

文章编号:1671-251X(2013)03-0069-05 DOI:

余发山,韩超超,田西方,等.带式输送机多机变频驱动功率平衡控制研究[J].工矿自动化,2013,39(3):69-73.

带式输送机多机变频驱动功率平衡控制研究

余发山, 韩超超, 田西方, 姜慧明

(河南理工大学 电气工程与自动化学院,河南 焦作 454000)

摘要:针对多机驱动带式输送机在负荷变化、加减速过程中极易出现因功率不平衡而造成电动机过载甚至损坏等问题,依据转矩分配原则推导出电动机转矩分配公式;采用变频驱动的主从控制方法,主机为速度、磁链闭环的矢量控制,从机为速度级联下的转矩控制,主、从机在转矩分配给定情况下进行转矩闭环控制;建立了功率平衡控制系统模型,并给出了双电动机拖动功率平衡控制系统结构。Matlab 仿真结果表明,在负荷变化、加减速过程中各电动机输出转矩可实现按比例分配,证明了功率平衡控制系统的有效性。

关键词:带式输送机;多机驱动;功率平衡;转矩分配;主从控制

中图分类号:TD634.1 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Research of power balance control for multi-motor frequency-conversion drive of belt conveyor

YU Fa-shan, HAN Chao-chao, TIAN Xi-fang, LOU Hui-ming

(School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: For problems of motor overload and even damaged caused by power unbalance which easily appears in processes of load changing, acceleration and deceleration of multi-motor drive for belt conveyor, a torque distribution formula of motor was deduced according to torque distribution principle. Master-slave control method of frequency-conversion drive was adopted, namely vector control with closed loop of speed and magnetic chain was used for the master motor and speed cascade torque control was used for the slave motor, so torque closed-loop control was done under the case that torque distribution of the master and slave motor were given. Model of power balance control system was established and the structure of dual-motor drive power balance control system was given. The result of Matlab simulation shows that output torques of the motors can achieve proportional distribution in processes of load changing, acceleration and deceleration, which proves effectiveness of the power balance control system.

Key words: belt conveyor; multi-motor drive; power balance; torque distribution; master-slave control

0 引言

大型带式输送机单机驱动张力往往过大,因此,通常采用双电动机双滚筒分别驱动,双机拖动的关键是实现功率平衡控制。功率平衡是指在负载变化

和系统调速的动静态过程中各电动机的输出功率按比例分配,即保持各个电动机的负载率相同。功率平衡分稳态平衡和动态平衡,稳态平衡是指系统进入稳态时的出力状态平衡,动态平衡是指输送机在启动、调速和负载变化过程中的出力状态平衡。稳

收稿日期:2012-12-19。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61203065)。

作者简介:余发山(1952—),男,湖北长阳人,教授,博士研究生导师,现从事工业过程控制自动化方面的教学与科研工作,E-mail:chaohan1987@yahoo.com.cn。

态是动态过程调整的结果,因此,功率平衡控制的关键是动态平衡控制。

带式输送机的调速方式主要有液力耦合器调速、液体黏性离合器调速、变频调速等。随着变频调速技术的成熟,带式输送机越来越多地采用变频器驱动,为实现带式输送机调速和功率平衡控制带来了方便^[1]。

本文主要针对双电动机分别驱动2个滚筒的情况进行研究,为了保证2个电动机输出功率平衡,根据转矩进行负荷分配。采用变频驱动的主从控制方法,主机为速度、磁链闭环的矢量控制,从机为速度级联下的转矩控制,主、从机在转矩分配给定情况下进行转矩闭环控制,从而实现电动机功率平衡控制。

1 多机驱动工况及功率平衡分析

多机驱动带式输送机通过胶带级联耦合,正常情况下,各电动机运行速度一致,而输出转矩(功率)由驱动装置和电动机性能决定,下面根据电动机机械特性对功率平衡进行分析。对于额定功率不同、额定转速相同的电动机并联驱动带式输送机,假设电动机运行转速为1700 r/min,电动机1、2承担的负载力矩分别为503.3 N·m、208.9 N·m,电动机特性曲线如图1所示。

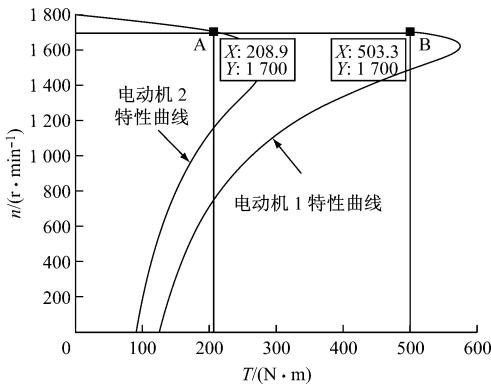


图1 额定功率不同、额定转速相同的电动机特性曲线

由于电动机制造引起的分散性等原因,即使电动机参数一致,其机械特性也存在差异^[2]。假设电动机转速为1300 r/min,电动机1、2承担的负载力矩分别为114 N·m、127.3 N·m,用这2台电动机并联驱动带式输送机,电动机转子电阻有差异时的机械特性曲线如图2所示。

影响多机驱动功率平衡的因素还有滚筒与输送带之间的摩擦、围包角、减速器传动比、滚筒直径偏差、输送带刚性等,这些在设计中都应严格控制,若有大的差异必须进行维修或者更换^[3-4]。这些因素

的影响最终将折合到电动机轴上,影响电动机转矩输出。

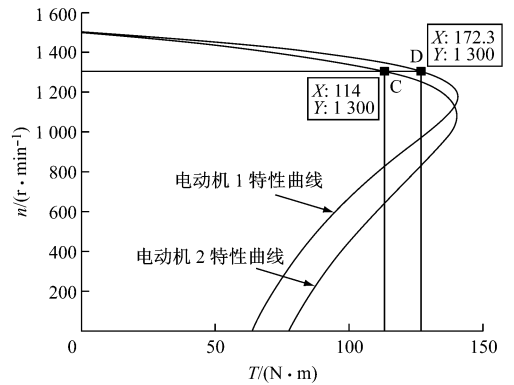


图2 转子电阻有差异时电动机特性曲线

要实现电动机功率平衡控制,首先必须根据实际总负载转矩对各电动机输出转矩(功率)进行分配,然后根据转矩(功率)分配给定与实际转矩检测值的比较结果进行转矩(功率)闭环控制。

2 双机拖动功率平衡控制方案

2.1 基于转矩闭环的功率平衡控制原理

各电动机功率分配满足以下关系^[5-6]:

$$P_i = \frac{P_{ei}}{N} P \tag{1}$$

式中: P_i 为每个电动机的功率分配给定; P_{ei} 为每个电动机的额定功率; P 为负载所需功率, $P = P_1 + P_2 + \dots + P_N$; N 为电动机台数。

对于双机拖动,可以简化功率分配控制算法,只需比较主、从机功率就可以调节,并满足

$$\begin{cases} P = P_1 + P_2 \\ P_1 = T_1 \omega_1 \\ P_2 = T_2 \omega_2 \\ \omega_1 = \omega_2 = \omega \end{cases} \tag{2}$$

式中: P_1 、 P_2 为分别主、从电动机输出功率; T_1 、 T_2 分别为主、从电动机的电磁转矩; ω_1 、 ω_2 分别为主、从电动机轴的角速度。

由式(1)、式(2)可知,对于2个电动机的功率分配,也可以使每个电动机输出转矩满足

$$T_i = \frac{T_{ei}}{2} T \tag{3}$$

式中: T_i 为每个电动机的分配给定转矩; T_{ei} 为每个电动机的额定转矩; T 为总负载转矩。

由(3)式可得主、从机分配给定转矩的比值为

$$K = \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_{e1}}{T_{e2}} \tag{4}$$

2.2 基于转矩闭环的功率平衡控制方案

为了将式(4)转化到控制中,按照主从控制原理建立主回路和从回路共2个控制回路。主回路采用速度闭环的矢量控制进行整体速度控制,其速度调节器ASR的输出作为主机转矩环ATR的转矩给定,同时按照驱动系统的运动方程计算从机的转矩给定值;从回路为主机速度级联下转矩闭环控制,将主机发来的转矩值作为转矩环ATR的给定值。双机拖动功率平衡原理如图3所示。

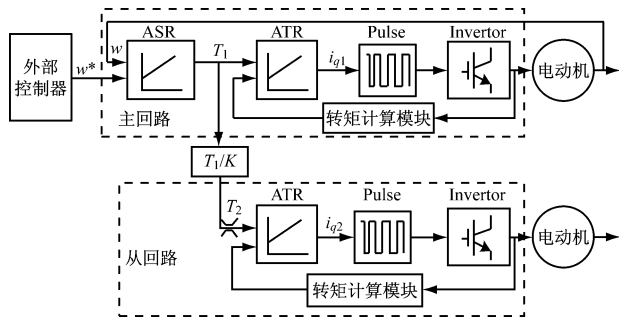


图3 双机拖动功率平衡原理

外部控制器发送速度给定指令,速度反馈由编

码器测得;主、从机转矩计算模块根据电动机在按转子磁链定向的两相同步旋转坐标系上的磁链方程、电磁转矩方程求得;Pulse为SVPWM模块,其输出脉冲触发逆变器Invertor。

3 双机拖动功率平衡控制系统模型建立

驱动系统的运动方程为^[7]

$$T_1 + T_2 - T_L = (J_1 + J_2 + J_m) \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

式中: T_1 、 T_2 分别为主、从电动机输出转矩; T_L 为负载转矩; J_1 、 J_2 分别主、从电动机转子转动惯量; J_m 为负载转动惯量; ω 为2个电动机的角速度。

对式(5)进行拉普拉斯变换,得

$$\omega(s) = \frac{T_1(s) + T_2(s) - T_L(s)}{s(J_1 + J_2 + J_m)} \quad (6)$$

由图3和式(6)可得功率平衡控制系统 Matlab 仿真模型,主要包括主电动机矢量控制部分、从电动机转矩控制部分、转矩分配模块和驱动系统运动方程模块,如图4所示。

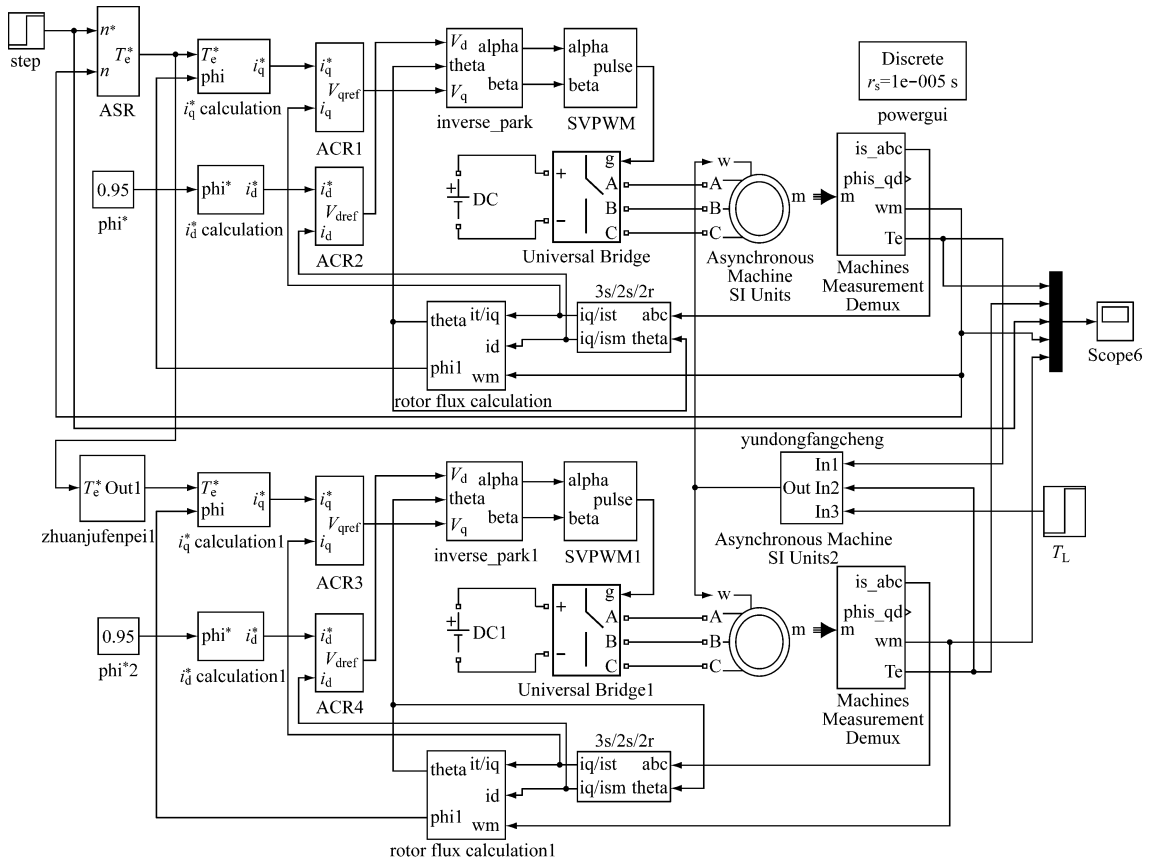


图4 功率平衡控制系统仿真模型

4 仿真分析

4.1 相同参数电动机仿真及分析

主、从机参数设置:额定功率 $P_n = 14\,920\text{ W}$, 额

定电压 $U_n = 460\text{ V}$, 额定频率 $f_n = 60\text{ Hz}$, 定子电阻 $R_s = 0.276\,1\ \Omega$, 定子漏电感 $L_s = 0.002\,191\text{ H}$, 转子电阻 $R_r = 0.164\,5\ \Omega$, 转子漏电感 $L_r = 0.002\,191\text{ H}$, 互感 $L_m = 0.076\,41\text{ H}$, 转子转动惯量

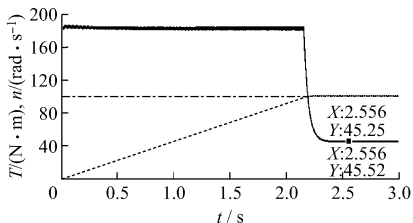
$J=0.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。负载转动惯量 $J_m=6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。主机速度给定为 100 rad/s 。

为了验证本文控制方法的有效性,对以下3种情况进行仿真,结果如图5所示。

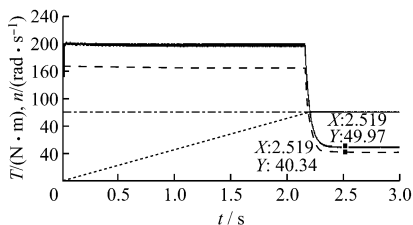
(1) 负载转矩 $T_L=90 \text{ N} \cdot \text{m}$,主、从电动机转矩分配比为 $K=1:1$ 。

(2) 负载不变,主、从电动机转矩分配比改变:
 $T_L=90 \text{ N} \cdot \text{m}, K=1.2:1$ 。

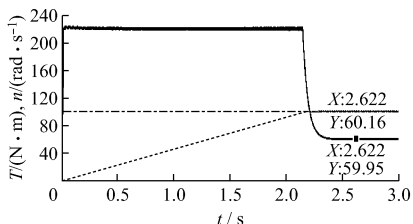
(3) 负载改变,主、从电动机转矩分配比不变:
 $T_L=120 \text{ N} \cdot \text{m}, K=1:1$ 。



(a) $T_L=90 \text{ N} \cdot \text{m}, K=1:1$



(b) $T_L=90 \text{ N} \cdot \text{m}, K=1.2:1$



(c) $T_L=120 \text{ N} \cdot \text{m}, K=1:1$

——主电动机转矩;从电动机转矩;
-----转速给定; ----从电动机转速

图5 相同功率电动机同步调速主、从转矩分配仿真波形

由图5可知,在负载改变或者转矩分配比改变时,从电动机的转速、转矩不论是在动态还是在稳态下都能很好地跟随主电动机,输出转矩比值基本符合转矩分配,误差约为1%,实现了功率平衡。

4.2 不同参数电动机仿真及分析

主电动机参数不变,改变从电动机参数进行仿真。从电动机参数设置:额定功率 $P_n=7460 \text{ W}$,额定电压 $U_n=460 \text{ V}$,额定频率 $f_n=60 \text{ Hz}$,定子电阻 $R_s=0.6837 \Omega$,定子漏电感 $L_s=0.004152 \text{ H}$,转子电阻 $R_r=0.451 \Omega$,转子漏电感 $L_r=0.004152 \text{ H}$,互感 $L_m=0.1486 \text{ H}$,转动惯量 $J_2=0.05 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。

负载转动惯量 $J_m=6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。主、从电动机转矩分配比为 $2:1$ 。

在 $t=0 \text{ s}$ 时,主机速度给定为 100 rad/s ,负载转矩为 $90 \text{ N} \cdot \text{m}$;在 $t=3 \text{ s}$ 时,将负载转矩变为 $120 \text{ N} \cdot \text{m}$,为了节能运行,假设速度变为 140 rad/s 。不同功率电动机同步调速时的主、从转矩分配仿真波形如图6所示。

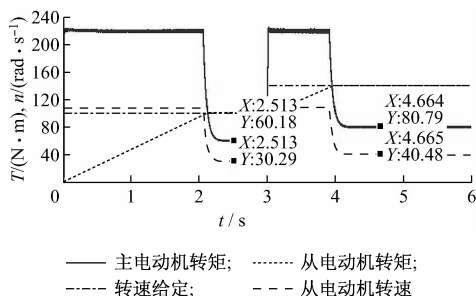


图6 不同电动机功率、同步调速时的主、从转矩分配仿真波形

由图6可知,不论是在动态还是稳态下,从电动机的转速能够很好地跟随主电动机转速,从电动机输出转矩与主电动机输出转矩比值基本为 $1:2$,实现了功率平衡。

5 双电动机拖动功率平衡控制系统实现

双电动机拖动功率平衡控制系统结构如图7所示。

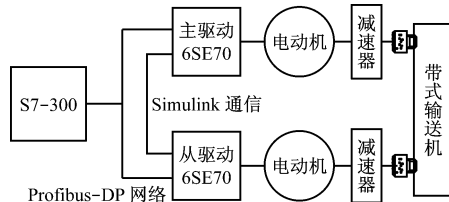


图7 双电动机拖动控制系统结构

S7-300PLC 作为 Profibus-DP 网络主站,用于控制2个变频驱动站。驱动站由主驱动和从驱动组成,主、从驱动均采用西门子公司生产的6SE70变频器。主驱动为速度闭环的矢量控制,从驱动为转矩控制,两者通过 Simulink 通信板连接^[8]并进行参数设置。为了进行负荷分配,在设置从驱动转矩给定时要乘以比例系数 K 。S7-300PLC 向主驱动发送转速、转矩给定,控制主、从驱动开停等信号并实时读取两者的运行状态,进行保护控制。

6 结语

研究了多机驱动带式输送机的负荷分配问题,

针对双机拖动,提出基于转矩分配的主从控制方法;在 Matlab 中建立系统的功率平衡控制模型,对相同与不同电动机参数情况进行仿真,结果表明,不论是动态还是稳态,2 个电动机都能按照预期目标较好地进行负荷分配,解决了功率平衡问题;给出了双机拖动功率平衡控制系统结构,为实际应用提供参考。

参考文献:

- [1] 宋伟刚,战欣,王元元. 大型带式输送机驱动装置的比较研究[J]. 工程设计学报,2004,11(6):301-311.
- [2] 董爱华,曹淑娟,刘尚争. 双电机驱动胶带运输系统模糊跟随器的研究与设计[J]. 长沙电力学院学报:自然科学版,2004,19(4):72-75.
- [3] 郭建军,郭建廷. 带式输送机多机拖动功率平衡问题的探讨[J]. 煤炭科学技术,2008,36(1):88-91.
- [4] 邓永胜,宋伟刚,赵琛. 双滚筒传动带式输送机的电动机功率平衡[J]. 东北大学学报:自然科学版,2000,21(5):520-523.
- [5] 王素娥,郝鹏飞,孟彦京. 纸机传动系统负荷分配控制的分析与设计[J]. 中国造纸,2004,23(8):40-43.
- [6] WAGNER V E,孟凡平. 双驱动带式输送机的载荷分配[J]. 起重运输机械,1984(12):42-48.
- [7] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [8] 洪乃刚. 电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M]. 北京:机械工业出版社,2006.