

表 4—1 PWM 变换器与 LLC 变换器损耗对比

损耗	PWM	LLC
原边导通损耗	9.67	9.49
原边开关损耗	11.3	7.5
副边导通损耗	22.0	13.0
副边开关损耗	≥ 0	0
总损耗	≥ 42.97	29.99

4.1.4 测试结果

这部分，给出了不对称半桥和 LLC 谐振变换器的测试结果。图 4—9 是在 400V 输入电压，不同负载条件下，LLC 谐振变换电路与不对称半桥变换电路的功率比较图。图 4—10 是全载下，不同输入电压时两变换电压的效率比较图^[18]。

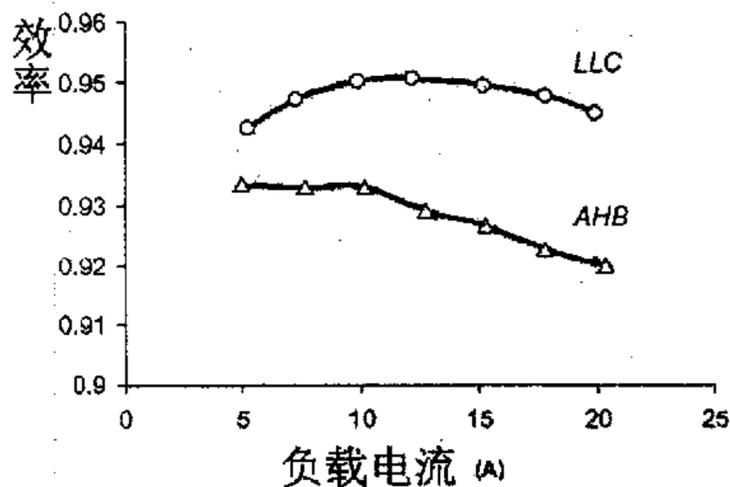


图 4—9 负载变化时的效率比较

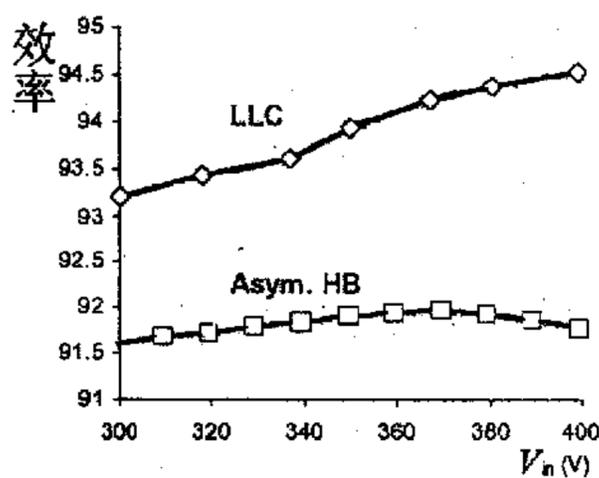


图 4—10 输入电压变化时的效率比较

4.2 应用于 LLC 谐振变换器中的集成磁件

4.2.1 介绍

与 PWM 变换器相比较，LLC 谐振变换器提供了更低的开关损耗和导通损耗，可得到更高的工作效率和发挥更大的高频工作潜能。而且，在高输入电压下，能够确定变换器的最佳特性，这在所知的 PWM 变换器中是不可能

的。但是，即使使用先进的拓扑结构，为了达到高功率密度，磁件设计仍然是关键问题。随着开关频率的提高，磁件和线圈的损耗已成为总损耗的主要部分。减少磁件损耗和尺寸的方法很多。现在磁件集成是在应用中广泛讨论的方法^{[21][22][23][24]}。

使用磁件集成技术，能把几个磁件集成在一个磁芯上，共用一个磁径。通过磁集成，能减少总的磁件数量。共用一个磁径，可减少磁通纹波。因此，使用磁件集成技术，能够设计出高效、高功能密度磁件。如^[23]中的前置 DC/DC 变换器，把一个倍流整流器的所有磁件集成到一个磁芯。下面讨论了几个用于 LLC 谐振变换器的集成磁件的设计，提出一个广泛使用的集成磁件通用模型，它能用于不同线圈和气隙结构研究。在这个通用模型基础上，研究和比较了几个用于 LLC 谐振变换器的集成磁件设计，分析了每种设计的优点和缺点。在为谐振变换器设计集成磁件结构过程中，得到了一个四线圈集成磁件结构，并且该结构也能被推广用于不同拓扑结构的磁件集成中。在此变换器中，有三个磁件。磁件集成后，一、减少了元件数量；二、消除了磁通纹波，减少了磁芯损耗，从而提高了功率密度。

4.2.2 LLC 谐振变换器设计例子

LLC 谐振变换器结构与第一节相同，如图 4—2 所示，变换器规格：

输入电压范围 V_{in} : 300~400V

输出电压范围 V_o : 48V

输出功率范围 P_o : 1KW

变换器参数：

变压器匝数比：4:1:1

谐振电感：14uH

谐振电容：0.047uF

励磁电感：60uH

开关频率范围：150kHz-200kHz

磁件结构如图 4—11 所示。可看出该结构和实际考虑励磁电感和原、副