

一种基于单片机的逆变控制字和整流 触发字信号的产生方法

清华大学 徐志斌 李旭春

摘要: 本文介绍一种利用 8098 单片机产生变频调速系统中所要求的逆变控制字和整流触发字的方法,着重介绍 8098 单片机中 HSO 通道和 HSI 通道的应用及软件定时器的使用经验,并提出一种利用内存映象保证事件发生时刻的方法。

叙词: 单片微型机 微机控制 脉冲发生器 整流器 逆变器

Converter Control and Inverter Control Method with Single Chip Microcomputer

Xu Zhibin Li Xuchun

Abstract: In this paper, we present a method to produce converter control and inverter control of speed control system with 8098 single chip microcomputer. We mainly introduce how to use HSO port, HSI port and software timer of 8098, and propose a method to use memory map to keep event synchronization.

一、引言

对一般的交流调速系统而言,常采用恒压频比的变频调速方案进行电机的速度控制,即输出的交流电源的电压和频率成比例变化,以保证电机磁通的稳定。为了生成所需的交流电源,一般常采用 AC-DC-AC 的变换方法,AC-DC 的转换由整流器实现,DC-AC 的变换由逆变器实现。为实现频率和幅值的变化,必须对整流器或逆变器进行控制,常采用的方法有两种:①整流器不可控,仅逆变器受控,即逆变器控制脉冲的频率和脉宽都是可变的,脉冲的频率控制输出交流电的频率,而脉宽控制交流的幅值;②整流器和逆变器都是可控的,即整流器的控制脉冲调节输入交流电的导通角,控制整流器输出的直流电压大小,而逆变器的控制脉冲仅使其频率可变,控制输出交流电的频率。对于潜油泵等有特殊要求的变频调速系统,通常采用第二种控制方式。本文介绍这种实现 AC-DC-AC 变换的控制方法及其用微机的实现。本文介绍的基于 16 位 8098 单片机,利用软件实现整流器和逆变器的控制脉冲的生成方法已经用于实际系统,并有良好的使用效果。

件采用 GTR 等全控器件,因此可方便地用控制脉冲实现开通和关断。逆变脉冲的开通和关断有严格的时序要求,6 路控制脉冲的时序图如图 2 所示,上下两个桥路的可控器件在开通和关断之间有死区,必须防止桥路直通而造成短路。在时序上要求 T1 超前 T2 为 $T_D = T/3$, T2 超前 T3 为 $T_D = T/3$,即超前角度为 120° 。

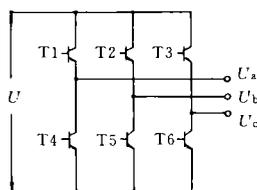


图 1 逆变器结构图

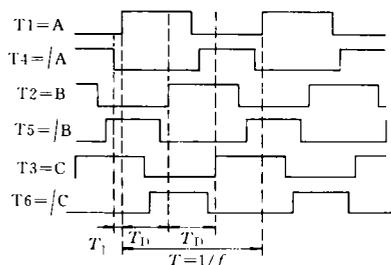


图 2 逆变器控制脉冲时序图

二、逆变控制脉冲的生成方法

由于采用第二种 AC-DC-AC 的变换方法,所以对逆变器而言,仅需控制逆变脉冲的频率即可控制输出交流电的频率。系统中逆变器为全桥逆变方式,图 1 为逆变器的结构图。上下桥路共有 6 个可控器件 T1~T6 需要进行控制,可控器

利用 8098 单片机和接口电路可方便地生成逆变器的控制脉冲,使控制脉冲满足死区要求和时序要求并实现脉冲频率的控制。在单片机 8098 的通道中,有一种高速输出通道 HSO,它无需 CPU 干预,能自动在 8 个状态周期中处理 8 个输出事件,并可以人为设置某个高速输出出口的触发时刻,从而引起 CPU 对外部事件的中断服务,当

单片机 8098 的晶振为 8MHz 时,高速输出口的事件分辨率为 $3\mu s$,因此可得到很高的分辨率。系统采用 HSO. 0—HSO. 2 实现上三个桥路的控制脉冲,下三个桥路控制脉冲由 HSO. 0—HSO. 2 的输出取反可得。下面分两步详细介绍死区要求、时序及变频的实现。

1. 死区特性的实现

对控制脉冲时序上的死区要求在硬件上实现,其硬件结构如图 3 所示,图中仅表示 HSO. 0 对应的 T1 和 T4 的控制脉冲关系。由图 4 可知,HC14A 输出端 2 变为高电平时,D1 和 C1 组成充电回路,使 HC14 : C 的输入端 5 电平逐渐升高,至阈值翻转,使输出端 6 变为低电平,设此延迟时间为 T_{dc} ,HC14 : A 输出端 2 变为低电平时,R1 和 C1 组成放电回路,使 HC14 : C 的输入端 5 电平逐渐降低,至阈值翻转,使输出端 6 变为高电平,设此延迟时间 T_{rc} ,设 HC14 输入端产生低到高跳变,输出端产生高到低跳变的延迟时间为 T_p ,HC14 输入端产生高到低的跳变,输出端产生低到高跳变的延迟时间为 T_r 。设 HSO. 0 为方波,占空比 $Q=1/2$,周期为 T ,则易知:T1 输出脉冲与 HSO. 0 同相,滞后时间 $T_{D1}=T_r+T_{rc}$,占空比 $Q1=(T/2-T_r-T_{rc}+T_p+T_{dc})/T$,由于 $T_r \approx T_p \ll T_{dc} < T_{rc}$,所以 $T_{D1} \approx T_{rc}$, $Q1 \approx 1/2 - (T_{rc} - T_{dc})/T < 1/2$;T4 输出脉冲与 HSO. 0 反相,同理易得:滞后时间 $T_{D2}=T_r+T_p+T_{dc}$, $Q2=1/2 - (T_{rc} - T_{dc})/T$,则 T1 变高滞后 T4 变低的时间 $T_{rd}=T_{D2}-T_{D1}=T_{rc}-T_{dc}-T_p \approx T_{rc}-T_{dc} > 0$,T1 变低超前 T4 变高的时间 $T_{ld}=(1-Q2)T+T_r+T_p+T_{dc}-(Q1T+T_r+T_{rc})=T_{rc}-T_{dc}+T_r \approx T_{rc}-T_{dc} > 0$,可见图 3 可实现死区特性要求。

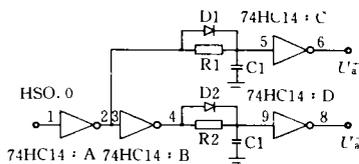


图 3 控制脉冲时序硬件实现结构

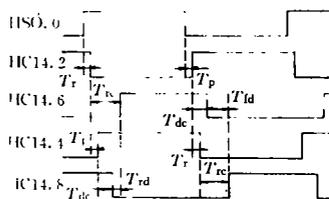


图 4 实际控制脉冲时序图

2. 时序要求及变频的实现

由于 HSO. 0—HSO. 2 对应 U_a-U_c 正向触发控制字,以 HSO 的一次变化为一个事件,由图 1 的控制脉冲时序可知:HSO 的触发控制字依次为 HSO. 0=0,HSO. 2=1,HSO. 1=0,HSO. 0=1,HSO. 2=0,HSO. 1=1,构成循环,则 HSO 每个事件发生的时间间隔为 $T/6=60^\circ$ 。设控制字为一个表,其首地址为 COMTAB,则 HSO-COMMAND 的控制字依次为:10H—32H—11H—30H—12H—31H。

我们知道,HSO 的事件发生时刻是与 8098 单片机的定时器 0 同步的,定时器 0 自由运行,设其当前计数值为 Timer1,记 HSO 事件发生时刻为 HSO-TIME,则当 $Timer1=HSO-TIME$ 时,HSO 事件发生,这无需 CPU 干预,直接由硬件比较实现。设定定时器 0 的每次计数增 1 时间为 T_i ,系统的晶振为 F_{osc} ,由于 3 个晶振周期为 1 个状态周期,而定时器 0 每 8 个状态周期计数增 1,所以 $T_i=3 \times 8/F_{osc}$ 。设 HSO Time 为事件发生间隔,Frequency 为输出交流电的频率, $Frequency=1/T$,由于控制脉冲时序上要求 HSO 事件发生间隔为 $T/6$,则 $HSO\ Time=T/6/T_i=F_{osc}/3/8/6/Frequency$ 。用 HSO 实现逆变控制脉冲的具体过程为采用高速输出中断,利用上次 HSO 事件产生中断,并在中断服务子程序中进行下一个高速输出事件的生成,由于 CPU 相应高速输出中断的时间与高速输出事件生成的时刻之间有延迟,而且延迟时间是一个随机波动的时间,这将影响逆变器的输出交流电的频率,造成交流电频率的波动。为了解决这一问题,在软件设计中,采用触发时刻内存映象来记录 HSO 的事件触发时刻,并以其作为触发事件的基准,来实现下一个 HSO 事件的触发。下面给出 HSO 中断服务子程序,其中,HSOTime 为交流电频率对应的定时器 0 计数个数,HSO-COMMAND 为 HSO 事件的命令字节,HSO-TIME 为 HSO 事件的时间,HSO Off 为下一个 HSO 事件对应的偏移量,MapTimer 即为定时器 0 的计数内存映象。由中断子程序可知,每次中断后给出的下一事件其时刻 $HSO-TIME=MapTimer+HSOTime$,而且内存映象 $MapTimer=MapTimer+HSOTime$,即一旦 HSO 事件启动,在输出交流电频率不变时,内存映象 MapTimer 按照自己设定的固定时间增加,这样 HSO 事件的发生时刻也相对前一 HSO 事件的时刻固

定,即使 CPU 响应 HSO 事件中断的时间变化, HSO 事件的设定仍然可保持同步,因此这样处理可得到很稳定的输出频率。

```

;*****
;FINTHSO APP ----The HSO interrupt service subroutine
;-----
;(1)HSOTime(w):HSO time.
;(2)HSOOff(w):HSO control code offset.
;*****
FINTHSO:PUSHF
    LDB HSO-COMMAND ,COMTAB[HSOOff] ;Push next
    HSO command
    ADD HSO-TIME,MapTimer,HSOTime
    ADD MapTimer,HSOTime ;Maptimer += HSOTime
    INC HSOOff ;Increase HSO code offset
    CMP HSOOff,#06H ;If HSO-Off>=6
    JLTHSORET
    LD HSOOff,#0H ;HSO-Off=0
HSORET: POPF
    RET ;EXIT THE INTERRUPT SERVER
COMTAB: DCB 10H,32H,11H,30H,12H,31H
    
```

在初始化时,HSOOff=0,写第一个 HSO 事件,此时令 HSO-COMMAND = COMTAB[HSOOff],HSO-TIME = Timer1 + 10,MapTimer = Timer1 + 10,初始化后 HSOOff 增 1。这样,就可启动 HSO 事件中断,进入周期循环,依次给出满足逆变控制脉冲时序要求的脉冲。

三、整流触发字的生成方法

由于采用第二种 AC-DC-AC 的变换方法,所以对整流器而言,需控制整流的触发角和触发字的生成,以产生所需的直流电压。设交流输入电源的 A 相经过变压器降压和过零整形后的信号为 V_a ,我们知道,触发角 $Inv-Angle=0$ 对应 V_a 延迟 30° ,设输入交流电频率为 Power Frequency,为 50Hz 或 60Hz,设 Power-Frequency = 50Hz,则 $Inv Angle=0$ 对应 V_a 延迟时间 $Inv Delay=1000 * 30/360/Power-Frequency=1.67ms$ 。由于采用三相桥式整流,因此对整流控制脉冲和整流控制字有一定要求,在一个电源周期内要触发 6 次,给出 6 个触发脉冲和 6 个控制字,触发脉冲见图 5,整流器结构见图 6。图 6 中 V_a 、 V_b 和 V_c 为三相交流电, U 为输出整流电压, $V1 \sim V6$ 为可控整流器件。图 5 表示了整流触发角的起始点,即 $Inv-Angle=0$ 的第一个触发脉冲的触发时刻,1= V_{ab} 表示触发脉冲 1 触发的线电压为 V_{ab} ,其余数字类推。同一次触发的每个触发脉冲之间的间

隔为 60° 。图中给出了触发角为 0 和 30° 的情形,结合图 5 和图 6,可分析触发字应该如何给出。触发脉冲 1 对应线电压为 V_{ab} ,即应该触发晶闸管 $V1$ 和 $V5$ 。设一个字节 Inv-Code-Address 表示触发字, $V1 \sim V6$ 的状态对应该字节的 Bit0-Bit5,则 1~6 的触发字依次为:11H、21H、22H、0AH、0CH、14H。

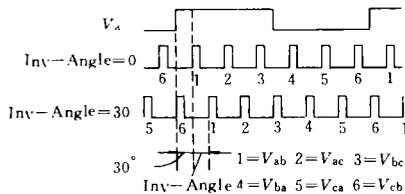


图 5 整流器触发脉冲时序图

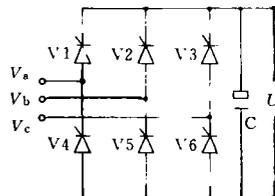


图 6 整流器结构图

设 8098 系统中内存单元 Inv-Code-Address 表示触发字,Inv-Pulse-Address 为触发脉冲单元,在 8098 内部寄存器中定义 Inv-Code-Data 和 Inv-Pulse-Data,其内容为触发字和触发脉冲对应的值。将 V_a 作为同步信号(上升沿),由于一个周期内要产生 6 个触发脉冲,而且最后一个脉冲 6 可能在下一个同步信号后产生,因此采用查询方法检测 V_a 同步信号和给出触发脉冲不仅浪费 CPU 的时间,而且将产生触发脉冲混乱。可利用 V_a 作为同步信号产生中断,依次产生触发脉冲 1~6。由于 1~6 的触发间隔是固定的,因此可利用前一次触发脉冲产生定时中断,在中断中产生下一次脉冲。

1. 触发脉冲 1~6 的形成

在 8098 单片机中有 4 个软件定时器、用法与 HSO 类似,对应 HSO 的通道 8~11。利用软件定时器产生定时中断,与上述的逆变器控制脉冲产生方法类似,在软件定时中断中依次给出 6 个控制脉冲和控制脉冲对应的控制字。具体方法为:在 V_a 的同步信号启动中断中,给出触发软件定时器的首次中断时刻,详细说明见后面。由软件定时中

断给出下一个软件定时中断产生的时刻,即在中断中写下一个软件定时器的控制字,第 k 次软件定时中断给出第 k 个脉冲和第 k 个触发字。若采用一个软件定时器依次中断,而且采用 V_a 的一个同步信号触发 6 个脉冲,则由于 V_a 的两个同步信号之间不一定能完全给出 6 个触发脉冲。例如当触发角 $\text{Inv-Angle} \geq 30^\circ$ 时,触发脉冲 6 已经在 V_a 的下一个同步信号后,而 V_a 下一个同步信号也要产生软件定时器中断,这样容易造成混乱。因此有必要采用两个软件定时器进行触发脉冲的输出,同时需要增加一个标志字节 $V_a\text{-Flag}$ 表明 V_a 同步信号中断时设置哪个软件定时器。为了减小采样的数据用于调节延迟时间,我们将 V_a 的上升沿和下降沿都作为同步信号,上升沿后利用软件定时器 0 给触发脉冲 1~3,下降沿后利用软件定时器 1 给触发脉冲 4~6。由于 $\text{Inv Angle} < 180^\circ$,且 3 个触发脉冲所占时间 $< 3 \times 60 = 180^\circ$,由于触发脉冲很窄,其所占时间 $\approx 2 \times 60 = 120^\circ$,因此每个软件定时器在其同步信号后 $\leq 300^\circ$ 左右已经发完 3 个脉冲,不会造成自己的重叠,避免了触发混乱。下面简要写出软件定时器中断服务子程序。为了保证精确定时地触发脉冲,亦采用内存映象 MBT1 和 MBT2 作为软件定时器 0 和 1 的触发时刻映象,并且在其余中断中均可软件定时中断,使 CPU 能及时响应,减少时间延迟,在读入软件定时器状态 IOS1 时,注意保存其状态,因为读操作将使 IOS1 清零。

```

; * * * * *
; FINTST APP ----The soft time interrupt service subroutine
; * * * * *
FINTST:PUSHF
    LDB IL,IOS1    ;Read Software interrupt Status
    JBC IL,0,ST00RET
    LJMP ST00      ;Software 0 interrupt
ST00RET:
    JBC IL,1,ST10RET
    LJMP ST10      ;Software 1 interrupt
STIMRET:
    POPF
    RET
    ZHLCOM: DCB 24H,84H,90H,18H,48H,60H
                ;Invector Control Code
    ST00:
LDB Inv-Code-Data,ZHLCOM[BrgOff0]
                ;Get the output code

```

```

INC BrgOff0          ;BrgOff0++
CMP BrgOff0,#3H     ;if(BrgOff0>=3)
JGE ST01
LDB HSO-COMMAND,#18H
                ;Make next software interrupt
ADD HSO-TIME,MBT1,#DELTIME
ADD MBT1,#DELTIME
ST01:
LDB Inv-Pulse-Data,#OFFH ;Send Pulse
STB Inv-Pulse,Inv-Pulse-Address[0]
LDB Inv-Pulse-Data,#00H
STB Inv-Pulse,Inv-Pulse-Address[0]
SJMP STOORET
ST10:
LDB Inv-Code-Data,ZHLCOM[BrgOff1]
                ;Get the output code
INC BrgOff1          ;BrgOff1++
CMP BrgOff1,#6H     ;if(BrgOff1>=5)
JGE ST11
LDB HSO-COMMAND,#19H
ADD HSO-TIME,MBT2,#DELTIME
ADD MBT2,#DELTIME
ST11:
LDB Inv-Pulse-Data,#OFFH ;Send Pulse
STB Inv-Pulse,Inv-Pulse-Address[0]
LDB Inv-Pulse-Data,#00H
STB Inv-Pulse,Inv-Pulse-Address[0]
SJMP ST10RET

```

2. 首次触发脉冲1的触发角的给定

在实际设计中,起初考虑 V_a 产生外部中断,在外部中断中读取定时器0的当前计数作为产生第一个触发脉冲1的时间基准,再依次由前一个触发脉冲产生后一个触发脉冲。这样,由于 CPU 响应外部中断的时间不同而导致首次触发脉冲触发时刻与理想的触发时刻有差别,在理想的触发时刻附近来回波动,波动范围有 $200\mu\text{s}$ 左右。设输入交流电频率为 50Hz ,电压有效值 V 为 380V ,则对应触发角 Inv-Angle 波动范围 $\text{Delt Angle} = (200/1000000) \times 50 \times 360 = 3.6^\circ$,而感性负载输出电压 $U = 2.34V \cos(\text{Inv-Angle})$,则整流输出电压最大偏差对应 $\text{Inv-Angle} = 90^\circ$ 时, $\text{Delt-DU} = 2.34V \cos[(90 - 3.6) \times 3.14/360] = 55.8\text{V}$ 。可见,采用上述方案波动太大。我们知道,在单片机 8098 的通道中,有一种高速输入通道 HSI,它无需 CPU 干预,能自动在 8 个状态周期中处理 8 个输入事件,自动记录某个高速输入口的事件触发时刻,

从而引起 CPU 对外部事件的中断服务。将 V_{cc} 信号引入 8098 的 HSI. 1 端作为同步信号。由于高速输入信号的事件触发时间的记录由硬件自动完成, 因此可在高速输入中断中读取其触发时刻, 以此时刻作为同步信号的基准, 则在晶振为 8MHz 时, 时刻波动为 3μs, 对应 $\Delta\text{Angle} = (2/200) \times 3.6 = 0.036^\circ$, $\Delta\text{DU} = 2.34V\cos[(90 - 0.036) \times 3.14/360] = 0.56V$ 。可见, 该方法可大大减小直流电压的波动。

四、结束语

在我们设计的基于 8098 单片机交流变频调速系统中, 采用上述方案对整流器和逆变器进行触

发控制, 给出的控制字和控制时序完全能够满足整流器和逆变器的整流及逆变要求, 而且给出的控制脉冲具有很高的稳定性。由于采用半周期进行一次 PI 调整, 因此使采样的数据能够及时用于调节, 减小了时间的滞后, 使系统具有较好的传动性能。本文介绍的利用内存映象进行时间精确定时方法, 也适用于其它有精确时序要求的场合。

参考文献

- 1 天津电气传动设计研究所. 电气传动自动化技术手册. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- 2 李勋, 李新民, 桂叶欣编著. MCS-96 系列 8098 单片微型计算机. 北京: 航天航空大学出版社, 1990.

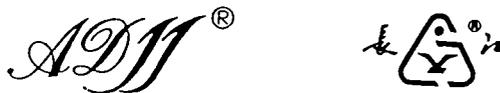
收稿日期: 1995-12-26

声 明

我公司设计生产的 AD11 系列半导体电子信号灯及 LA38 系列按钮开关经机械部及机械部上海电器科学研究所考核试验合格并颁发生产许可证。该系列信号灯质量稳定、品质精良、寿命长、耗能低、受到设计院及机电设备制造行业的欢迎。目前已作为电力部、机械部 GGD、GZD、GCS 及 PGL、JK、GCK 等电控柜的指定配套元件。曾多次获省、部级奖, 94 年获得“中国公认名牌产品”称号, 深受用户欢迎。由于其知名度高, 使用广泛, 假冒伪劣产品打着“江阴长江电子实业总公司”、“江阴晶体管厂”及“AD11 信号灯”的名义到处泛滥、坑害用户, 严重侵害了我公司的利益, 并在社会上造成了极其恶劣的影响。

为此, 我公司郑重声明:

一、我公司第一名称为“江阴长江电子实业总公司”, 第二名称为“江阴晶体管厂”, 我公司 AD11 系列半导体电子信号灯一律在包装上使用技术监督局指定颁发的条形码标记, 使用注册商标为“AD11”(注册证号 383378)和“长江牌”(注册证号 810606), 以下为注册商标图样:



二、凡用我公司“AD11”名义生产和销售该假冒 AD11 信号灯的厂家和销售商, 已构成侵犯注册商标专用权的行为, 必须立即停止生产和销售。

三、根据“商标法”和“反不正当竞争法”, 目前凡生产和销售该假冒 AD11 信号灯的厂家和销售商已构成以下违法行为: (参阅“商标法”和“反不正当竞争法”)

(1) 假冒他人注册商标; (2) 擅自使用知名商标特有的名称、包装、装潢或者使用与知名商标近似的名称、包装、装潢造成和他人的知名商标相混淆, 使购买者误认为是该知名商品; (3) 擅自使用他人的企业名称或姓名, 引人误认为是他人商品; (4) 在商品上伪造或者冒用认证标志、名优标志等质量标志, 伪造产地、对商品质量作引人误解的虚假表示; (5) 经营者假冒他人注册商标, 擅自使用他人的企业名称或者姓名, 伪造或者冒用认证标志, 名优标志等质量标志, 伪造产地、对商品质量作引人误解的虚假表示的, 依照《中华人民共和国商标法》《中华人民共和国质量法》的规定处罚。

四、我公司正告一切擅自生产和销售假冒 AD11 半导体电子信号灯的厂家和销售商, 学习和领会“商标法”第 40 条: “假冒他人注册商标, 包括擅自制造或者销售他人注册商标标识的, 除赔偿被侵权人的损失可以并处罚款外, 对直接责任人员由司法机关依法追究刑事责任。”我公司将依据国家法律会同工商行政管理机关、各地技术监督局和国家法律机关对一切侵权行为予以追究。

五、为了有力地制止、打击生产和销售假冒 AD11 信号灯的不法行为, 我公司对提供线索和检举这些假冒信号灯生产厂家及销售商的有功人员给予一定奖励。特此告知!

江苏 江阴长江电子实业总公司

地址: 江苏江阴滨江中路 275 号 电话: 0510-6806743 邮编: 214431