

用于电流馈电双有源桥式变换器的控制 漏感高频变压器的设计优化

Tae-Uk Jung¹, Myung-Hwan Kim², Jin-Hyung Yoo¹¹ 韩国庆南大学电气工程学院² LG 电子公司电子研发实验室

摘要: 用于光伏发电的电流馈电双有源电桥转换器通常可能需要给定的泄漏或额外的电感,以便提供对电流的适当控制。因此,许多研究都集中在高频变压器的漏感控制上,以集成一个额外的电感器。本文提出了一种非对称绕组配置,以获得高频变压器的受控漏电感,以提高电流馈电双有源桥式变换器的效率。为了精确分析,该设计使用了与高频开关电路相连的变压器的耦合电磁分析模型。通过利用设计分析模型,给出了高效率的设计优化步骤,并通过实验结果验证。

1 导言

电流馈电双有源电桥(CF-DAB)转换器是一种用于光伏发电的高升压转换器。1-3 CF-DAB转换器通常可能需要给定的泄漏或额外的电感,以便提供适当的电流控制。

但添加与变压器串联的电感器,以获得所需的电感,会增加系统的整体尺寸、成本和损耗。而修改变压器以集成所需的漏感是更合适的替代方案。

在以前的研究中,变压器的漏感是通过增加一个产生磁漏通量的新磁通路径或增加每个绕组之间的距离来控制的。然而,随着绕组长度的延长,变压器的尺寸和铜损会跟着增加。此外,也增加了结构的复杂性。

本文提出了具有可控漏电感的高频变压器的绕组配置和磁芯结构,以提高CF-DAB变换器的效率。通过磁芯的有效横截面积、匝数和绕组配置,这种新提议的设计方法可以有效控制漏电感。

通过这种分析方法,本文实现了紧凑尺寸和高效率的设计优化。此外,通过使用变压器原型的实验验证了设计结果。

2 漏感控制

在以前的研究中,变压器的漏感由泄漏磁通路径的气隙长度和有效横截面积控制,如图1(a)所示。在图1中,每个绕组的自感和漏感由气隙A和B的长度独立控制。由

于可控漏电感的磁芯结构的原因,变压器的尺寸和铜损会跟着增加。

本文提出了非对称绕组配置,以确保可控漏电感,并通过简单紧凑的磁芯结构提高效率,如图1(b)所示。与

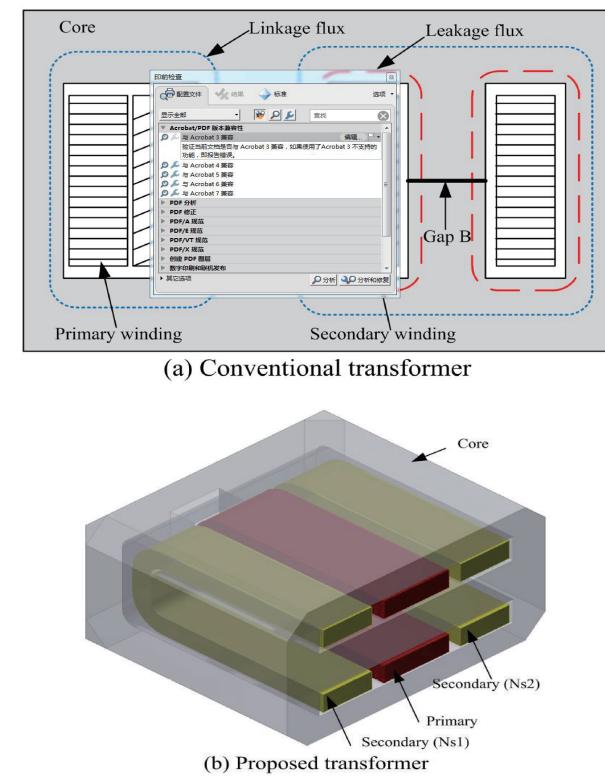


图1 常规和新提议的变压器

以前研究的具有相同规格的传统变压器新相比，新提议的变压器具有更简单的结构和更小的尺寸的优点。

经过设计，新提议的变压器可以通过每个绕组的匝数、绕组配置、气隙长度和面积来控制漏感。

如图 2 所示，可以根据次级绕组的不对称比，来独立控制漏感，而不产生自感变动。在图 2 中，自感似乎会根据不对称比而变化，但其实这是有限的元件计算误差小于 0.01% 的自感。

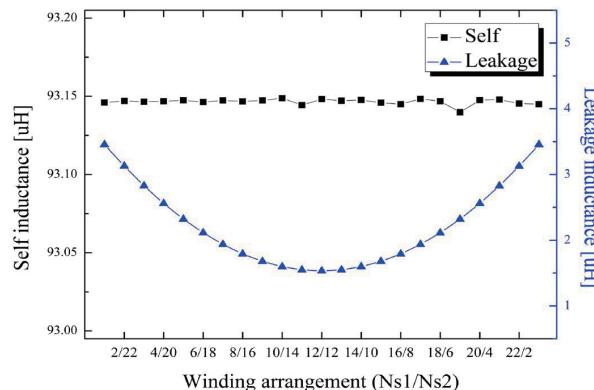


图 2 根据不对称比率的自感和漏电感

3 设计优化

为了优化所提出的变压器，设计优化步骤包括磁芯和绕组结构设计阶段、自漏电感计算阶段和效率优化阶段，如图 3 所示。

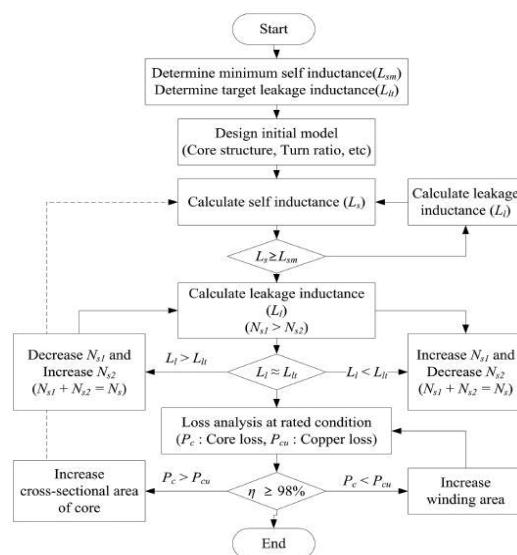


图 3 新提议设计的优化步骤

由于匝数、气隙长度和面积等其他设计参数对漏感和自感具有相同的影响，因此这些参数应早于次级绕组的不对称比进行确定。

如上所述，非对称绕组配置仅对漏感有影响。因此，当在设计优化过程中改变绕组配置时，要保持其他参数以确保自感。

为了保障漏感并提高变压器效率，设计参数可通过新提议的优化步骤和耦合分析模型进行优化，如图 4 和表 I 所示。

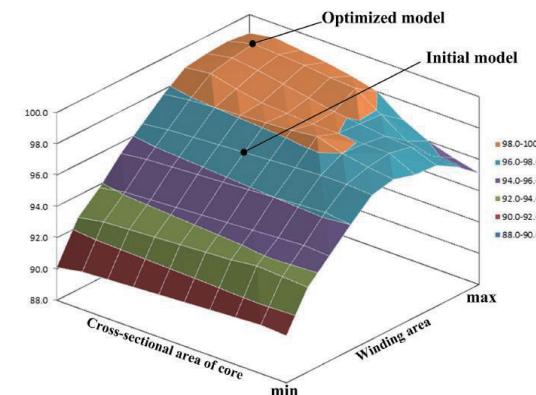


图 4 根据横截面面积和绕线面积的效率变化

表 I. 分析结果的比较

TABLE I. Comparison of analysis results.

Parameter [Unit]	Initial	Optimized
Core volume [mm^3]	36,730	33,791
Cross-sectional area of core [mm^2]	257.3	223.1
Mean length per turn (Pri) [mm]	134.6	102.5
Mean length per turn (Sec) [mm]	68.4	102.5
Turn ratio (Pri / Sec)	2 / 12	4 / 24
Self-inductance (Pri) [μH]	90.4	91.1
Self-inductance (Sec) [μH]	3.25	3.28
Leakage inductance (Pri) [μH]	3.06	3.32
Leakage inductance (Sec) [μH]	110.2	119.6
Input power [W]	543.93	543.44
Output power [W]	535.77	540.18
Efficiency [%]	98.5	99.4

尽管由于绕组面积扩展了，次级绕组每匝的平均长度有所增加，但在最大输出功率条件下，变压器的效率提高了约 0.9%。此外，磁芯体积减少了约 8%。

4 实验结果

图 5 为用于实验的具有新提议设计的变压器的 CF-DAB 转换器原型。在最大输出功率条件下的电压和电流波形如图 6 所示。

与分析结果类似，在最大输出功率条件下，新提议变

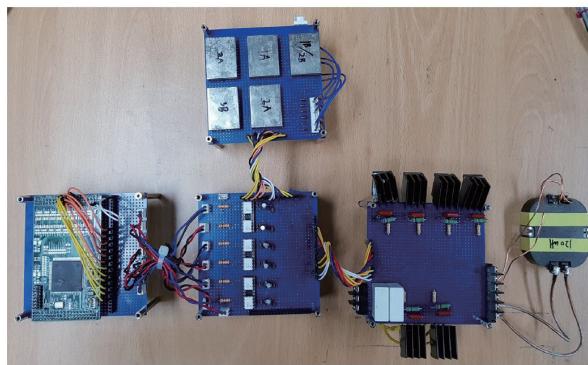


图 5 带变压器的 CF-DAB 原型

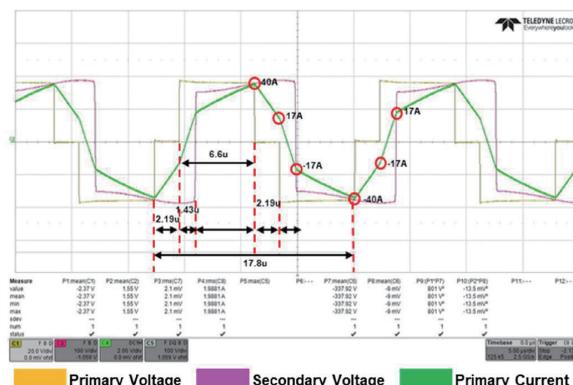


图 6 电压和电流波形

压器的效率从 95.7 % 提高到 97.1 %。

5 结论

利用耦合三维有限元模型实现了具有受控漏感的高频开关变压器的设计优化，同时实现了 CF-DAB 变换器的高频开关。

根据新提议的设计优化步骤，磁芯结构和绕组结构得到优化。虽然磁芯体积减少了约 8%，但效率却从 95.7 %

提高到 97.1 %。

参考文献

- [1] Y. Shi, L. Liu, H. Li, and Y. Xue, "A single-phase grid-connected PV converter with minimal DC-link capacitor and low-frequency ripple-free maximum power point tracking," IEEE ECCE 2385 - 2390 (2013).
- [2] Y. Lu, H. Wu, Y. Xing, and K. Sun, "A dual-active-bridge converter-based high step-up converter with voltage-multiplier for high-efficiency PV application," IEEE APEC 1112 - 1117 (2015).
- [3] D. De, C. Klumpner, M. Rashed, C. Patel, P. Kulsangeharoen, and G. Asher, "Achieving the desired transformer leakage inductance necessary in DC-DC converters for energy storage applications," IET PEMD (2012).
- [4] B. Cougo and J. W. Kolar, "Integration of leakage inductance in tape wound core transformers for dual active bridge converters," IEEE CIPS (2012).
- [5] M. Abu Bakar and K. Bertilsson, "An improved modelling and construction of power transformer for controlled leakage inductance," IEEE EEEIC (2016).
- [6] U. Steiger and S. Mari'ethoz, "Method to design the leakage inductances of a multi winding transformer for a multisource energy management system," IEEE VPPC 1 - 6 (2010).
- [7] Y. D. Kim, C. E. Kim, K. M. Cho, K. B. Park, and G. W. Moon, "ZVS phase shift full bridge converter with controlled leakage inductance of transformer," IEEE INTELEC (2009).