

基于 MC68HC908MR32 驱动的 BLDC 空调控制器

周 群、鲍于泉、陈友才、陈士英

合肥威师智能电子电器厂(230031)

摘要:介绍由 MOTOROLA 公司的 MC68HC908M32、MC68HC08JL3 单片机构成的 BLDC 空调控制器的方案, BLDC 空调控制器工作机理, 重点介绍 MC68HC908M32 在 BLDC 空调器中的使用方法。

关键词: MC68HC908MR32 单片机 BLDC 模糊控制 磁链电源逆变 PWM 与换相周期同步

引 言

随着我国国民经济的发展和人民物质文化生活水平的不断提高, 空调器已广泛应用于社会的各种场合, 直流变频空调器因具有节能、低噪、恒温控制、全天候运转、启动低频补偿、快速达到设定温度等性能, 使空调的舒适性大大提高, 将越来越受到人们的喜爱。单片机技术的广泛应用, 直流变频技术及模糊控制技术在空调器嵌入式控制领域的成功应用, 半导体功率器件的迅速发展为直流变频控制的推广提供了技术保障。

本设计方案的 BLDC 空调控制器由室内机控制器、室外机控制器两部分组成。基于 MC68HC908MR32 的优越性能, 用其设计室外机 BLDC 控制器, 容易实现产品模块化、智能化特点, 控制参数采用开放式结构, 便于与各种压缩机联结, 从而能够在最短的时间内根据不同厂家的要求进行产品的升级换代。以这种方式, 产品可以更快地推向市场, 获得时间上的竞争优势。本控制器含有以下关键技术:

1、模糊控制技术: 依据室内环温、管温, 室外环温、管温、压缩机排气温度、压缩机过载保护温度、压缩机电流等参数建立模糊逻辑关系, 控制压缩机的运转速度、室外风机及其它负载运行;

2、磁链电源逆变技术: 采用磁链追踪型电源逆变技术来控制压缩机运转, 磁链追踪型电源逆变技术是从电机的角度出发的, 着眼点是如何使电机获得圆磁场, 它以电机的磁链圆为基础, 用逆变器不同开关模式所产生的实际磁链矢量确定追踪基准磁链圆。

3、独特的反向电动势采样及 PWM 与换相周期的同步技术: 利用电阻网络加强对反向电动势采样的可靠性、PWM 换相采用开闭环相结合的技术、数字滤波技术等, 确保在各种转速下 PWM 实时换相, 不发生抖动。

4、独特的化霜技术: 空调化霜是冬天有效制热必不可少的过程, 化霜的好坏直接影响系统使用的性能, 本产品采用智能算法, 在系统最需要化霜的时候进行化霜, 并合理控制压缩机频率运行、风机的开启, 在最短的时间内使霜化得干净彻底, 提高空调的使用效率。

5、模块控制保护电路: 当模块有保护信号输出时, 通过硬件电路断开 PWM 模块输出控

制信号, 以达到保护模块的效果, 并且可靠的给单片机模块保护信号;

6、EMC 及可靠性设计技术: 在掌握空调的干扰机理的前提下, 硬件设计重点考虑以下几点: 电源电路设计、滤波电路参数设计、印制板地线及信号线设计, 并且软件采用容错技术。

设计概述:

本设计方案室外机控制器是 BLDC 空调控制器的核心, 室内机控制器为用户提供良好的操作界面及显示界面。

1、系统功能介绍

本控制器两部分分别由 MOTOROLA 公司推出的 MC68HC908MR32、MC68HC908JL3 作为主控芯片。两部分协调工作, 实现以下功能:

1) 直流变频压缩机控制: 直流变频压缩机的转速控制是本控制器的核心, 利用启动算法(调整位置、启动加速、锁相)、数字滤波、反向电动势延迟补偿、换相时间控制、PWM 脉宽补偿、速度控制等技术控制压缩机转速, 使其达到快速变化但又平滑过渡的目的。

2) 控制器能多方位检测空调器及周围的各种参数, 如室内环温、室内机管壁温度、出风口温度、室外环温、室外机组管壁温度、压缩机运行电流等, 并通过模糊逻辑使空调器达到最佳的工作状态。

3) 自动运行功能: 根据环境温度的高低, 自动判定并控制空调器处于制冷、通风或制热状态, 使环境温度达到人体舒适的状态。

4) 制冷运行功能: 当环境温度高于人体舒适所需要的温度时空调器工作在制冷状态, 通过对压缩机运行转速的调节, 使环境温度快速达到设定状态并获得平衡。

5) 除湿运行功能: 当环境潮湿、使人体感到不舒适时, 利用 BLDC 所特有的优势, 在温度波动幅度不大的前提下, 通过对压缩机运行转速的调节, 达到房间空气干燥的目的。

6) 制热运行模式: 当环境温度低于人体舒适所需要的温度时空调器工作在制热状态, 通过对压缩机运行转速的调节, 使环境温度快速达到设定状态并获得平衡。

7) 通风运行功能: 辅助功能, 仅仅在温度符合要求, 但需要空气有所流动时使用。

8) 完善的空调器保护功能, 空调器能够依据当前状态, 在需要时进行自我保护, 增加空调器使用的可靠性及安全性。

9) 控制器具有自诊断功能: 控制器能够指出空调器的故障现象及原因, 方便维修。

10) 控制器具有快速检测功能: 利用控制器的检测通讯口线, 并采用定制的检测设备, 以特定的通讯代码, 使控制器进入检测状态, 对其进行快速有效的检测。

2、系统结构简介

本系统由室内机组、室外机组两大部分组成, 室内机组又分为室内主控板、室内显示板、

遥控器三个部件, 室外机组分为室外电源板、室外主控板、模块驱动板三个部件。室外机组控制器工作环境恶劣, 硬件设计应考虑部分器件的失效不至于过份影响空调器的自我诊断、调整及运转, 要做到模块化设计, 设计口线清晰, 保护完善, 选取的元器件要质优、耐高、低温及耐潮湿。

1) 室内主控板 (见图 1. a)

此部件为室内机主要控制板, 采用 MOTOROLA 公司的 MC68HC908JL3 实现。电源电路利用 MC7805 稳压成稳定可靠的+5V 电压供单片机使用, 利用 MOTOROLA 的 MC34164P5 使单片机上电能可靠地复位, 用 PTD3、PTD6、PTD7 大电流口驱动 LED 显示, 用 A/D 口采样室内环境温度、室内铜管温度、选择开关输入检测、单冷热泵选择等, 用 TCH0 (PTD4) 实现 PWM 功能驱动蜂鸣器输出以简化软件编程, 用中断口 (IRQ) 实现遥控接收功能, 用 KBI 口实现电源过零检测和 PG 电机的反馈检测, 用 TCH1 (PTD5) 实现 Output compare 功能驱动 PG 电机, 用通用 I/O 口实现通讯收发, 控制电加热、出风口摆页的运转。拟选用 MOTOROLA 的 MC1413B 作为负载驱动芯片。

2) 室内显示板 (见图 1. b)

该部件主要安装有显示 LED、遥控接收头、选择开关等。

3) 遥控器 (见图 1. c) (不作为参赛部分, 故略)

4) 室外电源板 (见图 1. d)

直流变频压缩机控制为开关信号控制, 需抑制电网对控制器的干扰和控制器对电网的幅射传导, 在此部件上安装有 EMI 滤波器, 另外为结构简洁, 将 PTC 电路、控制继电器安装在此部件上。

5) 室外主控板 (见图 1. e)

此部件为 BLDC 的主要控制板, 采用 MOTOROLA 公司的 MC68HC908MR32 实现。利用 A/D 口进行室外环境温度、室外铜管温度、压缩机排气温度、压缩机电流采样等, 用 PWM1~PWM6 进行模块驱动控制压缩机运转, 用 PTC4、PTC5、PTC6、TCH2A (PTE6) 进行反向电动势检测, 用 FAULT1 口检测模块保护信号, 用 FAULT2 检测系统压力保护信号, 用 FAULT3 检测压缩机过载保护信号, 用 4 路通用 I/O 口实现通讯收发、检测控制收发, 用 4 路通用 I/O 口实现换向阀、室外风机、控制继电器及 LED 输出控制。用 MC1413B 进行负载驱动。考虑到部分空调器厂采用电子膨胀阀控制系统能力, 预留电子膨胀阀控制口 4 路。

6) 室外模块驱动板 (见图 1. f)

此部件主要安装功率模块 IPM、整流电路、室外机组用弱电开关电源电路、反向电动势检测电路。电源的管理中充分考虑到电源线和地线合理连接, 在布线时认真处理, 以提高整机的抗干扰性能。

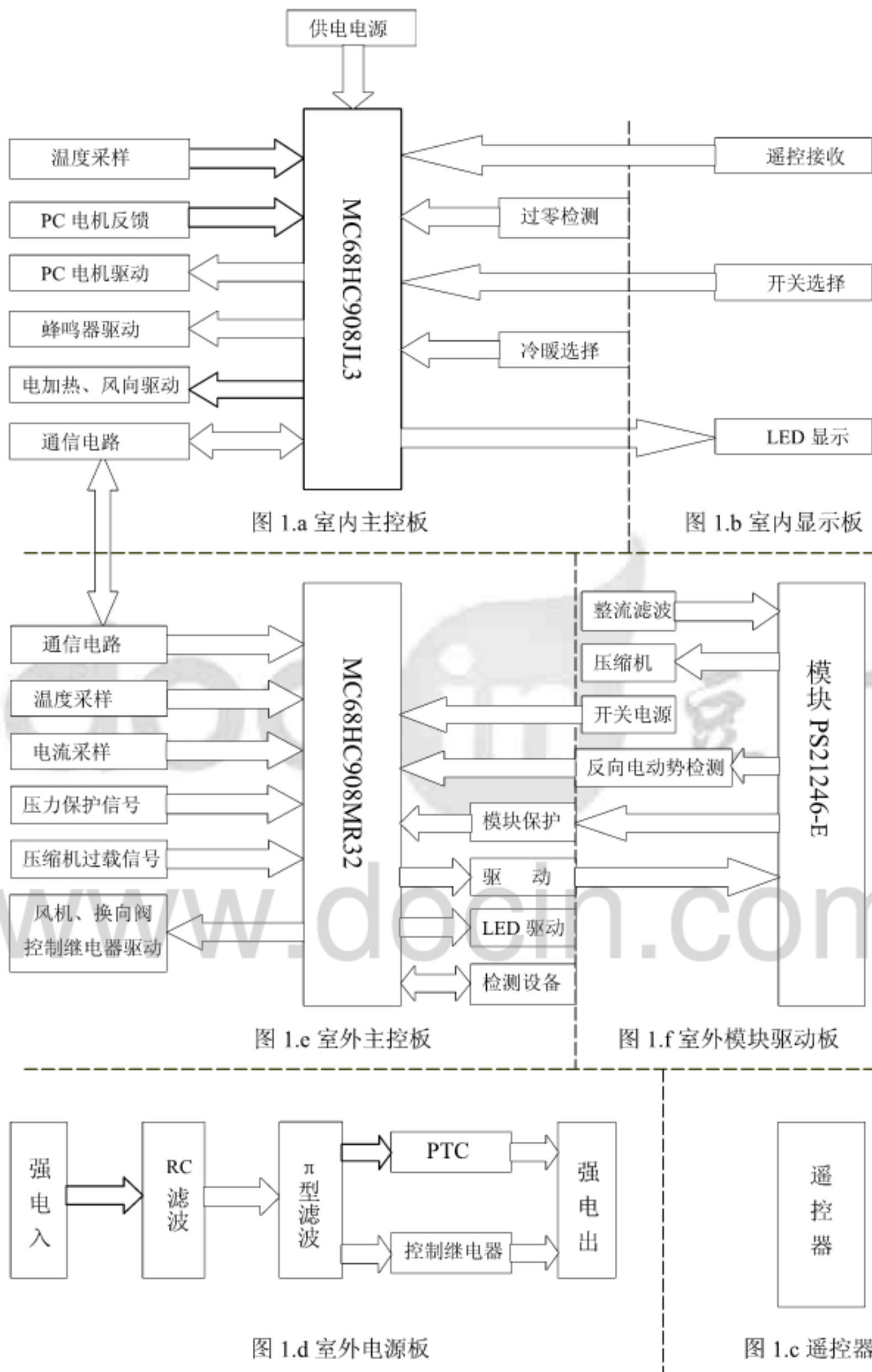


图 1: BLDC 空调控制器系统框图

硬件描述:

本系统由室内机组、室外机组两大部分组成,因室外机组为 BLDC 空调控制器重点,考虑到文章篇幅,故仅对室外机组硬件进行描述。BLDC 空调控制器电路原理图见图 2。

1、单片机选型:

MC68HC908MR32 是一种专门用于电机驱动的高性能 8 位单片微机,它具有以下功能: 32K Flash 存储器、768 字节 RAM、10 路 10 位 A/D、一个六路 12 位 PWM 模块、具有 3 根电流检测输入和四根错误信号输入、支持中心和边沿调整模式、一个串行通讯口 SCI 和一个串行外围接口 SPI、一个 4 路 16 位定时器系统和一个两路 16 位定时器系统,时钟发生器模块(可由较低频率晶振产生各种高频率内部时钟),其资源完全符合设计 BLDC 室外机的技术要求。其贮存温度范围为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ 及工作温度范围为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$,能适应室外机组恶劣环境的要,并且 MC68HC908MR32Vb 型工作温度能达到 $-40^{\circ}\text{C} \sim +105^{\circ}\text{C}$,适应沙漠地带工作,这在家用 MCU 芯片中少见。其在掩膜前可采用 FLASH 型芯片,利于开发后小批量试生产,故选用 MC68HC908MR32 种芯片设计 BLDC 空调控制器资源相对于选用其它芯片更为合理,性能价格比高。

2、功率驱动电路:

IPM(智能功率模块)采用三菱公司的新一代 DIP IPM 系列中 PS21246-E 型号,它包含内置三相 IGBT 逆变单元及其驱动、保护电路,控制端子可直接接受 5V CMOS/TTL 电平,外部不再需要光耦或隔离变压器等隔离电路,单 15V 控制电源,故障输出信号的脉宽可由外部调节,过流保护阈值可通过外部电阻设置,并且其集成度高、体积小、成本低,非常适用于本控制系统。本控制器用 MR32 的 PWM1~PWM6 口产生驱动波形,用 74HC541 进行模块驱动和隔离以控制压缩机运行转速。图 2 中 IC310 为 74HC541 用作隔离及模块硬件保护电路用,R366~R371 为限流电阻。

3、反向电动势检测电路:

反向电动势检测由分压电路、比较器和多路选通开关组成。三个分压电路把电机的三个相电压分压后加至三个比较器和一个输入端。为防止 PWM 开、关产生的干扰,使用电容来滤去各种干扰信号,但它也引起反向电动势的延迟。在上、下两个 IGBT 均关闭时,有一段浮空时间,为使这时的电压保持为 $1/2$ 直流电源电压,加入了六个电阻。由于浮空相的偏置电压(即反向电动势过零电压)为 $1/2$ 电源电压,比较器的另一个输入端接 $1/2$ 电源电压,三个比较器的输出经过光耦加至多路选通开关上,由 MCU 根据换相时刻,把浮空相的比较器输出接至 MR32 的一路输入捕捉(TACH2)上。在发生反向电动势过零时,产生输入捕捉中断,计算下一次换相时间。图 2 中 R301~R306 为分压电阻,IC302(LM339)为比较器,IC303~IC305(HP4504)为隔离光耦,IC306(74LS03)、PTC4~PTC6 用作多路选通开关。

4、电流测量电路:

电流测量用于控制启动电流和过流保护,在电流达到一定控制值时限制压缩机转速上升,达到保护值时停止压缩机工作。图 2 中 TA301 为电流互感器,检测电流信号,D301~D305、R329~R332、C312、C313 为电流信号整流电路,经过整流的信号输入 MR32 的 AD 口采样。

5、模块控制保护电路:

当模块有保护信号输出时,通过硬件电路控制 IC302 的使能端断开 PWM 模块输出控制信号,以达到保护模块的效果,并且可靠的给单片机 FAULT1 (PTD0) 口输入模块保护信号。图 2 中 IC309 (HC4011) 及其外围电路构成本电路。

6、温度采样电路:

本控制器选用负温度系数电阻型温度传感器检测室外环境温度、室外铜管温度、压缩机排气温度,采用电阻分压的方式,并采用恰当参数的电容进行滤波,输入 MR32 的 AD 口采样,以求得到准确的温度值。图 2 中 R333~R338、C314~C316 构成本电路。

7、压力保护、过载保护电路:

系统压力过高、压缩机过载均对直流变频空调器构成致命伤害,在保护信号发生时,需立即关闭压缩机运转。本控制器将保护信号通过三极管隔离后输入 MR32 的 FAULT2、FAULT3 口实现保护功能。图 2 中 B2、B2B、T301、T303 及其外围电路构成本电路。

8、通讯电路:

室内外通讯以减少通讯电缆数及确保可靠性为原则,本控制器采用强电分压,增加一根通讯线实现室内外通讯,室内外只需电源 L 线、电源 N 线、通讯线三线连接,简化室内外连接方式,用光耦实现强弱电之间的隔离,用 MR32 的通用 I/O 口 PTA4、PTA5 实现收发。图 2 中 R343~R346、C318、C319、V308、V309 构成强电分压,IC307 (NEC2633) 及其外围电路 R351、R352、C322、T302 构成发送电路,IC310 (NEC2501) 及其外围电路 R347~R350、C320、C321、V310 构成接收电路。

9、换向阀、室外风机、控制继电器、LED 负载控制电路:

用 MR32 的通用 I/O 口 PTA0、PTA1、PTA2、PTA3 实现换向阀、室外风机、控制继电器、LED 负载控制,用 MC1413B 进行驱动。

10、检测电路:

用 MR32 的 PTF4、PTF5 实现与定制的检测设备的通讯,以特定的通讯代码,使控制器进入检测状态,对控制器各硬件电路进行快速有效的检测。

11、电源电路:

电源电路分为强电电源电路和弱电电源电路。强电电源电路功能主要是抑制电网对控制器的干扰和直流变频压缩机开关控制信号对电网的幅射传导,通过 π 型滤波电路实现。图 2 中 L401、C401、C402、C403、R401 构成本电路。弱电电源电路主要产生+15V、+5V 电源供模块、室外控制板使用,本控制器采用开关电源电路,图 2 中 IC501 (TNY266P)、R501~R508、

C501~C511、L501~L503、V501~V503 等构成本电路。

12、BLDC 空调控制器硬件电路原理图（见图 2）。



图 2：BLDC 空调控制器硬件电路原理图

软件描述:

软件的设计思想为模块化设计和容错设计,并辅以模糊逻辑控制技术。模块化设计使整套软件便于维护、完善及测试认证,更加有效地提高软件的编程效率;容错设计能大大提高产品的可靠性;采用模糊逻辑控制技术能有效的利用各种采样参数,更加合理的控制各个负载的运转,利用这种技术在部分传感器年久失效后控制器能进行自我诊断及调整,并提醒用户出错的状态。

1、PWM 与换相周期的同步:

为使在每个换相周期输出整数个 PWM 周期,使用了可变 PWM 周期方法。该方法的要点是在通过两次反向电动势过零点测出需要的换相周期 T 后,按 T 的大小选取适当的 PWM 周期,以保证换相周期等于 PWM 周期的整数倍。而 PWM 频率的范围为 $2\sim 4\text{KHz}$,以适应于 IPM 的要求(最高 PWM 频率小于 5KHz ,典型应用值 3KHz)。然后按 PWM 脉宽比(小数, $0\sim 255/256$)得出 PWM 脉宽值。

换相方法:在执行本次换相操作后,预置下次换相时刻为 $9/8$ 换相周期,然后延迟 T_{off} 时间($T_{\text{off}}=1/2$ 换相周期)进行反向电动势过零点检测。发现正确的反向电动势过零后,计算需要的换相周期(它等于两次过零点之差),并重置下次换相时刻为过零点加上 $1/8$ 换相周期。这样,如有正确的反向电动势过零点,则可保证正确的换相驱动。对于偶尔有一次没有捕捉到过零点(如受到干扰),则按预置的换相时刻进行换相,这可保证这时不会发生抖动或停止转动。

为使 MCU 能有足够的时间去处理除了 BLDC 电机驱动的有关操作,如与主机(室内机)的通讯、温度检测、除霜处理等,本系统全部使用中断来完成 BLDC 电机的驱动:一个输出比较中断用于换相,另一个输出比较中断用于 T_{off} 延迟,一个输入捕捉中断用于反向电动势过零点检测。

2、智能化霜:

空调化霜是冬天有效制热必不可少的过程,化霜的好坏直接影响系统使用的性能,本产品采用智能算法,在系统最需要化霜的时候进行化霜,并合理控制压缩机频率运行、风机的开启,在最短的时间内使霜化的干净彻底,提高空调的使用效率(见图 3)。

除霜运行过程:除霜条件达到后,如 $F\leq 60\text{Hz}$ 则立即停机,如 $F>60\text{Hz}$,则首先将运行频率降至 60Hz ,再停压缩机;30 秒后室外风机、换向阀失电;15 秒压缩机启动,压缩机频率运行至 58Hz ;30 秒后,压缩机频率运行至 102Hz (75Hz 不需运行 2 分钟),并保持频率为 102Hz ,除霜开始 75 秒内不得解除除霜运行(停机除外);除霜传感器的温度到达除霜解除温度(8°C),或除霜时间到达 10 分钟后解除除霜运行;解除除霜后,停压缩机,30 秒后室外风机运行,换向阀得电;再 30 秒后,室外机进入正常制热控制。

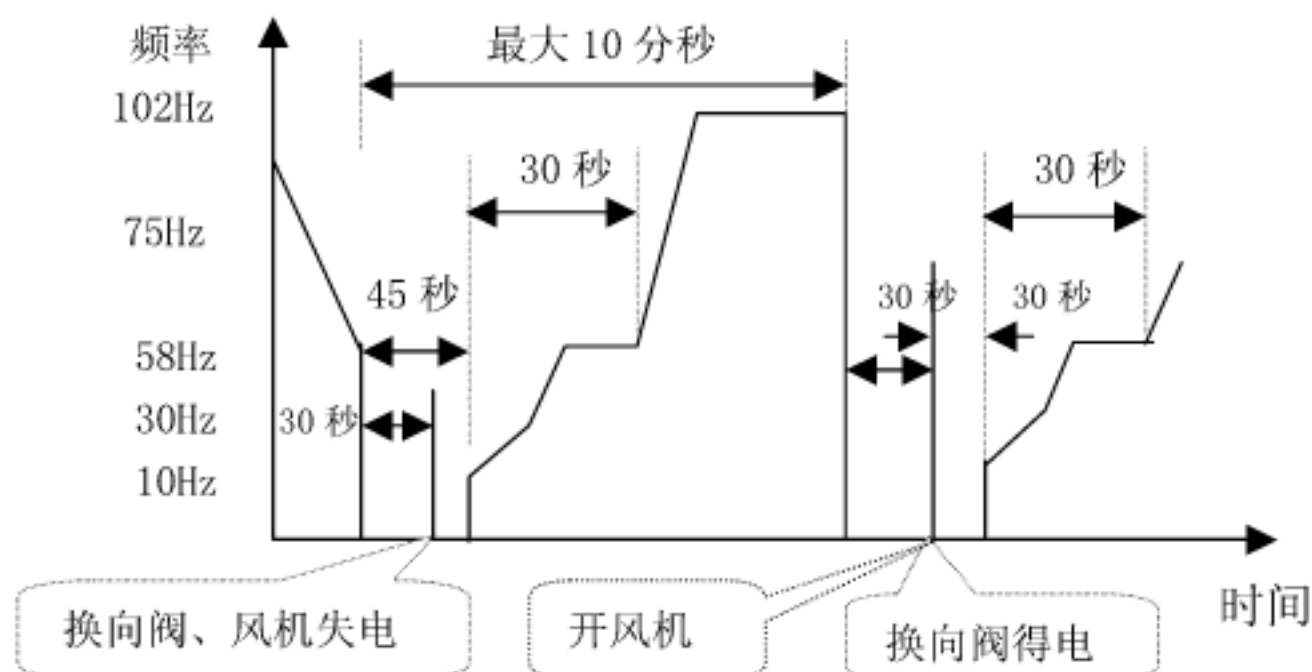


图 3: 化霜工作平台曲线表

3、压缩机频率的调节:

变频空调器压缩机运行频率的计算是整个控制中的重点,其算法的好坏将直接影响到整个空调器的性能,经过多次的实验和验证,用快速逼近目标点再细调整的方法将非常有效:

1)、 $\Delta T \geq 4^\circ\text{C}$, $F = F_{\text{max}}$;

2)、 $1^\circ\text{C} < \Delta T < 4^\circ\text{C}$: $\Delta T \geq 0$ 时, F 快速上升;

$\Delta T = -1$ 时, F 不变;

$\Delta T < -1$ 时, F 快速下降;

3)、 $-2^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 1^\circ\text{C}$:

a: $\Delta T = -2^\circ\text{C}$ 时, F 慢速下降, 直至最小;

b: $\Delta T = -1^\circ\text{C}$ 时: $\Delta T > 1$ 时, F 不变;

$\Delta T \leq 1$ 时, F 慢速下降;

c: $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ 、 $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ 时: $\Delta T > 1$ 时, F 慢速上升;

$0 \leq \Delta T \leq 1$ 时, F 不变;

$\Delta T < 0$ 时, F 慢速下降;

4)、 $\Delta T \leq -3^\circ\text{C}$ 时, 且在 30Hz 上至少运行 2 分钟, 停机。

注: 说明两个概念: ΔT 说明: 制冷: $\Delta T = T_{\text{环}} - T_{\text{设}}$ 、制热: $\Delta T = T_{\text{设}} - T_{\text{环}}$

ΔT 说明: $\Delta T = \Delta T - \text{前次} \Delta T$

4、室外控制器软件说明:

室外控制器功能主要是: 与室内主控制器通讯并接收室内指令, 采样室外环温、管温、系统压力、压缩机电流、判断机组的运行状态及方式, 控制压缩机、室外风机、换相阀负载, 用 LED 显示运行状态, 判断故障并通知室内主控制器。

1) 主控软件说明 (见图 4)

室外机上电后进行系统初始化, 然后控制器与室内机进行通讯握手, 确保通讯的可靠、有效。控制器接收室内机指令, 结合其本身采样的各种参数及现行运行状态, 根据合理制定的模糊逻辑规则(多路输入、多路输出)来确定室外机的工作状态, 如是否有保护(关闭输出)、开制热(开压缩机、换向阀、室外风机)、开制冷(开压缩机、室外风机)等, 并结合其运行的工作状态形成通讯码传到室内机。

2) 室外定时中断软件说明

TACH1: 它设置为输出比较方式。它完成换相输出、多路开关控制、预置下次 TACH1 中断时间($=TACH1+9/8T2PF1t$)、延迟 T_{off} ($=1/2T2PF1t$) 允许 TACH0 输出比较中断, 禁止 TACH2 输入捕捉中断, 在上次没检测到反向电动势过零点时还将置上次反向电动势过零点时刻($=TACH1-1/8T2PF1t$)。最后清 0 反向电动势过零检测成功标志, 加 1 出错计数。

TACH0: 它也设置为输出比较方式。由 TACH1 换相中断所启动。它执行换相预处理(包括计算 PWM 周期、脉宽, 置 PWM 周期、脉宽、PWM 导通控制等)。在启动加速阶段, 它逐项取出启动换相时间和启动脉宽, 写入换相时间($T2PF1t$)和脉宽控制单元(PWMV), 并计算下次的 PWM 周期、脉宽。在启动锁相和运行阶段, 它先判断是否已发生了正确的反向电动势过零跳变, 是: 则按此进行计算; 否: 则允许 TACH2 输入捕捉中断, 以检测反向电动势过零点。

TACH2: 它设置为输入捕捉方式, 按需要设置为上跳或下跳。在发生捕捉时, 先判断其正确性, 然后按两次过零点时间差计算周期(加入数字滤波), 并计算下次的 PWM 周期、脉宽, 重新设置下次换相时刻($=$ 过零时刻 $+1/8 T2PF1t$), 置过零点捕捉成功标志, 清零出错计数。在下次换相时刻早于当前时刻时, 不使用输出比较中断, 直接执行换相。

TACH3: 它设置为输出比较方式, 用于系统的各种定时操作, 如通讯、系统需要的各种时间计时等。

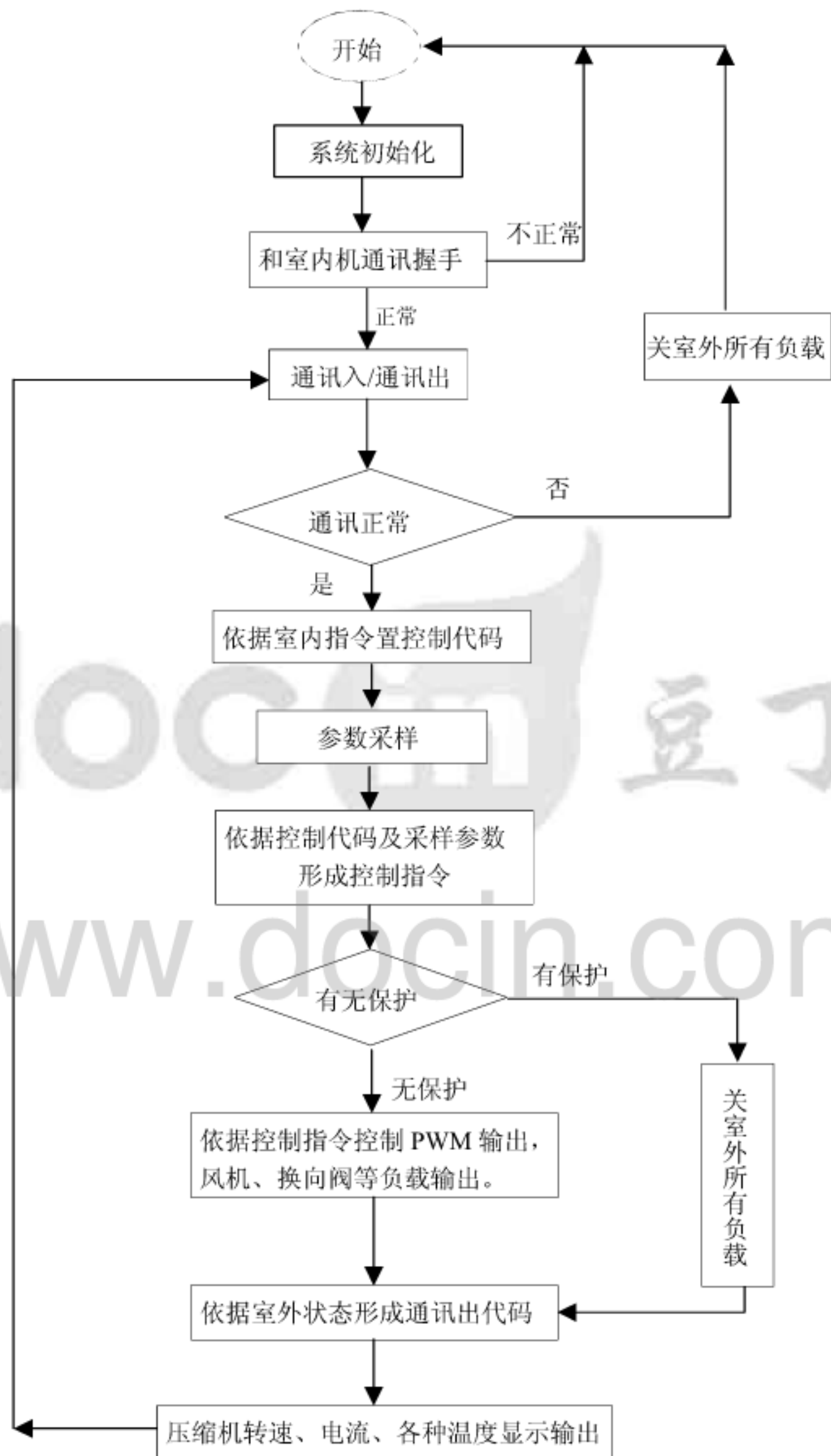


图 4: 室外主控软件流程图

应用前景:

空调器从 80 年代至今经历了几次大的变革, 空调器的三大核心技术(制冷技术、风道技术、控制技术)也经历了几次大的变革。制冷技术的核心部件压缩机从定速压缩机发展到交流变频、直流变频; 控制技术从机械控制、电子数字化控制发展到以微处理器为核心的控制方式, 并且以微处理器为核心的控制方式为变频控制提供了可能。

国内著名的空调器制造商均推出了各自的直流变频空调器系列, 直流变频空调器因其具有优良的特性, 将逐步得到市场的认同。设计此项目时我们充分考虑到国内各控制器厂家的技术水准, 争取做到步步领先, 设计中充分考虑到国内主要空调器制造商对 BLDC 空调控制器的要求, 目标是进入国内主要空调器生产基地, 争取使该项目投入市场后能够保持每年 10 万套的目标。

感谢:

我们项目组在研制本产品时得到复旦大学涂时亮教授、陈章龙教授的精心指导, 江苏春兰制冷设备有限公司变频项目组、第 4 届 MOTOROLA 单片机设计应用大奖赛组委会的热忱支持, 另外我们参阅了机械工业出版社出版的陈国呈编著《PWM 变频调速及软开关电力变换技术》和张燕宾编著《SPWM 变频调速应用技术》, 在此一并表示衷心的感谢。

基于 MC68HC908MR32 驱动的 BLDC 空调控制器

周 群、鲍于泉、陈友才、陈士英

合肥威师智能电子电器厂 (230031)

摘要:介绍由 MOTOROLA 公司的 MC68HC908M32、MC68HC08JL3 单片机构成的 BLDC 空调控制器的方案, BLDC 空调控制器工作机理, 重点介绍 MC68HC908M32 在 BLDC 空调器中的使用方法。

关键词: MC68HC908MR32 单片机 BLDC 模糊控制 磁链电源逆变 PWM 与换相周期同步

The Controller of Air conditioner Using BLDC Motor Based on MC68HC908MR32

Zhou Qun Bao Yuquan Chen Youcai Chen Shiyang

Hefei WISE Electronic Appliance Factory

Abstract:The paper introduced a solution of air conditioner using BLDC by making use of MCUs of MC68HC908M32 and MC68HC08JL3 and the working principle of BLDC air conditioner, especially introduced the method using of MC68HC908M32 in BLDC air conditioner.

Keywords: MC68HC908MR32; BLDC; fuzzy control; magnetic-flux converting; PWM sync with the sample period.

www.docin.com