

基于 DSP 的感应电机变压变频控制系统研究

侯伟 王丽芳

中国科学院电工研究所

摘要：本文介绍了变压变频控制原理，以 TMS320LF2407A DSP 为核心设计了感应电机变压变频控制系统，给出了硬件结构及软件流程图。实验证明了该系统设计的正确性。

关键词：感应电机 变压变频控制 DSP

Control System of Induction Motor using VVVF Principle based on DSP

Hou Wei Wang Lifang

Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences

Abstract: This paper introduces VVVF(variable voltage variable frequency) control principle, designs the control system of induction motor using VVVF principle based on TMS320LF2407A, and shows its hardware frame and the flowchart of software. Experiment proves the design is right.

keywords: induction motor VVVF control DSP

1. 引言

随着电力电子器件和微处理器的不断发展，以功率逆变器驱动的可调速交流电机的使用越来越广泛。功率逆变器能很方便的实现对电机的工作频率、电压及电流大小的调节，同时，它能提高电机的工作效率，改善电机的工作性能以及减小工作时产生的噪音。变压变频控制（VVVF）是最常见的电机控制方式之一，它是指使施加到定子侧的电压及其频率比值保持一个恒定的值。这样定子所产生的磁场大小在整个工作区间内为一个常值。因此，电机可以保持在恒转矩的状态下工作。功率逆变器能很容易地控制电机的电压和电流变化，从而获得更快的动态响应。变压变频具有控制软硬件实现简单，性能价格比合理等优点，在实际中得到了广泛的应用。

本文采用美国 TI 公司的电机控制专用 DSP 芯片—TMS320LF2407A 与智能功率模块（IPM）实现了感应电机空间矢量 PWM 变压变频控制，该方案具有系统结构简单、稳定运行可靠、控制实时性强等优点。

2. 变压变频（VVVF）控制原理

感应电机定子每相感应电动势的有效值为

$$E_s = 4.44 f_s N_s k_{N_s} \phi_m \quad (1)$$

式中， E_s 为气隙磁通在定子每相中感应电动势有效值（V）； f_s 为定子频率（Hz）； N_s 为定子每相绕组串联匝数； k_{N_s} 为基波绕组系数； ϕ_m 为每极气隙磁通（Wb）。

感应电机端电压 U_s 与感应电动势 E_s 的关系式为

$$U_s = E_s + R_s I_s \quad (2)$$

其中 R_s 和 I_s 分别为定子电阻和定子电流。在电机控制过程中，使每极磁通 ϕ_m 保持额定值不变是关键的一环。在交流感应电机中，磁通 ϕ_m 是定子和转子磁动势合成产生的，因此由式（1）可知，只要协调控制 E_s 和 f_s ，就可以达到控制 ϕ_m 并使之恒定的目的。对此，需要考虑额定频率以下和额定频率以上两种情况。

1) 额定频率以下的调速 当频率 f_s 从额定值 f_{sm} 向下调节时，要保持 ϕ_m 不变，必须同时降低 E_s ，然而，绕组中的感应电动势是难以直接控制的，当定子频率 f_s 较高时，感应电动势的值也较大，可以忽略定子绕组的漏磁阻抗压降，认为定子相电压 $U_s \approx E_s$ ，则磁通可以用式（3）表示，并保持为恒定值。

$$\phi_m = K \frac{U_s}{f_s} = const \quad (3)$$

这就是变压变频（VVVF）控制方式。而低频时， U_s 和 E_s 都较小，定子阻抗（主要是

定子电阻上的压降)所占比重增大,电机端电压和电机的感应电动势近似相等的条件已经不能满足。如果仍然按 V/f 一定来控制,就不能保持电机磁通恒定。电机磁通的减小势必造成电机电磁转矩的减小。如果对定子电阻压降进行补偿,在低频时可适当提高逆变器的输出电压,使 $E_s/f_s \approx$ 常量,如图 1 所示。这样电机磁通大体上可以保持恒定。

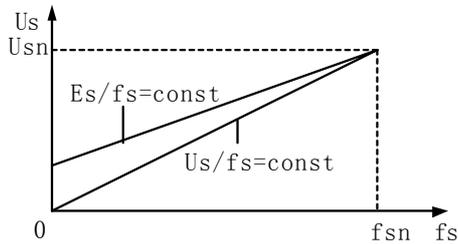


图 1 端电压与频率关系

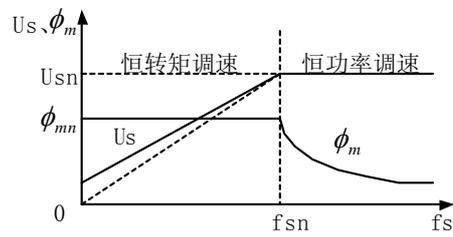


图 2 感应电机变频调速特性

2) 额定频率以上调速 在额定频率以上调速时,频率可以从 f_{sn} 往上提高,但是端电压 U_s 不能继续上升,只能维持在额定值 U_{sn} ,这将迫使磁通与频率成反比地下降,相当于直流电机的弱磁升速的情况。

在整个电机调速范围内,感应电机的控制特性如图 2 所示。如果电机在不同转速下都具有额定电流,则电机都能在温升允许的条件下长期运行。这时电机转矩基本上随磁通变化,因此,在额定转速以下为恒转矩调速,在额定转速以上为恒功率调速。

3. 控制系统的实现

3.1 系统的硬件组成及功能

感应电机变频控制系统硬件结构如图 3 所示。本系统采用三菱公司的智能功率模块 (IPM) 构成电压型逆变器,以 TMS320LF2407A 处理器为核心构成 DSP 控制器。频率信号由外部电压信号经 TMS320LF2407A 处理器 A/D 转换模块获得。DSP 控制器在对检测信号进行相应的处理后,由空间矢量脉宽调制算法来产生相应的 PWM 脉冲信号,经光耦隔离电路后,驱动 IPM 产生期望的输出电压来控制感应电机的运行。当系统发生过载、过流等异常情况时,IPM 内部自动保护并发出一个故障报警信号,DSP 检测到该信号后,使 PWM 输出口变为高阻态,停止系统工作。频率信号由外部电压信号经 TMS320LF2407A 处理器 A/D 转换模块获得。

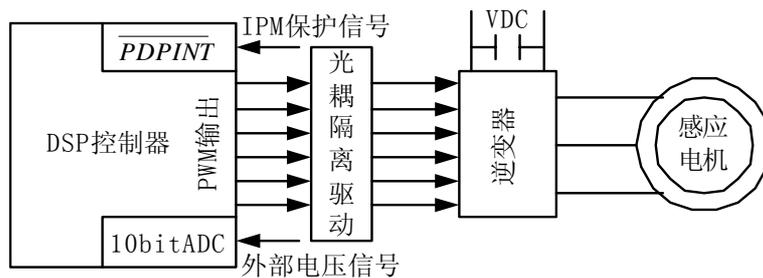


图 3 控制系统的硬件结构

3.2 软件实现

本系统采用 TMS320LF2407A 处理器,它具有足够的定时器及比较单元,并且具有三相对称 PWM 输出。正常工作时,让三个全比较单元工作在 PWM 模式,并让通用定时器 1 为全比较单元产生 PWM 输出提供时基。当通用定时器 1 工作在连续向上/向下计数模式时可产生对称的 PWM 输出。通过死区控制寄存器来设置死区时间,保证逆变器正常工作。通用定时器 2 用于计时采样周期,并产生中断,它可以独立地控制采样频率而与 PWM 的输出频率无关。程序流程图如图 4 所示。

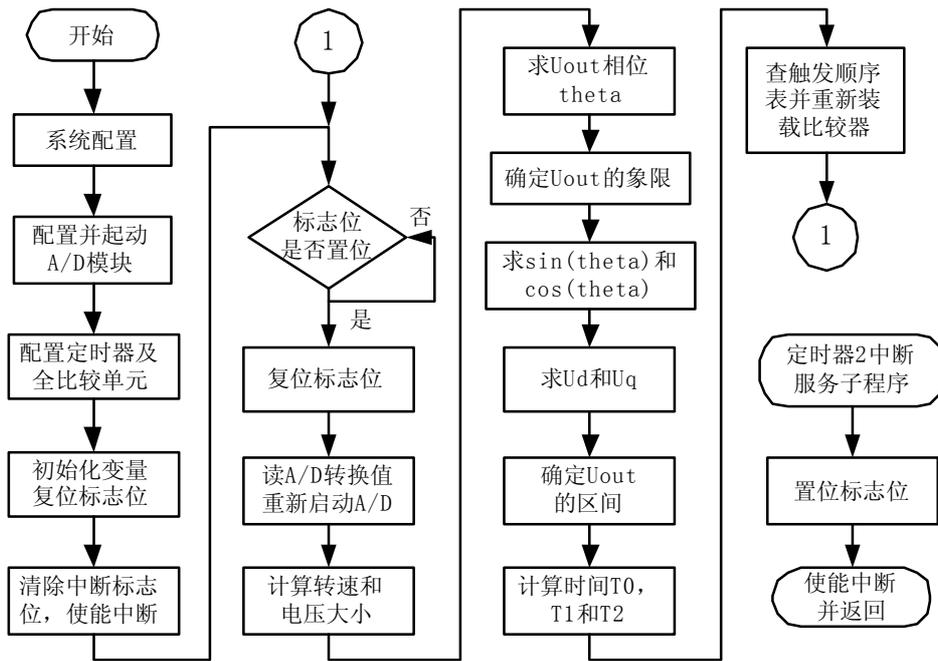


图 4 空间矢量脉宽调制 VVVF 程序流程图

4. 实验结果及分析

本实验是在自行研制的感应电机控制实验平台上（硬件结构如图 3 所示）完成的。实验中采用了额定功率 3kW 的感应电机，其额定转速为 3000r/min。PWM 采样周期 $T_{PWM}=100\mu s$ ，死区时间取为 $T_d=3.2\mu s$ ，图 5 中 1 和 3 分别为采用空间矢量脉宽调制 VVVF 控制系统得到的线电压和线电流波形， $f=200\text{Hz}$ 。

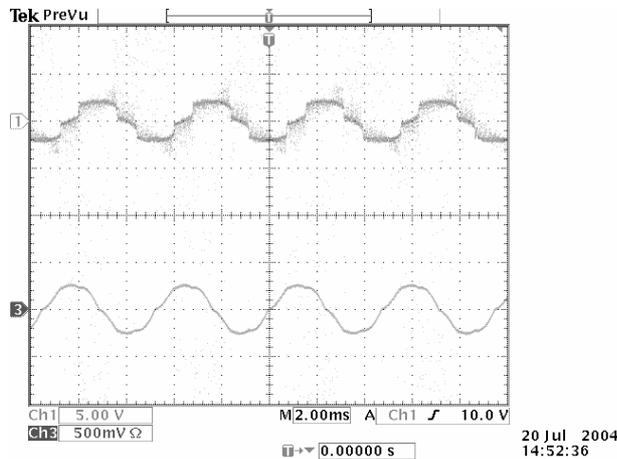


图 5 感应电机定子线电压和线电流波形

可以看出线电压波形近似为对称阶梯波，线电流波形近似为对称正弦波（感应电机相当于感性负载）。波形与理论上基本一致，证明了该系统设计的正确性和有效性。另外，由于采用了空间矢量 PWM 技术，感应电机的定子电流谐波成分大大减少，转矩脉动小，调速平滑。该控制方法软硬件实现简单、性价比高，有良好的应用价值。

参考文献：

- 【1】 Zhenyu Yu and David Figoli. AC Induction Motor Control Using Constant V/Hz Principle and Space Vector PWM Technique with TMS320C240. TI corporation. April, 1998
- 【2】 李永东. 交流电机数字控制系统. 北京：机械工业出版社. 2002

【3】 张兴华. 空间矢量脉宽调制恒压频比控制的数字实现. 电气传动. 2004 (2)

作者简介: 侯伟, 男, 1978 年生, 汉族, 硕士研究生, 研究方向: 车用 42V 电气系统。电话: 010-62633383; Email: houwei@mail.iee.ac.cn

王丽芳, 女, 1971 年生, 研究员, 博士, 研究领域: 汽车电子。

通信地址: (100080 北京市中关村北二条 6 号中科院电工研究所汽车电子应用技术研究组)

侯伟