

基于 OrCAD10/Pspice 的功率 因数校正电路的仿真研究

王章权

(浙江树人大学, 浙江 杭州 310015)

摘要:本文以 MC33262 为核心的升压型功率因数校正电路为例,系统地阐述了有源功率因数校正(Active Power Factor Correction,简称 APFC)的原理。并根据其工作原理,利用模拟行为模型 ABM(analogy behavioral modeling)建立器件的仿真模型,用 OrCAD10.0 软件完成了对 APFC 电路的仿真分析。在此基础上,还进行了相应的实验电路验证。软件仿真结果与实验结果取得了较好的一致,充分说明了所建器件模型的有效性,体现了 OrCAD10.0 软件仿真在电力电子装置的分析、设计与研究中的作用。

关键词:有源功率因数校正;MC33262;OrCAD/Pspice;模型;仿真

中图分类号:TM714.1;TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1008-0686(2006)04-0068-05

A Simulation Research of Power Factor Correction Circuit Based on OrCAD10/Pspice

WANG Zhang-quan

(Zhejiang Suren University, Hangzhou 310015, China)

Abstract: This paper expatiates systematically the principles of Active Power Factor Correction (APFC) taking example for the Boost Circuit based MC33262. According to the principles of APFC, it constructs simulation model of MC33262 using analogy behavioral modeling (ABM) and realizes the simulation analysis using OrCAD10/Pspice software. The simulation results are verified by the experiment, and it illuminates fully the values of OrCAD10/Pspice on the analysis, design and research of the power electronic devices.

Keywords: APFC; MC33262; OrCAD/Pspice; model; simulation

0 引言

近年来,开关电源因效率高,成本低,而在各个领域获得了广泛的应用。但是采用传统的非控整流开关电源,由于输入阻抗呈容性,电网侧输入电压和输入电流间存在较大相位差,故功率因数极低,加上输入电流严重非正弦,并呈脉冲状,谐波分量很高,给电力系统带来了严重的谐波污染。如何提高线路的功率因数(Power Factor)以提高电源利用率是电能管理中的一个重要课题。随着高功率因数整流电

路的研究,许多具有功率因数校正(Power Factor Correction,简称 PFC)的集成芯片,如 UC3854, MC33262 等广泛应用于电源电路中,大大地提高了功率因数。本文以 MC33262 芯片在升压型(Boost)PFC 电路中的应用为例,着重介绍其校正机理,并建立了相应的 Pspice 仿真模型,用 OrCAD/Pspice 软件对该电路进行了仿真研究。在此基础上还对实际的电路进行了实验测试,验证了仿真与实验结果的一致性。

1 MC33262 的功率因数校正原理

功率因数补偿控制专用芯片 MC33262 采用了峰值电流控制工作方式,其内部框图及引脚特性如图 1 所示。基本思想是采用一个正弦基准电流作为上限,该上限信号系由输出检测信号经误差放大后与输入全波电压的检测信号相乘而得到,下限则为零。对检测到的开关电流与正弦基准电流进行比较,当前者达到该基准电流时关断开关,在电感电流为零时再次开通。这种控制使得电感电流为临界电流工作状态。图 2 为由 MC33262 构成的一个 Boost 型 PFC 电路的原理框图,下面就此电路来说明功率因数的校正过程。

当 AC 交流电源输入后,经桥式整流而成为双半波正弦电压波形,经 R_5 、 R_6 分压后与送乘法器;乘法器的另一种输入为 V_o 。经 R_3 、 R_4 分压后经误差放大器(Error Amplifier)放大后产生的 V_e 信号。这两个信号经乘法器相乘后的输出信号 V_m 送到电流比较器(Current Comp)的同相端,由它再通过后面的电路去控制 MOS 管的栅极,进而去控制输出电压 V_o ,这是一种电压负反馈控制,可以保证当负

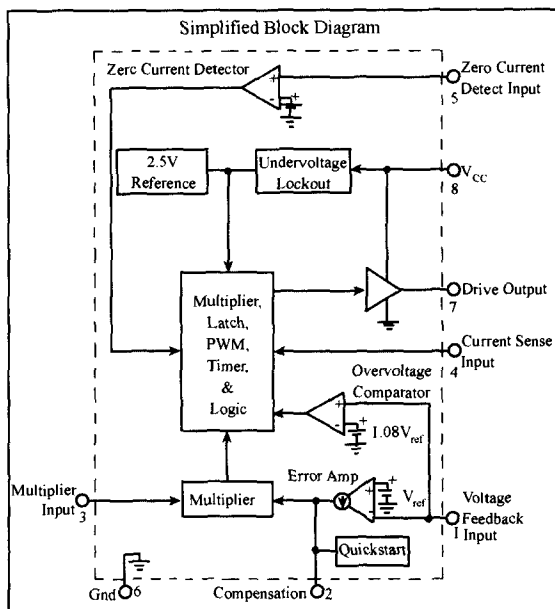


图 1 MC33262 内部结构图

载变化时输出电压能够稳定。应注意的是,误差放大器作闭环补偿时其增益频宽应小于输入 AC 交流电源频率的 1/6,以提高其抗干扰能力,所以 C_1 和 C_2 容量通常取得较大。

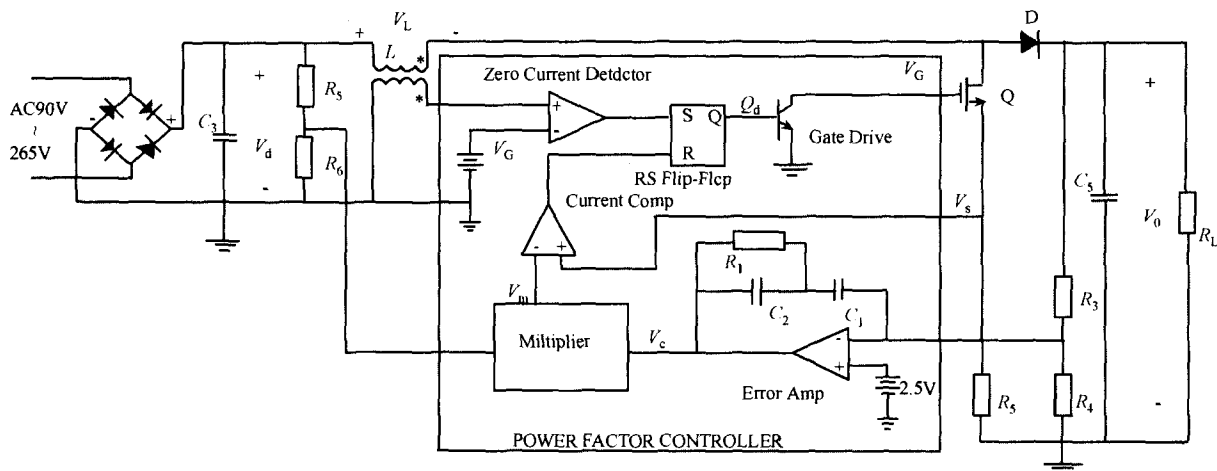


图 2 Boost 型 PFC 电路的原理框图

显然, V_m 信号仍为双半波正弦波形,该信号与加到电流比较器反相端的 MOS 管 S 极的取样信号 V_s 作比较来控制 MOS 管的通与断。各主要点信号波形如图 3。

刚开始, MOS 管 Q 通, 流过 L 中的电流 i_L 上升, 如图 3 中 i_L 的 a、b 段, 同时, V_s 也随之上升。当其值达到 $V_s = V_m$ 时, 电流比较器的输出使 RS 触发器的输出 $Q_d = "1"$, 从而使得 MOS 管 Q 的栅极电

压 $V_G = "0"$, 使其关断。结果电感 L 上的电压 V_L 反向, 并经二极管 D 向电容 C_3 和负载放电, i_L 减小, 对应于图 3 的 bc 段。直到 i_L 减小到 0, 致使零电流检测器(zero current detector)的输出将 RS 触发器的输出置 "0", 即 $Q_d = "0"$, 从而使得 $V_G = "1"$, 使 MOS 管再次导通, 如此往复。所以电感 L 流过的电流波形为许多大小不同的三角波组成, 为消除其高次谐波, 在桥式整流后, 加一个滤波电容 C_3 , 以

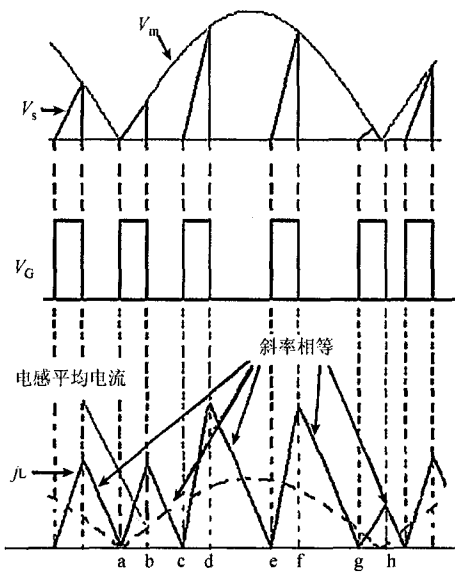


图 3 图 2 中主要有关点的信号波形

改善电流波形 i_L 。其平均电流(如图 3 中虚线部分)的峰值约为 i_L 峰值电流的一半。从图中可知,该电流与 V_m 同频、同相,达到了功率因数校正的目的。

2 电路的建模与仿真

为验证 MC33262 的 PFC 机理及校正结果,利用模拟行为模型 ABM(analogy behavioral modeling)建立 MC33262 的仿真模型。图 4、图 5 是根据上述 PFC 校正机理构建的 MC33262 内部 Pspice 仿真电路图。该仿真模型电路没有给出 MC33262 内部的保护电路。图 4、图 5 中 PIN1~PIN8 与实际器件的各引脚相对应,图中的 LIM33262 为限幅放大器,由 PARAMETERS 给出的 K、PLIM 和 NLIM 与其放大倍数、上限幅度和下限幅度相对应;RS33262 为 RS 触发器,其真值表见表 1;hysteresisSW 为迟滞开关,其阈值由 PARAMETERS 所给出的 VT、VH 决定,上阈值为 $VT + VH$,下阈值为 $VT - VH$,根据 MC33262, $VT = 1.5V$, $VH = 0.1V$,迟滞电压为 $0.2V$,当输入 $V(P) - V(N) > VT + VH$ 时,开关闭合,当输入 $V(P) - V(N) < VT - VH$,开关打开。

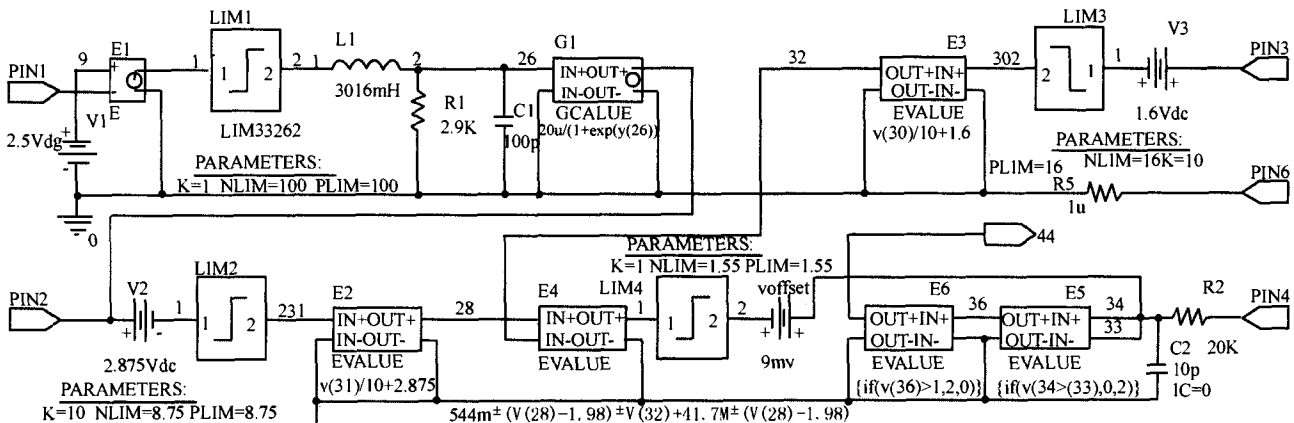


图 4 MC33262 内部仿真电路图

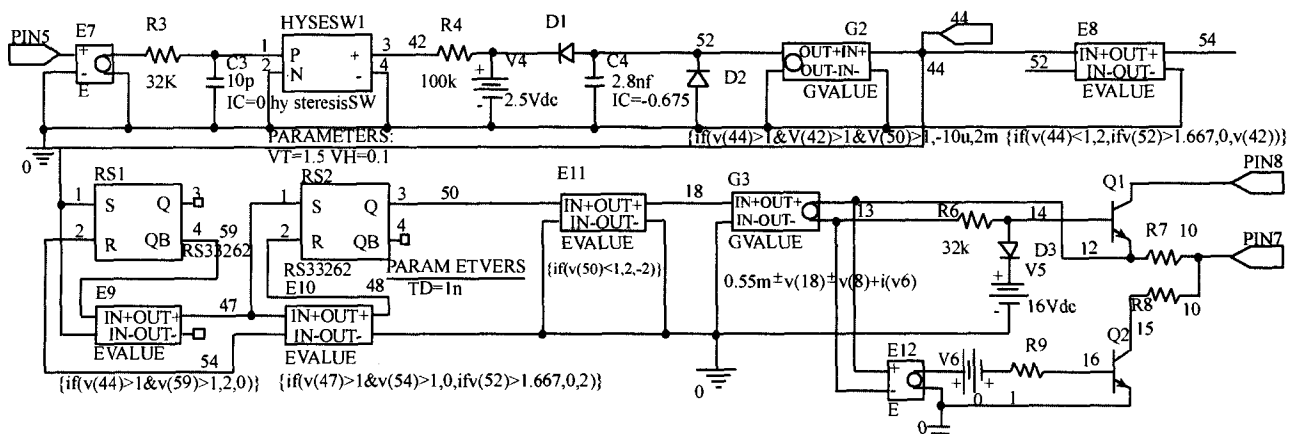


图 5 MC33262 内部仿真电路图(续图 4)

表 1 RS 触发器的真值表

S	R	Q	QB
1	0	L	H
0	1	H	L
1	1	保持	
0	0	H	H

其工作过程简述如下:PIN1 输入的电压反馈信号送 E1 和 LIM1 构成的误差放大器放大后,经 PIN2 信号补偿送乘法器 E4,经相乘和 LIM4 幅放大送 E5、E6 构成的电流比较器,与 PIN4 输入的电流检测信号相比较,得到 V(44),该值在电路初始时应为“H”;同时迟滞开关因输入较小输出应开路,故 V(42)为“H”,从而使 V(52)也为“H”,经两 RS 触发器构成的锁存器后使 V(50)为“L”,E11 输出=2,则受控电流源 G3 产生正向激励电流驱动 Q1 导通,PIN7 输出为“H”;随着电流的增大,到 PIN4 上

升到 $V(34)>V(33)$,V(44)从“H”→“L”,结果使 V(50)为“H”,从而使 G3 输出电流反向,Q1 失去激励电流截止,PIN7 输出为“L”。此时, $V(13)>V(12)$ 使 Q2 导通,提供 MOS 管栅极泄放回路。当 PIN5 零电流检测端检测到电流过零时,再次使 V(42)为“H”,从而进入下一开关周期。

以 MC33262 为核心的 Boost PFC 的仿真电路如图 6 所示,并用 OrCAD10.0 对其进行了瞬态分析,下面对分析结果做一说明。

分别检测图 6 中 mul、cs 二点的电压波形,其结果如图 7 所示,V(mul)和 V(cs)分别对应图 3 中的 V_m 和 V_s 。显然,仿真结果与我们前面原理分析的结果较好的一致,体现了 MC33262 模型的有效。

同时,检测输入电源 input(50Hz)电压及其电流波形,考虑到该电流中混有 25kHz 的谐波,为得其平均电流,用电流互感器 H1 取出电流信号,并经

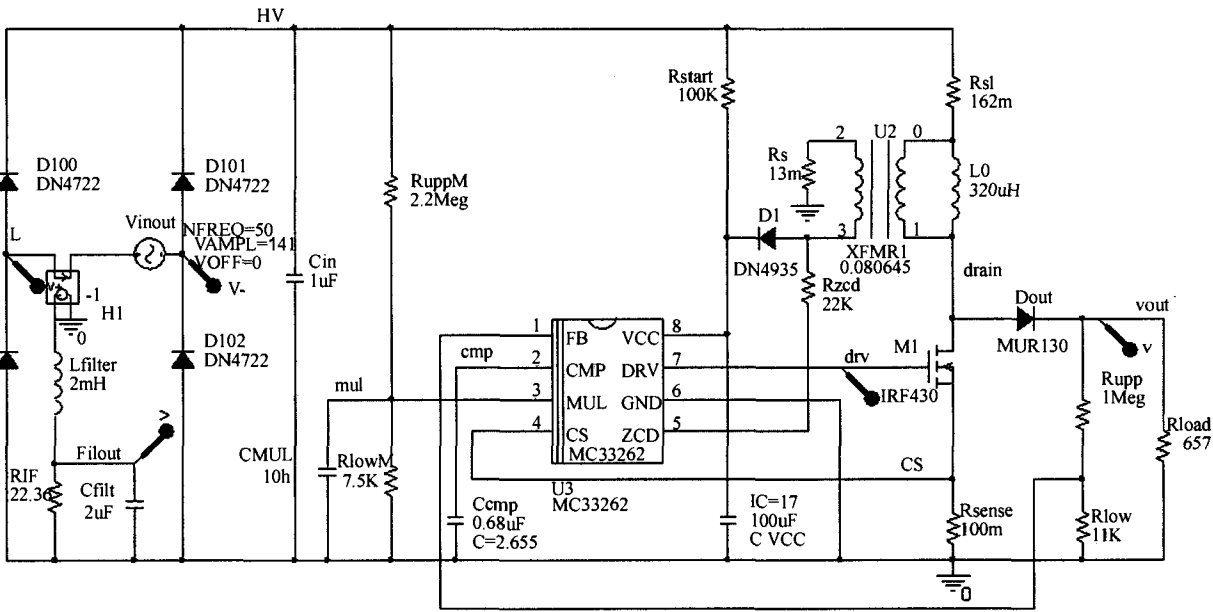


图 6 MC33262 仿真电路图

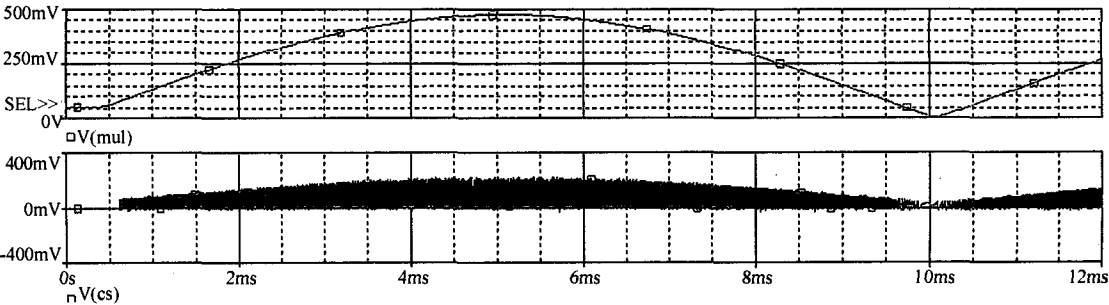


图 7 V(mul)、V(cs)二点电压波形

L_{filter} (2mh)、 C_{filt} ($2\mu\text{F}$) 滤去 25kHz 谐波分量, 则 filtout 点波形即为流过 input 上的平均电流波形。仿真后得到这两信号波形如图 8 所示, 其中前一个波形为图 6 中输入电压 V_{input} 的波形, 后一个波形为输入电流波形。从波形我们可以清楚地看到电源输

入电压与输入电流近似同相位。实测功率因数 $\text{PF} \approx 0.9913$ 。显然, 由于 MC33262 的存在, 使该电路的功率因数接近于 1, 起到了较好的 PF 校正作用; 同时也说明了 OrCAD 软件仿真对电路的工作过程、性能理解、设计研究所具有的指导意义。

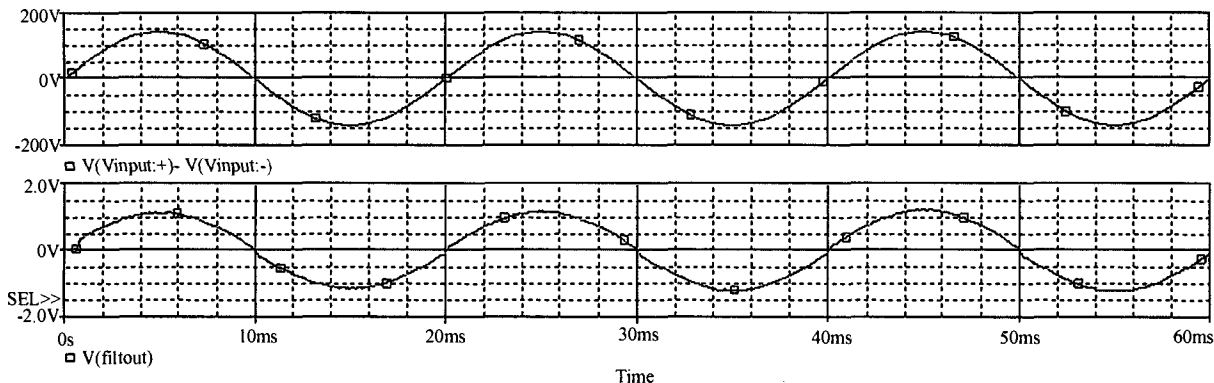


图 8 电源输入电压与输入电流波形

3 实验验证

为进一步验证软件仿真的作用及模型的有效性, 按照图 6 原理图, 构建实际电路进行实验验证。主要电路参数为: $P_O = 180\text{W}$, $V_{\text{IN}} = 220\text{VAC}$, $V_O = 400\text{VDC}$, MOS 管的型号为 IRF430, 电感 $L_P = 1089\mu\text{H}$ (用环形铁氧体 $\phi 48 \times 24 \times 24\text{mm}$ 、漆包线 $\phi 0.9\text{mm} \times 75\text{T}$)。图 9 给出了满载无 PFC 时的输入电压、电流波形, 实测此时 $\text{PF} = 0.59$, $\text{THD}_i = 121.7\%$; 图 10 给出了满载带 PFC 时的输入电流、电压波形, 实测此时 $\text{PF} = 0.97$, $\text{THD}_i = 0.976$ 。实验结果充分说明了 MC33262 在功率因数校正中的作用, 同时也进一步验证了仿真结果与实际结果较好的一致性。

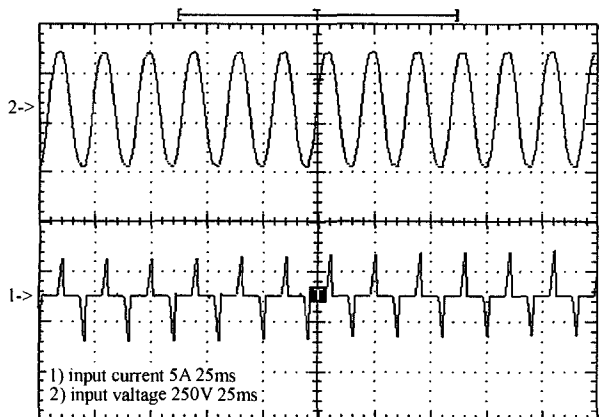


图 9 无 PFC 的输入电压、电流波形

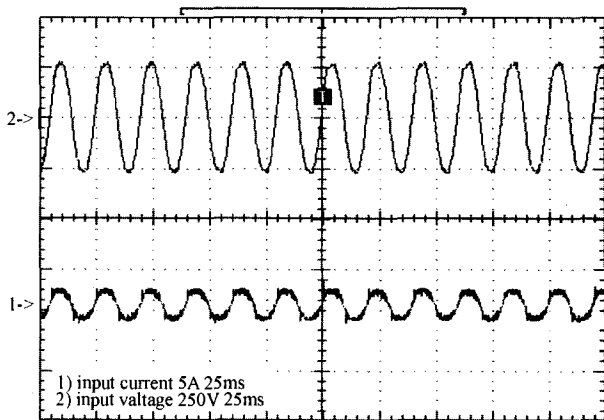


图 10 带 PFC 的输入电压、电流波形

参考文献:

- [1] 陈建业. 电力电子电路的计算机仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003
- [2] 林渭勋. 现代电力电子电路[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2002
- [3] 张占松. 开关电源原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [4] 张艳红, 阮立飞, 叶生. 175W 单位功率因数 AC/DC 变换器设计[J]. 陕西: 电力电子技术, 2001, 35(2): 16-17
- [5] 贾新章. OrCAD/Capture CIS 9 实用教程[J]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999