

# 基于 NCP1396 的 LLC 半桥型谐振变换器

左乐乐, 张文超\*

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 为解决开关电源的高效率、低损耗、EMI 小等问题, 将 LLC 半桥型谐振技术应用到开关电源中。在整个工作范围内, LLC 半桥型谐振变换器实现了零电压转换(ZVS), 减小了开关损耗。介绍了 LLC 半桥型谐振变换器的工作原理, 提出了一种以 NCP1396 为控制芯片的开关电源的设计方法, 并进行了实际试验。实验结果表明, 提出的设计方法能够实现零电压转换, 有效地提高了开关电源的效率。

**关键词:** 开关电源; LLC 半桥; 零电压开关

**中图分类号:** TM564

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2012)02-0224-03

## LLC half-bridge resonance converter based on NCP1396

ZUO Le-le, ZHANG Wen-chao

(College of Electronic Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of high efficiency, low loss and small EMI, the LLC half-bridge resonant technology was used in switching power supply. By LLC half-bridge resonant converter the zero voltage switching (ZVS) in the entire range of running was realized, the switching loss was reduced. The operating principle of LLC resonant converter was introduced, and a design method of switching power supply based on the chip NCP1396 was proposed, actual test was carried out furthermore. The experimental results show that the design method can achieve ZVS and improve the efficiency of switching power supply effectively.

**Key words:** switching power supply; LLC half-bridge; zero voltage switching(ZVS)

## 0 引言

开关电源具有高频、小型化、低噪声、效率高等优点, 因此越来越受到各种电源应用领域设计人员的关注, 其应用范围也越来越广。开关电源作为现代电子系统不可缺少的组成部分, 为适应现代电子设备发展的需要, 其开关频率越来越高, 其技术性能直接影响到各种电子设备的使用和发展。

目前, 隔离型变换器的拓扑结构主要有正激式、反激式、推挽式和谐振式等<sup>[1-3]</sup>。其中, 谐振式变换器具有软开关、效率高、EMI 小、滤波简单、负载可调范围大等特点。在 150 W~500 W 交流输入电源中, 由于 LLC 谐振转换器(效率通常在 90% 以上)的效率高于标准电源拓扑, 所以其运用范围越来越广。

本研究介绍一种采用 NCP1396 的半桥型谐振变换器的工作原理及设计方法<sup>[4-6]</sup>, 旨在实现开关管的零电压开关。零电压开关可以降低开关管的开关损耗, 以提高电源效率, 并通过实际应用验证了该设计方法。

## 1 基本工作原理

LLC 转换器是串联谐振转换器, 其拓扑包括三部分: 方波发生部分、整流部分和谐振部分, 如图 1 所示。

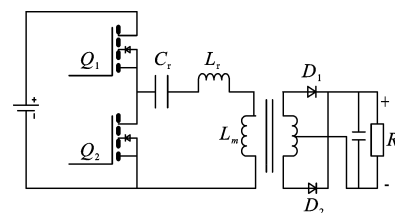


图1 LLC半桥型谐振变换器拓扑

收稿日期: 2011-08-29

作者简介: 左乐乐(1985-), 男, 河北沧州人, 主要从事新型电子器件与应用方面的研究。E-mail: zuolele06@163.com

通信联系人: 张文超, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: zhangzwc@126.com

通过控制芯片,方波发生部分每次切换都以50%占空比交替驱动开关 $Q_1$ 和 $Q_2$ 产生方波电压<sup>[7]</sup>。整流部分通过整流二极管和电容器调整交流电,输出直流电压。谐振部分包括谐振电容 $C_r$ ,变压器的漏磁电感 $L_r$ 和励磁电感 $L_m$ 。有两个谐振频率,一个是 $L_m$ 不参与谐振的 $f_s$ ,另一个是 $L_m$ 参与谐振的 $f_m$ :

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_r L_r}} \quad (1)$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_r(L_r+L_m)}} \quad (2)$$

$f_m < f < f_s$ 是LLC谐振变换器的工作频率,开关管工作于ZVS状态<sup>[8]</sup>。对于开关管来说,开通损耗几乎为零,关断时谐振电流也比较小,通过合理的设计,关断损耗也能降到比较小,这样便减小了开关管的开关损耗。

LLC半桥型谐振变换器工作波形图如图2所示。以下分阶段说明:

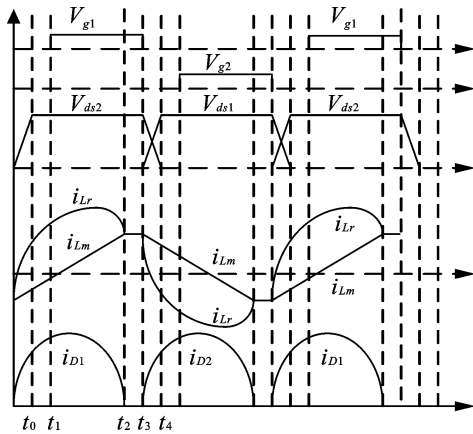


图2 LLC半桥型谐振变换器工作波形图

(1) 阶段1 ( $t_0 < t < t_1$ ):  $t_0$ 时刻, $Q_1$ 结电容上的电压下降到零, $Q_1$ 的体二极管开始导通,使得 $Q_1$ 的漏源(DS)极间电压为零,为 $Q_1$ 的ZVS创造了条件。当 $Q_1$ 的体二极管导通时,谐振电流 $i_{Lr}$ 开始以正弦形式增加,此阶段 $L_r$ 中的电流大于 $L_m$ 中的电流,两者差值流过变压器的初级,次级整流二极管 $D_1$ 开始导通, $L_m$ 在此过程中充电,只有 $L_r$ 和 $C_r$ 参与谐振。 $t_1$ 时刻, $Q_1$ 的栅极信号为高电平,阶段1结束。

(2) 阶段2 ( $t_1 < t < t_2$ ):  $t_1$ 时刻, $Q_1$ 零电压导通。此时 $L_r$ 中的电流上升,仍然大于 $L_m$ 中的电流,二者差值流过变压器初级,整流二极管 $D_1$ 保持导通。 $L_m$ 在此过程中充电,只有 $L_r$ 和 $C_r$ 参与谐振。 $t_2$ 时刻, $L_r$ 中的电流与 $L_m$ 中的电流相等,阶段2结束。

(3) 阶段3 ( $t_2 < t < t_3$ ):  $t_2$ 时刻, $L_r$ 中的电流与 $L_m$ 中的电流相等,没有电流流过变压器的初级,二极管 $D_1$ 的电流为零,零电流关断,因此几乎没有反向恢复过程。 $L_m$ 参与到谐振中, $L_m$ 和 $L_r$ 、 $C_r$ 组成一个串联谐振回路。 $t_3$ 时

刻, $Q_1$ 栅极信号变为低电平,阶段3工作过程结束。

(4) 阶段4 ( $t_3 < t < t_4$ ):  $t_3$ 时刻, $Q_1$ 和 $Q_2$ 关断,进入死区时间。谐振电流给 $Q_1$ 的结电容充电,同时给 $Q_2$ 的结电容放电。此时 $L_m$ 中的电流大于 $L_r$ 中的电流,两者差值流过变压器的初级,二极管 $D_2$ 导通。 $t_4$ 时刻, $Q_2$ 的结电容放电结束,阶段4工作结束。

之后的几个阶段, $Q_2$ 工作模式与前几个阶段中 $Q_1$ 类似,这里不再复述。

由以上分析可知,开关管 $Q_1$ 、 $Q_2$ 导通时,其DS间电压均接近于零,而开关管关断时是容性关断的,因此开关管工作在零电压开关(ZVS)状态下。

## 2 电路实现

NCP1396的引脚连接图(简化的局部图)如图3所示。此芯片可调节死区时间,可调工作频率范围,具有欠压、过压、过温等多重保护,其工作核心器件是谐振电容 $C_r$ 和电感 $L_r$ 、 $L_m$ 。

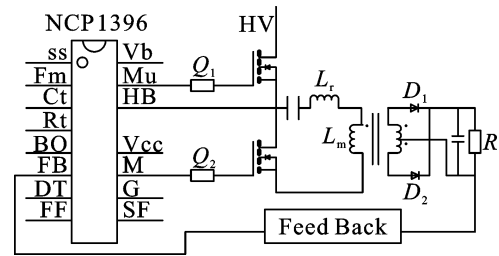


图3 NCP1396引脚连接图

以下是对 $C_r$ 、 $L_r$ 和 $L_m$ 的计算:

确定变换器参数:输出功率 $P_o$ 为200 W,输出电压 $V_o$ 为36 V,工作频率 $f$ 为100 kHz,变压器匝数比 $n$ 为6.07, $L_m$ 与 $L_r$ 比值为3.77,品质因数 $Q$ 为0.42。

负载阻抗 $R_{ac}$ :

$$R_{ac} = \frac{8n^2 V_o^2}{\pi^2 P_o} \quad (3)$$

由式(3)计算可得 $R_{ac}$ 为193.5 $\Omega$ 。

谐振电容 $C_r$ :

$$C_r = \frac{1}{2\pi Q f R_{ac}} \quad (4)$$

由式(4)计算可得 $C_r$ 为19.6 nF。

实际工作状态中,取 $C_r$ 为22 nF。

漏磁电感 $L_r$ :

$$L_r = \frac{1}{(2\pi f)^2 C_r} \quad (5)$$

由式(5)计算可得 $L_r$ 为129.24  $\mu$ H。

励磁电感 $L_m$ :

$$L_m = 3.77 L_r \quad (6)$$

由式(6)计算可得 $L_m$ 为487.12  $\mu$ H。

按此参数计算结果可知,在实际应用过程中,其实际工作频率应低于100 kHz,这样就可使NCP1396以及变压器工作在高效低功耗状态。

### 3 实验结果

输出功率200 W时的开关管的ZVS波形如图4所示。

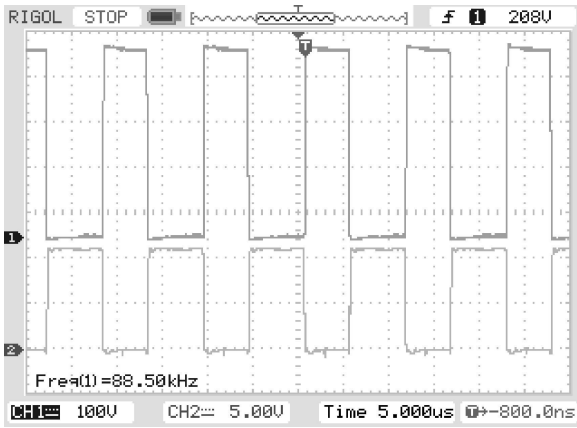


图4 200 W输出时开关管的ZVS波形

图4中下面部分为开关管 $V_{CS}$ 波形,上面部分为 $V_{DS}$ 波形。当D极(漏极)打开或关闭时,G极(栅极)电压为零,即零电压开关,有利于减少损耗,提高其工作效率。

次级整流二极管的电压波形如图5所示。

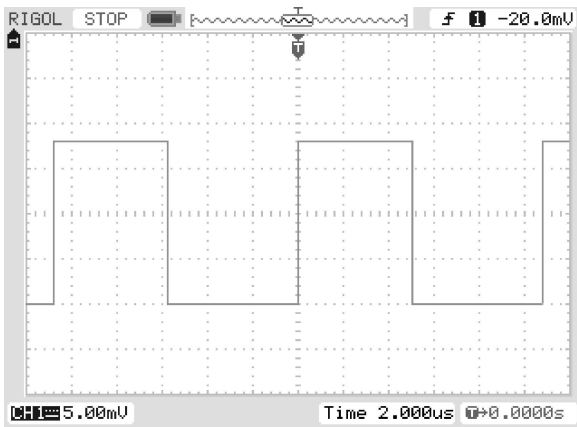


图5 200 W输出时整流二极管电压波形

由图5可知,导通和关断的纹波小,可以减小二极管的开关损耗,在一定程度上提高了电源的整体效率。

基于NCP1396设计的LLC半桥型谐振变换器开关电源的效率如表1所示。

表1 基于NCP1396的开关电源带负载的效率

| 负载情况  | 输出功率 /W | 输入功率 /W | 效率 $\eta$ (%) |      |
|-------|---------|---------|---------------|------|
|       |         |         | 预测值           | 实际值  |
| 25%负载 | 56.0    | 50      | 90            | 89.2 |
| 50%负载 | 109.2   | 100     | 91            | 91.6 |
| 75%负载 | 162.1   | 150     | 93            | 92.5 |
| 满载    | 213.4   | 200     | 94            | 93.7 |

根据表1可知,通过调节LLC的参数以及死区时间,基本可以实现开关管的零电压开关,这样就有效地提高了其电源效率,达到设计的基本要求。

### 4 结束语

LLC半桥型谐振变换器可以对输出/输入电压比进行宽范围调节,而频率变化很小。其开关管工作在零电压开关状态,当开关管导通或关断时,其DS间电压为零,开通损耗几乎等于零。因此LLC变换器的损耗小、效率高、电磁干扰小。

本研究设计了以NCP1396为控制芯片的开关电源,给出了参数的基本计算,并通过实验实现了ZVS,提高了电源效率。

### 参考文献(References):

- [1] [日]原田耕介,耿文学. 开关电源手册[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 陈 鸣,兰中文,吴鸿大,等. LLC 谐振变换器的原理与设计[J]. 实验科学与技术,2006,5(5):7-10.
- [3] 华成英,童诗白. 模拟电子技术基础[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2000.
- [4] 朱立泓,方 宇,张艳军,等. LLC 谐振变换器参数设计[J]. 电源技术应用,2007,10(1):27-30.
- [5] KANG Y G,UPADHYAY A K,STEPHENS D L. Analysis and design of a half-bridge parallel resonant converter operating above resonance[J]. **IEEE Transactions on Industry Applications**,1991,27(1):386-395.
- [6] ORUGANTI R,YANG J,LEE F C. Implementation of optimal trajectory control of series resonant converters [C]//IEEE PESC '87,1987:256-259.
- [7] YANG B,LEE F C,CONCANNON M. Over current protection methods for LLC resonant converter [C]//APEC 2003, 2003:605-609.
- [8] BA T A S,PILLAI S K,PRASAD D. Some novel topologies of soft switched quasi resonant DC-DC converters with minimum voltage stress across the switch [C]//IEEE IECON 98,1998:538-546.

[编辑:张 翔]