

1 绪论

1.1 平面磁集成技术发展概况

信息产业的迅猛发展, 不仅为电源行业提供了巨大的市场和快速发展的动力, 同时也对电源装置的体积、重量、效率、输出动态性能以及系统的可靠性等提出越来越高的要求^[1]。“短、小、轻、薄”是当今开关电源的主要发展趋势之一, 要做到“短、小、轻、薄”, 最主要的是提高功率密度和采用低高度及体积、重量小的元器件。为了适应电源发展的需要, 研究人员进行多种技术的研究和应用, 其中, 磁性器件的相关技术的研究越来越受到人们的关注^[2]。

磁性器件(简称磁件), 如变压器、电感, 是开关电源的重要组成部分, 它是完成能量储存与转换、滤波和电气隔离的主要器件, 是影响变换器体积、重量的主要因素^[3]; 磁件参数的选取(指输出滤波电感的大小)直接影响电源的输出电流脉动和输出动态性能, 磁件的损耗影响变换器的效率; 磁件的寄生参数对开关管的电压、电流应力有很大的影响。

1.1.1 磁集成技术

为了减小磁件的体积、重量, 改善滤波性能, 人们通常采用提高频率的办法, 但高频化的方法仍有一定局限性: 一方面, 频率的提高会受到整机效率的限制^[1]; 另一方面, 为了减小磁芯损耗, 磁芯高频工作时一般要降额使用, 磁芯的利用率不高, 限制了磁件体积的减小^[4]。为进一步减小磁件的体积、损耗, 同时保证变换器的性能良好, 研究人员对变换器中的磁件作了大量的研究工作, 其中磁集成技术的应用就是一个很好的例子^[5]。磁集成技术是将变换器中的两个或多个分立磁件(Discrete Magnetics, DM), 如电感、变压器等, 绕制在一个磁芯上, 从结构上集中在一起, 用一个磁性器件来实现,

从而减少开关电源中的器件数量,减小体积,提高功率密度,使各磁件间的接线最短、损耗减小,输出滤波效果得以改善,以实用于低压大电流开关电源。DM集中后的磁件被称为集成磁件(Integrated Magnetics, IM)。为方便起见,将采用DM的变换器或电路简称为DM变换器或DM电路,相应有IM变换器和IM电路的定义。

最早的集成磁件是用于滤波电路中的耦合电感。1928年G.B.Crouse提出采用集成磁件滤波电路的专利申请。自G.B.Crouse提出集成磁件应用电路后的40年间,磁集成技术的研究一直局限在电感与电感的集成,直到1971年,J.Ceilo和H.Hoffman申请了采用集成磁件推挽变换器的专利,将变压器和电感集成到一起,并称其为“combined transformer and inductor device”,磁件集成的概念才初步显现,磁集成技术也进入了多种磁件集成的时代。

在70年代末,Slobodan.Cuk将磁集成技术成功地应用在Cuk变换器,引起人们对磁集成技术的关注。Slobodan.Cuk不仅实现了Cuk变换器中所有磁件的集成,而且发现,通过合理设计磁件还能同时减小输入、输出电流脉动,甚至实现零纹波。80年代后,磁集成技术的优点虽然得到认可,但除了被用于多路输出电源外,在其他电源产品上的应用非常有限。这主要是因为集成磁件的设计过程非常复杂,且绕组制作相对困难。90年代后,随着扁平磁件应用的推广,磁件生产自动化程度的提高,集成磁件的应用变得相对容易;同时,电源的不断发展也对其体积、输出动态性能、效率等提出了较高的要求,尤其是微处理器的飞速发展对新一代高功率密度电源提出了更大的挑战,这些都促进了磁集成技术的研究与应用。1997年我国福州大学的陈为教授将倍流整流电路(Current Doubler Rectifier, CDR)的两个滤波电感和变压器进行集成^[6],使集成磁件在大电流输出的场合具有了很好的应用价值,这一研究使磁集成技术成为新的研究热点。现在,磁集成的研究内容从具体电路中的应用拓宽到集成磁件新的分析方法、仿真模型的研究^[7]。磁集成技术被应用在多种场合,如电压调整模块(Voltage Regulation Module, VRM)、功率因数校正变换器、谐振变换器等,以减少磁件体积、电流纹波和铁芯损耗。

磁集成有多种方法^[8],其主要目标是:

- (1) 减少开关电源中的器件数量;
- (2) 使集成磁件的最大工作磁密小于各分立磁件的磁密和,以减小磁件铁芯的截面积,从而减小磁件的体积和重量;
- (3) 使集成磁件铁芯磁通的脉动量减小,从而使磁件的铁损耗减小,提高开关电源的效率和功率密度;
- (4) 改善开关电源的性能,如减小开关电源输入和输出电流的纹波,提高开关电源的瞬态响应速度等。这些对提高电源的性能及功率密度有重要意义。

与国外相比,国内对磁集成技术的认识和研究都十分有限。国内对磁集成技术的介绍从 20 世纪 90 年代才开始。最早在 1990 年版的《开关稳压电源》中介绍 Cuk 变换器时,简要提到了磁集成技术的作用。之后,清华的蔡宣三教授对 IM 的概念和分析方法以及 IM-Cuk 变换器的基本原理作了详细的介绍^[3]。国内磁集成技术研究的开展非常有限,据了解,目前国内仅有福州大学磁学研究所、台达上海电力电子研发中心、以及南京航空航天大学航空电源重点实验室正在从事相关的研究,国内关于磁集成技术的研究报道还很少。

1.1.2 平面变压器

平面变压器是一种呈低高度扁平状或超薄型(low profile)的变压器,其高度远小于传统的变压器^[5,9]。平面变压器用平面铁芯和平面结构绕组实现,工作频率高(50kHz~2MHz),能量密度大(每克约 100W),效率高(通常为 97%~99%),体积小,产品外观和一致性好,漏感和电磁干扰小,适合于自动化表面贴装(SMD),可以较好地实现低压大电流输出,尤其适用于空间和高度存在限制或对节能及散热要求苛刻的地方,所以这种变压器能适应当今开关电源“短、小、轻、薄”的发展趋势,得到了较广泛的应用,可用于通信电源、便携式电子设备(如笔记本电脑)的高密度电源和卡片式 UPS 电源等,例如,50W 高功率密度的板上(on board)开关电源,采用平面 EI 型铁芯,其厚度仅为 0.5cm,平面尺寸为 1.27cm×1.78cm。美国、日本等电力电子强国在电源小型化研究方面投入了大量的人力、物力,并在这方面的研究取得了很大进