

采用直流母线电流估计三相逆变器输出电流的硬件方法

朱 涛

(北京机械工业学院计算机及自动化系 100085)

摘 要 通过对采用直流母线电流估计三相逆变器输出电流方法的分析,提出了一种实用的硬件检测电路,实验结果验证了该电路的正确性。最后指出采用直流母线电流检测相比其他检测方式的优缺点。

关键词 直流母线电流 输出电流 检测

1 引言

在三相电动机的变频调速中,为了得到更好的控制性能,需要知道电动机的三相输入电流。由于三相电流之和为零,一般检测两相电流即可。故需要在输出侧增加至少两个霍尔传感器。在小功率变频器的设计过程中,为了节约成本,一般采用线性光耦来实现,两个线性光耦又需要使用驱动隔离电源,这不仅增加了复杂性,而且降低了可靠性。如果在负母线侧加装一个霍尔传感器或者光耦,不仅节约成本,而且与负母线共地,大大提高了产品的抗干扰能力。本文重点分析了通过直流母线侧加装一个霍尔传感器或者光耦作为电流传感器进行输出三相电流检测的原理,并给出了具体的实现电路。

2 基本原理

2.1 逆变器的八种开关状态

一台电压型逆变器由3组、6个开关 $Q_1 \sim Q_6$ 组成,如图1所示。

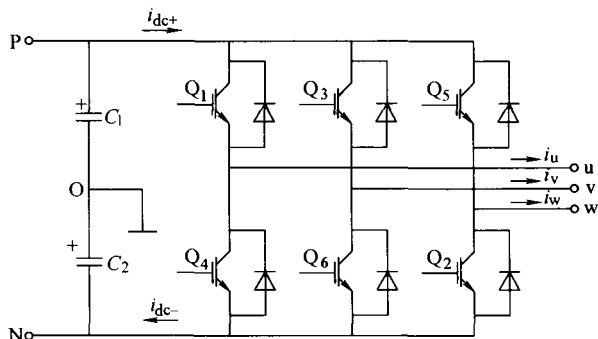


图1 三相逆变器主电路图

根据6个开关的顺序动作可以分为八种开关组

合状态,还可以分成两类:一类是六种工作状态,另一类是零开关状态。若规定“1”表示上桥臂ON,下桥臂OFF,或者上下桥臂关断时上二极管的续流状态;“0”表示上桥臂OFF,下桥臂ON,或者上下桥臂关断时下二极管的续流状态。则逆变器的实际工作的开关顺序如表1所示。

表1 逆变器的开关状态

| 开关 | 工作状态 | | | | | | 零状态 | |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | V ₃ | V ₁ | V ₅ | V ₄ | V ₆ | V ₂ | V ₀ | V ₇ |
| Q ₁ 、Q ₄ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Q ₃ 、Q ₆ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Q ₅ 、Q ₂ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

2.2 三相输出电流与输出电压矢量的关系

参考文献[1],可以总结出在各个输出PWM状态下, i_{dc} 与 i_u 、 i_v 和 i_w 之间的关系

$$\begin{aligned}
 & \hat{u} \quad \hat{v} \quad \hat{w} \\
 i_u = & \begin{cases} i_{dc} & 1 & 0 & 0 & V_4 \\ -i_{dc} & 0 & 1 & 1 & V_3 \end{cases} \\
 i_v = & \begin{cases} i_{dc} & 0 & 1 & 0 & V_2 \\ -i_{dc} & 1 & 0 & 1 & V_5 \end{cases} \\
 i_w = & \begin{cases} i_{dc} & 0 & 0 & 1 & V_1 \\ -i_{dc} & 1 & 1 & 0 & V_6 \end{cases} \\
 & \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & V_7 \\ 0 & 0 & 0 & V_0 \end{matrix} \\
 i_{dc} = & 0
 \end{aligned}$$

2.3 原理分析

由于在每 60° 扇区,知道其中的两相电流,可求出第三相电流,因此根据以上分析,可以得到三相输出电流与输出电压矢量的关系,如表2所示。需要说明的是,由于采用IGBT逆变器的开关频率很高,一般可以达到 $8 \sim 16\text{kHz}$,电动机的时间远

远大于零电压矢量 V_0 与 V_7 的作用时间, 因此零电压矢量期间, 输出电流可以认为与前一个电压矢量状态下的电流近似相等, 根据此分析, 可以得到全部电压状态下的输出电流表达式。

表2 三相输出电流与输出电压矢量的关系

| 输出电流 | 电流值 | 电压矢量状态 | 对应的电压矢量 |
|-------------|----------------------------|--------|---------|
| \hat{i}_u | i_{dc} | 100B | V_4 |
| | $-i_{dc}$ | 011B | V_3 |
| | $-(\hat{i}_v + \hat{i}_w)$ | 010B | V_2 |
| | | 110B | V_6 |
| | | 001B | V_1 |
| \hat{i}_v | i_{dc} | 010B | V_2 |
| | $-i_{dc}$ | 101B | V_5 |
| | $-(\hat{i}_u + \hat{i}_w)$ | 100B | V_4 |
| | | 110B | V_6 |
| | | 011B | V_3 |
| \hat{i}_w | i_{dc} | 001B | V_1 |
| | $-i_{dc}$ | 110B | V_6 |
| | $-(\hat{i}_u + \hat{i}_v)$ | 100B | V_4 |
| | | 101B | V_5 |
| | | 010B | V_2 |
| | | 011B | V_3 |

串联, 形成电源回路。由于 R_1 、 R_2 与 R_3 、 R_4 在数值上完全相等, 而且对于供电电压为 380V 的逆变器而言, 母线电压正常时为 DC540V, IC1、IC2、IC3 供电电压为 DC5V, IC1_GND、IC2_GND、IC3_GND 电位基本接近 1/2 母线电压中点即图 1 中的中点 O (电机相电压的参考中点), 通过稳压管 VS_1 、 VS_2 、 VS_3 得到三路检测电源, 通过 IC1、IC2、IC3 进行三路电压的同时检测。避免其他电路需要提供三路独立电源的缺点, 可以降低检测电路的成本和复杂性。

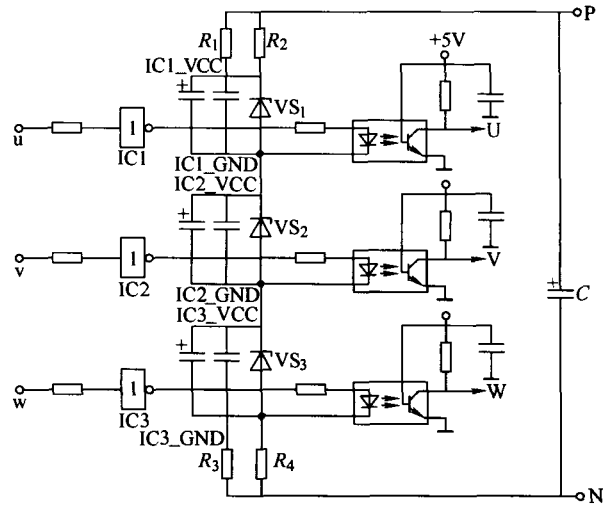


图2 PWM输出电压检测电路

3 电路设计

3.1 电压检测电路设计

从以上分析可以知道, 只要检测到输出电压的状态, 就能够从母线电流简单地估计出三相输出电流的大小。图 2 中, 给出了一种不需要检测电源的隔离检测方法, 具有电压过零比较中点误差小, 检测延迟小的特点。P、N 母线电压通过电阻 R_1 与 R_2 并联后, 与 5.1V 稳压管 VS_1 、 VS_2 、 VS_3 及 R_3 、 R_4 并联后

3.2 输出电流估计电路设计

根据以上分析, 采用 CD4051 多路选择器来设计 i_u 的检测电路, 如图 3 所示, 同理可以得到 i_v

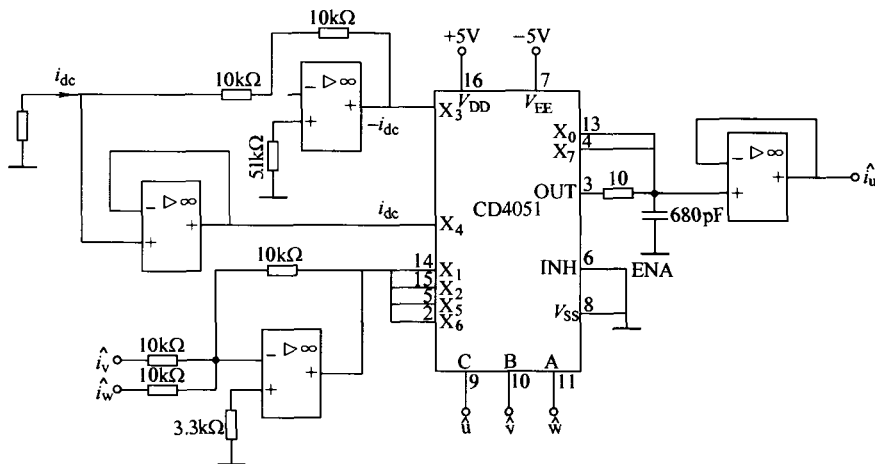


图3 利用直流母线电流检测输出电流 i_u 的电路

和 i_w 的检测电路, 在此由于篇幅不再重复。

需要指出的是, 采用该方法, 从理论上分析, 如果母线电流的检测和输出 PWM 电压的检测是准确的, 那么该电路检测出的逆变器三相输出电流的精度是完全有保证的。该方法的优势在于利用直接检测的输出电压来判别输出电流, 没有参考文献 [1] 中根据 PWM 电压的理想指令来推算输出电流在某些区域有误判的可能。如果将三相检测电压直接连接至微控制器 DSP、MCU 的高速引脚上, 在

PWM 发生中断程序中将根据以上逻辑实现输出电流的软件低成本检测。

4 实验结果及波形

通过实验, 得到 10Hz、20Hz 和 40Hz 时的三相逆变器输出电流和通过硬件电路进行估计的电流波形。从图 4 可以看出, 所估计的电流基本上可以反映出当时输出电流的大小。

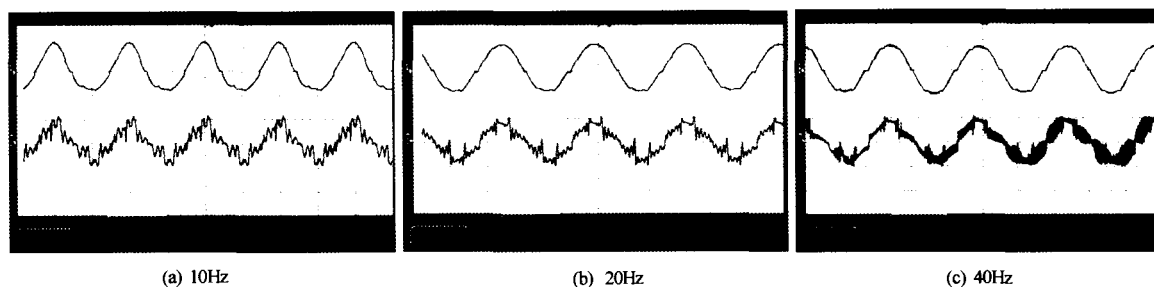


图 4 实际输出电流与估计电流对比

5 结束语

实验结果证明, 采用直流母线电流来估计三相输出电流的方法是可行的, 可以在实际产品中广泛应用。表 3 是对目前所有电流检测方案优劣的分析。从表 3 中可以看出, 采用检测正、负直流母线电流, 然后估计出三相输出电流的硬件实现方法,

在成本低廉的前提下, 可以较完美地解决输出电流的实时检测、直通保护、对地短路保护、缺相检测等问题, 具有较高的性能价格比。特别需要强调的是, 该方案仅有的直通保护功能, 对于提高采用 IGBT 作为主电路的变频器的可靠性, 具有重要的现实意义。

表 3 电流检测方案优劣的分析

| 方法 | 电路复杂性 | 电流检测精度 | 输出缺相检测 | 直通保护 | 对地保护 | 成本 |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|----|
| 输出三相霍尔 | 较复杂 | 高 | 可以 | 无 | 可以 | 最高 |
| 输出三相光耦 | 复杂 | 较高 | 可以 | 无 | 可以 | 较高 |
| 输出两相霍尔 | 一般 | 高 | 无 | 无 | 2/3 概率 | 高 |
| 输出两相光耦 | 较复杂 | 较高 | 无 | 无 | 2/3 概率 | 一般 |
| 负直流母线霍尔或者光耦 | 简单 | 一般 | 可以 | 1/2 概率 | 1/2 概率 | 低 |
| 正负直流母线霍尔或者光耦 | 一般 | 一般 | 可以 | 可以 | 可以 | 一般 |

参考文献

- [1] Three Phase Current Measurements Using a Single Line Resistor on the TMS320F240. Texas Instruments, Application Report 1998 ref BPRA077.
- [2] 张少军. 交流调速原理及应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [3] 张燕宾, 交流调速应用实践 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

- [4] 三菱电机株式会社. 变频调速器使用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [5] 杨振宽. 电工最新基础标准应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

The Hardware Method of Estimating Three Phase Inverter Output Current Through DC Bus Current

(下转第 138 页)

间隔。上面是交流输入端的电压 U_{in} 、电流 I_{in} 和功率 P_{in} 变化情况，下面是灯电压 U_{Lamp} 和灯电流 I_{Lamp} 随功率 P_{Lamp} 变化的情况。

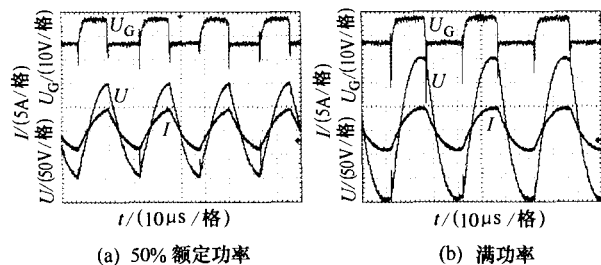


图5 灯电压 U 、灯电流 I 和下管栅极驱动电压 U_G 波形

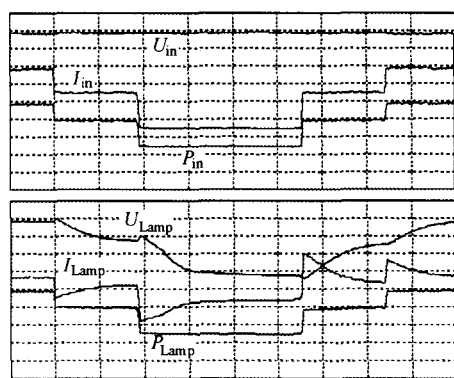


图6 自动调光曲线图

下表给出了一些相关的实验结果。

表 调光过程的实验数据

| | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 频率/kHz | 32.739 | 36.506 | 40.885 |
| 灯电压/V | 101.4 | 98.83 | 69.32 |
| 灯电流/A | 3.9723 | 3.2986 | 2.9408 |
| 功率/W | 403.3 | 326.1 | 204.1 |
| 功率因数 | 0.9958 | 0.9942 | 0.9871 |
| 效率 (%) | 95.45 | 95.07 | 94.99 |

7 结束语

本文研究了采用微处理器控制的可调光高压钠

(上接第117页)

Zhu Tao

(Beijing Institute of Machinery Industry)

Abstract The method of estimating three phase inverter output current through DC bus current is analyzed. A practical hardware measuring circuit is also presented. The experiment

灯电子镇流器，实现了点火控制、恒功率控制、调光控制以及故障诊断和保护，并对路灯用高压钠灯电子镇流器实现了自动定时调光，而且调光工作的效率较高。

参考文献

- [1] Van Tichelen P, Weyen D, Geens R, et al. A novel dimmable electronic ballast for street lighting with HPS lamps [C]. Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Society Conference, 2000: 3419 - 3422.
- [2] Zhang Weiqiang, Xu Dianguo, Chi Hwan Lee. Design and performance of digital ballast for HPS lamps [C]. IEEE APEC '03, 2003: 1205 - 1208.
- [3] Fabiana da Silveira Cavalcante, Ivo Barbi. A new dimmable 70W electronic ballast for high pressure sodium lamps. Conference Record of IAS Annual Meeting, 2002, 3: 1856 - 1862.
- [4] Chin S Moo, Hung L Cheng, Horn N Chen, et al. Designing dimmable electronic ballast with frequency control [C]. Applied Power Electronics Conference and Exposition, Fourteenth Annual, 1999, 2: 727 - 733.

A Dimmable Electronic Ballast for Street Lighting with HPS Lamps

Liu Hankui

(Harbin Institute of Technology)

Abstract A digital controlled electronic ballast for high pressure sodium lamps is presented. Its digital controller includes some functions for soft starting, lamp fault protection, power control for dimming, frequency modulation. The circuit offers the capability of dimming the lamp power from 100% to 50%. The experimental results are given by testing a digital electronic ballast for 400W HPS lamp.

Keywords electronic ballast dimming microprocessor

收稿日期: 2006-03-07

result demonstrates the circuit works well. The merits are discussed between DC bus current measuring and other measuring methods.

Keywords DC Bus current output current measuring

收稿日期: 2005-08-19