

综述
REVIEW

压电变压器外围电路的最新研究进展

余厉阳, 王德苗, 董树荣

(浙江大学信息工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 压电变压器的外围电路也应突出无电磁污染、易小型化等特点, 详细介绍了外围驱动电路和反馈控制电路。列举并分析了不同驱动电路和反馈控制电路的设计原理和工作特点, 并对未来外围电路的发展做了简单的预测。

关键词: 电子技术; 压电变压器; 综述; 驱动电路; 控制反馈电路

中图分类号: TM282; TM4 文献标识码: A 文章编号: 1001-2028 (2005) 00-0051-03

Novel Progress in the Research of Circuit Used in the Piezoelectric Transformer

YU Li-yang, WANG De-miao, DONG Shu-rong

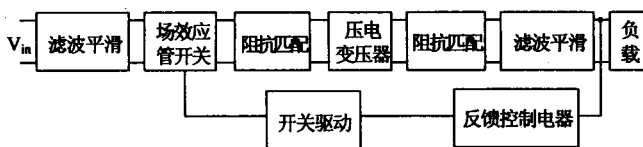
(School of Information Engineer, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The complexities of the driven circuit and the feedback control loop were decided by the operating principle of piezoelectric transformer and the characteristic, such as non electromagnetic contamination and the small volume. Some representative driven circuit and feedback control circuit were reviewed, and the design principle was analyzed. Finally the progress in the circuit of piezoelectric transformer is expected in future.

Key words: electronic technology; piezoelectric transformer; review; driven circuit; feedback control circuit

1 概述

压电变压器利用压电陶瓷材料在交变信号驱动下的振动来实现变压。独特的物理原理决定了只有当输入端电信号同压电陶瓷片的固有谐振频率相一致时, 变压器才有最佳的工作性能。现已开发出来的压电变压器, 工作频率为几十 kHz 到十几 MHz 不等^[1,2]。但实际应用中, 多为直流或工频供电。结合稳定工作频率和性能改善的要求, 其电路模块可表达为图 1, 主要包括整流电路、滤波电路、逆变电路、阻抗匹配电路和反馈控制电路等。



压电变压器相对于传统电磁变压器的特点是: 无

电磁污染, 易小型化。所以电路设计的核心问题是在实现基本功能的基础上, 尽可能少地采用电子元件, 尤其是电感元件, 同时要确保尽可能高的效率。

因此笔者主要围绕对整个电路板性能起决定性作用的, 压电变压器输入端的驱动电路和反馈控制电路做详尽的介绍。列举并分析了各种电路解决方案的优缺点, 对变压器的外围电路设计提出了一些自己的看法。

2 输入部分驱动电路

不论实际应用中的源是交流, 还是直流, 都同压电变压器的工作频率相去甚远。因此在电路的输入部分需要滤波整流、逆变等电路。其中又以逆变电路对小型化和高效率的影响最大。图 2 给出了几种典型逆变电路的示意图。

其中图 2 (a) 是回扫型逆变电路^[3]。当开关闭合时, 电磁变压器输入端电感储能, 电感 A 点对地为正; 当开关断开时, 输入端电感放能, 电感 A 点对地为负。再通过压电变压器输入端电学等效电容 (下面简称输

收稿日期: 2004-11-20 通讯作者: 王德苗

作者简介: 王德苗 (1947-), 男, 浙江诸暨人, 教授, 研究方向为薄膜电子学, 微细加工技术与设备, 压电器件。Tel: (0571)87951710; E-mail: ISEEWDM@zju.edu.cn; 余厉阳 (1978-), 男, 浙江东阳人, 博士研究生, 主要从事压电陶瓷薄膜器件方面的研究。E-mail: liyangyu456@hotmail.com.

入端电容)和电磁变压器输出端电感组成的选频振荡电路,就能确保压电变压器输入端的输入电压为正弦波。缺点是采用电磁变压器,有较大的电磁泄漏和体积,效率不高。

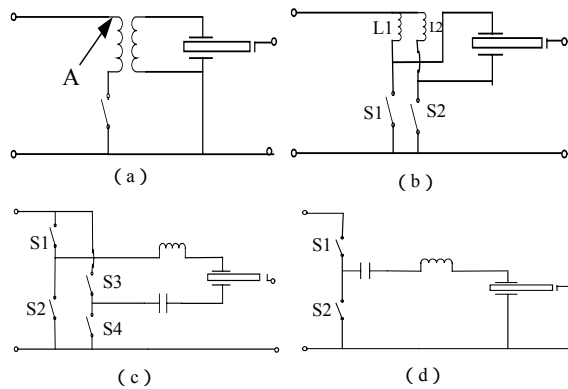


图2 典型的逆变电路
Fig.2 The typical invert circuit

图2(b)是推挽型逆变电路^[4]。其工作过程分四个状态:S1断开、S2闭合,输入端电容通过电感L1充电;S1闭合、S2闭合,输入端电容放电;S1闭合、S2断开,输入端电容通过L2充电;S1闭合、S2闭合,输入端电容放电。缺点依然是采用了大体积的电感,不利于小型化。

图2(c)是全桥型逆变电路^[5]。其工作过程也为四个状态:S1闭合、S2断开、S3断开、S4闭合,输入端电容正向充电;S1断开、S2闭合、S3断开、S4闭合,输入端电容放电;S1断开、S2闭合、S3闭合、S4断开,输入端电容反向充电;S1断开、S2闭合、S3断开、S4闭合,输入端电容放电。如果在S1同S2之间以及S3同S4之间插入一个死区。只要严格控制时区的时间,就可以很容易地实现零电压切换(ZVS)。因此全桥型的特点就是避免了采用大电感,有利于电路板的小型化。

图2(d)是半桥型逆变电路^[6]。其工作状态分三个状态:S1闭合、S2断开,输入端电容保持充电完成状态,电压为一恒定值;S1断开、S2断开,输入端电容放电;S1断开、S2闭合,输入端电容保持放电完成状态;S1断开、S2闭合,输入端电容充电。再经过串联电感电容的作用,变压器输入端的电压就为正弦波。其中S1、S2同时断开的过程就是ZVS实现的过程。其特点是,所采用的电子元件最少,也最有利于实现小型化。但在ZVS的实现上较全桥型困难,同时输入端的电压信号,直流分量过大,效率上也会受到影响。

对于半桥型逆变器来说,其电感和电容的连接情况,如图3所示,分三种情况^[7]:

第一种,如图3(a)所示,无任何电感性元件。因此为了保证ZVS的完成,就要求压电变压器必须具有良好的电感性。即,当变压器处于工作频率时,其等效阻抗必须为电感性的。优点是没有磁性元件,缺点是应用范围受到了限制。

第二种,如图3(b)所示,并联电感。其压电变压器输入端电压为软方波(梯形波)。优点是设计自由度大,应用不受限制,但能量损耗可能增加。

第三种,如图3(c)所示,串联电感。其压电变压器输入端电压为正弦波电压,能确保变压器工作于最佳状态。但在设计和应用上都有较大的限制。

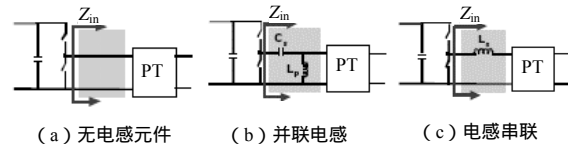


图3 各种半桥驱动电路
Fig.3 The variable half-bridge drive circuit

3 反馈控制电路

对于实际的应用来说,由于温度、负载等因素变化的影响,压电变压器输出电压会发生变化。为了稳定电压或者是出于使压电变压器始终工作于最佳状态的目的,通常需要调控输入端的工作频率和MOS管栅极信号的占空比。针对不同的应用,主要有以下几种解决方案:

(1)量子型控制回路^[8],主要有一个产生固定的驱动频率的振荡器和一个侦测输出电压的Schmidt触发逆变器组成。其工作原理是利用振荡器产生恒定频率和占空比的驱动信号。输出电平在此输入信号的作用下,开始上升,一旦Schmidt触发逆变器侦测到输出电平超过预设的最大值,立刻切断驱动回路,直到输出电平开始低于最小预设值,此时驱动回路再次启动。其特点是电路简单,能把输出电平控制在一定范围之内。

(2)锁相环控制回路(PLL)^[9],其设计的理论依据是,对于输出回路采用了倍压整流模块的电路,不管负载如何变化,只有当驱动压电变压器的输入电压同倍压整流二极管上的输出电流相位差为零时,升压比才最大。因此可以设计用锁相环控制回路来保证两者之间相位的同步。其特点是,不论负载如何变化,总能确保器件有最佳性能,但只适用于输出端为倍压整流的电路。

(3)脉宽调制(PWM)和脉冲频率调制(PFM)混合调制^[10]。其基本工作原理如图4所示:利用控制切换模块,比较电平的方法,来实现固定频率,调节

占空比的 PWM 控制模式与固定占空比，调节频率的 PFM 控制模式之间的切换。其特点是充分利用了两种控制模式的优点，克服了单一用 PFM，频率调节范围窄，以及单一利用 PWM，难于在输入电压变动范围过大时有效控制输出电压的缺点。

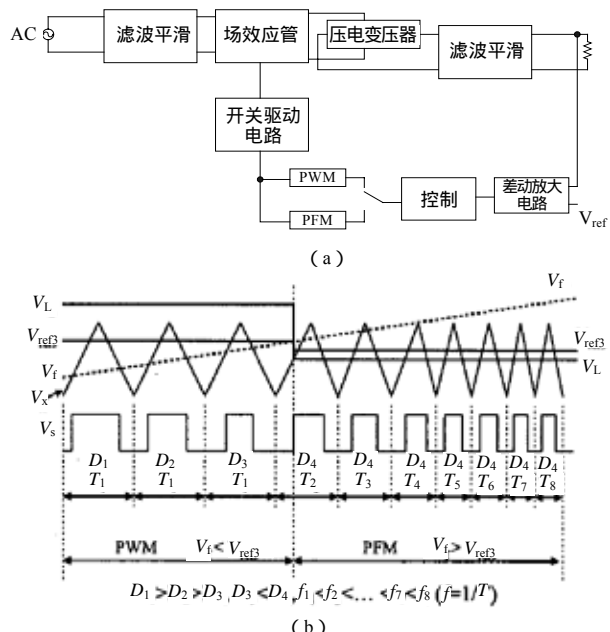


图 4 (a) PWM 与 PFM 控制电路模块图, (b) 控制电路的时间图
Fig.4 (a) Block diagram of PWM & PFM controlled circuit, (b) time chart of the control circuit

(4)相频侦测 (PFD) 和 PWM 联合控制^[11]。其设计的基本原理为：当变压器工作于谐振频率时，输入电压、电流的相位差为零，因此可以利用 PFD 锁定输入电压、电流的相位，以确保变压器工作于谐振频率。而当驱动电路为半桥逆变电路，并且为并联电感模式时，则压电变压器的输入端为软方波。依据付利叶变换可知，变压器输入端的一次正弦波为：

$$V = \frac{2A}{\pi} \sin(D\pi)$$

这样就可以用 PWM 来调节输出电压。其特点是利用 PFD 固定频率始终为谐振频率，利用 PWM 调节输出电压。

4 总结和展望

压电变压器的特点是，无电磁污染、易小型化，因此在各种小型的电子产品上很有前景。故作为配套的外围电路也要突出无电磁污染、易小型化的特点。

因此在确保性能的前提下，一定要采用尽量少的电子元件，尤其是电感元件，应该是电路设计的一个原则。至于实际的应用中应该采用何种驱动和反馈控制电路方案，则完全取决于所设计压电变压器本身和应用需求。

同时应该注意的是，不论对何种变压器来说，一定的效率都是必须先决条件。因此在设计电路，应该根据实际的需要谨慎地选择驱动和反馈控制电路，以确保整个器件本身的高性能和小型化。

外围电路，近年来一个明显的发展趋势就是大量采用了集成芯片工艺。甚至出现了把控制电路和驱动电路做到一块芯片上的报道^[12]。预计下一步工作的重点应该着眼于如何使压电变压器的设计和制备工艺同外围电路实现无缝衔接。这对于整个器件的集成化来说，非常关键。

参考文献：

- [1] Rosen C A. Ceramic transformer and filters[A]. Proc Electron Compon Symp[C]. 1957. 205-211.
- [2] Yamamoto M, Sasaki Y, Inoue T, *et al.* Piezoelectric transformer for 30 W output AC-DC converters[A]. Appl Ferroelectr ISAF 2002, Proceedings of the 13th IEEE International Symposium[C]. 2002. 347-350.
- [3] Ishizuka Y, Lee K W, Oyama T, *et al.* Consideration of a single-switch inverter for piezoelectric transformer with a new control method[A]. Power Electronics Specialist 2003 PESC '03, IEEE 34th Annual Conference[C]. 2003. 1621-1626.
- [4] Hwang L H, Yoo J H, Lee B H, *et al.* Modeling of piezoelectric transformer and CCFL by PSPICE[A]. Power System Technology 2002 Proceedings, PowerCon 2002 International Conference[C]. 2002. 2664-2668.
- [5] Nakashima S, Ninomiya T, Ogasawara H, *et al.* Piezoelectric-transformer inverter with maximum-efficiency tracking and dimming control[A]. Applied Power Electronics Conference and Exposition APEC 2002, Seventeenth Annual IEEE[C]. 2002. 918-923.
- [6] Wey Chin-der, Jong Tai-lang, Pan Ching-tsai. Design and analysis of an SLPT-based CCFL driver[J]. IEEE Trans Ind Electron, 2003, 50(1): 208-217.
- [7] Sanz M, Alou P, Prieto R, *et al.* Comparison of different alternatives to drive piezoelectric transformers[A]. Applied Power Electronics Conference and Exposition. APEC 2002, Seventeenth Annual IEEE[C]. 2002. 358-364.
- [8] Martin-ramos J A, Prieto M A J, Garcia F N, *et al.* A new full-protected control mode to drive piezoelectric transformers in DC-DC converters[J]. IEEE Trans Power Electron, 2002, 17(6): 1096-1103.
- [9] Ben-Yakov S, Lineykin S. Frequency tracking to maximum power of piezoelectric transformer HV converters under load variations[A]. Power Electronics Specialists Conference. PESC 02 2002 IEEE 33rd Annual[C]. 2002. 657-662.
- [10] Hamamura S, Ninomiya T, Yamamoto M, *et al.* Combined PWM and PFM control for universal line voltage of a piezoelectric transformer off-line converter[J]. IEEE Trans Power Electron, 2003, 18(1): 270-277.
- [11] Dallago E, Danioni A. Resonance frequency tracking control for piezoelectric transformer DC-DC converter[J]. Electron Lett, 2001, 37(22): 1317-1318.
- [12] Dallago E, Danioni A, Ricotti G, *et al.* Single chip, low supply voltage piezoelectric transformer controller[A]. European Solid-State Circuits 2003 ESSCIRC '03 Conference[C]. 2003. 273-276.

(编辑：傅成君)

欢迎投稿 欢迎订阅