

一种基于DSP的变频器回馈制动装置设计

刘永锋, 谢吉华

(东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 阐述了采用双PWM控制变频调速系统中回馈制动的原理, 运用高性能数字信号处理器TMS320LF2407进行变频器能量回馈制动系统的设计。主要介绍了设计方案中的软硬件设计方法。实际应用证明, 该设计获得良好制动性能的同时也有效地节省了电能。

关键词: 回馈制动; 有源逆变; 网侧变流器

中图分类号: TM762; TN773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-3175(2009)01-0038-04

Design of Regenerative Braking Device in Inverter Based on DSP

LIU Yong-feng, XIE Ji-hua

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Description was made to the regenerative braking principle in the variable frequency speed control system with double PWM control, applying high performance digital signal processor TMS320LF2407 to carry out inverter energy feedback braking system design. Introduction was mainly made to hardware and software methods in design plan. Actual application proves that the design obtains good braking performance as well as the energy-saving effectiveness.

Key words: feedback braking; active inverter; network side converter

0 引言

目前, 交流变频调速系统广泛采用简单的能耗制动, 存在浪费电能、电阻发热严重、快速制动性差等缺点。而在异步电动机频繁制动时, 采用回馈制动是一种非常有效的节能方法, 并且避免在制动时对环境及设备的破坏。在电力机车、采油等行业中取得令人满意的效果。在新型电力电子器件不断出现, 性价比不断提高, 人们节能降耗意识提高的情况下有着广泛的应用前景。

能量回馈制动装置特别适用于电动机功率较大, 如大于或等于100 kW以上, 设备的转动惯量较大, 属反复短时连续工作制, 从高速到低速的减速降幅较大, 制动时间又短, 又要强力制动的场合。为了提高节电效果, 减少制动过程的能量损耗, 将减速能量回收反馈到电网去, 达到节能功效时, 它也是必须采用的。文中提供了一种基于TMS320LF2407数字信号处理器的变频器能量回馈制

动系统的设计方案。

1 回馈制动原理

在变频调速系统中, 电动机的降速和停车是通过逐渐减小频率来实现的, 在频率减小的瞬间, 电动机的同步转速随之下降, 而由于机械惯性的原因, 电动机的转子转速未变, 它的转速变化是有一定时间滞后的, 这时会出现实际转速大于给定转速, 从而产生电动机反电动势 E 高于变频器直流端电压 U 的情况, 即 $E > U$ 。这时电动机就变成发电机, 非但不要电网供电, 反而能向电网送电, 这样既有良好的制动效果, 又将动能转变为电能, 向电网送电而达到回收能量的效果, 一举两得。当然必须有一套能量回馈装置单元, 进行自动的控制, 才能做到。另外, 能量回馈电路还应包括交流、直流电抗器、阻容吸收器、电子开关器等^[1]。

众所周知, 传统的交-直-交电压型变频器的主电路输入采用三相不可控的桥式整流电路, 因此无

作者简介: 刘永锋(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动;

谢吉华(1964-), 男, 副教授, 硕士, 主要从事电力电子、电机控制、智能仪器与网络安全方面的教学和研究工作。

法实现直流回路与电源间双向能量传递, 这个问题的最有效方法是采用有源逆变技术, 即将再生电能逆变为与电网同频率、同相位的交流电回馈电网, 从而实现制动^[2]。原理框图如图1所示。

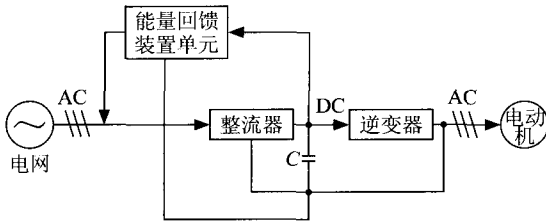


图1 变频器回馈制动电路原理框图

在实际应用中, 我们可以不必设计单独的能量回馈装置单元, 可以通过在整流电路中采用自关断器件进行PWM控制, 即整个变频调速系统采用双PWM控制, PWM整流器在这里也称为网侧变流器, 当电机处于制动状态时, 由于负载惯性作用进入发电状态, 其再生能量经逆变器中开关元件和续流二极管向中间滤波电容充电, 使中间直流电压升高, 此时网侧变流器中开关元件在PWM控制下使能量回馈到交流电网, 完成能量的双向流动, 同时也完成回馈制动。

因此要真正实现变频器的能量回馈制动, 关键是对网侧变流器的控制。下文重点阐述网侧变流器采用全控器件、PWM控制方式的控制算法。

2 控制算法

该设计对网侧变流器的控制方法采用电流追踪型PWM控制, 如图2所示。

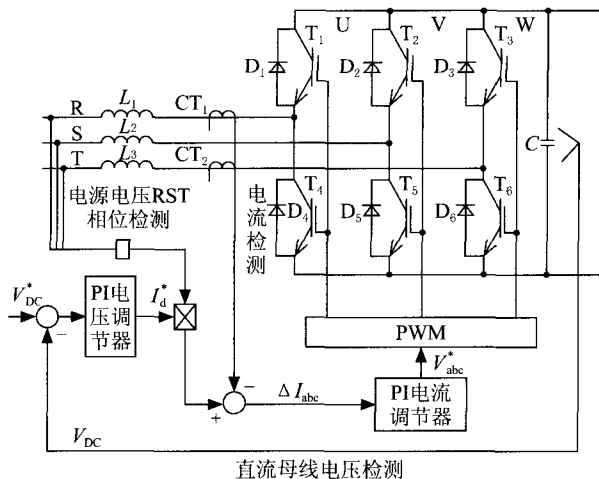


图2 能量回馈变频器网侧变流器的电流控制算法框图

这种简化的算法直接将实测的直流母线电压与给定值之差, 通过PI调节器, 得到电流的给定值 I_d^* 与测量到的电网电压相位查表得到的三相正弦基准值相乘, 得到三相输出电流的给定值, 然后进行简单的PI调节得到三相输出电压的给定值 V_{abc}^* 后与三角载波进行比较, 产生的调制波作为开关管的触发信号^[3]。这样, 电流误差放大器的输出直接控制了PWM调制器的占空比, 强迫实际输入电流逼近参考电流的值。这种控制算法具有开关频率固定、产生的噪声小等特点, 开关损耗较小, 而且系统的动态性能也较好。此控制方式算法略去了坐标变换的计算, 因此与采用矢量控制方式相比具有算法简单, 对控制器的计算能力要求较低的优点。但采用此种控制算法的功率因数低于标准矢量控制算法。在动态过程中, 直流母线电压的波动相对较大, 快速动态过程中发生直流母线过压等故障的概率相对较高。

3 控制系统硬件设计

针对以上的控制方案, 采用TMS320LF2407芯片为核心的数字控制系统, 如图3所示。

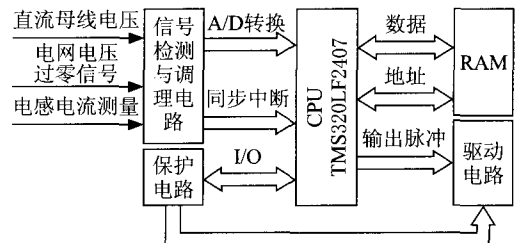


图3 控制系统框图

从图中可以看到, 控制系统主要包括以下几个部分: CPU及其外围电路、信号检测与调理电路、驱动电路和保护电路。其中, 电网侧电感电流、直流母线电压及交流电网电压过零信号, 经信号检测与调理电路后输入主控系统CPU, 以便DSP完成整个控制系统。

CPU的外围电路主要有时钟电路和复位电路等。此外, 为了调试方便, 控制系统还扩展了一片16位RAM芯片来作为程序存储器。驱动电路起到提高脉冲的驱动能力和隔离的作用。保护逻辑电路则保证发生故障时系统能从硬件上直接封锁输出脉冲信号。

信号检测与调理电路在整个控制系统硬件设计中占有十分重要的地位。以下重点介绍此部分的

设计。

1) 电网电感电流检测与调理电路：如图4所示。能否快速、准确地测定电流值关系到系统调节的精度。该设计采用的电流霍尔传感器额定输出电压为±4V，该电路设计中留出裕量，假设输出电压范围为±5V。由运放A₁和-5V电源等组成的加法电路将电流霍尔传感器输出电压范围转化为0~10V，再经过运放A₂组成的衰减电路使电压输出范围为0~3V，为了防止DSP内置A/D转换器被外部电压损坏，采用钳位二极管使输入A/D转换器的电压大致限制在0~3.3V之间。

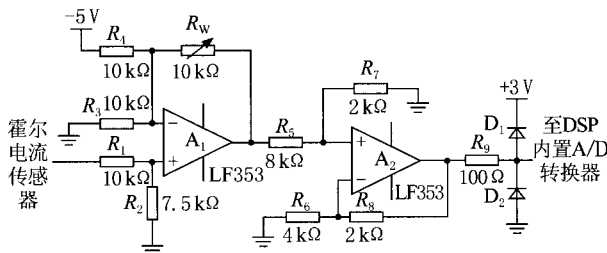


图4 电流检测与调理电路的原理图

2) 电网频率与相位检测电路：电机通过变频器向电网回馈电能时，回馈电压、电流的频率必须和电网供电频率保持一致，这样才能保证电能回馈稳定进行，同时消除对电网造成的谐波污染。电网频率和相位值采用电压过零检测的方法得到^[4]。其电路如图5所示。

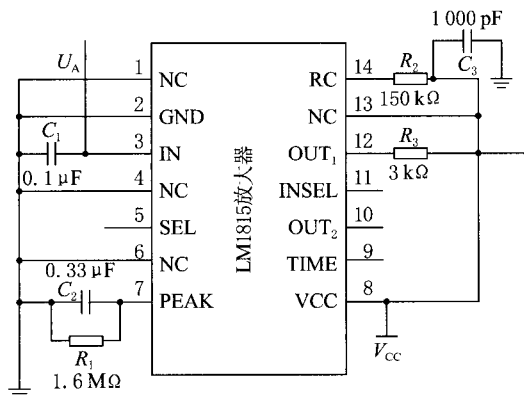


图5 电网电压过零检测电路

LM1815是自适应可变磁阻传感放大器，专门用于信号过零检测。A相电压信号U_A从IN端输入，当U_A由正值穿过零点时，OUT端就输出1个同步的过零检测脉冲。该信号可以用于回馈电压频率控制，当U_A由负值穿过零点时，没有触发脉冲输出。LM1815还具有自适应功能，能自动适应输入信号幅值的变化。

4 控制系统软件设计

采用中断方式实现数字采样、A/D转换以及控制算法，形成三相输出电压的给定值V_{abc}^{*}并输入到PWM控制模块中，最终产生PWM信号，控制主电路有规律地开关。系统主控制算法采用电流追踪型PWM控制，下文是一些控制系统中断子程序的软件设计。TMS320LF2407的中断具有两层结构，当一个A/D中断要求响应时同时采用低优先级模式的ADC中断时，它通过INT6中断服务申请CPU将当前程序指针指向INT6中断服务程序的入口地址处。接在INT6内核层次上的中断服务子程序很多，具体要执行哪一个中断服务子程序，必须在INT6中断服务程序中进行判断并发生相应的跳转。DSP将一个保留着各中断相应ID信息的寄存器映射到数据存储空间的特定位置，通过查询该位置的值，可以判断出是否有A/D中断发生了。倘若有A/D中断，便转而执行A/D中断服务子程序，否则便返回。电流、电压处理子程序如图6所示。

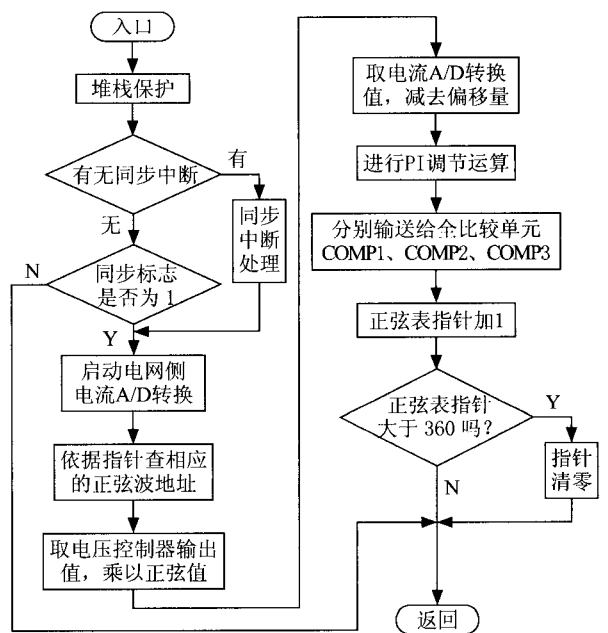


图6 电流、电压处理子程序

该XINT2引脚中断用于A相电压是否过零的判断：作为每个电网周期第一个A/D转换时刻的同步信号^[5]。有带通滤波器、锁相倍频器和单稳触发器等电路输出的与电网电压基波同频同相的正向过零脉冲作为XINT2的触发信号。同步中断子程序如图7所示。

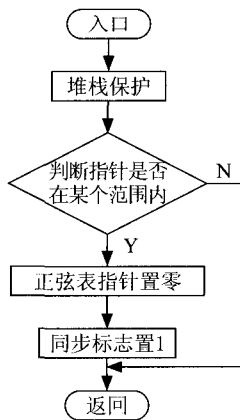


图7 同步中断子程序

5 实际应用

采用上述技术,设计了一台具有能量回馈制动功能110 kW的装卸用起重机的变频调速控制系统,对原控制系统进行了改造。原控制系统采用转子串电阻进行调速,这次改造不更换原电动机,仅把绕线电动机转子回路短接。经实际运行证明,具有良好的起、停性能,控制精度得到了很大的改善。更重要的是节省了电能。经估算,节电率约为35%。采用保守算法,把110 kW的功率折扣为100 kW,每天只使用20 h,每年工作360天,一年节电可高达252 000 kWh。如果以每度电0.6元计算,则每年可以节约电费15万元左右。整个系统虽然采用双PWM控制增加了一次性投资,但是,经实际核算,节省的电能非常可观。同时功率因数高,避免对电网的污染。

6 结语

(上接第34页)

3) 反馈系统容易产生振荡,应该仔细调整反馈参数。

参考文献

- [1] 严仰光. 航空航天器供电系统[M]. 北京: 航空工业出版社, 1996.
- [2] 苏奎峰, 吕强, 耿庆锋, 等. TMS320F2812原理与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [3] 张卫平. 开关变换器的建模与控制[M]. 北京: 中国

能量回馈系统装置具有的优越性远胜过能耗制动和直流制动,大部分相关产品采用电阻实现制动,大量的电能消耗在电阻上,造成能源的极大浪费。而采用回馈制动将再生电能回馈电网,则能达到降低能耗和节约电费的效果,同时该设计的整个调速系统采用双PWM控制,双PWM控制技术打破了过去变频器的统一结构,采用PWM整流器和PWM逆变器,可使得电网侧的输入电流接近正弦波并且功率因数达到1,最终可以彻底解决电网的污染问题。并且实现了电机的四象限运行,有绿色变频器的美称,这给变频器技术增添了新的生机,形成了高质量能量回馈技术的最新发展动态。整流侧采用PWM整流器取代常用的三相不可控的桥式整流电路缺点是系统成本高,控制相对复杂。在大功率属反复短时连续工作制的场合,推广和采用双PWM控制实现回馈制动功能的变频器,具有重大的现实意义。

参考文献

- [1] 张选正, 张金远. 变频器应用经验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [2] 周志敏, 周纪海, 纪爱华. 变频电源实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] 倚鹏. 高压大功率变频器技术原理与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [4] 简嘉亮, 肖兵. 基于 TMS320F2811 的变频器能量回馈系统的设计与实现[J]. 电机控制与应用, 2006, 33(12): 34-39.
- [5] 周志敏, 周纪海, 纪爱华. 开关电源功率因数校正电路设计与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.

收稿日期: 2008-06-25

电力出版社, 2006.

- [4] 熊慧洪, 裴云庆, 杨旭, 等. 采用电感电流内环的UPS控制策略研究[J]. 电力电子技术, 2003, 37(4).
- [5] 张明, 谢列敏. 计算机测控技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [6] 谢芳. 基于DSP的逆变电源研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.

收稿日期: 2008-09-16