

异步电动机六边形磁链直接转矩控制系统研究

李 莺^{1,2}, 钟洪声², 罗 毅¹

(1. 四川理工学院自动化与电子信息学院, 四川 自贡 643000; 2. 电子科技大学电子工程学院, 成都 611731)

摘 要:六边形定子磁链直接转矩控制利用逆变器产生的运动电压矢量和零电压矢量的实时交替作用,实现电磁转矩的两点式控制,迫使实际转矩跟踪给定值。文章建立了异步电机、逆变器、转速调节器、磁链滞环比较器、转矩滞环比较器等仿真模型,构成六边形磁链直接转矩控制系统。对加减负载情况下六边形磁链系统的磁链轨迹、电流、电磁转矩、转速等反映电机运行性能的指标进行了仿真分析,仿真结果验证了系统模型的正确性和可行性。

关键词:异步电动机;直接转矩控制;电压空间矢量;六边形磁链;仿真

中图分类号:TP272

文献标识码:A

引 言

直接转矩控制方法是 1985 年由德国鲁尔大学的 DePenbrock 教授在综合磁链轨迹控制法和磁场加速法的基础上首次提出的。其思路是通过检测定子的电流和电压,在定子坐标系下借助瞬时控制矢量理论计算定子磁链和转矩,通过与给定值的比较,得到转矩和定子磁链的控制信息,实现定子磁链和转矩的直接控制。这种方案避开了旋转坐标变换,简化了控制结构,不受转子参数变化的影响,在加减速或负载变化的动态过程中,可以获得快速的转矩响应^[1]。

1 直接转矩控制基本理论

1.1 逆变器的 8 种开关状态

在常规的 PWM 变压变频调速系统中,异步电机由六拍阶梯波逆变器供电,六个功率开关器件都用开关符号代替,可以代表任意一种开关器件。逆变器采用上、下管换流,功率开关器件共有 8 种工作状态,按照 ABC 相依次排列时可以表示为 100,110,010,011,001,101,111 以及 000。从逆变器的工作状态来看,前六种状态为有效状态,后两个是无效状态。

1.2 定子磁链与电压空间矢量的关系

开关管的八种工作状态与逆变器的 7 个电压状态

对应,若用 $U_s(t)$ 表示电压空间矢量, u_a, u_b, u_c 为相位互差 120° 的 a, b, c 三相定子相电压,则

$$u_s(t) = \frac{2}{3} [u_a + u_b e^{j2\pi\beta} + u_c e^{j4\pi\beta}] \quad (1)$$

图 1 给出了 7 个电压空间矢量在空间的分布。

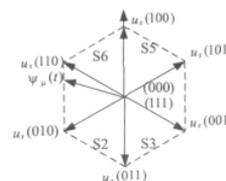


图 1 电压空间矢量与磁链空间矢量的关系

如果忽略定子电阻压降,定子电压 $U_s(t)$ 与定子磁链 $\psi_\mu(t)$ 的关系为:

$$\psi_\mu \approx \int u_s(t) dt \quad (2)$$

所以,定子电压和定子磁链之间是积分关系,见图 1。磁链空间矢量依次沿 S1、S2 ……S6 的轨迹运动。

1.3 电磁转矩与电压空间矢量的关系

在直接转矩控制技术中,其控制机理是通过电压空间矢量 $u_s(t)$ 来控制定子磁链的旋转速度,从而改变定、转子磁链矢量之间的夹角,达到控制电动机转矩的目的。异步电机的电磁转矩可由定、转子磁链矢量的矢量积来表达:

收稿日期:2011-10-14

作者简介:李 莺(1975-),女,四川自贡人,副教授,主要从事电力电子及电气传动方面的研究 (E-mail) 407999909@qq.com

$$T_e = K_m \psi_s \psi_r \sin(\theta(t)) \quad (3)$$

在实际运行中,保持定子磁链矢量的幅值为额定值,以充分利用电机铁芯;转子磁链矢量的幅值由负载决定。要改变电动机转矩的大小,可以通过改变磁通角 $\theta(t)$ 的大小就可以实现。

要增大电动机转矩,应该加载有效空间电压矢量,使磁通角增大,从而就增大转矩。

要减小电动机转矩,应该加载零空间电压矢量,使磁通角减小,从而就减小转矩。

要想迅速的减小转矩,应该加载反向有效电压空间矢量,使磁通角迅速减小,从而就可以迅速减小转矩。

通过控制电压空间矢量的有效状态和零状态的交替作用,就可以控制定子磁链空间矢量的角速度大小,就可以获得高动态性能的转矩特性^[2]。

2 六边形磁链直接转矩控制系统

六边形定子磁链直接转矩控制系统如图2所示。三相定子电压和电流进行3/2变换获得 $\alpha\beta$ 坐标系中的分量 $u_{s\alpha}$ 、 $u_{s\beta}$ 、 $i_{s\alpha}$ 、 $i_{s\beta}$,在此基础上对定子磁链及转矩进行观测获得 $\alpha\beta$ 坐标系中定子磁链分量 $\psi_{s\alpha}$ 、 $\psi_{s\beta}$ 和转矩 T_e 。 $\psi_{s\alpha}$ 、 $\psi_{s\beta}$ 经过2/3变换、磁链自控制单元后获得磁链开关信号 $S\psi_a$ 、 $S\psi_b$ 、 $S\psi_c$,这些信号决定了作用于电动机的运动电压矢量。转矩 T_e 经过转矩滞环调节器获得控制转矩的转矩开关信号 S_0 ,并由 S_0 决定是否施加零电压矢量,实现对转矩的两点式控制^[2]。

3 六边形磁链直接控制系统仿真

3.1 系统仿真图

六边形定子磁链直接转矩控制系统仿真模型如图3,

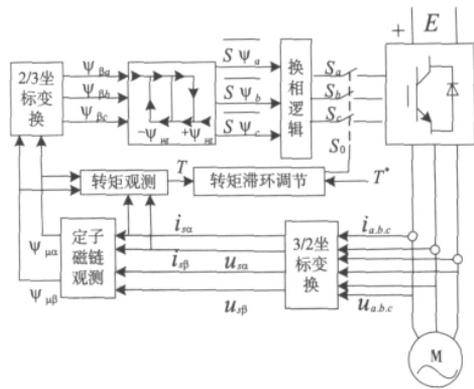


图2 六边形磁链轨迹控制系统框图

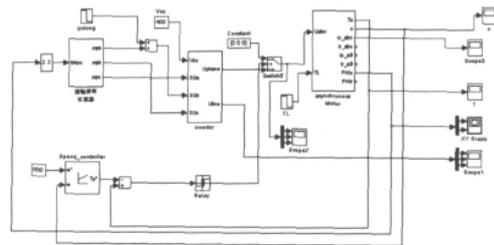


图3 六边形磁链轨迹控制系统仿真模型

系统包括电机、磁链滞环比较器、转矩滞环比较器、逆变器、转速调节器等子模型。

3.2 仿真结果

仿真参数设置: 定子电阻 $R_s = 2.7\Omega$, 定子电感 $L_s = 0.3562mH$, 转子电阻 $R_r = 2.23\Omega$, 转子电感 $L_r = 0.3562mH$, 定转子互感 $L_m = 0.3425mH$, 电机惯量 $J = 0.00825Kg \cdot m^2$, 电机极对数 $n_p = 2$ 。

图4所示为电机转速 $n = 500r/min$, 负载转矩在 $t = 0.3s$ 由 $T_L = 0$ 阶跃到 $T_L = 20N \cdot m$ 时, 磁链轨迹、定子电流、转矩、转速的波形。

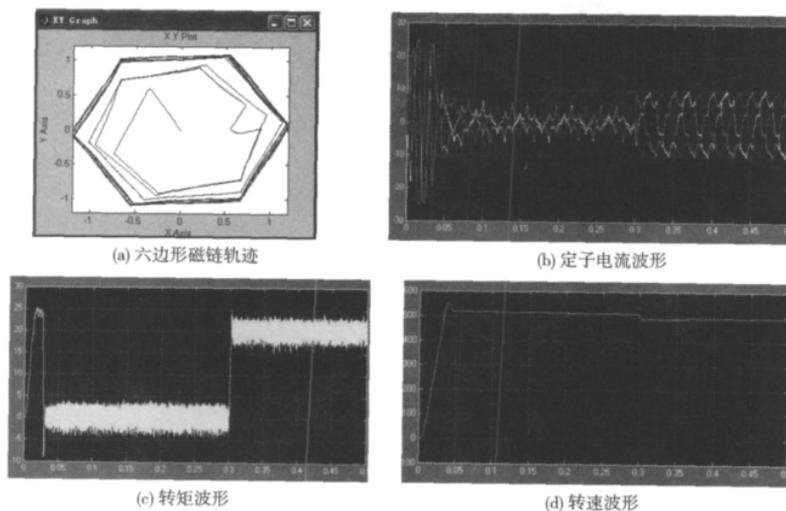


图4 六边形DTC加负载响应仿真曲线

图 5 所示为电机转速 $n = 500\text{r}/\text{min}$, 负载转矩在 $t = 0.3\text{s}$ 由 $T_L = 10\text{N}\cdot\text{m}$ 降到 $T_L = 0$ 时, 定子电流、转矩、转速的波形。

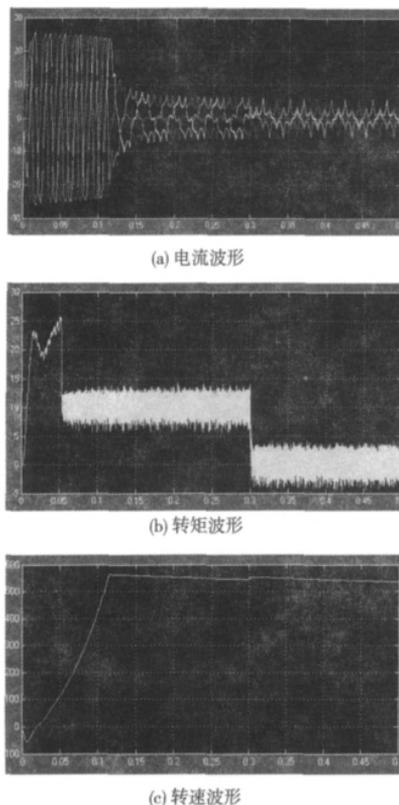


图 5 六边形 DTC 减负载响应仿真曲线

仿真结果表明, 由于六边形磁链轨迹, 定子电流存

在由六边形磁链引起的畸变及高频开关引起的畸变。由于转矩的两点式调节, 转矩存在一定的波动。负载变化时, 转矩响应迅速。转速调节器采用 PI 调节, 静态转速无静差。

4 结束语

六边形磁链控制系统方法简单, 理论清晰, 动态性能优良, 响应迅速。在每 $1/6$ 周期内仅需使用一个电压空间矢量, 系统功率管开关频率低, 开关损耗小。但按六边形轨迹控制定子磁链时, 磁链幅值存在 6 倍频脉动, 从而导致较大的电流脉动。

参考文献:

- [1] 阮毅, 陈伯时. 电力拖动自动控制系统-运动控制系统: 4 版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] 周扬忠, 胡育文. 交流电动机直接转矩控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [3] 曾国树, 方瑞明. 异步电机直接转矩控制系统及其仿真[J]. 防爆电机, 2005, 40(4): 23-26.
- [4] 李永东. 交流电机直接转矩控制策略综述[J]. 变频器世界, 2004, (4): 5-9, 58.
- [5] 朱鹏程, 康勇, 陈坚. 异步电机直接转矩控制系统研究[J]. 电力电子技术, 2003, 37(1): 44-46.
- [6] 郭冀岭, 王君瑞, 王远波. 基于 MATLAB/Simulink 的异步电机直接转矩控制系统仿真[J]. 电机技术, 2005, 22(3): 18-21.

Study on Direct Torque Control System of Asynchronous Motor Based on Hexagon Track of Flux

LI Ying^{1,2}, ZHONG Hong-sheng², LUO Yi¹

- (1. School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China;
2. School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: Direct torque control technique based on hexagon track of flux accomplishes two-point control for electromagnetic torque by Alternating function of travel voltage vector and zero voltage vector produced by inverter. Real torque in accord with the given torque can realize. The DTC system consists asynchronous motor, inverter, speed regulator, flux hysteresis controller, torque hysteresis controller and etc. Flux tracks, current curves, torque waveforms, speed waveforms are simulated in this paper. The results demonstrate the system is reasonable and effective.

Key words: asynchronous motor; direct torque control; voltage space vector; hexagon track of flux; simulation