

压电变压器的研究和开发进展

白辰阳* 桂治轮 李龙土

(清华大学材料科学与工程系, 北京, 100084)

摘要 压电变压器具有体积小、重量轻、效率高等特点, 具有许多重要的应用领域。近年来, 随着压电变压器在液晶显示背景光源中的应用, 压电变压器开始进入一个大规模实用开发的新阶段。文章对压电变压器的研究及开发现状作了全面的总结和评述, 并指出目前存在的问题和未来的发展方向。

关键词 压电陶瓷, 压电变压器, 研究进展

Progress in Research and Development of Piezoelectric Transformer

Bai Chenyang Gui Zhilun Li Longtu

(Department of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract Piezoelectric transformers have advantages of small volume, light weight and high efficiency, and have many important applications. In recent years, the research on piezoelectric transformers has gone into a new developing stage with their applications in power inverters for color Liquid Crystal Display backlights. This paper has reviewed the research and application of piezoelectric transformers.

Keywords piezoelectric ceramic, piezoelectric transformer, research and development

1 引言

压电变压器是50年代后期开始研制,并于70年代发展起来的新型电子变压器。它是用铁电陶瓷材料经烧结、高压极化等工艺制造而成。压电变压器有工作在超音频范围的升压压电变压器,也有工作频率为工频的降压压电变压器。与传统的铁芯线绕电磁变压器相比,具有体积小、重量轻、使用时不会击穿、变压器本身耐高温、不怕燃烧和不引起电磁干扰,且结构简单,制作工作简便,易批量生产等优点。和普通电磁变压器一样,压电变

压器也具有电压变换、阻抗变换和电流变换等特性。

压电变压器根据其形状、电极和极化方向不同而有各种结构,其中长条片形结构的Rosen型压电变压器最为常用。它结构简单,制作容易,并具有较高的升压比。整个压电变压器可以分成两部分:左半部分的上、下两面都有烧渗的银电极,沿厚度方向极化,作为输入端,称为驱动部分;右半部分的右端有烧渗的银电极,沿长度方向极化,作为输出端,称为发电部分。当交变电压加到压电变压器的输入端(驱动部分)时,通过逆压电效应,使压

收稿日期: 1997-12-03

* 男 31岁 博士生 讲师

电变压器产生沿长度方向的伸缩振动, 输入的电转换为机械能; 而发电部分通过正压电效应, 机械能转换为电能, 产生电压输出。由于压电变压器的长度大于厚度, 故输入端为低阻抗, 输出端为高阻抗, 用来达到升压的目的, 因此输出电压大于输入电压, 一般输入几伏到几十伏的交变电压, 就可以获得几千伏以上的高压输出^[1~5]。

在空载的情况下, 压电变压器在谐振时的升压比由下式表示

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{4}{\pi^2} Q_m k_{31} k_{33} \frac{L}{t} \quad (1)$$

式中 $\frac{U_2}{U_1}$ 为空载时输出电压与输入电压之比; Q_m 为材料的机械品质因数; k_{31} 、 k_{33} 为材料的机电耦合系数, L 为变压器的全长; t 为变压器的厚度。由上式看出, 要想得到高的升压比, 除了选择高 k_{31} 、 k_{33} 和高 Q_m 的材料外, 还可通过改变压电变压器的长度和厚度来获得所需的升压比。

80年代中后期, 随着电子工业的不断发展, 要求电子器件向小型化方向发展, 国内外研究人员开始研究多层变压器, 因它不仅可以减少占用的空间, 节省材料, 还能提高升压比和输出功率^[6,7]。

目前, Rosen型升压压电变压器已经形成产品, 如静电复印机高压电源、负离子发生器、小功率激光管电源、警用电击器高压电源、液晶显示背景光源等采用了压电变压器。

工频降压压电变压器研究也已取得重大进展, 国内外均已研制出功率十几瓦, 输出电压十几伏的接近实用化的样品。

2 国外研究和开发现状

国外在50年代开始研究压电变压器^[1,2], 但由于缺少大功率的压电材料, 因而一度停止了对压电变压器的研究。最近, 随着大功率压电材料的发展, 人们又重新开始

尝试将其用于高压电源变压器。另外, 信息处理设备, 如笔记本个人电脑也要求电池驱动电源具有小型、薄而且低功耗的特点, 这就要求其安装的液晶显示(LCD)背景光源的电源变压器具有小型、薄和高效的特点。

背景光源电源变压器是用来点亮LCD背景照明的冷阴极荧光灯(CCFL), 将电池低的直流电压转变为高频高电压, 输出电压在开始时超过1000V, 稳定工作时约500V r.m.s。在这种情况下, 通常的电磁变压器就会遇到小型化, 转换效率和成本的问题, 高效率和小型化的电源开始使用新型压电变压器和优化的驱动电路。

进入90年代以来, 日本在压电变压器方面进行了大量的研究和开发, 其中日本电气公司(NEC)在这方面处于领先地位。通过检索日本专利(1976.10~1997.6), 共有压电变压器方面的专利265篇。图1显示出有关压电变压器的日本授权专利数的年度分布情况。表1列出了各个公司的有关压电变压器的专利情况。

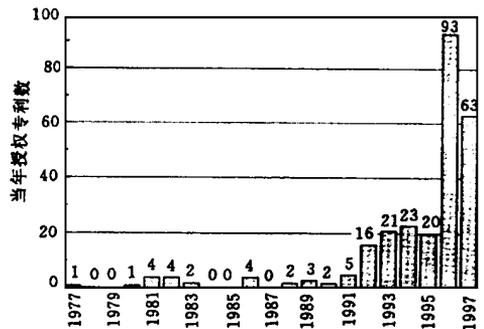


图1 有关压电变压器的日本专利年度分布情况

从图1可以看出, 80年代以前有关压电变压器的日本专利很少, 进入90年代以后专利数明显增加, 在1996年和1997年达到高峰。说明压电变压器的研究已经从基础性

表 1 有关压电变压器的日本专利的
各公司分布情况统计

名次	专利数	专利持有公司
1	65	NEC CORP (日电)
2	36	TOKN CORP (东金)
3	24	DAISHINKU CO
4	19	TAMURA SEISAKUSHO CO LTD
5	15	FUJITSU LTD (富士通)
6	12	SONY CORP (索尼)
7	11	MURATA MFG CO LTD (村田)
8	10	TOKONC
9	10	TOTO LTD (东陶)
10	9	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD (松下)
11	8	MITSUI PETROCHEM IND LTD
12	7	TOKUSHIMAKIRA
13	6	HITACHIMETALS LTD (日立)
14	5	NAKAMURA YASUYOSHI
15	5	WEST ELECTRIC CO LTD

研究开始进入实用化开发的阶段。从表 1 可以看出,在压电变压器研究方面是以日本电气公司和东金公司等为主的一批日本公司。

美国专利和欧洲专利的情况和日本专利类似。有关压电变压器从 1971~1997.11 共有美国专利 37 篇,从 1978~1997.10 共有欧洲专利 23 篇,也基本上是 NEC 等日本公司在近几年内申请的。

由于压电变压器具有良好的市场前景,世界上许多著名大公司也开展了这方面的研究工作,如荷兰 PHILIPS 公司,美国 MOTOROLA 公司等一些国外知名大公司等。

以 PHILIPS 公司为例,他们是在单层 Rosen 型压电变压器基础上,开发出了多层 Rosen 型压电变压器,其设计的多层压电变压器尺寸约为 $28\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 2\text{ mm}$,层数最多可达 44 层,每层厚度最小可达 $40\text{ }\mu\text{m}$ 。在半波谐振时它们的输出功率和变压比都大

于单层压电变压器,达到了输出功率 2.5 W 的技术要求,并且还有可能向更小型化方向发展。为进一步指导压电变压器的设计,他们设计出与实验结果比较一致的理论分析模型,以指导压电变压器的研究和开发。目前他们正在开发低温烧结的硬性铁电材料,以便提高压电变压器的效率^[8]。

通常,普通 Rosen 型压电变压器有一个严重的缺点。因为压电变压器工作在谐振状态下,谐振时瓷片上振幅为零的位置是节点;如变压器工作在全波谐振状态下,瓷片上有两个节点,位于离两端面四分之一处。这类压电变压器的输入导线焊接在一个节点位置,而输出端导线焊接在输出端电极上,而这正是振动位移最大的位置。这就是说,导线和电极连接的可靠性比较差,并且导线的重量和连接的方式也阻碍了变压器的振动。

为此,NEC 公司就另辟蹊径,在一般的 Rosen 型压电变压器基础上,开发出他们称之为三次 Rosen 型多层压电变压器的新的变压器结构,这种结构具有更高的可靠性、转换效率和更薄的尺寸。整个变压器瓷片上有三个节点,引出导线都焊接在这三个节点位置。以这种三次 Rosen 型多层压电变压器制作的 LCD 背景光 CCFL 电源包括驱动电路板在内整体尺寸为 $75\text{ mm} \times 22\text{ mm} \times 7.6\text{ mm}$,重量 14 g ,输入电压范围 $7\sim 20\text{ V}$,转换效率 92% ,工作频率 130 kHz 。目前这种压电变压器已经开始应用于 LCD 背景光源^[9~12]。在研究新型变压器的同时,NEC 开发了新型大功率压电材料,在 NEPEC-8 材料 $\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Sb}_{2/3})\text{O}_3\text{—PbZrO}_3\text{—PbTiO}_3$ (PMS—PZ—PT), PMS/PZ/PT 为 $5/48/47$ 基础上开发出 PMS/PZ/PT 为 $10/47/43$ 的新材料,其烧成温度为 $1100\text{ }^\circ\text{C}$,可采用 Ag/Pd 作内电极共烧。采用这种新材料制成 $42\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 的压电变压器最大输出功率可达 11 W ;输出功率超过 10 W 时,温升

小于 20 ℃, 大大优于 NEPEC-8 型压电材料^[13]。

3 国内研究和开发现状

国内在 70 年代末和 80 年代初开始研究压电变压器, 并取得许多成果, 研究水平与国外相当。

清华大学是国际上最早研究每层压电变压器(MPD)的单位。在 70 年代末和 80 年代初就研究了压电变压器材料的组成、结构与性能和压电变压器的输入输出特性, 并采用激光全息法测量了压电变压器的振动模式, 验证了理论分析模型^[5]。随后开始了低温烧结独石型多层压电变压器的研究, 并申请了专利。通过添加少量低熔点助烧剂 B_2O_3 — Bi_2O_3 — CdO 使 PZT 陶瓷的烧结温度从 1250 ℃ 降到 960 ℃, 并采用 Ag/Pd 电极共烧成多层压电变压器, 交流无空载时的升压比比传统的单层压电变压器高 30~40 倍^[7]。

目前国内有若干家单位在研究压电变压器^[14~25], 主要集中在大功率压电变压器材料和单层压电变压器的研究, 但对多层压电变压器及其理论模型和驱动电路优化等方面研究较少。

截止 1997 年 9 月, 有关压电变压器的中国专利约 10 篇^[26~35], 其中一篇专利^[33]是日本东金公司申请的。

4 存在的问题和发展方向

目前 Rosen 型升压压电变压器在日本已批量生产, 并应用于 LCD 背景光源, 但使用中还存在功率较小和可靠性等问题, 尚需进一步的研究。

工频降压压电变压器的研究国内外均已取得重要进展, 但还存在某些技术上和安全上的问题, 未批量生产。

随着电子工业的发展, 要求电子元器件

向小型化和集成化方向发展, 压电变压器也要向这个方向发展。

参 考 文 献

- 1 Rosen C A. Ceramic transformers and wave filters *Proceedings of Electronic Component Symposium*, 1957: 205~211
- 2 Katz H W. Solid state magnetic and dielectric devices *John Wiley & Sons*, 1959: 170~197
- 3 张福学, 孙 慷主编 压电学(下册). 北京: 国防工业出版社, 1984: 426~449
- 4 王端华 电子变压器设计手册 北京: 科学出版社, 1993: 319~372
- 5 Li Longtu, Yao Yijin, Mu zhenhan Piezoelectric ceramic transformer *Ferroelectrics*, 1980; 28: 403~406
- 6 Tsuchiya H, Fukami T. Design principles for multilayer piezoelectric transformers *Ferroelectrics*, 1986; 68: 225~234
- 7 Li Longtu, Deng Weiti, Chai Jinghe *et al* Lead zirconate titanate ceramics and monolithic piezoelectric transformer of low firing temperature *Ferroelectrics*, 1990; 101: 193~200
- 8 Vries J W C, Jedeloo P, Porath R. Co-fired piezoelectric multilayer transformers *Proceedings of the Tenth IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics*, 1996: 173~176
- 9 Tagami S, Hakamata H, Kawashima S *et al* Development of color-LCD backlight inverters utilizing piezoelectric transformer *NEC Technical Journal*, 1994; 47(10): 106~110
- 10 Kawashima S, Tagami S, Hakamata H *et al* Development of color-LCD backlight inverters utilizing piezoelectric transformer *NEC Research & Development*, 1995; 36(1): 187~191
- 11 Shimada Y, Kawashima S, Furuhashi N *et*

- al LCD backlight inverter using piezoelectric transformer. NEC Technical Journal, 1995; 48(10): 122~ 126
- 12 Saitou S, Amamiya C, Kitami T et al Development of multilayer piezoelectric ceramic transformer. NEC Technical Journal, 1996; 49(10): 131~ 138
 - 13 Kawai H, Sasaki Y, Inoue T et al High power piezoelectric ceramics. NEC Technical Journal, 1996; 49(10): 135~ 138
 - 14 邝安祥, 周桃生, 何昌鑫等. 大功率压电陶瓷变压器的研究. 科学通报, 1989; 34(11): 811~ 813
 - 15 柴荔英, 邝安祥. 压电陶瓷变压器与线绕电子变压器的比较. 电子变压器技术, 1990; (1): 2~ 5
 - 16 邓维体, 李弘一. 独石型低变比压电陶瓷变压器. 电子变压器技术, 1990; (3): 1~ 2
 - 17 柴荔英, 邝安祥. 压电陶瓷变压器与电磁变压器异同及开发应用研究. 湖北大学学报, 1992; 14(1): 50~ 54
 - 18 周桃生, 邝安祥. 一种大功率压电陶瓷变压器材料的研究. 硅酸盐学报, 1992; 20(4): 332~ 337
 - 19 谢菊芳, 邝安祥. 一种新型压电陶瓷变压器驱动电路的研究. 湖北大学学报, 1993; 15(3): 242~ 245
 - 20 谢菊芳. 压电变压器霓虹灯电源的研制. 湖北大学学报, 1994; 16(3): 243~ 247
 - 21 黄刚, 唐敏. 压电陶瓷变压器的工艺技术与应用. 电子工艺简讯, 1994; (1): 16~ 18
 - 22 周桃生. 压电陶瓷变压器材料的研究与发展. 材料导报, 1994; (4): 39~ 42
 - 23 傅应泉, 黄富钊. 特种压电陶瓷变压器的研制. 电子科技大学学报, 1995; 24(5): 490~ 493
 - 24 成传国. 压电变压器应用技术. 电子技术参考, 1995; (2): 40~ 53
 - 25 鲍亚华, 陈昂, 韩家平等. $Pb(Li_{1/4}Nb_{3/4})O_3-Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(ZrTi)O_3$ 四元系压电变压器陶瓷材料研究. 浙江大学学报, 1997; 31(2): 269~ 276
 - 26 李龙土, 张孝文, 柴京鹤等. 低温烧结压电陶瓷及其独石结构压电变压器. 中国专利, 85100051, 1986-08-06
 - 27 李龙土, 张孝文, 柴京鹤等. 低温烧结独石压电陶瓷变压器. 中国专利, 86201450, 1987-04-22
 - 28 邝安祥, 周桃生, 何昌鑫等. 一种压电陶瓷高压电源的保安警棒. 中国专利, CN 2077108U, 1991-05-15
 - 29 邝安祥, 周桃生, 何昌鑫等. 一种大功率压电陶瓷材料. 中国专利, CN 1061111A, 1992-05-13
 - 30 柴荔英, 邝安祥, 李兵等. 笔记本型电脑显示器的压电陶瓷变压器高压电源. 中国专利, CN 2115613U, 1992-09-09
 - 31 邓维体, 李弘一. 复合结构压电陶瓷变压器. 中国专利, CN 1122957A, 1996-05-22
 - 32 邓维体, 夏定豪, 马克. 低变比压电陶瓷变压器的电源电路. 中国专利, CN 1122968A, 1996-05-22
 - 33 猪义博, 吉田哲男, 布田良明等. 压电变压器及采用该变压器的电压变换装置. 中国专利, CN 1125352A, 1996-06-26 优先权专利, 日本专利, JP 6165636, JP 6180329, JP 6180344
 - 34 邓维体, 李弘一. 多层压电陶瓷变压器及其制作方法. 中国专利, CN 1130292A, 1996-09-04
 - 35 邓维体, 李弘一. 复合独石结构压电陶瓷变压器制作方法. 中国专利, CN 1130293A, 1996-09-04