

永磁同步电机转子起始位置检测新方法

任 彧, 曹 鹏

(杭州电子科技大学 软件与智能控制研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对目前永磁同步电机(PMSM)起始位置检测方法存在依赖精确的电流检测电路或需要复杂的建模和计算等问题,提出了一种永磁同步电机起始位置的新型检测方法。该方法在电机加电启动时按一定顺序给电机施加 24 个特殊空间矢量,使电机转子在较短时间内产生微小抖动,通过判断抖动的方向来推算此时电机的转子位置,该方法具有简单易实现的优点。实验结果表明,该方法具有较好的检测效果,检测过程中电机转子无明显抖动,检测结果准确,电机启动过程平稳。

关键词: 永磁同步电机; 初始位置; 空间矢量; 磁极; 增量式编码盘

中图分类号: TM301

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)12-1509-03

Novel detecting method for starting rotor position of permanent magnet synchronous motor

REN Yu, CAO Peng

(Institute of Software and Intelligence, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The present starting rotor position of permanent magnet synchronous motor(PMSM) detecting methods relied on accurate current detection circuits or complex modeling and calculation. To avoid these problems, a new method was presented to detect starting rotor position of PMSM. The method exerted a certain order of 24 special space vectors on motor when motor is powered up and generated small jitter on rotor in a short time. By judging the direction of jitter, the rotor position could be estimated. Besides, this method is easy to realize. The experimental results indicate that this method can obtain satisfactory result, and makes the motor start smoothly.

Key words: permanent magnet synchronous motor(PMSM); starting position; space vector; magnetic pole; incremental encoder

0 引 言

永磁同步电机初始位置的确定是伺服电机控制的基础,也是有效控制永磁同步电机的起点。初始位置检测不准确会导致电机反转、电机无法启动等故障,在实际工程应用中永磁同步电机启动时是不允许出现反转的,故永磁同步电机初始位置的确定是伺服电机控制方法较为重要的部分。

初始位置的检测一直是伺服电机控制的热点问题之一,通过电机的磁饱和特性^[1-4]来检测电机初始位置是常用的一种方法。该方法给电机施加相同幅值、不同相位的电压矢量,考虑绕组电感饱和效应,当电压矢量相位和转子位置一致时,直流电流响应最大。通过观测直流电流响应的最大值,即可估计电机初始位置。磁饱

和特性检测转子初始位置的方法原理简单,检测过程转子保持静止,满足广泛的工程应用,但是该方法依赖于精准的硬件电流检测电路,且在电机保持静止时电流响应变化不大,所以实现过程比较困难。常用的方法还有高频注入法^[5-8],高频注入法是在基波激励上叠加一个三相平衡的高频电压或电流信号或者是一个脉振的高频电压信号,然后检测电机中对应的电流或电压响应并通过特定的信号处理来获取转子位置信息的自检方法。高频注入法检测过程转子也是静止,且检测结果准确,但是该方法要进行大量数学建模和计算,算法复杂,难于实现。通过对电机启动时微小的转动方向来确定电机起始位置的文章^[9-11]也屡有发表,但笔者尝试后发现实际检测效果并不理想。

本研究通过给电机施加 24 个特殊空间矢量,使电

收稿日期: 2011-06-10

作者简介: 任彧(1963-),男,浙江上虞人,教授,硕士生导师,主要从事计算机智能控制、计算机网络技术方面的研究。E-mail: renyu@hdu.edu.cn

机转子产生微小抖动,通过判断抖动的方向来估算电机的转子位置。该方法原理简单,不依赖精准的硬件电路,也不需要复杂的建模和计算,易于实现,检测结果准确。虽然在检测过程中电机转子有微小抖动,但只要控制这种抖动在工程允许范围内就可以用于工程应用。

1 电机起始位置检测原理

检测电机转子的初始位置,其实就是找出电机上电以后转子的一个磁极 N 所对应的编码盘编码。设电机转子的极对数为 n , 转子转一圈编码盘的输出编码为 M , 电机编码盘一圈 M 个编码被极对数划分成了 n 个区域。记转子中的两个磁极 N 为 $N_1、N_2$, 当 N_1 转过一定角度与原先的磁极 N_2 重合时, 此时磁极 N_1 的编码转过了 M/n 的整数倍。转子初始位置相差 M/n 的整数倍对于电机启动而言没有影响。所以确定转子磁极 N 的初始编码只需在 M/n 的范围内来寻找。

1.1 特殊空间矢量

本研究中逆变器采用空间矢量脉宽调制(SVPWM),其输出为对称的三相脉宽调制电压,波形如图 1 所示。在图 1 中,横轴表示电角度,纵轴表示逆变器输出的三相电压经过电机线圈耦合之后的电压波形。其电角度转过 360° 时, 电机转子的一个磁极 N_1 正好转到下一个磁极 N_2 , 并与之重合。

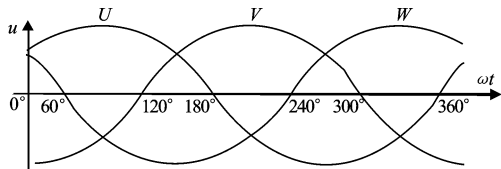


图 1 电机正常转动时三相电压波形

当电机出厂以后其增量式编码盘位置就固定了,所以每个空间矢量所对应的编码就确定。本研究中提到的“特殊空间矢量”就是已知编码盘编码的矢量。本研究从空间矢量中每隔 15° 电角度取一个,共 24 个矢量,通过自检的方式获得这 24 个矢量的编码值。其自检过程为:在电机空载时给电机施加这 24 个特殊空间矢量,此时电机不会平稳地旋转。当电机转子转过零点以后,增量式编码盘数据得到修正,电机转子位置确定。此时每个特殊空间矢量对应一个编码,从而得到 24 个已知编码的特殊空间矢量,将这些编码存入系统 Flash,用于以后每次系统上电之后的转子初始位置检测。

1.2 检测步骤

本研究利用 24 个特殊空间矢量,就可以推算以后电机每次上电时的转子初始位置。其基本思想为:当对电机施加相邻几个特殊空间矢量的时候,如果电机转子总是在这个位置附近重复正、反转动,则认为电机的磁

极一个 N 的位置就在这几个矢量所对应的编码附近。

具体步骤如下:

(1) 规定逆时针为正方向,电机启动转子规定要正转(或反转)。施加特殊空间矢量 F_0 ,逐步加大电流,一旦检测编码盘有变化则停止输出。只要控制电流步进加大的速度,这样就可以保证转子每次转动幅度不会超过一个编码盘编码,如图 2 所示。

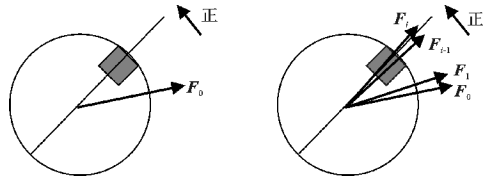


图 2 施加矢量 F_0 图 3 转子在 $F_{i-1}、F_i$ 附近来回转动

(2) 判断电机转子是否正转,若电机反转,改为施加下一矢量,重复上述过程判断转动方向,直到电机正转为止。

(3) 当电机正转以后,判断此次施加的矢量和前两次施加的矢量是否都不相同:

① 若都不相同,说明转子位置并不在这几个矢量对应的编码附近。将“同一位置抖动次数”清零;同时改为施加上一矢量,重复步骤(2),看电机转子是否在相同的位置上正、反转动。

② 若此次矢量与前两次矢量中任意一个相同,说明转子位置有可能就在这几个矢量对应的编码附近。但为了消除偶然性的影响,还需继续判断检测的正确性。将“同一位置抖动次数”加 1;同时改为施加上一矢量,重复步骤(2)看电机转子是否在继续在相同的位置上正反转动。如图 3 所示。

(4) 如果“同一位置抖动次数”达到一定次数 α ,说明转子已经连续 α 次在某几个矢量间抖动。且如果此次电机转动方向为正,说明初始位置已经检测准确,电机的一个磁极 N 就在此处。即转子的一个磁极 N 所在位置为此时施加的矢量所对应的编码。

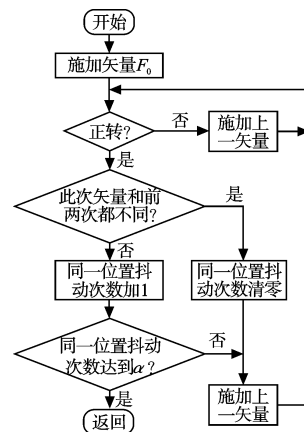


图 4 检测过程流程图

(5) 对电机施加连续的空间矢量脉宽调制电压,启动电机,等电机转子转过零点以后再对电机转子位置做修正,消除误差。

在上述检测过程中 α 的取值不能太小,太小则不能说明检测的准确性;同时也不能太大,太大则检测时间过长。笔者通过多次试验,得出 α 的取值在 5~10 之间效果较好。本研究中 α 的取值为 10。电机起始位置检测过程流程图如图 4 所示。

2 电机起始位置检测实验

本研究的实验平台采用台达伺服电机 ECMA-G31309PS, 扭矩为 8.59 N·m, 功率为 0.9 kW, 极对数为 5。电机编码盘采用 2 500 线增量式编码盘, 经过 4 倍频后电机转一圈输出 10 000 个编码。控制芯片使用 TI 的数字信号处理芯片 TMS320F2808。

2.1 电机自检

自检测得 24 个特殊空间矢量的编码过程:从图 2 中每隔 15°电角度选取一个矢量共 24 个矢量。例如 0°时, 矢量 F_0 为: {0.000 000 0, -0.866 025 4, 0.866 025 4}, 15°时矢量 F_1 为 {0.258 819 0, -0.965 925 8, 0.707 106 8}, 依此类推。本研究对空载的电机按顺序施加这 24 个矢量, 每次施加后要有时间空余, 使电机有短暂停顿, 形成间歇性的旋转。当电机转过零点以后记录每次间歇时编码盘的编码, 这个编码值就是此次施加的矢量对应的编码值。本研究将这些编码值存入系统 Flash, 如表 1 所示。

表 1 特殊空间矢量对应的编码值

矢量	F_0	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
编码	1 464	1 488	1 500	1 636	1 796	1 824	1 836	1 964
矢量	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}
编码	128	152	168	308	464	492	504	640
矢量	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}
编码	796	820	832	972	1 128	1 160	1 168	1 308

2.2 启动过程初始位置检测

检测初始位置的一次数据如表 2 所示, 其中 *Shift* 表示转子转动移动的编码数, *Shift* 为负表示转子反方向转动, 为正表示正方向转动, α 表示“同一位置抖动次数”。

从表 2 中可以看出, 前 5 次检测转子转动都为反方向(顺时针), 第 6 次开始变为正方向, 此后一直在矢量 F_4 、 F_5 、 F_6 之间来回转动, 最后等到 α 加到 10 且电机转子此次是正转时, 则表明转子位置已经检测准确。检测结束, 把 F_6 对应的编码 1836 作为电机转子初始位置编码, 对电机编码盘做修正, 启动电机。等转子转过零点后, 对编码盘数据做进一步修正, 消除误

表 2 一次检测过程数据

次数	矢量	转动方向	下次矢量	<i>Shift</i>	α
1	F_0	反	Next	-1	0
2	F_1	反	Next	-2	0
3	F_2	反	Next	-3	0
4	F_3	反	Next	-4	0
5	F_4	反	Next	-5	0
6	F_5	正	Last	-4	0
7	F_4	反	Next	-5	1
8	F_5	反	Next	-6	1
9	F_6	正	Last	-5	1
10	F_5	正	Last	-4	1
11	F_4	反	Next	-5	2
12	F_5	反	Next	-6	2
13	F_6	正	Last	-5	2
14	F_5	正	Last	-4	3
15	F_4	反	Next	-5	4
16	F_5	反	Next	-6	4
17	F_6	正	Last	-5	4
18	F_5	正	Last	-4	5
19	F_4	反	Next	-5	6
20	F_5	反	Next	-6	6
21	F_6	正	Last	-5	6
22	F_5	正	Last	-4	7
23	F_4	反	Next	-5	8
24	F_5	反	Next	-6	8
25	F_6	正	Last	-5	8
26	F_5	正	Last	-4	9
27	F_4	反	Next	-5	10
28	F_5	反	Next	-6	10
29	F_6	正	Last	-5	10

差。实验表明此次启动过程平稳, 转子抖动幅度为 6 个编码, 满足工程应用要求。

对于检测过程中电机转子的抖动幅度, 本研究从 F_0 开始给电机施加 24 个特殊空间矢量, 不管电机正转还是反转, 在最坏的情况下, 施加的矢量走完 1 圈(24 个)后电机转子方向肯定改变。之后便在改变方向处来回抖动, 而且每次抖动幅度能控制在 1 个编码, 所以在最坏的情况下整个检测过程中转子相对于原始位置偏离幅度不会超过 24 个编码。

3 结束语

本研究通过给电机施加 24 个特殊空间矢量, 判断电机转子的微小转动方向, 以确定电机的初始位置。通过实验证明该方法能正确估算出电机转子初始位置, 电机启动过程平稳, 且实现过程简单, 不依赖精确的硬件电路也不需要复杂的建模和计算, 检测过程中转子微小抖动幅度不会超过 24 个编码, 满足工程应用要求, 可以用于工程应用。

(下转第 1546 页)

投资之前,必须深入去研究各开发区的产业政策和投资相关因素,最后在开发区层面做选择。需要强调的是,尽管总得分具有一定参考价值,但从八大因素来全面衡量各城市各细分产业的投资环境将更为准确。

另外,八大因素的评价体系主要侧重于当地的投资环境及相关产业的成熟度,在进行产业转移研究时,还应当结合“城市欢迎度”与“产业吻合度”评价维度,综合考虑相关城市对于产业转移的接纳程度,以及自身企业产业转移的特点与要求,采取“分区分项、重点深入”的研究方法,综合分析后再得出结论。

4 结束语

产业转移是经济全球化的必然趋势,全球化使得国际产业结构调整的速度加快。我国的产业转移主要是从劳动密集型产业、加工制造业和资源型加工业开始,产业转移从发达地区向欠发达地区渐次推进,这是一种经济发展的大趋势。它的优点主要有:①促进了区域产业结构的调整;②促进了区域产业的分工与合作;③改变了区域地理环境;④改变了劳动力就业的空间分布。而承接产业转移是各地区扩大开放的快捷通道,是加快经济社会发展的必然选择。因此,不管转移方向如何,转移规律如何,只要各地区能基于自身的基本情况,确定其地区的比较优势和经济状况,在产业转移浪潮中取长补短,本着互惠互利的精神制定适合的经济策略,将有限的资源配置到强势领域,同时将非核心业务或者产业链转移,就能实现更有效

率的价值增值,提高本地区的综合实力,提升本地区在国家经济新格局中的地位,最终实现经济的共同可持续发展。

参考文献(References):

- [1] 王有捐. 中国城市统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2009.
- [2] 国家统计局. 中华人民共和国 2010 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].[2011-02-28]. http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20110228_402705692.htm.
- [3] 国家发展改革委. 长江三角洲地区区域规划[EB/OL].[2010-05-24]. http://www.gov.cn/gzdt/2010-5/24/content_1612730.htm.
- [4] 福布斯公司. 2009 福布斯中国大陆最佳商业城市[EB/OL].[2010-05-13]. <http://www.forbeschina.com/list/479/more>.
- [5] 倪鹏飞. 2010 城市竞争力蓝皮书 - 中国城市竞争力报告[M]. 北京:社会科学文献出版社,2010.
- [6] 国土资源部土地利用管理司,中国土地勘测规划院. 2009 中国城市地价状况[M]. 北京:地质出版社,2010.
- [7] 中国人力资源外包网. 2010 全国各省市最低工资标准最新数据汇总 [EB/OL].[2010-09-01]. <http://www.hros.cn/zdgz/default.sap>.
- [8] 数据中华网. 1999-2010 年度生产总值和国内生产总值增长率[EB/OL].[2010-09-01]. <http://data.allchinadata.com>.
- [9] 王 坚. 2009 世界制造业重点行业发展动态 [M]. 上海:上海科技文献出版社,2010.
- [10] 中华人民共和国国务院. 装备制造业产业调整和振兴规划 [EB/OL].[2010-09-30]. http://chinanews.xinhuanet.com/jzb/2009-05/12/content_16502078.htm.

[编辑:张 翔]

(上接第 1511 页)

参考文献(References):

- [1] KUBOTA H, SHIBANO Y. Initial Pole Position Estimation of IPMSM with DC Link Current Measurement Approach for Weak Saturation Effect Machines [C] //Power Conversion Conference-Nagoya, 2007. PCC '07. Nagoya,Japan:[s.n.], 2007:302-307
- [2] YAN Ying, ZHU Jian-guo, GUO You-guang. et al. Numerical Simulation of a PMSM Model Considering Saturation Saliency for Initial Rotor Position Estimation [C]// The 27th Chinese Control Conference. Kunming:[s.n.],2008:114-118.
- [3] 杜金明,安群涛,孙 力. 基于饱和效应的面贴式永磁同步电动机转子初始位置检测 [J]. 电机与控制应用, 2009,36(7):53-56.
- [4] 陆华才,徐月同,杨伟民,等. 表面式永磁直线同步电机初始位置检测方法[J]. 浙江大学学报:工学版,2008,22(5):835-838.
- [5] WANG Gao-lin,YANG Rong-feng,WANG Yang-wei,et al. Initial Rotor Position Estimation for Sensorless Interior PMSM with Signal Injection[C] // The 2010 International Power Electronics Conference. Sapporo,Japan:[s.n.], 2010:2748-2752.
- [6] WAN Shan-ming, WU Fang. Initial rotor position estimation of permanent magnet synchronous motor based on high frequency voltage signal injection method [J]. **Proceedings of the CSEE**, 2008, 28(33):82-86.
- [7] 贾洪平,贺益康. 基于高频注入法的永磁同步电动机转子初始位置检测研究[J]. 中国电机工程学报,2007,27(15):15-20.
- [8] 刘 毅. 基于高频注入的永磁同步电动机无传感器运行研究[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2005.
- [9] 任 彧,王佳琪,楼健人. 永磁同步电机双向检测启动控制的研究[J]. 机电工程,2008,25(10):46-48.
- [10] 杨 勇. 基于模糊自整定的改进型永磁同步电机矢量控制仿真研究[J]. 机电工程技术,2010,39(8):47-49.
- [11] 黎永华,皮佑国. 基于磁定位原理的永磁同步电机转子初始位置定位研究[J]. 电气传动,2010,40(3):28-31.

[编辑:张 翔]