

大功率压电陶瓷变压器的研究

邝安祥 周桃生 何昌鑫 柴荔英

(湖北大学物理系, 武汉)

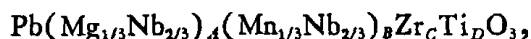
关键词 压电陶瓷变压器、铌镁-铌锰锆钛酸铅、输出功率特性

由于压电陶瓷变压器在高压领域内显示出具有高升压比、体积小、重量轻、不怕高压击穿、短路烧毁、不用铜铁材料以及不引起电磁干扰等特性能,引起人们广泛兴趣,并在高压小电流设备中越来越获得应用。随着开发和应用的发展,高温稳定性、时间稳定性以及具有更大输出功率的压电陶瓷变压器的研究被提到日程上来。

研究表明,采用改性 PZT 二元系或者 PCM^[1]、PSM^[2] 等三元系压电陶瓷材料都难以实现单片输出大于 40W 压电陶瓷变压器^[3]。我们对铌-镁、铌-锰锆钛酸铅四元系压电陶瓷进行广泛研究,发现组分在三角-四方准同型相界近旁的四方相内,存在一个与二元系、三元系类似的过渡位置,但它是一种不仅与第一、二组元有关,还与第三、四组元有关的“交叉”过渡位置。在此位置上的材料具有温度稳定性好、耦合系数大、机械品质因素高和机械强度大等优点^[4]。我们采用这种材料研制出尺寸为 $100 \times 25 \times 3.6(\text{mm}^3)$ 长条形单片输出功率为 65W 的压电陶瓷变压器。在 50W 可连续稳定工作,达到实用要求。

一、材料及其基本参数

我们采用制作压电陶瓷变压器的 PMMN 四元系材料的基本配方是:



其中 $A = 0.059$, $B = 0.066$, $C = 0.459$, $D = 0.416$ 。

在此配方中,我们添加适量 CeO_2 和用 Sr 部分取代铅,材料的温度特性得到了改善,例如,谐振频率和机械品质因数最大相对偏离值 $|(\delta f_r)_m|$ 和 $|(\delta Q_m)_m|$ 可降低 50% 左右。该配方材料性能如表 1 所示。

表 1 PMMN-1 配方压电陶瓷材料的性能参数

k_p	k_{31}	k_{33}	Q_m	$\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_{33}$	$\text{tg } \delta$	ρ	d_{33}	d_{31}	g_{33}	g_{31}	S_{11}^E	S_{11}^D
						g/cm^3	10^{-12}C/N		$10^{-3}\text{V} \cdot \text{m/N}$		$10^{-12}\text{m}^2/\text{N}$	
0.64	0.31	0.73	3500	1280	0.002	7.8	311	-110	30.1	-10.7	11.4	10.3

PMMN 四元系材料和尺寸为 $100 \times 25 \times 3.6(\text{mm}^3)$ 长条形压电陶瓷变压器是采用传统氧化物球磨法制成,其空载交流升压比为 780,全波模式谐振频率为 30.58kHz。

本文 1988 年 7 月 16 日收到。

二、结果与讨论

我们对用 PMMN 压电材料研制的压电变压器的主要性能作了系统测量,以期确定其应用范围。实验中所测各量采用常规测量线路和测量方法进行测量。

1. 输出功率-负载阻抗特性 图 1 表示输入电压 $V_i = 275\text{V}$, 室温 $T_0 = 25^\circ\text{C}$, 压电变压器输出功率随负载阻抗变化关系。当负载电阻 $R_L = 9\text{M}\Omega$, 输出功率最大值为 65W , 而减少或增加负载阻抗, 输出功率减少。由于压电变压器输入阻抗、升压比均随负载阻抗变化而变化, 不同输入电压值, 输出功率与负载阻抗变化关系不完全相同。

2. 转换效率-负载特性 压电变压器的转换效率随输出功率关系如图 2 所示。此曲线是在负载电阻 $R_L = 8\text{M}\Omega$, 室温 $T_0 = 25^\circ\text{C}$, 压电变压器热平衡后测定。在大功率输出条件下, 热平衡前压电变压器各参数略有变化; 热平衡后, 将稳定不变。由于输出功率是在负载电阻上测得, 总的功率损耗包括了压电变压器和整流电路的损耗, 因此陶瓷变压器实际转换效率应大于曲线表示的转换效率。实验表明在 10W 以内运用, 转换效率达 86% 以上; 在输出功率为 40W 时, 转换效率达 70% ; 而在 50W 工作时, 其转换效率仍有 63% 。

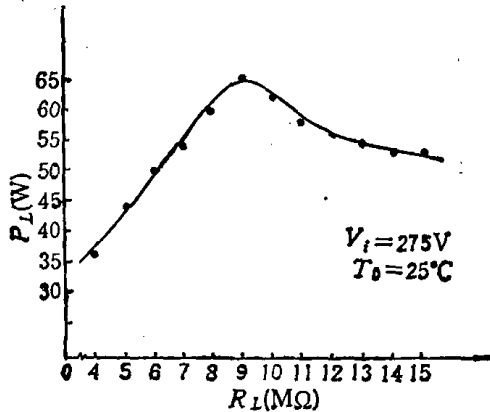


图 1 输出功率-负载阻抗特性

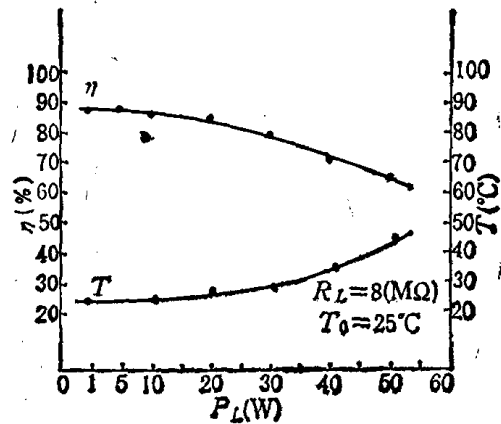


图 2 转换效率、波节温度-负载特性

3. 波节温度-负载特性 由于压电陶瓷变压器的波节处应力最大, 因此温度也会最高。如全波谐振模式的变压器长度 $1/4$ 处, 温度最高, 其它位置温度降低, 两端温度最低。在负载 $R_L = 8\text{M}\Omega$, 室温 $T_0 = 25^\circ\text{C}$, 测出最高温度点的温度与输出功率的关系如图 2 所示。实验点均是在压电变压器工作 1h 后, 即待变压器完全处于热平衡时测定。从图 2 不难看出, 压电变压器输出功率为 40W 时最高温度点的温度为 34°C , 输出功率为 50W 时, 最高温度点的温度为 47°C , 变压器其它部分, 温度更低。

4. 谐振频率-环境温度特性 一般情况下, 压电材料的谐振频率因本身发热和环境温度变化而发生漂移, 因此压电变压器谐振频率的温度特性是确定压电变压器性能好坏的重要指标。特别在压电变压器在较大输出功率运用时, 谐振频率温度特性的研究就更为重要。图 3 表示压电变压器谐振频率(全波模式)随环境温度的变化关系。测定条件如图 3 所示。图中每个实验点仍为压电变压器热平衡后测得。从图中可看出, 温度从 -20°C 升至 60°C 时, 谐振频率最大偏离值为 58Hz , 室温 25°C 时的 f_r 值为 30584Hz , 最大相对偏高值 $|\delta f_r| < 0.2\%$ 。我们采用这种变压器研制出的高压电源, 高压输出稳定, 整机转换效率达 70% , 可在较宽温度范围内工作^[5]。

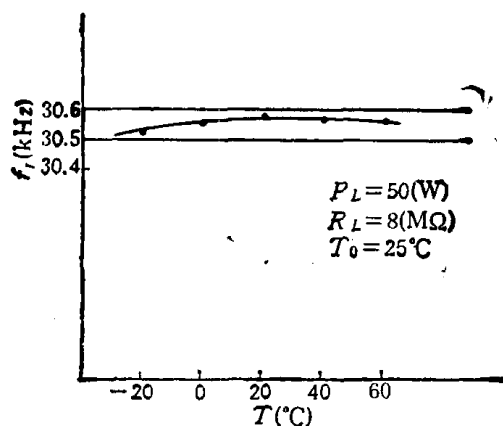


图3 谐振频率-环境温度特性

三、结 论

1. PMMN 四元系压电陶瓷材料机械品质因素 Q_m 、机电耦合系数 k_p 和机械强度高, Q_m 值可达 3500。这些对制备高升压比大功率陶瓷变压器是非常有利的。同时,材料的基本性能比较容易通过改变各组元比例来控制。适量添加物和部分取代 Pb, 虽然材料性能稍有下降, 但可较好地改善其温度特性。因此 PMMN 四元系配方中添加适量 CeO_2 和 Sr 部分取代 Pb 是必要的。

2. 我们全面考察 PMMN 四元系尺寸为 $100 \times 25 \times 3.6(\text{mm}^3)$ 长条形单片压电变压器, 从升压比、温度与时间稳定性和转换效率来看, 此尺寸下的压电变压器最大输出功率为 65W, 可在输出功率为 40—50W 长期连续工作。

3. 大功率 PMMN 四元系压电变压器将有利于压电变压器的推广与应用。更大功率输出的陶瓷变压器及其高压电源已成为有待进一步研究的课题。

参 考 文 献

- [1] 朱凤珠、许煜寰, 物理, 2(1973), 4: 183—190.
- [2] Li Long-tu et al., *Ferroelectrics*, 28(1980), 402—406.
- [3] 川田雄彦, 电子展望(日), 7(1970), 5: 67.
- [4] 周桃生、邝安祥, 湖北大学学报(自然科学版), 1986, 2: 51—61.
- [5] Kuang, A. X. et al., *IEEE. Proc. Inter. Symp. Appl. Ferroec.*, 1986, 689—692.