

# 一种低漏感平面变压器

## A kind of low leakage inductance planar transformer

辽宁工程技术大学电控学院 杨玉岗 李洪珠

**摘要:** 变压器的漏感是电磁干扰的主要来源之一, 这是因为开关管在高速关断时, 在变压器的漏感上产生感应电动势, 叠加在变压器绕组的关断电压上, 形成关断电压尖峰, 这些电压尖峰不但造成电磁干扰, 还会使开关管的电压应力增大, 重者可能击穿开关管, 并增大开关损耗, 降低开关电源的效率。本文提出一种分布磁路结构的低漏感平面变压器, 其原边绕组的匝数降低为一匝, 副边绕组的等效匝数降低为小于一匝, 因而漏感显著减小, 这种分布磁路结构可以用于低压大电流电源的变压器, 其有效性通过 Maxwell 3D 得到验证。

**关键词:** 漏电感 分布磁路结构 平面变压器

**Abstract:** It's necessary to decrease the leakage inductance of transformer because it often produces a large voltage peak as device is turned off, meanwhile the large voltage peak is a source of EMI and produces a large voltage stress and affects the power supply's efficiency. This paper proposes a kind of low leakage inductance planar transformer with shunt magnetic circuit structure, the primary winding number of this structure can be decreased to 1 turn and the equivalent secondary winding can be decreased to less than 1 turn, therefore the leakage inductance can be decreased remarkably, and it can be used to various turns ratio of high frequency transformer expressly in the transformer of low voltage and large current power supply. The shunt magnetic structure is verified with Maxwell 3D.

**Key words:** Leakage inductance Planar transformer Shunt magnetic circuit

### 1 引言

近年来, 开关电源得到了广泛应用<sup>[1]-[2]</sup>, 但随着开关频率的提高, 开关电源的电磁环境变得越来越复杂, 相应的电磁干扰越来越严重地影响开关电源自身及其周围电子设备的正常工作。高频变压器的漏感是其主要的电磁干扰源之一<sup>[3]</sup>, 这是因为当开关电源中的开关管快速关断时, 在变压器的漏感上产生感应电势 ( $e = -L_k \frac{di}{dt}$ ), 这一感应电势叠加在变压器绕组的关断电压上而产生峰值关断电压, 该峰值关断电压引起电磁干扰并在开关管上产生较大的电压应力, 有可能损坏开关管并增大开关损耗, 因此减小变压器的漏电感是非常必要的。

当前, 减小变压器漏感的方法有以下几种<sup>[4]</sup>: (1) 在

变压器体积允许的前提下增大铁芯截面积以减少绕组匝数, 这是因为变压器漏感与绕组匝数的平方成正比; (2) 采用平面变压器结构; (3) 降低变压器原、副边绕组间的绝缘层厚度; (4) 增加绕组高度; (5) 变压器原、副边绕组交错绕制。其中第一种方法在理论上是最有效的, 然而由于变压器体积和匝比的限制, 传统变压器绕组匝数的减小是有限的。为了有效降低变压器的漏感, 本文提出一种分布磁路变压器结构, 变压器采用这种结构可以使其漏感显著降低。

### 2 变压器分布磁路结构

#### 2.1 结构 I (匝比 2:1)

本文提出的变压器分布磁路结构如图 1 所示, 原边

绕组只有1匝，将“E”型铁芯被原边绕组缠绕的铁芯中柱分为两个分布磁柱，在每个分布磁柱上绕1匝绕组作为副边绕组的一部分。分布磁路结构变压器连接在变换器中的拓扑如图2所示，两部分副边绕组在变压器中并联。虽然原边绕组只有1匝，但是原、副边绕组匝比为2:1，副边绕组的等效匝数只有0.5匝，因而可以显著减小漏感。

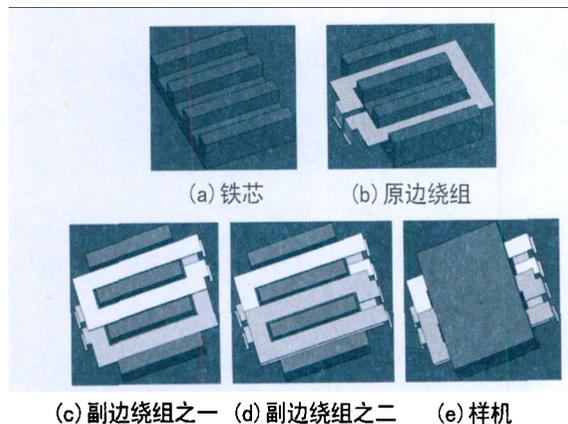


图1 低漏感变压器分布磁路结构之一

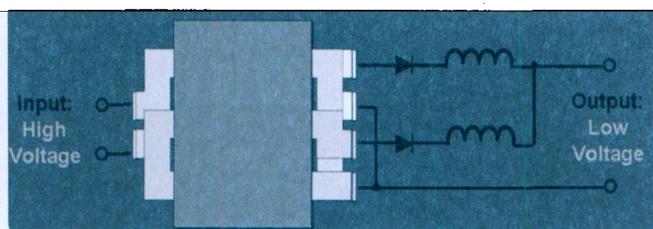


图2 低漏感变压器连接在变换器拓扑中

### 2.2 结构II (匝比2:1)

作为减小变压器漏感的进一步尝试，本文对结构I进行了改进，如图3所示。

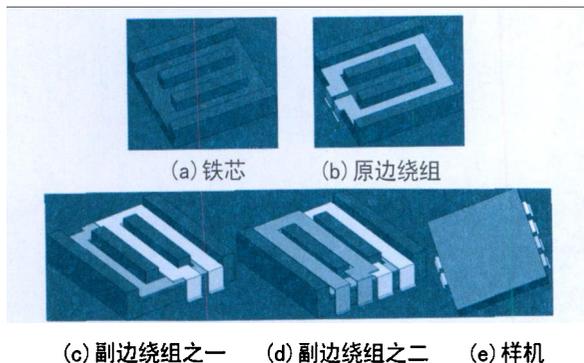


图3 低漏感变压器分布磁路结构之二

### 2.3 结构III (匝比2:1)

结构I的另一种改进结构如图4所示。

### 2.4 传统结构 (匝比2:1)

为了验证分布磁路结构变压器漏感的降低，相应的传统结构变压器如图5所示。

### 2.5 漏感的Maxwell 3D仿真

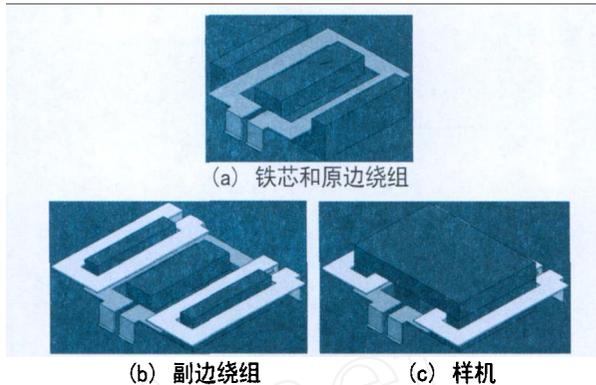


图4 低漏感变压器分布磁路结构之三

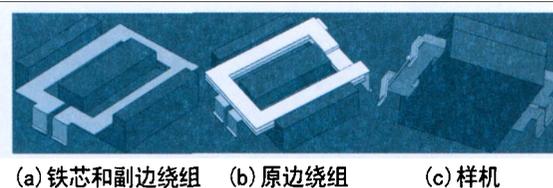


图5 传统结构平面变压器

本文采用Maxwell 3D软件计算上述分布磁路结构变压器的漏感，如图6所示，可见，结构I和结构II的漏感较小，而结构I的漏感是最小的。

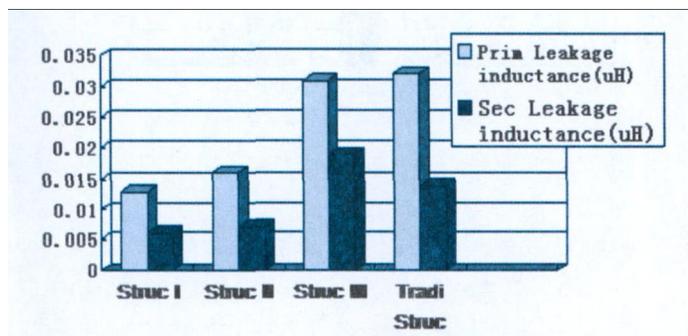


图6 四种变压器磁芯结构的漏感比较

## 3 将原边绕组和两部分副边绕组交错排列

### 3.1 结构I

本文将结构I的原边绕组和两部分副边绕组交错排列以进一步降低漏感，如图7所示。

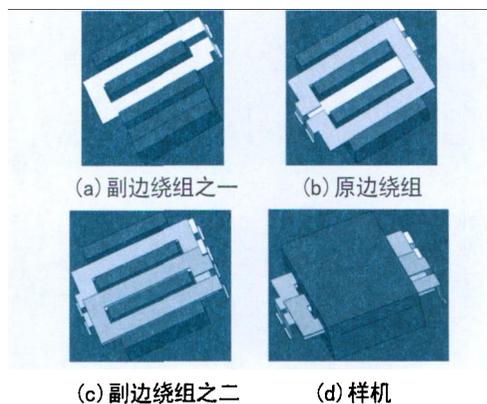


图7 结构I的原边绕组和两部分副边绕组交错排列

### 3.2 结构 II

本文将结构 II 的原边绕组和两部分副边绕组交错排列以进一步降低漏感，如图 8 所示。

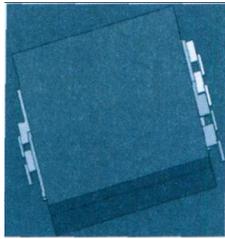


图8 结构 II 的原边绕组和两部分副边绕组交错排列

### 3.3 漏感的 Maxwell 3D 仿真

本文采用 Maxwell 3D 计算在绕组交错排列时，上述分布磁路结构 I 和 II 的漏感以检验漏感值的减小，如图 9 所示，可见，当绕组交错排列时，结构 I 和 II 的漏感都得到较小，而结构 I 的漏感最小。

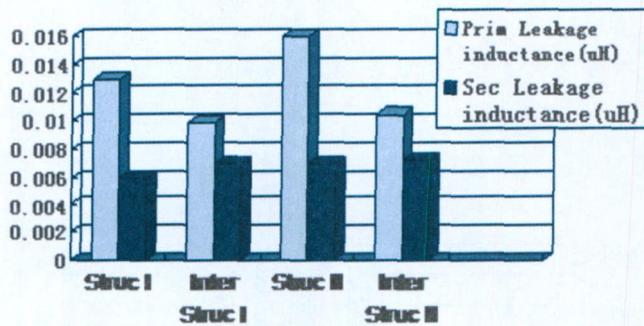


图9 当绕组交错排列时分布磁路结构变压器的漏感比较

表1 漏感减小量与匝比的关系

匝比 (原边/副边)	分布磁 柱数量	原边绕 组匝数	副边绕 组个数	副边绕 组匝数	分布磁路结构与传 统结构漏感之比
2:1	2	1	2	1	1/4
3:1	3	1	3	1	1/9
4:1	2	2	2	1	4/16
	4	1	4	1	1/16
5:1	5	1	5	1	1/25
6:1	2	3	2	1	9/36
	3	2	3	1	4/36
	6	1	6	1	1/36
7:1	7	1	7	1	1/49
8:1	2	4	2	1	16/64
	4	2	4	1	4/64
	8	1	8	1	1/64
9:1	3	3	3	1	9/81
	9	1	8	1	1/81

## 4 漏感的减小与匝比的关系

上述变压器的绕组匝比为 2:1，其分布磁柱数也是 2，理论上这种分布磁路结构的漏感应减小为传统结构的四分之一，但由于受引言中所描述的其他因素的影响，漏感的减小没有这么多，如图 6 所示。如果变压器绕组的匝比为其他值，应怎样选择分布磁柱数和原边匝数？在理论上漏感可以降低多少？其结果如表 1 所示。

## 5 结论

本文提出等分布磁路结构变压器可以将变压器绕组匝数减小为 1 匝或小于 1 匝，因此变压器的漏感可以显著减小。这种分布磁路结构可以用于各种匝比的高频变压器，尤其可以用于低压大电流的开关电源变压器，因为这种变压器的工作频率通常较高，其绕组匝数较少，分布磁路数较少，易于实现分布磁路结构，并且多个部分的副边绕组并联，可以通过更大的电流。

## 作者简介

杨玉岗 男，内蒙古五原人，博士，教授，研究方向是电力电子磁集成技术。

## 参考文献

- [1] Hayes, J. G. O' Donovan, N. Egan, M. G. O' onnell, T. Inductance characterization of high-leakage transformers. Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp1150-1156, 2003.
- [2] Jia Wei, Fred C. Lee. Two novel soft-switched, high frequency, high efficiency, non-isolated voltage regulators---The phase-shift buck converter and the matrix-transformer phase buck converter. IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 20(2), pp292~299, March 2005.
- [3] Liu Yan, Wang Jinmei, Lan Zhongwen. Leakage inductance of power transformer in high frequency switched mode power supply. JOURNAL OF MAGNETICS AND DEVICES, Vol. 37(5), pp54~60, 2006.
- [4] Dauhajre A, Middlebrook R D. Modeling and Estimation of Leakage Phenomena in Magnetic Circuits[C]. Record of PESC: pp213~226, 1986.