

变频冰箱模糊控制及仿真研究

Simulation Study of Fuzzy Control on Refrigerator with Inverter

· 洪在地 Zai-di Hong, 朱军山 Jun-shan Zhu, 潘坚 Jian Pan, 黄加乐 Jia-le Huang, 胡哲 Zhe Hu, 黄龙春 Long-chun Huang

摘要 :节能和智能化是冰箱研制的主要主题,因此利用智能模糊控制技术控制变频冰箱成为冰箱开发的一个重要研究方向。本文分析冰箱系统的动态模型,详细介绍模糊控制技术在变频冰箱的应用,最后通过 MATLAB 建模仿真冰箱冷藏室、冷冻室空气温度场变化。仿真结果表明本文提出模糊控制方法在变频冰箱控制的有效性,具有较大的推广价值。

关键词 :变频冰箱 模糊控制 仿真 MATLAB

Abstract: Energy saving and intelligence control is a main refrigerator research subject, so the research and design of refrigerator with Inverter by fuzzy control is an important direction in refrigerator design. In this paper, a dynamic temperature model of refrigerator is proposed and then the use of fuzzy control on refrigerator with inverter is introduced. Finally, the temperature changes of refrigerator chambers are simulated by MATLAB software. The results show that the fuzzy control is valid to the refrigerators with inverter and it can be used widely.

Keywords: Refrigerator with Inverter, Fuzzy control, Simulation, MATLAB

1 前言

节约能源是促进经济社会可持续发展的需要。在呼唤节能的形势下,变频技术成为人们关注的热点。随着微电子技术、传感器技术以及控制理论的发展,变频技术日益成熟,变频技术应用越来越广泛,节能效果明显。家用电冰箱作为常用的家庭电器设备,品种多,需求量多,其节能也越来越得到重视。传统的定频冰箱压缩机转速恒定,温度控制装置、化霜装置等都是事先设定的,这就易使许多能量消耗在目的相异的各种动作及因缺少灵活性而发生的各种多余动作,造成器件的频繁开启,一方面造成器件损坏,维修成本高。另一方面,无法根据实际食品的冷量需要自动增加降低压缩机输出功率,因此温度的起伏较大,不利于食品保鲜,浪费了大量能量。变频冰箱使用了变频压缩机,该种变频压缩机采用了可调速电机。实际使用时通过改变电动机转速来改变压缩机的制冷量以匹配冰箱的实际负荷,温度波动小,制冷效率高,节能明显。

冰箱间室内温度受诸多因素的影响,如存入食品的初始温度、散热特性、热容量的大小、箱内物品的充满率、开门的频繁程度、环境温度的高低等。在大多数情况下,冰箱体内的温度场分布是极不均匀的,用数学模型难以精确描述,因此,用传统的PID控制难以达到预期的效果,这类控制系统最适合

于采用模糊控制技术。

平衡环境型量热计的测控系统是以微机为核心(如图2所示),对各部分的控制主要通过控制间微机系统的通讯接口与各设备连接。环境工况的控制过程主要是通过OPTO模块系统作为模拟量输入输出通道、开关量输入输出通道;带有模/数转换器的模拟量输入通道用来连接各类输出模拟信号的传感器(温度传感器、压力传感器等),也可直接用作的电压和电流的输入端。模拟量输出通道带有数/模转换器,使计算机能对模拟形式的执行机构进行控制。开关量输入通道用来接收外界以“开关”形式表示的信息,用来控制开关形式的执行机构^[2]。同时,OPTO进行部分数据采集,另由美国FLUKE进行系统100个点的数据采集,现场设备通过OPTO与控制设备连接。通过水流量表及7块LFE表进行PID控制,将采集数据与设定工况。

目前国内外对冰箱模糊控制研究相对较多^{[1]、[2]}而对变频冰箱模糊控制研究相对较少。本文研究变频冰箱模糊控制技术,提出一种有效的模糊控制方法,并在此基础上利用MATLAB中的SIMULINK模块、FUZZY CONTROL模块对冰箱间室温度模型进行仿真,仿真结果表明模糊控制在变频冰箱应用的有效性。此方法简单实用,易于实现的优点,值得推广研究和应用。

2模糊控制变频冰箱的工作原理及间室温度场仿真模型

变频电冰箱的温度控制系统是一个多输入多输出的控制多个箱温的制冷控制系统。冷冻室的温度为:-16~-24℃。冷藏室的温度为:2~8℃。冷冻室的温度控制通过对压缩机转速的控制实现,冷藏室的温度控制则是通过控制风门、风机将冷冻室冷量传给冷藏室来实现的。当电冰箱的温度模糊控制器检测到冷冻室的温度偏差信号 e_1 及其变化率 e_1' 后,根据 e_1 、 e_1' 直接控制压缩机转速;检测到冷藏室的温度偏差信号 e_2 后,综合考虑冷冻室与冷藏室的偏差信号 e_3 再对风机风门实施控制,使两室的温度协调分配冷量达到设定值。温度控制框图如图1所示。

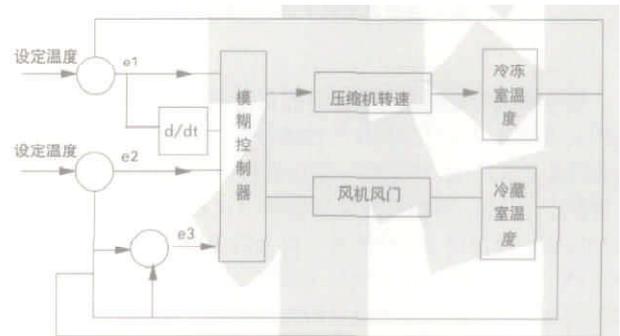


图1 变频冰箱温度控制图

本文根据图1所示原理,利用MATALAB中SIMULINK模块建立一冰箱间室温度控制系统仿真模型,如图2所示。图2右边是一个闭环温度场模型:间室内外温度干扰等共同作用于具有确定初始温度的冰箱间室模型,经空气导热延迟后再与给定值相比较得出正确的判断并调整,模拟冰箱各间室温度变化。^[4]在冰箱温度调节系统中,人们期望的系统动态相应规律和静态指标是已知道的,一般在开机前间室内温度较高,运行一段时间后,间室温度接近期望的温度,温度相应的要求函数解析表达式为:

$$T(t) = (T_r - T_0) (1 - e^{-t/\tau}) + T_0 \quad (1)$$

式中 T_r 为给定温度, T_0 为室内初始温度, τ 的值与压缩机制冷量和房间特性有关,对式(1)温度随时间变化的解析式经拉氏变换后得到 $T(S)$ 和 $Tr(S)$ 之间的传递函数:

$$\frac{T(S)}{Tr(S)} = \frac{1}{S + 1} \quad (2)$$

上式表明期望输入与输出结构为一阶惯性环节,可以作为仿真的模型。

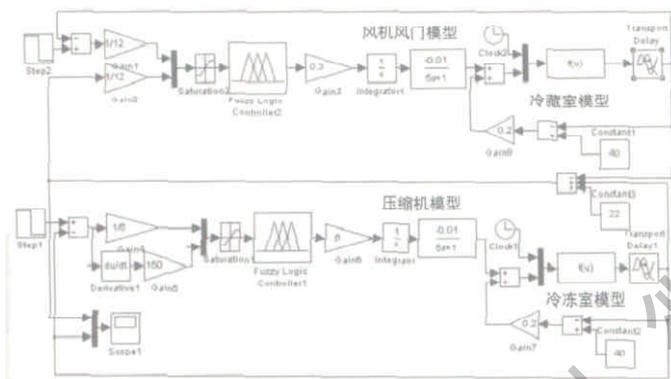


图2 冰箱间室温度控制系统的仿真模型

冰箱压缩机模型相当于一个积分环节与一个惯性环节的串联,其输入为频率给定的信号,输出为冰箱蒸发器变化,如图3。由模糊控制器给出控制信号 U ,经变频器转化为频率 f ,调节压缩机做功,再乘一个控制压缩机转速的惯性环节后相当于冰箱散热片温度变化。



图3 压缩机模型传递函数

为了简化模型,风机、风门模型传递函数同压缩机模型传递函数一样。

3 模糊控制器在变频冰箱的设计

电冰箱一般设有冷冻室和冷藏室。电冰箱控制的主要任务就是保持箱内食品最佳温度,达到食品保鲜的目的。冰箱温度控制是一个多输入、多输出控制系统,其输入是冷冻室和冷藏室温度,输出分别是压缩机和风机、风门控制。由于影响因素较多,相互关系比较复杂,难以建立精确的数学模型,同时存在观测状态和判断的模糊性。模糊控制不需要控制对象的精确数学模型,它是一种基于规则的控制,依据操作人员的控制经验和专家的知识,通过查表就可以得到控制量,实现简单,控

制效果好。为此本文提出基于变频冰箱的温度模糊控制方法。

3.1 冷藏室和冷冻室模糊控制器的结构

如图4所示,冷藏室控制器给定温度 TR_0 与实测温度 TR_1 的差值 $eR=TR_0-TR_1$ 及冷藏室温度与冷冻室温度之差 e_2 ,经模糊化后形成模糊量 ER, E_2 ,再经模糊推理输出控制风机转速及风门大小的频率 U 。考虑到冰箱系统的精度问题,本控制器输入省去传统模糊控制的温度变化率输入。

如图5所示,冷冻室控制给定温度 TF_0 与实测温度 TF_1 的差值 $eF=TF_0-TF_1$,由计算机算出变化 ecF ,经模糊化后形成模糊量 EF, ECF ,再经模糊推理输出频率给定信号 U 。

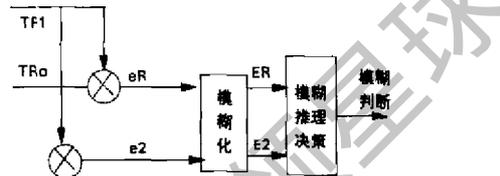


图4 冷藏室模糊控制框图

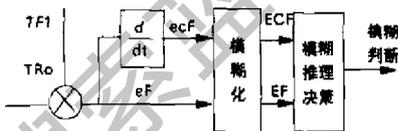


图5 冷冻室模糊控制框图

3.2 模糊化和参数设置

在模糊运算前,需要使用转型因子将温差和变化率的实际可能值转化为模糊量的论域。针对冷冻室温度系控制系统,有三个比例因子。

Ke 是将确定量 eF 转化为模糊输入量的比例因子,其大小决定了模糊量 EF 的覆盖域 $EF = \text{Int} (Ke eF)$ 。由仿真可以发现:随着 Ke 的减小,频率响应曲线的最大超调不断减小,超调次数也相应减少;相反 Ke 的增大缩短了响应时间,并且可以实现稳态无静差。这是因为 Ke 的减小扩大了控制区的死区范围,减小了速度上升速率,延长了响应时间。随着 Ke 减小温差覆盖加大,减小了最大超调和超调次数;相反, Ke 增大可以减小控制死区,加快速度上升速率,同时也减小了温差 E 的覆盖域,引起较大的超调,系统收敛慢,严重时会引起震荡。

Kec 是将确定量 ecF 转化为模糊量 ECF 的比例因子,其大小决定了模糊量 ECF 的覆盖域 $ECF = \text{Int} (Kec ecF)$ 。由仿真可以发现: Kec 的增加在一定程度上减小了系统最大超调,但超调次数却明显增加,且改变 Kec 的控制效果不是线性的。这是因为 ECF 也存在控制死区,其范围与 Kec 成反比,并且 Kec 的大小决定系统的灵敏度。增加 Kec 可增强系统的微分作用,使系统反应灵敏,但 Kec 过大可能会引起系统震荡;减小 Kec ,控制死区增大,系统反应变慢,最大超调量增加。因此为了达到较好的控制效果, Kec 的调节一定要配合 Ke 一起调节。(下转50页)

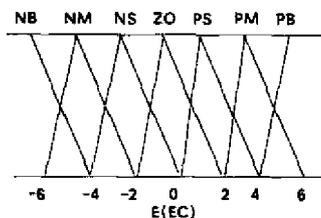


图6 温差论域模糊分布函数

口,必要时可与家用计算机或通讯设备连接而实现自动化控制。

5 结束语

总之,由于先进控制技术的综合运用,变频滚筒洗衣机比传统的洗衣机更具个性化功能,在洗净比、用水量、用电量、噪声等方面的优势无可比拟,实现了人们所希望的多种洗涤方式。如全能洗、节能洗、静音洗,真正的随心洗、随时洗等等。变频洗衣机的控制技术已经非常成熟,在于传统洗衣机的对比中必然会受到人们的青睐。

另外,我国稀土资源十分丰富,近年来永磁电机发展迅速;各大公司推出的智能功率模块应有尽有,其价格也开始下降。电机和控制器成本随着其生产批量的扩大也会不断降低,这为变频

洗衣机全面推向市场奠定了基础。

在水资源发生危机、大面积拉闸限电背景下,人们对节水、节能、健康、环保等因素已经超越了价格因素而成为消费者购买洗衣机时关注的焦点。科技引领时尚,优越的变频技术洗衣机必将引导新的消费潮流。

参考文献

- 1 虞国平,徐源.全自动洗衣机原理及维修.人民邮电出版社,1994.10
- 2 李志民,张遇杰.同步电机调速系统.北京:机械工业出版社,1996.48-50
- 3 许强,贾正春,等.自适应永磁同步交流主轴驱动的弱磁控制.中国机械工程,1998,(9)5:55-58
- 4 周韬,刘庆亮.基于超前角控制的永磁同步电机弱磁增速.2003.3.家电科技.总第二百零六期

(上接47页)

通过仿真可以发现调节冷藏室转型因子有着同样的作用。

3.3 系统搭建

冷藏室和冷冻室温差论域 $ER(EF, E2)$ 均为 $ER(EF, E2) = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 采用NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、ZO(零)、PS(正小)、PM(正中)和PB(正大)共7个模糊子集来描述,其模糊分布见图6。

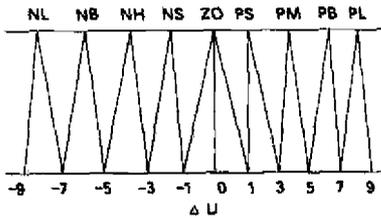


图7 输出频率增量论域模糊分布函数

其中隶属度函数 $\mu_{NB}(x)$ 为降半梯形分布, $\mu_{PB}(x)$ 为升半梯形分布,其余为三角形分布。温差变化率论域 ECF 、模糊子集选取与 E 的选取相同,如图6。风门、风机和压缩机转速输出频率增量均为 $U = \{-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ 用NL(负很大)、NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、ZO(零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大)和PL(正很大)共9个模糊子集来描述,见图7。冷冻室和冷藏室模糊控制规则为同一规则,见表1。

表1 模糊控制规则表

ER/EF U	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E2/EF NB	PL	PL	PL	PB	PB	PM	ZM
NM	PL	PB	PB	PB	PM	PS	PS
NS	PB	PM	PM	PM	ZO	NS	NM
ZO	PM	PS	ZO	ZO	ZO	NM	NB
PS	PM	PS	ZO	NM	NM	NB	NB
PM	NS	NS	NM	NB	NB	NB	NL
PB	ZM	NM	NB	NB	NL	NL	NL

根据上述的设定和表1的控制规则,通过MATLAB中FUZZY控制工具箱可得到模糊控制关系,离线进行U的矩阵运算控制表。控制规则采用最大隶属度决策法^[5]。在系统运行时,只需进行查表运算,就可得出控制量。

4 仿真算例

本文仿真模型如图2所示,采样周期为 $T=1s$,冷藏室和冷冻室设定温度为 $5^{\circ}C$ 和 $-18^{\circ}C$,间室初始温度均为 $40^{\circ}C$,式(1)中的对于冷藏室和冷冻室均取 $5400s$ 。仿真结果如图8、图9所示。经实际观测,仿真结果与冷藏室和冷冻室中的实际温度变化有较好的一致性。

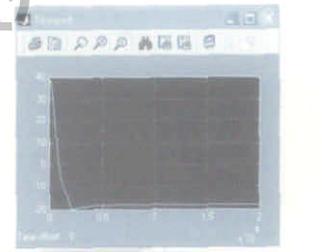


图8 冷藏室温度变化仿真结果图

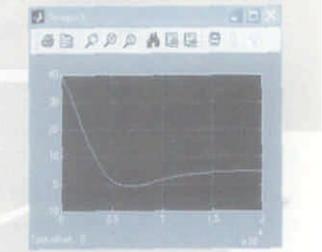


图9 冷冻室温度变化仿真结果图

5 结论

采用上述模糊控制技术能实现冰箱温度的精确控制,合理控制压缩机的转速,避免了压缩频繁停机,真正实现节能保鲜。

冰箱是非线性、时变、强耦合、多变量的控制对象,使得过分依赖于被控对象精确的控制数学模型的经典控制方法难以实现,因此更适合使用模糊控制技术。

针对变频压缩机的无法根据实际的负荷需要而自动调节压缩机转速来匹配制冷系统特点,适合采用技术成熟的变频技术,节省电能。

模糊控制技术将是电冰箱节能技术发展的一个方向,也将广泛应用于其它制冷设备上,同时配合变频技术和计算机网络控制技术,将从整体上提高电冰箱的控制技术,有利于冰箱的换代升级,提高在国际市场上的竞争力。

参考文献

- 1 余永权,曾碧.单片机模糊逻辑控制.北京航空航天大学出版社,1995,437~447.
- 2 李银华,杨存祥,胡智宏.BCD-278WB电冰箱模糊控制器的研制.郑州轻工业学院学报,1998,13(4):36-39.
- 3 江明,王龙明.单片机在电冰箱智能模糊控制中的应用.机电工程,2003,20(4):27-29.
- 4 曹仁贤,余世杰,张松林等.制冷空调的变频技术及模糊控制研究.合肥工业大学学报(自然科学版),1996,19(1):16-20.
- 5 章卫国,杨向忠.模糊控制理论与应用.西北工业大学,2001,40-60.