本减低很多。但这种方法形成的 MOSFET 的零电压开关 (ZVS) 边界条件较窄, 而且 PMOS 工作频率也不理想。为了让磁能在磁心复位时不白白消耗掉, 一位美籍华人工程师于 2001 年申请了第三代有源箱位混凝土技术专利, 其特点是在第二代有源箱位混凝土的基础上将磁心复位时释放出的能量转送至负载, 从而实现了更高的转换效率。它共有三个电路方案: 其中一个方案可以采用 N 沟道 MOSFET, 因而工作频率可以更高, 采用该技术可以将 ZVS 软开关、同步整流技术都结合在一起, 因而实现了高达 92% 的效率及 250W/in³ 以上的功率密度。

2.1.2 ZVS 移相全桥

从 20 世纪 90 年代中期, ZVS 移相全桥软开关技术就已广泛地应用于中、大功率电源领域。该项技术在 MOSFET 的开关

速度不太理想时, 对变换器效率的提升起了很大作用, 但其缺点也不少。第一个缺点是增加一个谐振电感, 导致一定的体积与损耗的增加, 并且谐振电感的电气参数需要保持一致性, 这在制造过程中是比较难控制的; 第二个缺点是丢失了有效的占空比。此外, 由于同步整流更便于提高变换器的效率, 而移相全桥对二次侧同步整流的控制效果并不理想。最初的 PWMZVS 全桥控制器 UC3875/9 及 UCC3895 仅控制初级, 需另加逻辑电路以提供准确的次级同步整流控制信号: 如今最新的移相全桥 PWM 控制器如 LTC1922/1、LT3722-1/-2, 虽然已增加二次侧同步整流控制信号, 但仍不能有效地达到二次侧的 ZVS/ZCS 同步整流, 但这是提高变换器效率最有效的措施之一。而 LTC3722-1/-2 的另一个重大改进是可以减小谐振电感的电感量, 这不仅降低了谐振电感的体积及损耗, 占空比的丢失也有所改进。

2.1.3 同步整流

同步整流包括自驱动与外部驱动。自同步整流方法简单易行, 但是次级电压波形容易受到变压器漏感等诸多因素的影响, 造成批量生产时可靠性较低而较少应用于实际产品中。对于 12V 以上至 20V 左右输出电压的变换则多采用专门的外部驱动 IC, 这样可以达到较好的电气性能与更高的可靠性。

TI 公司提出了预测驱动策略的芯片 UCC2722/2, 动态调节死区时间以降低体二极管的导通损耗。ST 公司也设计出类似的芯片 STSRZ/3, 不仅用于反激电路, 也适用于正激电路, 同时改进了连续与断续导通模式的性能。美国电力电子系统中心 (CPES) 研究了各种谐振驱动拓扑以降低驱动损耗, 并于 1997 年提出一种新型的同步整流电路, 称为准方波同步整流, 可以较大地降低同步整流管体二极管的导通损耗与反向恢复损耗, 并且容易实现初级主开关管的软开关。凌特公司推出的同步整流控制芯片 LTC3900 和 LTC3901 可以更好地应用于正激、推挽及全桥拓扑中。

ZVS 及 ZCS 同步整流技术也已开始应用, 例如有源箱位混凝土正激电路的同步整流驱动 (NCP1560), 双晶体管正激电路的同步整流驱动芯片 LTC1681 及 LTC1698, 但其都未取得对称型电路拓扑 ZVS/ZCS 同步整流的优良效果。

2.2 建模与仿真

开关型变换器主要有小信号分析与大信号分析两种建模方法。

小信号分析法: 主要是状态空间平均法, 由美国加利福尼亚理工学院的 R.D.Middlebrook 于 1976 年提出, 可以说这是电力电子学领域建模分析的第一个真正意义的重大突破。后来出现的如电流注入等效电路法、等效受控源法 (该法由我国学者张兴柱于 1986 年提出)、三端开关器件法等, 这些均属于电路平均法的范畴。平均法的缺点是明显的, 对信号进行了平均处理而不能有效地进行纹波分析; 不能准确地进行稳定性分析; 对谐振类变换器可能不大适合, 关键的一点是, 平均法所得出的模型与开关频率无关, 且适用条件是电路中的电感电容等产

生的自然频率必须要远低于开关频率,准确性才会较高。

大信号分析法:有解析法,相平面法,大信号等效电路模型法,开关信号流法, n 次谐波三端口模型法,KBM法及通用平均法。还有一个是我国华南理工大学教授丘水生先生于1994年提出的等效小参量信号分析法,它不仅适用于PWM变换器也适用于谐振类变换器,并且能够进行输出的纹波分析。建模的目的是为了仿真,继而进行稳定性分析。

1978年,R.Keller首次运用R.D.Middlebrook的状态空间平均理论进行开关电源的SPICE仿真。近30年来,在开关电源的平均SPICE模型的建模方面,许多学者都建立了各种各样的模型理论,从而形成了各种SPICE模型。这些模型各有所长,比较有代表性的有Dr.SaSamBenYaakov的开关电感模型;Dr.RayRidley的模型;基于Dr.VatcheVbrperian的OrCAD 9.1的开关电源平均Pspice模型;基于Steven,Sandler的ICAP4的开关电源平均Isspice模型;基于Dr.VincentG.Bello的Cadence的开关电源平均模型等等。在使用这些模型的基础上,结合变换器的主要参数进行宏模型的构建,并利用所建模型构成的DC-DC变换器在专业的电路仿真软件(Matlab.Pspice等)平台上进行直流分析、小信号分析以及闭环大信号瞬态分析。

由于变换器的拓扑日新月异,发展速度极快,相应地,对变换器建模的要求也越来越严格。可以说,变换器的建模必须要赶上变换器拓扑的发展步伐,才能更准确地应用于工程实践。

2.3 数字化控制

数字化的简单应用主要是保护与监控电路,以及与系统的通信,目前已大量地应用于通信电源系统中。它可以取代很多模拟电路,完成电源的启动、输入与输出的过、欠压保护,输出的过流与短路保护以及过热保护等,通过特定的界面电路,也能完成与系统间的通信与显示。

数字化的更先进应用包含不但实现完善的保护与监控功能,也能输出PWM波,通过驱动电路控制功率开关器件,并实现闭环控制功能。目前TI,ST及Motorola公司等均推出了专用的电机与运动控制DSP芯片。现阶段通信电源的数字化主要采取模拟与数字相结合的形式,PWM部分仍然采用专门的模拟芯片,而DSP芯片主要参与占空比控制和频率设置输出电压的调节及保护与监控等功能。

为了达到更快的动态响应,许多先进的控制方法已逐渐提出。例如,安森美公司提出改进型V2控制,英特矽尔公司提出Active-droop控制,Semtech公司提出电荷控制,仙童公司提出Valley电流控制,IR公司提出多相控制,并且美国的多所大学也提出了多种其他的控制思想。数字控制可以提高系统的灵活性,提供更好的通信界面、故障诊断能力及抗干扰能力。但是,在精密的通信电源中,控制精度、参数漂移、电流检测与均流,以及控制延迟等因素将是需要急待解决的实际问题。

2.4 磁集成

随着开关频率的提高,开关变换器的体积随之减少,功率密度也得到大幅提升,但开关损耗将随之增加,并且将使用更多的磁性器件,因而占据更多的空间。

国外对于磁性元件集成技术的研究较为成熟,有些厂商已将此技术应用于实际的通信电源中。其实磁集成并不是一个新概念,早在20世纪70年代末,Cuk在提出Cuk变换器时就已提出磁集成的思想。自1995年至今,美国电力电子系统中心(CPEs)对磁性器件集成做了很多研究工作,使用耦合电感的概念对多相Buck电感集成做了深入研究,且应用于各种不同类型的变换器中。2002年,香港大学Yim-ShuLee等人也提出一

系列对于磁集成技术的探讨与设计。

常规的磁性元件设计方法极其繁琐且需要从不同的角度来考虑,如磁心的大小选择,材质与绕组的确定,以及铁损和铜损的评估等。但是磁集成技术除此之外,还必须考虑磁通不平衡的问题,因为磁通分布在铁心的每一部分,其等效的总磁通量是不同的,有些部分可能会提前饱和。因此,磁性器件集成的分析与研究将会更加复杂与困难。但是,磁集成所带来的高功率密度的优势,必是将来通信电源的一大发展趋势。

2.5 制造工艺

通信用高频开关电源的制造工艺相当复杂,并且直接影响到电源系统的电气功能、电磁兼容性及可靠性,而可靠性是通信电源的首要指标。生产制造过程中完备的检测手段,齐全的工艺监控点与防静电等措施的采用在很大程度上延续了产品最佳的设计性能,而SMD贴片器件的广泛使用将可以大大提高焊接的可靠性。欧美国家将从2006年起对电子产品要求无铅工艺,这将对通信电源中器件的选用及生产制造过程的控制提出更高、更严格的要求。

目前,更有吸引力的技术是美国电力电子系统中心(CPEC)在近几年提出的电力电子集成模块(IPEM)的概念,俗称“积木”。它采用先进的封装技术来降低寄生因素以改进电路中的电压振铃与效率,将驱动电路与功率器件集成在一起以提高驱动的速度,从而降低开关损耗。电力电子集成技术不仅能够改进瞬态电压的调节,也能改进功率密度与系统的效率。但是,这样的集成模块目前存在许多挑战,主要是被动与主动器件的集成方式,并且较难达到最佳的热设计。CPEC对电力电子集成技术进行了多年的研究,提出了许多有用的方法、结构与模型。

3 结语

本文对通信技术的迅速极大地推动了电源的发展,开关电源是通信系统的核心部分,因而工艺技术在电源制造中占的地位也将会越来越重要。另外,数字化控制集成电路的应用也是将来开关电源发展的一个方向,这将有赖于DSP运行速度和抗干扰技术的进一步提高。指出集成化和小型化将是通信电源的主要趋势。

(作者单位:中国电信股份有限公司海丰分公司)