

文章编号:1671-251X(2013)04-0072-04 DOI:

李高举,杜庆楠,郭宏亮,等.基于六脉波交交变频的分频启动方法研究[J].工矿自动化,2013,39(4):72-75.

基于六脉波交交变频的分频启动方法研究

李高举¹, 杜庆楠¹, 郭宏亮^{1,2}, 梁京¹

(1. 河南理工大学 电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454010;

2. 新乡学院 机电工程系, 河南 新乡 453003)

摘要:在分析六脉波交交变频的基础上及根据软启动中的电压双斜坡启动原理,提出了一种基于六脉波交交变频的分频启动方法。该方法根据交交变频原理和晶闸管触发规律,在电动机启动时,直接在电动机定子侧加电动机启动所需最小转矩所对应的电压值,然后逐级增加变频输出电压值,直至最终所需电压。仿真结果表明,通过合理选择变频输出电压的大小,调节每个等级电压作用的时间,能够有效控制电动机分频启动过程中定子电流的大小,获得良好的转矩变化曲线,改善电动机启动性能。

关键词:电动机;六脉波交交变频;分频启动;电压双斜坡启动;S函数;定子电流;转矩

中图分类号:TD611 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Research of frequency division starting method based on six-pulse-wave
AC/AC frequency converter

LI Gao-ju¹, DU Qing-nan¹, GUO Hong-liang^{1,2}, LIANG Jing¹

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454010, China;

2. Department of Mechatronics Engineering, Xinxiang University, Xinxiang 453003, China)

Abstract:Based on analysis of six-pulse-wave AC/AC frequency converter and according to principle of dual-slope voltage soft starting method, a frequency division starting method based on six-pulse-wave AC/AC frequency converter was put forward. When motor is starting, corresponding output voltage required the minimum torque value is exerted on stator side of motor directly and then the voltage is increased progressively to the final desired voltage based on the principle of AC/AC frequency converter and thyristor trigger rules. The simulation results show that the method can control stator current effectively and obtain good torque curve in frequency division starting process, improve starting performance of motor through selecting converter output voltage and adjusting running time of each level reasonably.

Key words:motor; six-pulse-wave AC/AC frequency converter; frequency division starting; dual-slope voltage starting; S-function; stator current; torque

0 引言

目前,变频技术已广泛应用于煤矿主通风机系统和矿井提升系统等场合中。六脉波交交变频输出的有效频率能够达到 37.5 Hz,扩大了交交变频的调速范围,提高了系统的调速效率^[1]。在电动机利

用六脉波交交变频器进行变频调速时,如果使电动机在某一分频下直接启动,那么冲击电流和冲击力矩以及转矩振荡都会较大,给电动机带来电气和机械上的损伤,缩短电动机使用寿命。针对这种情况,根据软启动中的电压双斜坡启动原理,本文采用有级增加变频输出电压大小的方法进行分频启动,并

收稿日期:2012-12-11。

基金项目:河南理工大学 2011 年研究生学位论文创新基金(2011M24)。

作者简介:李高举(1986—),男,河南焦作人,硕士研究生,研究方向为电力电子与电气传动,E-mail:ligaoju123@126.com。

在 Matlab/Simulink 中进行了仿真研究和分析。

1 六脉波交交变频主电路结构及基本原理

六脉波交交变频主电路结构如图 1 所示。主电路采用零式接法,每一相都由 6 路反并联的晶闸管组成,12 只晶闸管分正反两组,为电流提供双向流动通路。电网三相交流电源经过三变六变压器后,变为相位依次互错 60°的六相对称电源,作为六脉波交交变频器的输入电源。为了减小切换时产生的电压冲击给晶闸管带来的危害,主电路的每对反并联晶闸管两端都并接了阻容保护电路。

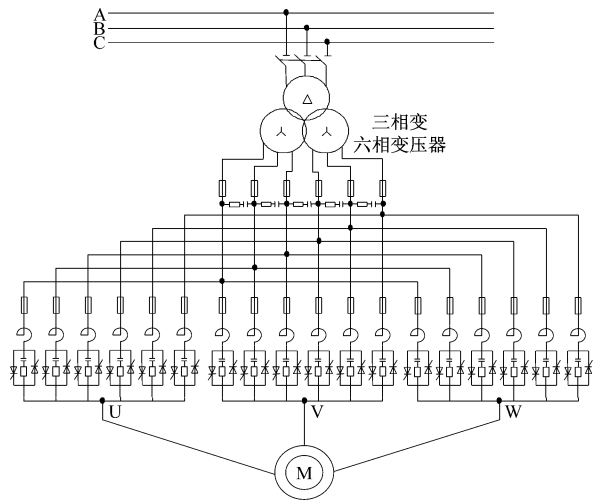


图 1 六脉波交交变频主电路结构

六脉波交交变频器基本原理:当从电源侧流向电动机的电流为正时,给正组晶闸管发触发脉冲,且要导通的晶闸管电压须高于将要关断的晶闸管电压。当电流为负时,给反组晶闸管发触发脉冲,且要导通的晶闸管电压须低于将要关断的晶闸管电压。当电流反向时,控制触发脉冲的宽度,以实现无环流^[2]。触发时刻可根据余弦交截法确定,其调压调频公式为

$$u_o = U_{om} \sin \omega_o t \tag{1}$$

$$\alpha = \arccos \left(\frac{U_{om}}{U_{d0}} \sin \omega_o t \right) \tag{2}$$

式中: u_o 为所要得到的正弦波输出电压有效值; U_{om} 为所要得到的正弦波输出电压的峰值; ω_o 为输出频率; α 为交交变频电路控制角; U_{d0} 为理想空载电压。

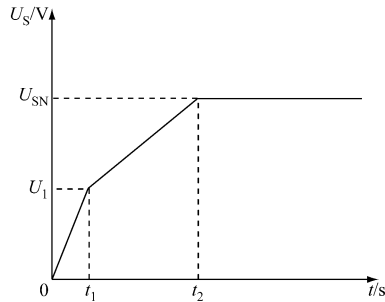
改变正反两组晶闸管工作的频率,就可以改变输出频率 ω_o 。改变控制角 α 就可以改变交流输出电压 u_o 的幅值。按正弦规律对 α 进行调制,就可以使输出电压 u_o 的波形接近正弦波。输出电压 u_o 不是平滑的正弦波,而是由若干段电源电压拼接

而成^[3]。

2 分频启动方法及其 S 函数实现

2.1 分频启动方法

电压双斜坡启动是对电压斜坡启动方法的一种改进,如图 2 所示。输出电压先迅速升至 U_1 ,然后按设定的速率逐渐升压,直至达到额定电压。初始电压及电压上升率可根据负载特性调整。这种启动方式的特点是启动电流相对较大,但启动时间相对较短^[4]。



U_1 —电动机启动所需最小转矩所对应的电压值; U_{SN} —电动机定子侧额定电压; U_s —定子相电压; t_1 —电压上升至 U_1 所需时间;
 t_2 —电压上升至 U_{SN} 所需时间

图 2 电压双斜坡启动

本文所采用的分频启动方法是在六脉波交交变频的基础上,结合上述电压双斜坡启动的方法,根据交交变频原理和晶闸管触发生规律,在电动机启动时,直接在电动机定子侧加电动机启动所需最小转矩所对应的电压值,然后逐级增加变频输出电压值,直至最终所需电压。每个电压等级作用的时间根据实际的启动效果进行调节,最终得到一个较为理想的启动效果。

三相异步电动机在正弦波恒压恒频供电时的机械特性方程:

$$T_e = \frac{3pU_s^2 R'_2/s}{\omega_s [(R_1 + R'_2/s)^2 + \omega_s^2 (L_{1\sigma} + L'_{2\sigma})^2]} \tag{3}$$

式中: T_e 为电磁转矩; p 为电动机极对数; ω_s 为定子供电角频率; R_1 为定子每相电阻; R'_2 为折算到定子侧的转子每相电阻; s 为转差率; $L_{1\sigma}$ 为定子每相漏感; $L'_{2\sigma}$ 为折算到定子侧的转子每相漏感。

电动机启动时,转差率 $s=1$,则初始启动转矩 T_{st} 为

$$T_{st} = \frac{3pU_s^2 R'_2}{\omega_s [(R_1 + R'_2)^2 + \omega_s^2 (L_{1\sigma} + L'_{2\sigma})^2]} \tag{4}$$

拖动系统运动方程式:

$$T_e - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \tag{5}$$

式中： T_L 为负载转矩； GD^2 为转动物体的飞轮矩，反应了转动体的惯性大小， $N \cdot m^2$ 。

根据式(3)、式(4)和式(5)，固定频率、不同电压时的电动机启动机械特性曲线如图 3 所示^[6]。由图 3 可知，在启动过程中逐级升高电压，可以提高电磁转矩，当升高到最高所需电压时，电磁转矩达到最大，最终与负载转矩相平衡，进入稳定状态。

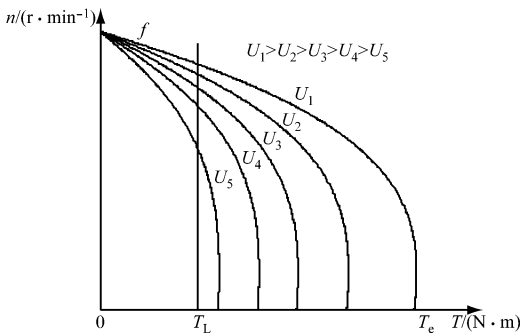


图 3 同频率下不同电压时的电动机启动机械特性曲线

2.2 分频启动方法的 S 函数实现

本文利用 S 函数来实现该分频启动方法，并在 Matlab/Simulink 中建立六脉波交交变频分频启动仿真模型(如图 4 所示)。利用 S 函数可以方便地实现晶闸管的触发规律和复杂的控制算法，并可以用来模拟实际变频调速系统中的微控制器。通过在 S 函数中编程建立时间常数和控制字数组来决定在什么时候对哪只晶闸管触发脉冲。时间常数和控制字数组也可以称之为变频控制表。不同的频率，不同的电压对应不同的变频控制表。仿真中的分频启动 S 函数模块通过调用变频控制表，可以输出 36 路触发脉冲信号，对应六脉波交交变频电路的 36 只晶闸管，实现变频变压的作用。

根据该分频启动方法，在固定分频下，针对每个电压等级，根据交交变频晶闸管触发规律，在 S 函数中建立相应的变频控制表。在电动机启动过程中，调节每个电压等级作用的时间，当时刻到达时，调用相应电压的变频控制表，对相应的晶闸管输出触发脉冲，改变晶闸管导通角，从而实现定频调压的作用。

本文采用固定点切换的方法来实现 2 个不同电压等级的切换。在切换时，将切换点选择在各个变频控制表的固定点，当收到切换指令，并运行到规定的切换点时，才会切换变频控制表。在本文中，切换点选择在 U 相电压上升过零点，以方便在 S 函数中编程。

在电动机利用该分频启动方法进行启动时，可以根据启动过程中电压和电流的相位变化关系，选择合适的正反组晶闸管导通时刻，建立分频启动专用的变频控制表，可以称为分频启动控制表，以和电动机在某一分频下稳定运行时的变频控制表相区分。利用分频启动控制表，能够提高变频输出电压波形的质量和对称度，减小因电压波形不对称而引起的转矩冲击和振荡。

3 仿真

为了对基于六脉波交交变频的分频启动方法进行研究分析，以二分频(25 Hz)为例，在 Matlab/Simulink 环境下建立了仿真模型，如图 4 所示。仿真模型中的电动机参数：额定功率 $P_n=2.8\text{ kW}$ ，极对数 $p=2$ ， $R_s=2.461\ 2\ \Omega$ ， $L_s=0.014\ 2\text{ H}$ ， $R_r=9.226\ 4\ \Omega$ ， $L_r=0.018\ 9\text{ H}$ ， $R_m=3.914\ 3\ \Omega$ ， $L_m=0.260\ 3\text{ H}$ ，转动惯量 $J=0.089\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ，负载转矩为 $4\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

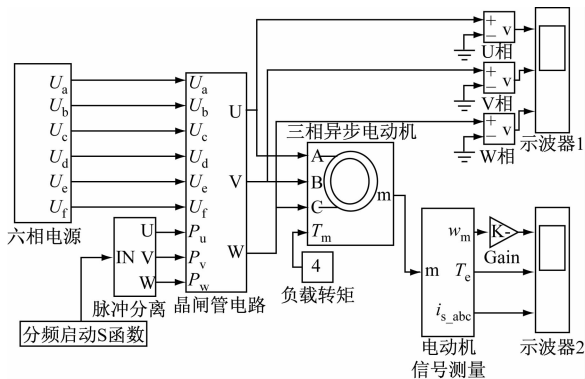


图 4 六脉波交交变频的分频启动仿真模型

图 5 为以二分频直接启动时的转速、转矩和定子三相电流仿真波形。从图 5 可以看出，在 1.13 s 时，启动过程结束，电动机转速为 667 r/min，启动时间为 1.13 s。在 0.026 s 时，电磁转矩上升至 38.9 N·m，之后转矩振荡逐渐减小，最终稳定在 4 N·m。电流峰值在 0.014 s 时上升至 14 A，最终稳定在 4.8 A。在二分频直接启动时的冲击电流和冲击力矩都较大，会对电动机造成电气和机械损伤。

图 6 为采用分频启动方法后的转速、转矩和定子三相电流仿真波形。在初始时刻，在电动机定子侧加变频输出电压 35 V。在电压从 0 V 上升至二分频 110 V 时，在中间插入 11 个等级的电压：35、45、55、60、65、70、75、80、85、90、100 V，每个等级电压作用的时间分别为 0.03、0.09、0.08、0.12、

0.16、0.12、0.12、0.08、0.04、0.08、0.04 s。

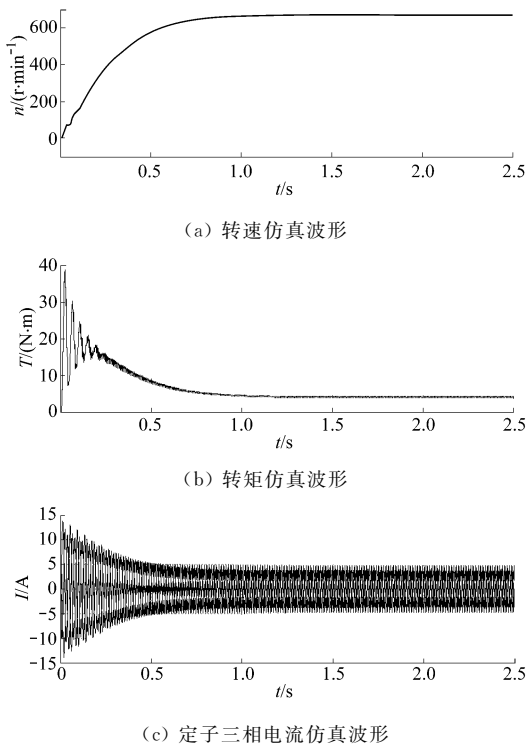


图5 二分频直接启动时的转速、转矩和定子三相电流仿真波形

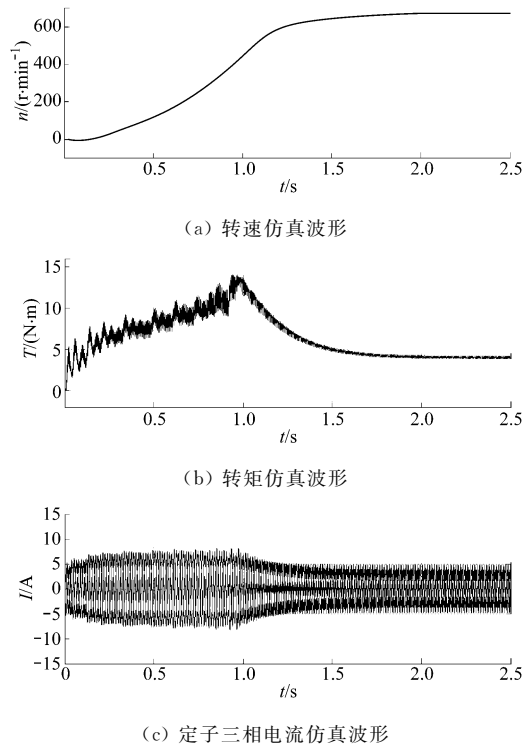


图6 采用分频启动方法后的转速、转矩和定子三相电流仿真波形

从图6可看出,在1.88 s时,电动机转速达到667 r/min,完成启动过程,启动时间为1.88 s。在给电动机定子侧加35 V输出电压时,电磁转矩在0.022 s时上升至5.3 N·m,之后转矩随着变频输出电压的增大而逐渐增大,在0.94 s时转矩上升到最大值14 N·m,之后转矩逐渐减小,最终与负载转矩相平衡。在启动过程中,没有出现电流冲击现象,电流峰值的最大值为8 A,启动过程结束后,电流峰值稳定于4.8 A。

对比图5和图6可知,当采用分频启动方法进行二分频启动时,启动时间比二分频直接启动延长了0.75 s,启动过程中冲击力矩和转矩振荡都明显减小,没有出现冲击电流,电流的大小变化也比较平稳,电动机的分频启动过程良好,避免了冲击电流和力矩给电动机带来的不利影响。

4 结语

简单介绍了六脉波交变频的主电路结构及基本原理,提出了一种分频启动方法,利用S函数建立了仿真模型,并对仿真结果进行了研究与分析。仿真结果验证了这种方法的有效性。

与直接启动过程相比较,本文所采用的分频启动方法虽在启动时间上稍有延长,但电动机启动过程平稳,并能够有效减小冲击力矩和冲击电流,减小了启动过程对电动机造成的机械和电气损伤,获得了较好的启动效果,为交变频理论的进一步实际应用以及基于六脉波交变频的软启动研究提供了理论基础。

参考文献:

[1] 杜庆楠,王新. 晶闸管相控变流器的双变量相控理论[M]. 北京:煤炭工业出版社,2006.

[2] 杜少通,高庆华. 基于双变量六脉波交-交变频器的变压变频控制方法研究[J]. 工矿自动化,2010,36(8): 89-91.

[3] 王兆安,黄俊. 电力电子技术[M]. 4版. 北京:机械工业出版社,2000.

[4] 李华德. 交流调速控制系统[M]. 北京:电子工业出版社,2003.