

Modeling and Application of PFC Chip L4981A

Honglei Wang, Dunxin Bian, Hui Shan, Bing Wang

Shandong University of Technology, Zibo
Email: 18369948455@163.com

Received: Sep. 15th, 2014; revised: Oct. 22nd, 2014; accepted: Nov. 2nd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In order to improve the efficiency of power supply design using PSIM simulation software in power supply design process, combining with the working principle and characteristics of L4981A, a L4981A simulation model is established which is the lack of PSIM Library. An APFC circuit in ST AN827 application note is used to simulate and verify the model of L4981A. Compared with its application note, it is found that the static characteristics of modeling match well with the application note. Results show that the model can describe the operating characteristic of actual circuit. The model has a very good reference value in analysis and design of power equipment. The idea provides an effective analysis and implementation method for other control chips.

Keywords

L4981A, Power Factor Correction, Simulation Modeling

功率因数校正芯片L4981A的仿真建模及应用

王红蕾, 边敦新, 单辉, 王冰

山东理工大学, 淄博
Email: 18369948455@163.com

收稿日期: 2014年9月15日; 修回日期: 2014年10月22日; 录用日期: 2014年11月2日

摘要

为了在电源开发设计过程中利用PSIM仿真软件提高电源设计效率,本文基于L4981A的工作原理与特性,建立了PSIM库中欠缺的L4981A的仿真模型。利用该模型对意法半导体的AN827应用手册的APFC电路进行仿真,并参照手册参数与模型的静态特性进行对比,仿真结果与手册参数一致。结论表明该模型可以用于模拟实际电路的运行,对电源的分析与设计具有很好的参考价值,也为其他控制芯片的仿真建模提供了有效的分析手段与实现方法。

关键词

L4981A, 功率因数校正, 仿真建模

1. 引言

随着电源技术的不断发展,由高频开关电源带来的谐波污染问题越来越严重,解决这一问题的办法就是对用电设备采用功率因数校正技术。L4981A是一款保护功能完善的高功率因数控制器。仿真软件在电力电子的分析与设计可以缩短开发周期、节省设计成本,还可以加深设计者对系统工作状态的理解。PSIM是一款专为电力电子和电机控制设计的仿真软件,为控制环路分析与电机驱动系统设计提供了强大的仿真开发环境;与SABER、PSPICE等仿真软件相比,其仿真过程更迅速,界面更友好[1]。

因电力电子仿真软件缺少对L4981A的仿真支持,本文利用PSIM软件的建模功能,以L4981A为仿真对象,建立L4981A的仿真模型,基本实现了L4981A的所有功能,并且将该模型应用到意法半导体的应用手册AN827中,仿真获取系统的静态特性曲线,最终仿真结果与手册参数一致,验证了该建模的可靠性与可行性。为以后利用PSIM软件对电源的分析与设计提供便利。

2. 工作原理

L4981A是意法半导体公司生产的功率因数校正PWM集成芯片,由内部基准稳压器、误差放大器、峰值电压比较器、乘法器、振荡器、驱动和控制逻辑电路等组成,同时它还具有过欠压和软启动保护功能[2]。其内部框图如图1所示。

前置变换器输出电压反馈信号VFEEED接入电压误差放大器,与5.1V基准电压 V_{ref} 误差放大后输入到乘法器。乘法器输出电流 I_{mo} 输入到电流放大器的同相输入端,与线电流反馈信号 I_{sense} 误差放大后生成PWM比较器的基准信号。该基准信号与振荡器输出信号比较,输出变化的占空比,进而实现对输出电压的控制,实现电路功能[3]。

3. 仿真建模

通过对L4981A工作原理的分析与梳理,把其内部结构模块化,然后对模块进行建模、整合。

乘法器模块是系统的核心模块,对控制输入电流 I_{in} 与输入电压 V_{in} 同相位且为正弦波起关键作用;脉冲发生模块用于设置系统工作频率;保护模块用于保证芯片的正常工作。把上述三个模块整合起来即可得到PSIM/SIMCAD环境下L4981A的仿真系统建模框图。

3.1. 乘法器模块

乘法器主要由四个变量控制:输出电压反馈信号VFEEED、线电压有效值 V_{rms} 、交流电流输入 I_{ac} 和

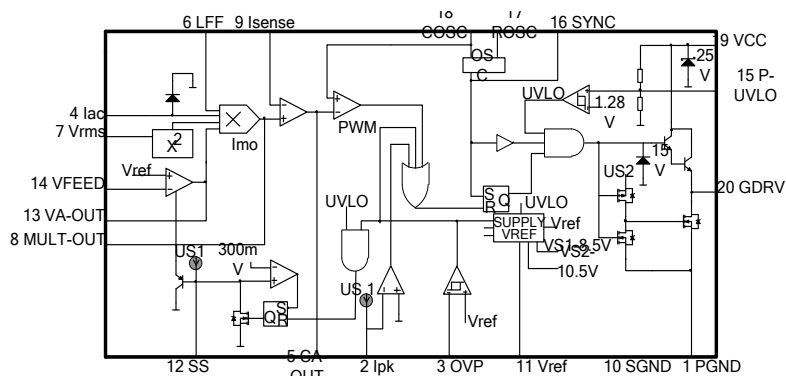


Figure 1. Internal block diagram of L4981A

图 1. L4981A 内部框图

变量 V_{LFF} 。乘法器的输出有控制 V_{out} 的成分， V_{FEED} 接入电压误差放大器后，与芯片内部 5.1 V 基准电压 V_{ref} 误差比较放大后输入到乘法器，改变乘法器的输出电流 I_{mo} ，进而控制功率开关管的导通时间以实现稳压[4]。

获得上述这些控制变量之后，利用 PSIM 库中的传递函数、传感器、误差放大器模块搭建乘法器模块，实现模块整合。由芯片手册可知，各控制变量的数量关系如下：

$$I_{mo} = \frac{0.37I_{ac}(V_{va-out} - 1.28\text{ V})(0.8V_{LFF} - 1.28\text{ V})}{V_{rms}^2} \quad (1)$$

当引脚 LFF 与 V_{ref} 引脚相连时：

$$I_{mo} = \frac{I_{ac}(V_{va-out} - 1.28\text{ V})}{V_{rms}^2} \quad (2)$$

式中： I_{mo} 为乘法器的输出电流； I_{ac} 为交流电流输入； V_{va-out} 为电压误差放大器的输出电压； V_{LFF} 为负载前馈信号； V_{rms} 为线电压有效值。

图 2 中的传感器模块把电力电路的电压电流传到控制电路，以实现各控制变量之间的运算。在运算过程中电力回路波形的各采样点参数均遵循运算规则。

3.2. 脉冲发生模块

3.2.1. 振荡器模块

L4981A 的振荡器模块是通过外接充电电容 C_{osc} 和时间电阻 R_{osc} 来实现的。设计时用内部 5.1 V 的参考电压 V_{ref} 配合两个比较器设定 C_{osc} 充放电电压的上下阈值，再配合 SR 锁存器控制 C_{osc} 充放电回路的通断来实现三角波的发生。其中，三角波的上下峰值电压分别为 1.5 V，6.5 V，当电容电压充电到 6.5 V 时，锁存器锁存一个信号，电容放电；当电容电压降至 1.5 V 时，电容充电，就这样电容周而复始的进行充放电。其中，时间电阻 R_{osc} 决定充电电容 C_{osc} 充放电电流的大小， R_{osc} 引脚的参考电压为 1.28 V[4]。

由 R_{osc} 决定的充放电电流分别为 I_c 、 I_d ：

通过调整 C_{osc} 和 R_{osc} 就能调整振荡器的振荡频率，振荡频率如下：

$$I_c \approx 10 \times \frac{1.28}{R_{osc}} \quad (3)$$

$$I_d \approx 200 \times \frac{1.28}{R_{osc}} \quad (4)$$

通过调整 C_{osc} 和 R_{osc} 就能调整振荡器的振荡频率，振荡频率如下：

$$f_{sw} = \frac{1}{T} = \frac{1}{V_{srp} C_{osc} \left(\frac{1}{I_c} + \frac{1}{I_d} \right)} = \frac{2.44}{C_{osc} R_{osc}} \quad (5)$$

式中： f_{sw} 为 PWM 开关频率； V_{srp} 为振荡器斜坡信号峰 - 峰值，典型值为 5 V。模型实现如图 3 所示。

3.2.2. 脉冲发生模块

脉冲发生模块以电流误差放大器输出为载波，以三角波为调制波，两者交点确定开关管的开通时间，产生一系列等幅不等宽的脉冲波形，从而控制开关管的导通关断时间，维持输出电压的基本稳定。

4. PSIM 仿真模型的应用

为了验证芯片建模的有效性，把模型应用到意法半导体公司 AN827 手册的原理图中进行验证[5]。模型中的参数均按照 AN827 的要求设置，如无特殊说明，默认输入电压为 220V_{ac}。

手册设计要求如下：交流输入电压 V_{in} 的范围是 88~264 V_{ac}，直流输出电压 $V_{out} = 400$ V，满载输出脉动电压 $\Delta V_{ripple} = \pm 8$ V，额定输出功率 $P_{out} = 500$ W，最大输出电压 $V_{omax} = 450$ V，开关频率 $f_{sw} = 80$ kHz，最大电感电流脉动 $\Delta I_L = 23\%$ ，输入功率因数 $PF > 0.99$ ，输入线电流总谐波 $< 5\%$ 。

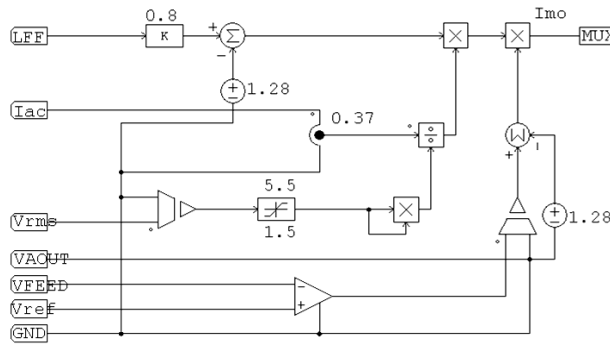


Figure 2. Multiplier module
图 2. 乘法器模块

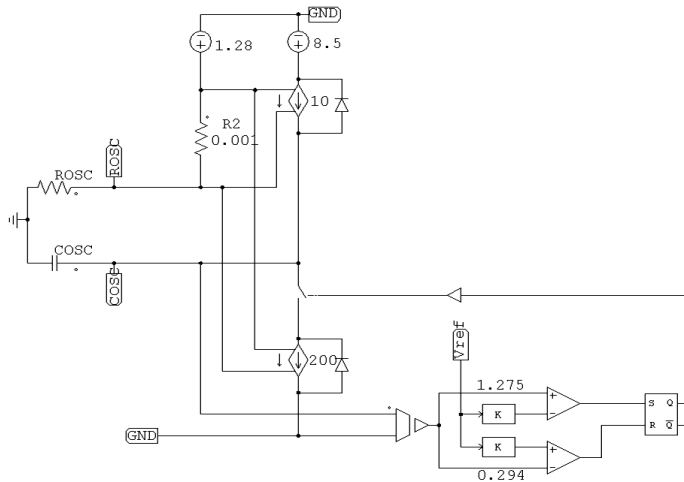


Figure 3. Oscillator module
图 3. 振荡器模块

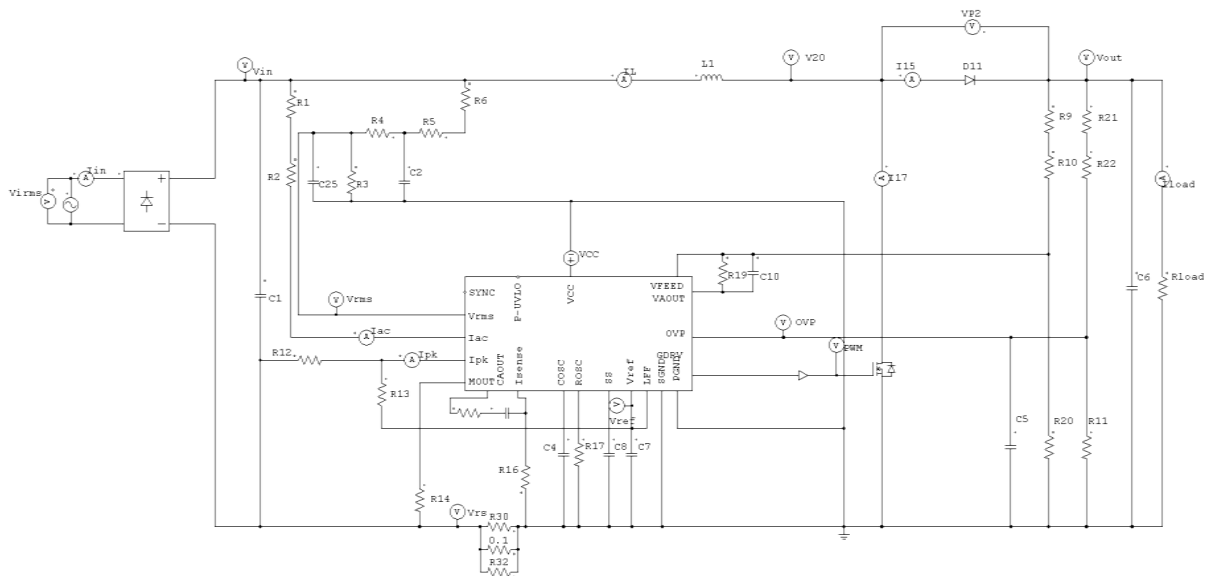


Figure 4. Schematic simulation of APFC

图 4. APFC 仿真原理图

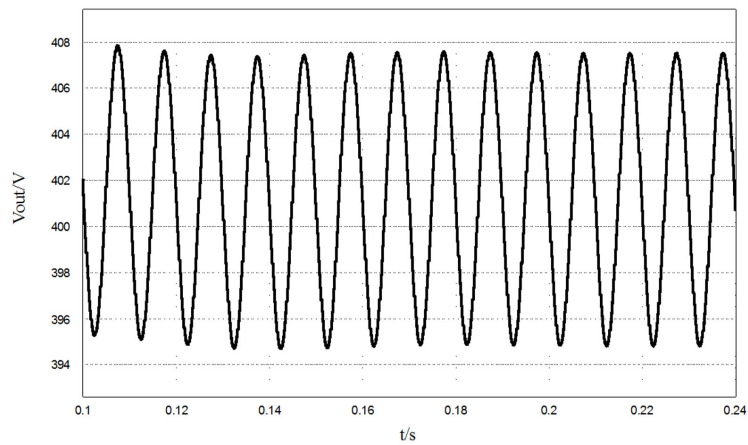


Figure 5. The output voltage waveform

图 5. 输出电压 V_{out} 波形

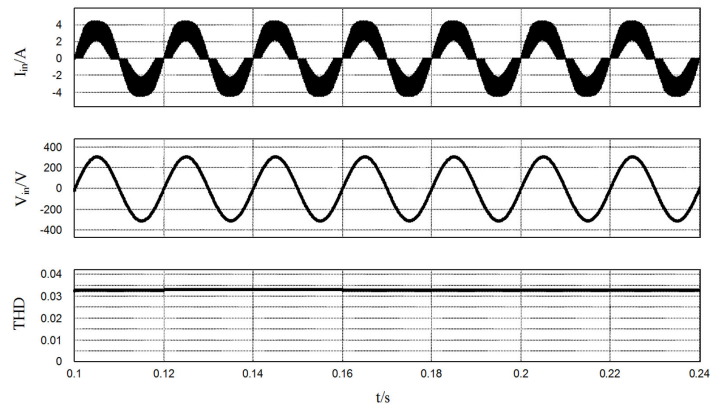


Figure 6. The waveform of input current I_{in} , input voltage V_{in} and THD after correction

图 6. 校正后的输入电流 I_{in} 、输入电压 V_{in} 、THD 波形

PSIM 仿真采用已设定的时间步长, 为了保证精确的仿真结果, 仿真时间步长在这里设置为 $1e-007$ 。PSIM 环境下的 BOOST 型 APFC 电路的仿真模型如图 4 所示, 仿真结果如图 5、图 6 所示。

由图 5 可以看出, 满载时的 V_{out} 为 400 V, ΔV_{ripple} 保持在 ± 8 V 之内。图 6 表明交流侧电压、电流始终保持同相, 且电流能实现正弦化。实验测得总谐波畸变 THD 保持在 3.3% 左右, 最终 PF 能达到 0.99 以上, 校正效果良好。

5. 结论

本文基于 PSIM 的建模工具建立了 L4981A 的仿真模型, 配合应用手册 AN827 的 BOOST 型 APFC 电路进行了电路的仿真验证, 并与模型的静态特性进行对比。仿真实验表明: 该模型具有较强的功率因数校正功能, 输出能够平稳运行, 仿真结果与应用手册的参数吻合; 该模型可以用于分析实际电路的工作特性, 对电源系统的设计和调试具有一定的参考价值。

致 谢

实验室的刘萌和王建同学在建模与调试过程中提出了建议, 使仿真模型更加完善, 系统更加稳定, 在此向他们所做的工作表示感谢!

参考文献 (References)

- [1] 华建军, 沈艳霞, 纪志成 (2007) 基于 PSIM 断续导通模式的 DC-DC 变换器的建模与仿真研究. *电机与控制学报*, **5**, 522-528.
- [2] 钱伟康, 郑刚, 谢明 (2011) 基于 L4981A 的直流升压变换器的设计与实现. *测控技术*, **2**, 60-63, 68.
- [3] 夏泽中, 施三保 (2006) 一种高功率因数整流器的设计与实现. *电气自动化*, **4**, 15-17.
- [4] ST (1997) Designing a high power factor switching preregulator with L4981A continuous mode. http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/CD00003936.pdf
- [5] ST (2003) Application note: A 500W high power factor with the L4981A continuous mode. http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/CD00043733.pdf

附录

1、主电路器件参数:

输入滤波电容 $C1 = 0.68 \mu\text{F}$;

升压电感 $L1 = 0.5 \text{ mH}$;

输出电容 $C6 = 330 \mu\text{F}$;

采样电阻 $R = 0.333 \Omega$;

2、其他电路器件参数:

(1) MOSFET 处的 RCD 关断缓冲器参数: $C11 = 892 \text{ pF}$; $R23 = R24 = 510 \Omega$

(2) I_{pk} 过电流保护的器件参数: $R12 = 562 \Omega$; $R13 = 5.1 \text{ k}$

(3) I_{ac} 交流电流输入端器件参数: $R1 = R2 = 806 \text{ k}$

(4) OVP 过电压保护, 输出分压电路的器件参数: $R11 = 21 \text{ k}$; $R21 = R22 = 909 \text{ k}$

(5) CA-OUT 电流放大器输出的器件参数: $R14 = R16 = 2.7 \text{ k}$; $R15 = 36 \text{ k}$; $C9 = 680 \text{ pF}$

(6) V_{rms} 线电压有效值检测信号输入端的器件参数: $R3 = 33 \text{ k}\Omega$; $R4 = 360 \text{ k}\Omega$; $R5 = R6 = 620 \text{ k}\Omega$;

$C25 = C2 = 220 \text{ nF}$

(7) I_{sense} 电流放大器反相输入端的器件参数: $R14 = R16 = 2.7 \text{ k}$

(8) V_{ref} 外部滤波电容: $C7 = 1 \mu\text{F}$

(9) SS 软启动的器件参数: $C8 = 1 \mu\text{F}$

(10) VAOUT 误差放大器输出端的器件参数: $C10 = 220 \text{ nF}$; $R19 = 120 \text{ k}$

(11) VFEEED 电压误差放大器反向输入端的器件参数: $R9 = R10 = 412 \text{ k}$

(12) 震荡电路参数: $C4 = 1 \text{ nF}$; $R17 = 30.1 \text{ k}$

3、L4981A 内部仿真结构图

