

变频冰箱压缩机用无刷直流电动机的研制

石日祥,荣联春,石晓波,巨小平(广州冷机股份有限公司,广州市 510470)

摘要:介绍了变频冰箱压缩机用无刷直流电动机的工作原理、基本设计思路和关键技术。应用的直流无刷压缩机样机已通过各项试验验证,具有效率高、噪声低等诸多优点,达到了国际先进水平,填补了国内冰箱压缩机的一大空白。

关键词:无刷直流电动机;变速压缩机;控制器

1 前言

随着电力电子技术的发展,MOSFET、IGBT等大功率开关器件价格的不断下降,无刷直流电动机控制技术的逐步成熟,为直流无刷电动机用于可变速冰箱压缩机系统打下了良好的基础。加之市场竞争对冰箱节能、低噪音提出了更高的要求,使得无刷直流电动机应用于冰箱压缩机已成为一种发展趋势。

本文重点介绍这种压缩机的工作原理及无刷直流电动机的结构。

2 变速压缩机在变频冰箱上的工作原理

冰箱工作室通常分为冷藏室和冷冻室。传统冰箱是通过感应冷藏室的温度来控制压缩机的工作状况,当冷藏室温度 T 与设定温度 T' 的差值 ΔT 小于某一阈值时,于是压缩机就停止制冷;当 ΔT 大于阈值时,压缩机又通电起动,工作系统制冷,直至温度下降到设定范围,如此反复。

变频冰箱使用了变速压缩机,该种变速压缩机采用了可调速电机。通过改变电动机的转速来改变压缩机的制冷量。传统压缩机采用单相异步电动机,工作转速在 2900r/min(使用 50Hz 电源)左右或 3500r/min(使用 60Hz 电源)左右。变速压缩机则采用无刷直流电动机,其工作转速在 1600r/min ~ 4000r/min 之间,使得压缩机的制冷能力有很大的可调范围(1:2.5)。变频冰箱的工作原理为:在冰箱工作室的温度与设定温度之差 ΔT 较大时,压缩机以高速运转,以获得快速制冷的效果。随着温度降低, ΔT 小到一定范围时,压缩机以低速运转。当 ΔT 减小到一定程度时,压缩机停机。由于压缩机以较低的转速运转,所以压缩机的开停次数较普通压缩

机少。另外,一个非常重要的因素,由于机械运转与流体力学的规律,变频压缩机在低转速时的效率也很好。但由于润滑的原因,转速不能太低。

由于下面三点的原因,使得变频冰箱的能耗大幅下降。

(1) 直流无刷电动机的效率高于传统单相异步电动机。

(2) 冰箱低负荷时,输入功率很低。

(3) 由于减少了开停机次数,减少了起动过程的功耗。

本论文将一款普通的冰箱 BCD-245 改造为变频冰箱,进行了耗电量的对比实验,普通 BCD-245 耗电量为 0.99kWh/24h,使用变频压缩机后耗电量为 0.74kWh/24h,节能 25%。使用变频压缩机后,有明显的节能效果。图 1 为普通型的 48 小时耗电量测试曲线与变频型的 48 小时耗电量测试曲线的对比示意图。

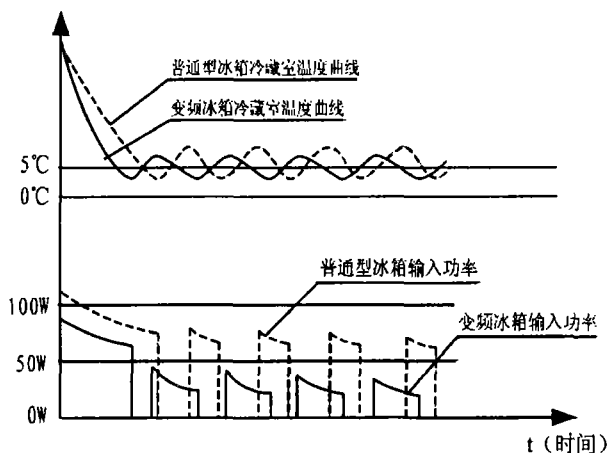


图 1 普通型与变频型冰箱耗电量对比

3 国内外现状及发展

为了减小二氧化碳(CO₂)的排放量,及由此带来的温室效应,国际上先后对家用电器行业实施节能限制法规,例如美国,在2001年7月份实施冰箱节能法规,新规定要求的耗电量比原来的下降30%。日本在现行指定有强制性能耗标准的9种机器外,增加电冰箱等机器,并引进第一名标准方式,争取大幅度地改善耗能效率。在我国,中国家电协会计划在2003年推出电冰箱节能标志法规,执行新的冰箱能耗标准。根据冰箱厂的研究,压缩机性能系数COP值的提高对冰箱的节能有直接的成正比关系,是冰箱降低耗电量的主要手段。目前,各冰箱压缩机厂家完成了氟利昂替代工作后,将主要的研究开发精力投入到压缩机节能工作上。压缩机提高效率主要在电机、机械系统、气阀效率等方面改进提高。在提高电机效率方面,传统的方法主要为:(1)采用电容运转单相电机;(2)在绕组、冲片上对电机进行优化设计。但这些方法对电机效率提高是有限的。

近年来,随着电机技术的发展,国外先进压缩机制造商已将一些高性能电动机,如直流无刷电机、单相永磁同步电机运用在冰箱压缩机上。这些技术上的革新,带来了效率上的大幅度提高。尤其是由于目前电力电子技术的飞跃发展以及电子元件的成本日益降低,使得无刷直流电动机驱动的冰箱压缩机系统(又称“变频压缩机”)不仅具备高效,而且另外具有一个非常有优势的特点是转速可调节。控制器根据冰箱各室温度以及开门频率等因素来控制压缩机转速及开停,使得压缩机更加合理、高效的工作。在通常情况下压缩机工作在较低的转速,减少开停的次数,这样不仅使噪声较低,而且进一步提高了压缩机的效率。从一些资料来看,最终获得的节能可达到30%,从我们的实际测量结果来看,也有25%左右的提高。

无刷直流电动机研究早在20世纪50年代开始起步,随着电力电子技术的快速发展,永磁材料的不断发展,无刷直流电动机被广泛应用于工业生产中,如计算机磁盘驱动、数控精密机床、航空航天等方面。90年代开始,由于对冰箱压缩机高效率、低噪声的追求,外国先进压缩机制造商纷纷开展把无刷直流电动机应用于冰箱压缩机上的研究工作,变频冰箱压缩机技术已经逐步走向成熟。尤其是90年代后期,不少

制造厂商逐渐形成商业化生产能力,如国外的EMBRACO、ZANUSSI、MATSUSHITA等公司已经有相关的产品在中国市场上销售。尤其是日本的一些制造厂商,以MATSUSHITA为代表,利用自身在电子产品方面的优势,最早进行该课题的研究开发工作,它将压缩机驱动与冰箱控制作为一个整体来进行设计,其技术在这方面都比较成熟。由于国内无刷直流电动机的研究起步较晚,国内压缩机厂在新技术的研究开发一直滞后于国际先进水平,加上各厂在电力电子技术方面的欠缺,因此,近两年国内压缩机制造商才开始对变频压缩机的研究开发。它们依靠国内大学的研发能力以及一些电子产品生产商的支持开始研究相关产品以及开展市场化的工作。例如我公司在1999年承担了国家经贸委技术创新“冰箱用变频压缩机”的课题,开始这方面的研究工作。

4 无刷直流电动机系统的结构

4.1 无刷直流电动机基本结构

无刷直流电动机系统由(1)无刷直流电动机(BLDCM)、(2)电子控制器两部分组成。

无刷直流电动机的系统结构示意图如图2。

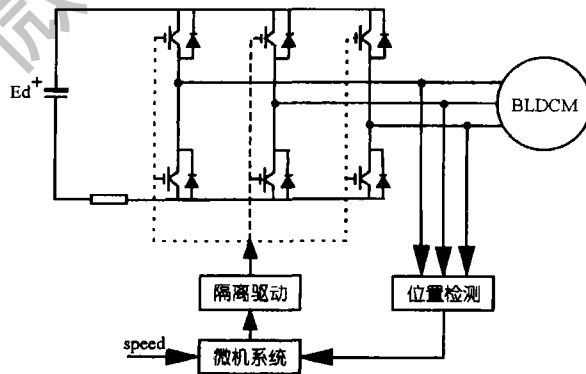


图2 无刷直流电动机结构示意图

位置检测分为有位置检测和无位置检测,由于在冰箱压缩机封闭式结构中,电机工作在高温、制冷剂及润滑油的环境中,如果使用有位置传感器,可靠性势必会降低,还增加了系统的成本。随着无刷直流电动机控制技术的发展,无位置检测方法的提出使BLDCM运用于冰箱压缩机成为现实。本文采用端电压检测法来进行转子位置的检测。

4.2 无刷直流电动机的结构

无刷直流电机(BLDCM)具有直流有刷电机的线性速度和力矩的特性,但它是由电子控制代替电刷。

BLDCM具有三相多磁极结构,而不是普通的单相(或两相)鼠笼式异步电机。BLDCM转子装配有永久磁铁,而不是传统的铝条鼠笼式转子。

图3、图4为两种电机的结构示意图。

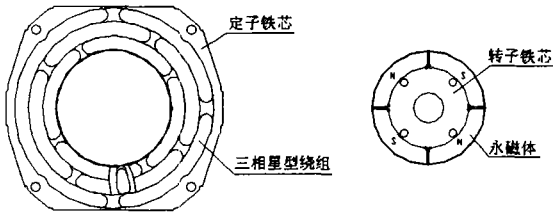


图3 无刷直流电机

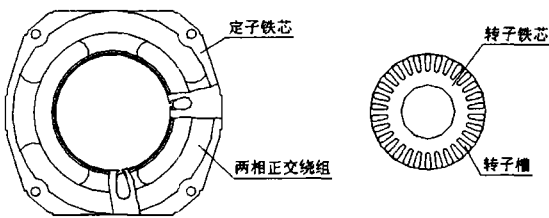


图4 单相异步鼠笼电机

5 无刷直流电动机的设计

5.1 本项目设计的电动机的名称为ADV72,设计功率为120W。其结构和设计参数如下:

a、相数:3 定子槽数:24 转子极对数:2

b、转子磁路结构:铁氧体表面安装式,图3为该种电机的结构示意图。

c、绕组:电枢绕组为单层分布式短距绕组,三相绕组星形连接。

d、永磁体参数:永磁体选用Y30H-2,主要数据如下:

剩磁密 $B_r = 395 \sim 415 \text{ mT}$

矫顽力 $H_{cb} = 275 \sim 300 \text{ kA/m}$

内禀矫顽力 $H_{cj} = 310 \sim 335 \text{ kA/m}$

最大磁能积 $(BH)_{\max} = 28.5 \sim 32.0 \text{ kJ/m}^2$

5.2 直流无刷电机的电磁计算

本课题采用等效磁路的方法对电动机进行分析计算。计算数据与实验数据进行了比较,结果显示,计算结果具有足够的精度,能够满足工程设计要求。为了使电机计算程序便于操作,本课题用Visual Basic计算机语言对ADV72电动机额定点性能参数进行了电磁校核计算,其校核结果见表1。

表1 ADV72电动机点性能参数

额定功率	额定转矩	额定转速	额定电流	效率
120W	0.39Nm	3000r/min	0.84A	88%

5.3 ADV72电机的测试结果

图5为实际测试得到的不同转速时电机的转矩-效率曲线。实际测试的结果与计算结果基本一致。该曲线显示ADV72电机在低转速(2000r/min)、低负载(0.2Nm)时也保持着较高的效率。所设计的变频冰箱的压缩机长期运行在该转速和负载点附近,在ADV72电机的设计上也是尽可能提高该点的效率。

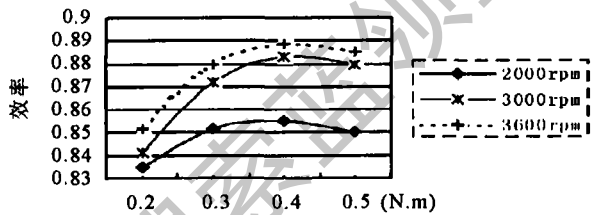


图5 ADV72型电机转矩-效率曲线

6 无刷直流电动机控制器

由于变频冰箱的控制通常采用转速负反馈控制技术,通过检测转子位置 θ ,由 $d\theta/dt$ 获得电机转速。用该转速与设定转速相比较,控制输出电压,使实际转速趋近设定转速。以下为无位置传感器无刷直流电动机的控制器设计的几个要点。

6.1 位置检测

本文采用端电压检测法来检测转子位置。对一个无刷直流电动机驱动系统来说,在任何时候只有两相导通,而另外一相为关断相,处于关断相的绕组正好在关断期间反电动势过零,该反电动势的过零点也就是转子位置的信息。端电压信号 V_A 、 V_B 、 V_C 通过图6所示的滤波电路得到所需要的转子位置信号CPA、CPB、CPC送到微机控制系统。

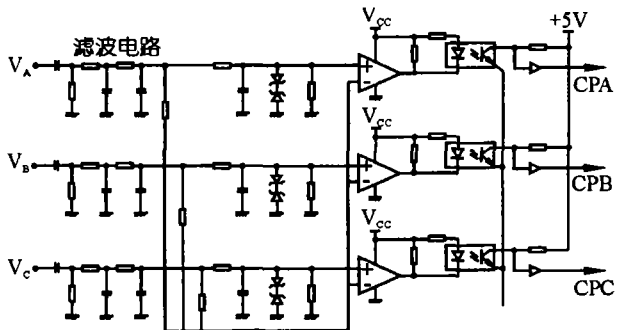


图6 无源带通滤波器提供转子位置信号

6.2 电动机的起动

由于在电动机停止时,不能产生反电动势,所以端电压检测法必须要有一个起动程序。一种成熟的起动方案三段式起动技术被采用:(1)定位,先导通逆变器的两个功率器件给两相绕组导通一个较小的电流,使转子转到一个预知的位置。(2)加速,由微控制器产生一个频率很低的同步信号,逐步升高同步信号的频率,同时增加施加于电机的电压,电机在不失步的前提下逐渐提高转子转速。(3)切换到无刷直流电动机状态,电机加速到足够高的转速时,用有效的转子位置信号代替同步信号就实现由同步电机运行切换到直流无刷电机运行。

为了实现平滑的起动,必须紧密地监测同步信号与转子位置信号的相位差 $\delta(\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots)$,当 δ/T 等于或小于设定值 α 时,切换到无刷直流电动机状态。如图 7 所示。

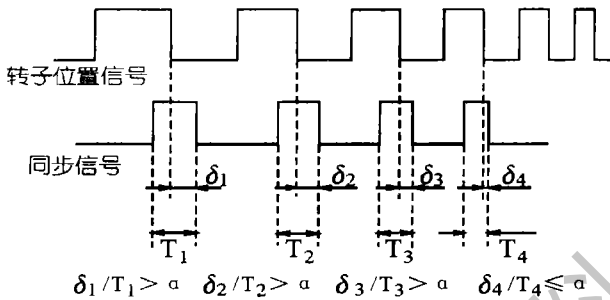


图 7 电机切换过程相位关系

6.3 无刷直流电动机控制器设计

(1) ADMC328 简介

ADMC328 芯片是美国模拟器件公司推出的电机控制专用的 DSP 芯片,具备结构紧凑、使用方便、功能强的特点。它仅有 28 个引脚,其内部除有一个与 ADSP-2100 兼容的 20MIP 定点 DSP 的 ADSP-2171 系列内核外,还包括了 512×24 位的程序存储器 RAM, $4K \times 24$ 位的程序存储器 ROM, 三相六路输出的高精度 PWM 发生器, 六路高转换精度的 12 位 A/D 转换通道, 2 路 D/A 转换通道, 1 个双缓冲串行口, 8 位可多功能复用的输入/输出 PIO 端口。16 个中断源以及上电复位电路以及 16 位监视定时器等。

(2) 控制系统原理图

由于 ADMC328 的强大功能,使得 A/D 转换、PWM 生成、转子位置检测等电路都可以利用 ADMC328 自身所带的功能来实现。使得外围电路大大简化,降低了控制所消耗的成本。图 8 为控制系统原理图。

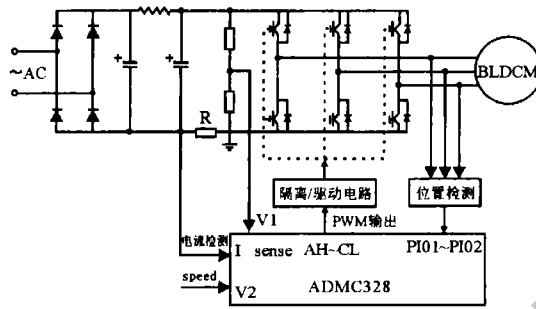


图 8 控制系统原理图

a) 转子位置信号的检测

ADMC328 拥有 8 位数字输入/输出端口,每一输入在上升沿或下降沿可产生一个中断。选择三个输入端口作为三个位置信号输入端口使用。

b) PWM 输出控制

PWMSEG 寄存器指示每个功率器件的 ON/OFF 状态,或某几路 PWM 输出。它独立于控制用来调节每相占空比的 PWMCHA、PWMCHB、PWMCHC 寄存器。在这里,PWM 输出不是用来控制功率器件控制信号的形状,而是作为斩波的功能,来控制施加到电机上的电压。

c) 过电流、欠电压、过电压保护

用直流母线上的采样电阻 R 检测直流母线的电流,当逆变器发生过流或短路时,管脚 ISENSE 因检测到的电流过大而产生保护信号,关闭逆变器,实现对逆变器的保护。通过分压电阻检测直流端的电压,该测量值由模拟输入端口 V1 读入,以实现欠/过电压保护。

d) 过热保护

除上述保护外,还需对压缩机进行过热保护。我们在控制器电源端串联一过热保护器,该保护器紧贴贴在压缩机外壳上。当压缩机壳体温度超过保护器的跳开温度时,保护器会切断电源;当压缩机壳体温度低于保护器的复位温度时,保护器复位使电源导通。

7 无刷直流电动机—冰箱压缩机的性能

表 2

检测项目	ADV72	ADW72
制冷量 W	220	210
COP W/W	1.65	1.35
转速 r/min	3000	2900
电机效率	88%	82%
电机类型	BLDCM	RSCR

注:RSCR 是电阻起动、电容运转电动机

轴向磁场交流电机气隙磁导的分析

曾育彬 (深圳市宝安区水資源开发总公司, 深圳市 518133)

摘要:依照轴向磁场电机中气隙磁导的分析,通过积分计算求出磁导的最大变化;采用经典磁导波理论研究,用变换的计算机程序进行谐波分析。分析表明:轴向磁场电机中定子磁导和转子磁导的变化和传统式电机的情况相似,而且转子齿谐波很小,从而使得总的损耗显著减少。

关键词:交流电机;轴向磁场;气隙磁导

1 引言

文献[1]、[2]早已论述了轴向磁场电机的结构。这种轴向磁场电机,定子铁芯夹在两个转子铁芯之间,定子铁芯由许多迭片齿组成,齿对称地分布成环

形,叠片齿由两块板固定在应有的位置,定子铁芯没有轭部而无需开槽。转子铁芯由带材绕成的环形铁芯制成,在表面均匀地开出许多转子槽,转子槽数与极对数一致。基本结构见图1。本文提供这种轴向

7.1 样机性能

使用直流无刷电机的压缩机性能大幅提高。对ADV72型压缩机(使用R134a工质)COP可以达到1.65,对比使用单相异步电机的压缩机ADW72提高22.2%。

7.2 在不同转速下压缩机性能

图9为不同转速下的压缩机性能系数(COP)曲线,从实验数据可以得出结论:

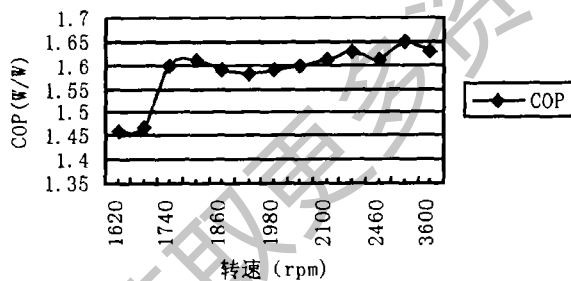


图9 ADV72不同转速下COP值实验数据

(1) 转速低于1740r/min时,压缩机COP值骤减。通过模拟试验,我们发现在电机转速低于1740r/min时,压缩机上油润滑系统不能有效工作。

(2) 压缩机在低转速时,虽然电机效率低,但由于压缩机摩擦功率小,压缩容积效率提高,所以整体效率下降很少。

(3) 在转速范围内,压缩机存在一系列的共振

点,当压缩机运行在这些共振点时,振动会明显加大,并且振动的加大会影响压缩机的效率。所以应该找出压缩机的共振点,并在设计上避免压缩机运行在这些共振点上及其附近。

在设计压缩机运行转速时,必须考虑润滑、共振和效率等诸多因素。

8 结论

实验结果显示,在使用无刷直流电动机驱动的变频冰箱压缩机比使用单相异步电动机驱动的冰箱压缩机性能系数(COP)提高20%左右,在冰箱实际运行中,由于低转速运行减少压缩机开停次数即减少了压缩机起动带来的功耗,冰箱耗电量降低25%左右,节能效果明显。我国具有丰富的铁氧体资源,目前直流无刷电机控制和制造的技术渐趋成熟,再加上人们对能效的重视,这些都为无刷直流电机驱动的冰箱压缩机的应用提供了有利条件。

参考文献:

- [1] 沈建新. 无位置传感器无刷直流电机及其控制系统. 西安交通大学硕士学位论文, 1994. 5.
- [2] Satoshi Ogasawa, Hirofume Akagi. An approach to position sensorless drive for brushless dc motor. IEEE Trans Industry Application, 1991, 27(5): 928 ~ 933.
- [3] 叶金虎, 等. 无刷直流电动机[M]. 科学出版社, 1982.
- [4] ANALOG DEVICES INC ADMC328 TECHNICAL DATA, 2000. □