

# 电冰箱辅助控温保护器的原理与设计

王接枝 江西上饶师专物理系 (334001)

本文针对目前电冰箱运行中的实际问题,论证了利用开环方式对冰箱进行控制,以达到辅助控温节电之目的。同时,结合对压缩机马达实现过流保护,提出了总体电路方案并进行了设计计算,制作的产品已在实际中得到应用。

关键词:电冰箱 辅助控温 保护

## 1 问题的提出

现在市场上普遍流行的三星级电冰箱就其控温状况来说,不能按照用户存放食品的实际情况进行。资料表明,食品贮藏期与存放温度有密切关系(如表1所示)。电冰箱内部虽设有温控器进行箱内温度调节,但其调节范围不能适应实际需要。如某双门19升电冰箱冷冻室温度调节范围为 $-15^{\circ}\text{C} \sim -24^{\circ}\text{C}$ ,这就说明,若要将食品进行短期存放,如7天以下(实际情况大多如此),电冰箱的实际运行状况造成了电能浪费。经实际测试,一般电冰箱在环境温度为 $32^{\circ}\text{C}$ 时,日耗电量与箱内冷冻室温度关系如表2所示。

由表2可知,电冰箱冷冻室控制在 $-8^{\circ}\text{C}$ 时比 $-15^{\circ}\text{C}$ 时可节电52%,控制在 $-12^{\circ}\text{C}$ 时比 $-15^{\circ}\text{C}$ 也可节电22%,所以根据食品实际贮藏期来选择冰箱内温度,节电潜力很大。

电冰箱实际运行中的另一问题是制冷压缩机马达屡有烧毁现象,其根本原因是流过马达电流过大而发热引起。冰箱内部虽设有机械式过流保护机构,但由于保护元件“温度惰性”大,保护作用反应迟钝,所以寻求反应灵敏的电子式过流保护电路,是电冰箱安全运行

表1

存放温度( $^{\circ}\text{C}$ )	-6	-12	-15	-18
贮藏期(天)	7	30	60	90

表2

冷冻室温度( $^{\circ}\text{C}$ )	-18	-15	-12	-8
日耗电量(度)	1.2	0.96	0.75	0.5

的可靠保证。

本文所述电冰箱的辅助控温保护装置就是为解决以上两个问题而设计的。

## 2 设计考虑与方案论证

为使电冰箱企业生产和用户操作方便,考虑上述辅助控温保护装置只能置于冰箱外部,在不改变冰箱原结构基础上,该装置置于箱外与冰箱自身控制作用相互“兼容”。这样,用户才会乐意接受。

对于冰箱辅助性控温问题,可以采用开环式控温办法。测试表明,冰箱在稳定运行状态下,制冷压缩机的开、停时间只与环境温度有关。

如果冰箱运行一周期内(即开、停一次)制冷压缩机对冰箱补充的冷量与由于箱体内外温差损失的冷量相等,则箱内温度可以处于平衡状态。设冰箱运行一周期内开机时间为 $t_{\text{开}}$ ,停机时间为 $t_{\text{停}}$ ,压缩机标准制冷量为 $Q_{\text{标}}$ (即单位时间内制冷量), $S$ 为箱体外部散热面积, $K$ 为箱体传热系数, $T_{\text{箱}}$ 、 $T_{\text{环}}$ 分别表示箱体内、外温度。处于平衡状态时,下式成立:

$$\frac{t_{\text{停}}}{t_{\text{开}}} = \frac{Q_{\text{标}}}{SK(T_{\text{环}} - T_{\text{箱}})} - 1$$

上式中, $S$ 、 $K$ 、 $Q_{\text{标}}$ 由冰箱自身结构确定,假如冰箱内部温度已设定,对冰箱的控温实际上是对冰箱开、停时间的控制,它只与环境温度有关。这就从理论上说明了采用开环控制方式,即在箱外用感温元件对环境温度传感,来调节压缩机的开、停时间比,可以对箱内温度实现控制,从而避免了向箱体内部插入温度传感元件的做法。

对冰箱的过流保护控制,可以在箱外对流入冰箱的电流进行采样,利用过流保护电路予以实现。由于冰箱在启动瞬间(约2秒)启动电流较大(约为冰箱正常工作电流的5-6倍),这种过流保护必须是滞后式的,即对于启动瞬间的过电流不予理会,以免冰箱出现不能正常启动问题。

针对上述问题的解决,提出该装置电路框图如图1所示。

## 3 电路原理与设计计算

按照图1所示电路框图设计的电路如图2所示,其工作原理与设计计算叙述如下。

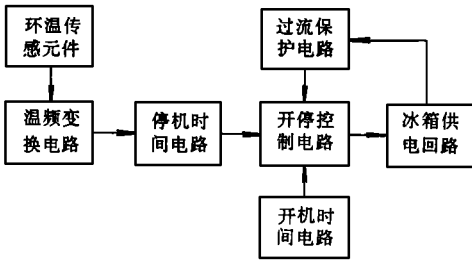


图 1

### 3.1 停机时间电路

停机时间电路由 IC<sub>1</sub>、IC<sub>2</sub>及有关元件构成。环境温度元件 D<sub>1</sub>采用锗 PN 结,工作于反向偏置状态,利用其反向工作电流随温度变化,可能改变电容 C<sub>1</sub>的充电时间,以达到改变冰箱停机时间之目的。

IC<sub>1</sub>是 55 电路,接成振荡电路形式,与 D<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>一起构成温频变换电路,其振荡周期对环境温度传感。

众所周知,55 振荡电路输出信号周期决定于电容 C<sub>1</sub>的充放电时间,在振荡一周内,电容 C<sub>1</sub>的充电时间按恒流充电计算为:  $t_{\text{充}} = C_1 V_{CC} / 3 I_R$

式中, V<sub>CC</sub>为电路工作电压, I<sub>R</sub>为锗 PN 结反向电流

电路振荡周期为:  $A = t_{\text{充}} + t_{\text{放}}$

若按  $t_{\text{充}} \gg t_{\text{放}}$  来选取 R<sub>1</sub>,则:

$$A \approx t_{\text{充}} = \frac{C_1 V_{CC}}{3 I_R} = \frac{C_1 V_{CC}}{3 I_s} \exp[M(25^\circ\text{C} - T_{\text{环}})]$$

设 C<sub>1</sub> = 0.47 μF, V<sub>CC</sub> = 12V, I<sub>s</sub> = 2 μA, T<sub>环</sub> = 25°C, M = 0.08/°C, 可以算得:

$$A = \frac{0.47 \times 12}{3 \times 2} = 0.94 \text{秒}$$

它随环境温度变化规律如图 3所示。在室温范围内,近似与环境温度成反比变化,与电冰箱停机时间变化规律一致。

由于电冰箱的实际停机时间比振荡周期 A 大得多,我们采用十二级二进制计数电路 IC<sub>2</sub>(CD4040)构成计数式分频电路,产生与 A 成正比的停机时间。从 IC<sub>1</sub>脚输出的周期为 A 的脉冲信号输入到 IC<sub>2</sub>的计数输入端 1脚,当 IC<sub>2</sub>清零后,必须输入 10<sup>11</sup> = 2048 个脉冲,其十二级计数输出端 7脚才会从低电平跳变为高电平,以 7脚的低电平持续时间作为停机时间,则 t<sub>停</sub> = 2048A,它同样与环境温度成反比规律变化。

图 3中 IC<sub>2</sub> 7脚为四级计数输出端,其输出信号可以使发光二极管 LED<sub>1</sub>闪烁发光,闪烁快慢反映着环境温度的高低。

### 3.2 开机时间与开、停逻辑控制电路

IC<sub>3</sub>为 556 电路,内部由两个 55 电路构成,在电路中担负着不同的作用,为叙述方便,分别称为 555A 和

555B

开停逻辑控制电路由 555A 接成单稳电路形式(见图 4)。单稳电路的触发信号由 IC<sub>2</sub> 1脚输出信号提供,当 IC<sub>2</sub> 计满 2048 个脉冲后, 7脚输出的高电平经隔离电阻 R<sub>10</sub>通过二极管 D 向 C 快速充电,55 电路的 2 6脚电平立即上升到 2/3 V<sub>CC</sub>,于是 1脚翻为低电平,继电器线包 J 吸合,其触点开关 J<sub>k</sub>接通冰箱供电回路。与此同时, 1脚内部放电管饱和导通, 1脚与“地”接通,电容 C 通过 R 和 1脚至“地”放电, 2 6脚电平慢慢下降,当下降到

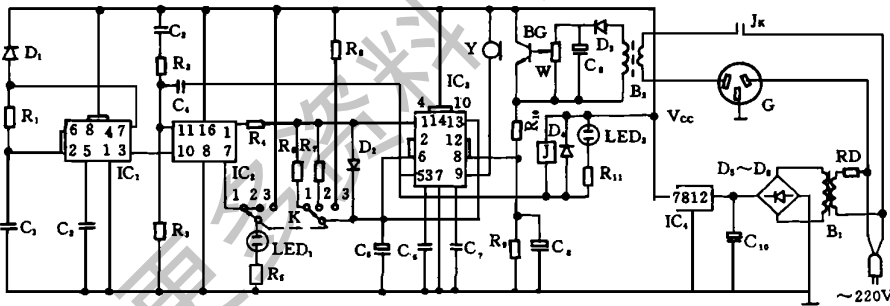


图 2

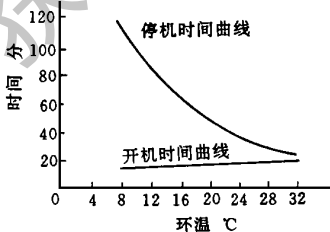


图 3

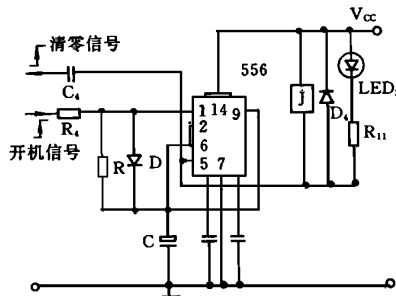


图 4

$V_{CC}/3$ 时,5脚又翻转为高电平,J断电而释放,I<sub>k</sub>断开冰箱供电回路。由此可见,冰箱供电回路的接通时间,即开机时间就是电容C电压由 $2/3 V_{CC}$ 放电到 $V_{CC}/3$ 所需时间,忽略1脚内部放电管饱和导通电阻,则放电时间常数 $\tau = RC$ ,所以开机时间为:

$$t_{开} = 0.7RC$$

设 $C = 330\mu F$ , $R = 4M\Omega$ ,则:

$$t_{开} = 0.7 \times 4 \times 330 = 924\text{秒} \approx 15.4\text{分}$$

本装置采用开关K改变R的大小来获得不同的开机时间,以适应冰箱内温度的两种不同设定(如冷冻室为 $-6^{\circ}\text{C}$ 或 $-10^{\circ}\text{C}$ )。

值得一提的是,在5脚由低电平翻为高电平时,即冰箱由供电变为断电时,5脚的正跳变信号经电容 $C_4$ 耦合到 $IC_3$ 清零端1脚而使 $IC_2$ 内部清零, $IC_3$ 重新开始计数,下一个运行周期开始。图2中 $C_4$ 的作用是在电流接通时,为 $IC_2$ 提供起始清零信号而设置的。

### 3.3 过流保护电路

过流保护电路是由电流互感器 $B_2$ 、开关晶体管BG555B构成的(见图2)。G为冰箱电源线连接插座,冰箱供电回路电流流过 $R_1$ 初级绕组,从而在次级绕组上感应出交流信号电压作为冰箱工作电流检测信号,经D整流, $C_5$ 滤波,电位器W调节接到晶体管BG基—射极之间。在冰箱工作电流正常状态,BG截止。若冰箱工作电流超过正常值,BG导通, $V_{CC}$ 通过BG集—射极和电阻 $R_{10}$ 向电容 $C_6$ 充电, $IC_3$ 的12脚电平上升,当升高到 $2/3 V_{CC}$ 时,13脚内部放电管导通,13脚与“地”接通, $C_5$ 上电压通过13脚到“地”迅速放电到低电平,5脚翻转为高电平而使J释放,冰箱供电回路被 $I_k$ 断开,达到保护的目的。同时,9脚翻为低电平,蜂鸣器Y得电而发出告警信号,以示冰箱进入保护状态。

为避免冰箱起动瞬间的大电流会引起“保护切断”,设置有 $R_{10}$ 。在电容 $C_6$ 电压充电到 $2/3 V_{CC}$ 之前,保护电路是不会动作的,故保护滞后时间 $t_{后}$ 就是电容 $C_6$ 由零电平充电至 $2/3 V_{CC}$ 所需时间,设开关晶体管BG在启动时大电流信号作用下饱和导通,且饱和导通电阻可以忽略,则: $t_{后} = 1.1R_{10}C_6$

设正常启动所需时间为2秒,则要求: $t_{后} = 1.1R_{10}C_6 \geq 2$ ,取 $C_6 = 330\mu F$ ,可以算得:

$$R_{10} \geq \frac{2}{1.1 \times 330 \times 10^{-6}} = 5.5k\Omega$$

为了使故障因素排除后(如市电电压恢复正常),电路能自动退出保护状态,设置有电阻 $R_9$ ,为 $C_6$ 提供放电回路。在进入保护状态后,BG截止, $C_6$ 通过 $R_9$ 放电, $IC_3$ 8脚电平下降,当下降为 $V_{CC}/3$ 时,13脚内部

放电管截止,电路退出保护工作状态。同时9脚翻转为高电平,蜂鸣器因断电而停止发声,以示保护状态结束。可见,保护状态持续时间就是 $C_6$ 通过 $R_9$ 由 $2/3 V_{CC}$ 放电到 $V_{CC}/3$ 所需时间,即: $t_{保} = 0.7R_9C_6$

本设计中, $C_6 = 330\mu F$ ,取 $R_9 = 3M\Omega$ ,可以算得:

$$t_{保} = 0.7 \times 3 \times 330 = 693\text{秒} \approx 11.5\text{分}$$

### 3.4 开环式控温存在问题与解决办法

上述开环式控温电路是通过冰箱外部供电电路的通断来控制制冷压缩机运行的,我们称为“外控”工作方式。在这种工作方式下,当冰箱一次存入较多食品(如2~3公斤)时,需经若干个运行周期,箱内温度才会下降到设定值。为使箱内温度下降较快,开关K可拨置使 $C_5$ 与 $R_8$ 接通位置,这时 $V_{CC}$ 通过 $R_8$ 向 $C_5$ 充电,当 $IC_3$ 2脚电平升到 $2/3 V_{CC}$ 时,5脚翻转为低电平,继电器吸合,冰箱供电电路就可一直处于接通状态,这时制冷压缩机的开、停就完全由冰箱内自身温控器控制,我们称为“内控”工作方式。这样就避免了开环式控温所带来大量食品存入时,箱内温度需较长时间降低的弊端。这种“外控”与“内控”互相兼容,互为补充的办法没有削弱冰箱自身的控温功能,而是扩大了冰箱的温控调节范围,可由用户根据食品贮藏情况选择。

应该说明的一点是,由于“外控”方式是按箱内温度高于“内控”方式下设计的,故在“外控”方式下,箱内温控器总是处于接通状态,故压缩机的开、停完全由供电电路中 $I_k$ 的能、断来控制。

### 3.5 瞬间断电保护延时时间计算

在“内控”方式下,即开关K置图2中位置“3”,瞬间断电时,电源 $V_{CC}$ 必须重新通过 $R_8$ 对 $C_5$ 充电,使2脚电平上升到 $2/3 V_{CC}$ 时,5脚翻为低电平,J吸合, $I_k$ 接通冰箱供电电路。所以瞬间断电保护延时时间为 $V_{CC}$ 通过 $R_8$ 对 $C_5$ 充电,由零电平上升为 $2/3 V_{CC}$ 所需时间,即:

$$t_{延} = 1.1R_8C_5$$

设 $C_5 = 330\mu F$ , $R_8 = 1M\Omega$ ,则

$$t_{延} = 1.1 \times 1 \times 330 = 363\text{秒} \approx 6\text{分}$$

在“外控”方式下,即K置“2”或“3”位置,瞬间断电后,由于来电瞬间电压通过 $C_5$ 耦合,使 $IC_2$ 清零,故 $IC_2$ 必须计满2048个脉冲后,即经过一输停机时间,输出端1脚才出现高电平,通过 $R_6$ 和 $D_2$ 对 $C_5$ 充电,使2脚电平迅速上升为 $2/3V_{CC}$ 。故延时时间为:

$$t_{延} \approx \frac{2048}{f} = 2048A$$

### 3.6 电源及显示电路

(下转25页)

图中, IC<sub>1</sub> CC755及 R<sub>p</sub>、R<sub>2</sub>、C<sub>1</sub>组成多谐振荡器,其振荡周期:

$$T = t_{1+} + t_{2-} \doteq 0.7(R_p + R_2)C_1 + 0.7R_2C_1 \\ \doteq 1.4R_2C_1 \doteq 490\text{s}$$

IC<sub>2</sub> CC4017为十进制计数/分配器,在正常工作状态下,其输入时基脉冲与输出分配如图3所示。

IC<sub>2</sub>输出信号经二极管 V<sub>1</sub>~V<sub>8</sub>、V<sub>0</sub>'~V<sub>8</sub>'或门组合后,占空比分别为 0.1、0.2、……、1.0。输出端分别作为

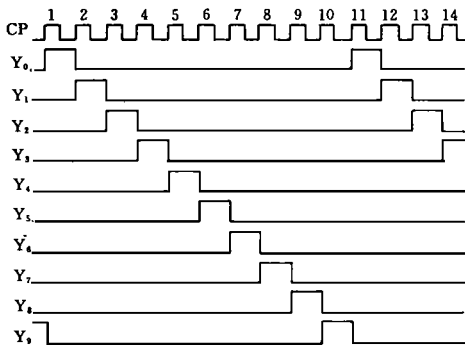


图3 CC4017脉冲分配图

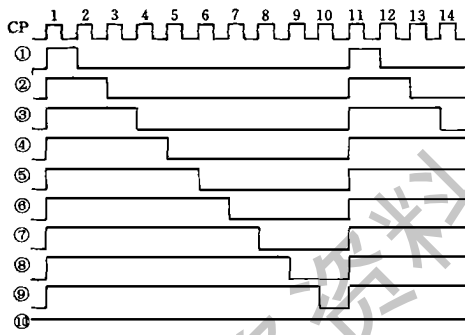


图4 输出端与输入脉冲之间的关系

占空比选择开关 K 的静触头①~⑩端,其与输入脉冲之间的关系如图4所示。

显然,占空比选择开关 K 拨在不同位置时,q 值不同,即在单位时间 T 内继电器 J 吸合时间不同,继电器控制的压缩机工作时间不同,因而可对冷藏室内温度进行有效地控制。

这里需要说明的是: IC<sub>2</sub> CC4017分配器输出 Y<sub>0</sub>~Y<sub>9</sub>,如果 Y<sub>0</sub>输出作为 q=0.1 的输出端①;则 q=0.2 的输出端②应由 Y<sub>0</sub>、Y<sub>1</sub>,并通过二极管 V<sub>0</sub>'、V<sub>1</sub>'组成的或门电路输出;……以此类推,q=1.0 的输出端⑩则应由 Y<sub>0</sub>~Y<sub>9</sub>、V<sub>0</sub>'~V<sub>8</sub>',V<sub>1</sub>'~V<sub>8</sub>'组成的或门电路输出。显然,当 Y<sub>0</sub>为高电位时,将通过二极管 V<sub>0</sub>'~V<sub>8</sub>'在⑩输出,9个二极管串联引起的电压降达 6V 以上,而当 Y<sub>0</sub>为高电位时,则没有串联二极管压降问题,故对限流电阻 R<sub>5</sub>的选择带来困难,可能会造成三极管 V<sub>3DCl</sub>的误动作。为此,应利用 CC4017的 Q<sub>0</sub>进位输出端,因其恰巧是在前 5 个脉冲输入时为高电位,后 5 个脉冲输入时为低电位,故 Q<sub>0</sub>端即可作为 q=0.5 之输出端⑤。而后面 q=0.6~1.0 又需在 Q<sub>0</sub>端输出基础上增加若干个脉冲而已,这样就减少了串联二极管的数目,增加了电路工作的可靠性。

如果通过温度传感器将冷藏室内温度信号检出,并转换为电压信号,通过 3(1/2)数字电压表模块组成数字式温度显示器,根据显示冷藏室内温度状态及要求适当调节占空比选择开关 K 之位置,即可方便地控制电冰箱内的温度。亦可以通过温度传感器检出冷藏室内温度信号,转换为电压信号,通过温-压信号控制电子开关,自动选择不同的占空比,实现自动控制温度。当然,该原理亦适用于类似其它需要对温度等进行控制的地方。

(编辑 韩力)

(上接 23 页)

控制电路工作电源由市电经变压器 B<sub>1</sub>降压后,由 D<sub>5</sub>~D<sub>8</sub>桥式整流,C<sub>10</sub>滤波,再经三端稳压集成端 7812 稳压后供给。发光二极管 LED1 用于显示工作电源,在“内控”方式下,连续发光,在“外控”方式下,闪烁发光,R<sub>5</sub>其限流电阻。LED2 与其限流电阻 R<sub>11</sub>串联后与继电器线包 J 并联,用以显示冰箱供电回路接通与否。

#### 4 运行效果

按上述原理设计制作的辅助控温保护装置,已在用户中运行过一年时间,效果良好。在“外控”方式下,节能可达 30% 左右。保护作用可靠,有的用户冰箱在“卡轴”状态下制冷压缩机马达也能免遭烧毁厄运。实

践证明,这种装置是电冰箱一种理想的辅助控温保护装置。

#### 参考资料

- 林朝平 如何计算家用电冰箱的耗电量 日用电器 1987. 2
- 中国专利局 实用新型专利说明书 公告号 CN21044140 1992. 5. 13
- 王接枝 PN 结反向电流的温度特性与温频变换器 全国第六届非电量电测年会论文集 1991. 10
- 王接枝 电冰箱工作电流检测与过流保护 第七届全国非电量电测技术学术会议论文集 1993. 11

(编辑 张莉莉)