

基于 IR1150 的无桥 Boost 高功率 因数整流器的研究

张厚升

山东理工大学

摘要:传统有源功率因数校正电路中导通器件多,通态损耗大,不适于中大功率场合。基于单周期控制技术的 IR1150 是一种新型的功率因数校正芯片,无需传统 PFC 电路所需的乘法器,不需要检测输入电压。以 IR1150 为控制芯片,提出了一种无桥路高功率因数整流器,分析了其工作原理,对电磁干扰(EMI)和电流检测方案进行了分析与设计。500 W 的试验样机表明,该整流器电路结构简单、可靠,而且成本低,功率因数可达 0.99。

关键词:功率因数校正 无桥升压 单周期控制

Research on Bridgeless Boost Rectifier with High Power Factor Based on Chip IR1150

Zhang Housheng

Abstract: Conventional boost-type rectifier with input PFC circuit has many conduction components and big on-stage loss, so it is unfit for middle or high power situation. IR1150 is a new power factor correction IC, which uses the one cycle control (OCC) technique. It does not need the traditional multipliers and AC input voltage sensing. A new bridgeless boost PFC rectifier with high power factor based on IR1150 was presented. Its fundamental principle was introduced. Electromagnetic interference (EMI) and the technology of current sensing were analyzed and designed. Experimental results of the designed 500 W prototype show that bridgeless boost PFC rectifier based on IR1150 is simple, reliable, cost-saving. It can realize unit power factor correction.

Keywords: power factor correction(PFC) bridgeless boost one-cycle control

1 引言

传统的 AC-DC 电路采用不可控整流电路和电解电容滤波以得到波形平滑的直流电压,由于使用了非线性元件和储能元件,使得输入电流波形畸变而包含大量谐波,电网输入端功率因数低下,只有 0.5~0.7 左右,因而采取功率因数校正技术是必要的^[1]。

然而,传统功率因数校正电路技术复杂,例如使用传统的 UC3854 芯片开发的 PFC 电路,设计步骤繁琐,所需元件多,体积大而且成本高,因此设计时其往往要在性能和成本之间进行折衷。近年来单级 PFC 的研究集中于如何简化传统的 PFC 控制电路结构,避免对输入电压采样和使用复杂的模拟乘法器^[2]。文献[3,4]中提出的单周

期控制(one-cycle control,OCC)技术很好地解决了这个问题。单周期控制的基本思想是在每一个开关周期内使受控量的平均值恰好等于或者正比于控制参考量,单周期控制技术在控制回路中不需要误差综合,它能在一个周期内自动消除稳态、瞬态误差,前一周期的误差不会带到下一周期,同时单周期控制技术还具有减小畸变和抑制电源干扰等优点。目前已有基于单周期控制的 PFC 芯片——IR1150 问世,它不仅简便可靠,而且外围所需元件少,为 PFC 电路的设计提供了一种优秀的解决方案^[5]。本文基于单周期控制芯片 IR1150,设计了一种无桥 Boost 功率因数变换器,通过单周期控制技术来实现自身的 AC-DC 功能,同时尽可能不对电网产生污染,大大简化了电路的设计和缩小了装置体积,为电源 PFC 级提供

了简便、灵活、高密度的解决方案。

2 总体方案

图 1 给出了基于单周期控制芯片 IR1150 的无桥 Boost 电路拓扑,主电路采用无桥变换器,它省掉了变换器输入端的常规桥式整流电路,这样可以减少开关损耗,进一步提高效率,而且不存在由于导通损耗而降低效率的问题,且设计比较简单,需要的元件数量较少。该拓扑结构以电感电

流和输出电容电压为开关变量对电路闭环控制实现 PFC 功能。基于单周期控制技术的 IR1150 芯片使用输出电压和电感器中的电流峰值来计算前后衔接的每个周期的占空比,而且占空比控制着升压电路输入和输出之间的关系,电感器中的电流峰值可以自动地跟随输入电压的波形,这样就实现了功率因数校正的功能。由于所有必要的信息都是从电感器中的电流峰值和电压输出那里得到的,因此不需要检测输入电压^[6]。

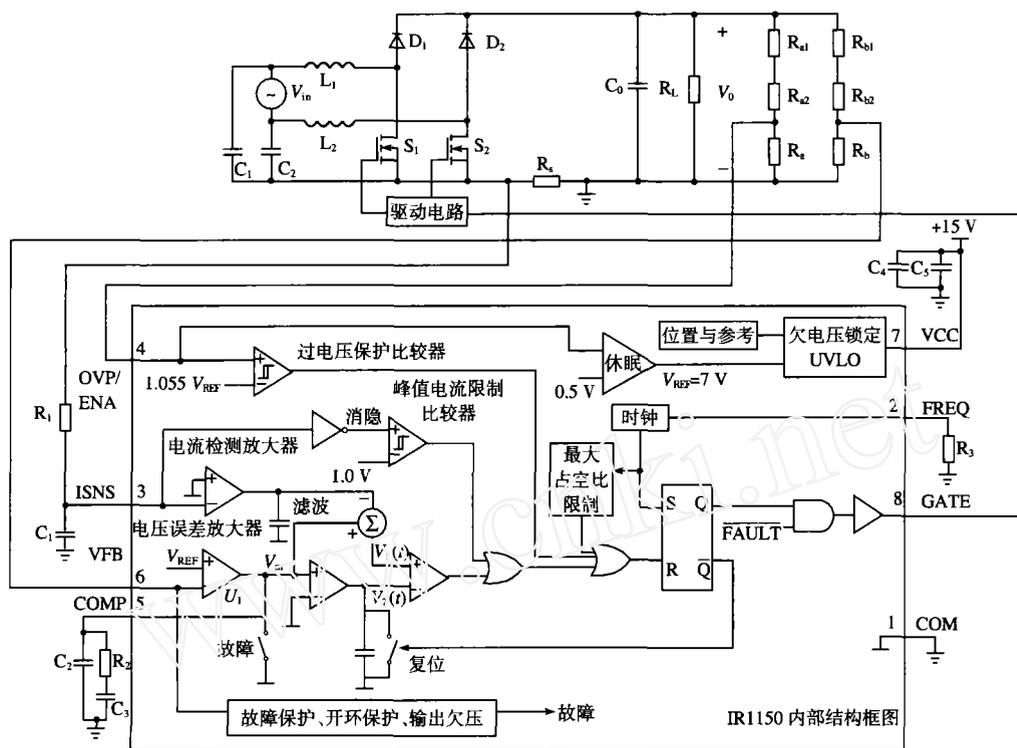


图 1 基于单周期控制芯片 IR1150 的无桥功率因数校正电路图

2.1 主电路原理与设计

对于图 1 所提出的无桥式高功率因数整流器,主电路采用无桥升压电路,该主电路拓扑结构是 1983 年提出的,主要用于 AC-DC 开关型电源和电机驱动。该电路存在两个 Boost 变换器,各自在输入电压的半个周期内工作,其功率传递每次只经过两个半导体器件。当输入电流为正时,二极管 D_1 、开关 S_1 、电感 L 起着 Boost 变换器的功能,同时开关 S_2 及其体内二极管处于反向导通续流状态;当输入电流为负时,二极管 D_2 、开关 S_2 、电感 L 起着 Boost 变换器的功能,而开关 S_1 及其体内二极管处于反向导通续流状态^[7]。 V_o 为高功率因数整流器的输出电压。

图 1 中,电路的输入端没有二极管组成的桥式整流电路,而是在交流输入端有 2 个升压电感

器。在这个电路中,输出和输入并无直接连接,于是就存在输入电压的检测、电流的检测和电磁干扰噪音等问题。特别是由于升压电感器放在交流输入端这边,因此很难检测作为输入的电网交流电压和电感器上的电流。PFC 电路中存在的检测电压和电流的问题与设计人员选择的控制策略有关。对于常规的升压 PFC 电路,最常用的是平均电流控制和峰值电流控制,但它们都是使用模拟乘法器的技术,如果采用此方法需要使用某种类型的输入电压检测电路和电感器的电流检测电路。在无桥式电路中,检测电压和检测电流是很复杂的,但是,在选用了无桥式整流电路的情况下,单周期(OCC)控制技术却很有优势。OCC 使用输出电压和电感器中的电流峰值来计算前后衔接的每个周期的占空比,所以,在使用 OCC 方法

时,需要的所有信息是从直流母线电压和电流那里得到的,不需要检测交流电网的电压,从而提高了效率和功率密度,也最大限度地提高了功率因数。

2.2 基于单周期控制的 PFC 芯片 IR1150

IR1150 内部结构框图如图 1 所示,控制环路包括一个外部的电压环和一个内部的电流环。输出电压通过分压电阻接入脚 6(VFB,电压环误差放大器反向输入端),该引脚内部接入电压误差放大器 U_1 反向输入端,反馈电压通过与 V_{REF} 比较后得到控制电压 V_m 。 V_m 一路与脚 3(ISNS)电流检测端输入信号经过运算得到 $V_1(t)$,另一路经过误差放大器构成的带有复位开关的积分器得到三角波 $V_2(t)$ 。之后 $V_1(t)$ 与 $V_2(t)$ 接入比较器 COMP,通过二者的比较即可确定占空比 D 。

电流环路和电压环路结合的结果,使 AC 输入平均电流(即经输入高频旁路电容器和 EMI 滤波器后的低频电流)与 AC 输入电压成正比,并且呈正弦波,与输入电压保持同相位,从而产生几乎等于 1 的功率因数。

一个周期内的工作波形如图 2 所示。在 t_1 时刻,时钟 CLK 产生的脉冲将 RS 触发器置位,Q 端输出高电平,通过驱动电路开通开关管, \bar{Q} 端为低电平,积分器工作,三角波 $V_2(t)$ 开始上升,直到 t_2 时刻 $V_2(t)$ 达到 $V_1(t)$ 的幅值,比较器 COMP 翻转输出高电平,将 RS 触发器复位,Q 端输出低电平,开关管关断。直到下一个周期初始(t_3 时刻)又开始重复上述过程。由上可知,开关管占空比 D 是由 $V_1(t)$ 与 $V_2(t)$ 比较所确定的^[1]。 $V_1(t)$ 既反映了电感电流的大小,同时又实现了每周期的电流峰值限制。

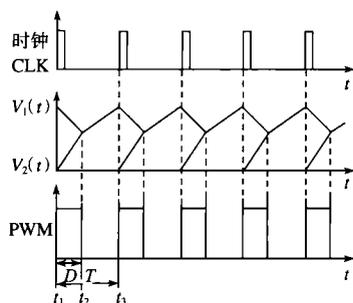


图 2 单周期控制的工作波形

2.3 EMI 分析与设计

电磁干扰(EMI)的特性一般与功率级的结构有关。对于传统的功率因数校正器而言,输出的地总是通过桥式整流器与输入电网相连,引起共

模干扰的唯一寄生电容是 MOSFET 晶体管的漏极与地之间的寄生电容。对于无桥式的功率因数校正电路,其输出相对于交流输入端来讲是浮动的,因此就有多个寄生电容在 MOSFET 晶体管漏极和地之间以及地与输出端之间导致共模干扰,在这种情况下,共模干扰比传统 PFC 电路的共模干扰更加严重。为了解决这个问题,可以在无桥式 PFC 电路中增加两只电容器 C_1, C_2 ,如图 1 所示,在输入交流电网与输出电压的地之间形成一个高频通路。

虽然 IR1150 的驱动能力很强,可以提供最大 1.5 A 的门极快速驱动。但是,高速驱动脉冲也带来了比较大的 EMI 问题。为此,可以适当的在 MOSFET 门极添加驱动电阻以减缓驱动脉冲的 di/dt ,可以有效降低变换器产生的开关噪声,从而对前级的 EMI 滤波器的要求也相应降低。同时还应选择快恢复二极管作为该电路的升压二极管,以减小二极管反向恢复所引起的传导和辐射干扰。

由于 PFC 电路的脉宽占空比是不断变化的,所以引起的开关噪声比恒定脉宽的变换器要大。芯片供电脚与地之间的耦合电容必须尽量靠近芯片,使芯片的供电具有良好的抗躁能力。耦合电容的选取与开关频率、MOSFET 的输入电容和接入 MOSFET 门极的电阻有关系,一般来说 470 nF 的无极电容就可满足要求。

2.4 电流检测方案

通常有两种电流传感检测方法,即在变换器接地线返回端串联一个检测电阻器或用两个电流互感器。检测电阻是花费最小的方法。

检测电流的电阻器决定了电流软过载的数值,输入电流就是限制在这个数值上,而这时输出电压将下降。最坏的情形是在电网电压低时而电流为最大,而且转换器的升压系数又比较高。电流检测电阻器的数值必须设计成这样:来自电网的输入电压为最低、负载为最大时,转换器能够维持输出电压。

可以这样来确定电流检测电阻器的数值,计算检测电流的电阻器两端用于设定输入电压为最低时的“软”电流极限所需要的电压,然后,按电感器中的最大峰值电流,计算电流检测电阻器的数值。电阻器中的功率损耗可以按输入电压为最小时,输入有效值电流为最大的情形来计算。同时还要妥善地遵守降额使用的基本原则。

3 实验验证

根据上面的分析,设计了一台 500 W 的基于 IR1150 芯片的无桥式 Boost 高功率因数整流器。开关频率为 100 kHz,输入电压为 AC 220 V,频率 50 Hz,输出 400 V。主开关管 VT 采用 47N60S5,VD 采用 STTA 1206D 型快恢复二极管。

栅极驱动信号 V_g 的试验波形如图 3 所示,电流检测电阻 R_s 上的电压 V_{R_s} 和输出电压 V_o 的实验波形如图 4 所示,输入电压和输入电流的试验波形如图 5 所示,从图 5 中可以看出输入电流能很好地跟踪输入电压。对输入电压和输入电流的

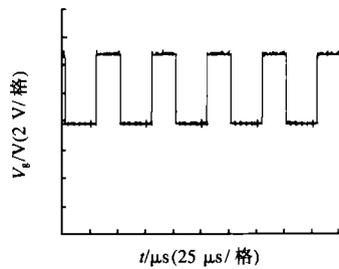


图 3 栅极驱动 V_g 的试验波形

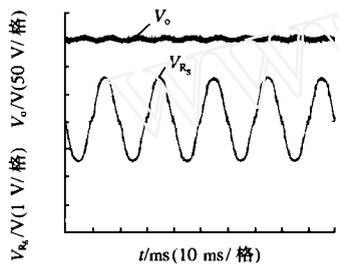


图 4 检测电阻上的电压 V_{R_s} 和输出电压 V_o 的实验波形

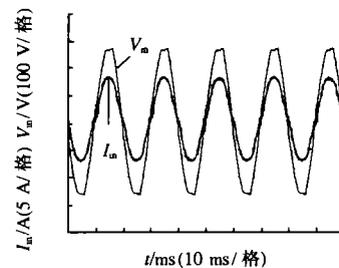


图 5 输入电压 V_{in} 与输入电流 I_{in} 的实验波形

前 50 次谐波进行分析可得,在输入电压的总谐波畸变率(THD)为 4.421% 时,输入电流总谐波畸变率仅为 5.341%,功率因数可以达到 0.996,因此可以认为该高功率因数整流器实现了单位功率因数校正和低电流畸变。

4 结语

本文采用基于单周期控制技术的 IR1150 芯片,设计了一种无桥 Boost 高功率因数整流器,和传统功率因数校正电路相比,该高功率因数整流器结构简单,并且不需要使用复杂的电路和电压检测电路,同时 EMI 问题可以通过修正过的无桥式电路来克服,实验结果也表明,采用单周期控制技术的高功率因数整流器的效率得到了提升,功率因数近似为 1,实现了单位功率因数校正。

参考文献

- 1 张厚升. 基于单周期控制的高功率因数整流器的研究 [硕士学位论文]. 西安:西北工业大学, 2005:2-8, 50-47
- 2 Martinez R, Enjeti F N. A High-performance Single-phase Rectifier with Power Factor Correction [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1996, 11 (2):311-317
- 3 Smedley K M, Cuk S. One-cycle Control of Switching Converters[C]. PESC,1991: 888-896
- 4 Zheren Lai, Smedley K M. Time Quantity One-cycle Control for Power Factor Correction[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1997,12(2):369-375
- 5 International Rectifier. IR1150 Datasheet No. PD60230 [Z]. 2005
- 6 Keyue Smedley, Chongming Qiao. Develop a Single Phase Power Factor Correction Control Chip[R]. Final Report 1997-1998 for MICRO, Project 97-161, Industrial Sponsor: Lintfinity Inc., 1998
- 7 胡明星, 谢运祥. 单周期控制无桥 Boost PFC 电路分析与仿真[J]. 通信电源技术, 2005, 22(3): 14-17

收稿日期:2006-07-14

修改稿日期:2007-03-13

《电气传动》欢迎订阅,投稿,刊登广告