

## 变频器知识大全：控制篇

### 控制篇

#### 通用变频器中基于 DSP 的数字控制器实现

#### 引言

变频调速系统的关键，就是要设计一个合理的变频器，而它的核心就是变频调速系统的数字控制器。变频器的数字控制器包括信号的检测、滤波、整形，核心算法的实时完成以及驱动信号的产生，系统的监控、保护等功能。

变频器数字控制系统的硬件部分，包括微处理器、接口电路及外围设备，其中微处理器是系统的控制核心，它通过内部控制程序，对从输入接口输入的数据进行处理，完成控制计算等工作，通过输出接口电路向外围发出各种控制信号，外围设备除了检测元件和执行机构，还包括各种操作、显示以及通信设备。

本文采用 TI 公司的 TMS320F240 自行设计了一款用于高速电机调速系统的数字控制器，频率可以通过键盘数字给定或者模拟给定，同时对它的功能和技术做了简要的分析，并给出了电机在 18000r/min 稳态运行时控制器的输出波形。

#### 1 数字控制器的硬件结构框图和工作原理

数字控制器的硬件以 TMS320F240 定点 DSP 为 CPU, CY7C199 为外部数据和程序存储器，数据和程序存储器各 32K；16 路的模拟/数字输入通道，其中一路可以用来进行模拟频率给定；使用了 8 位数字 I/O 口，可以用键盘通过 I/O 口来进行数字频率给定；4 路 12 位的数字/模拟转换通道，用于电机输出信号控制；RS232 和 SPI 系列兼容接口，其中将 SPI 用作变频调速时电机频率的 LED 显示，将 SCI 口扩充成 RS232 接口，其功能布置框图如图 1 所示。

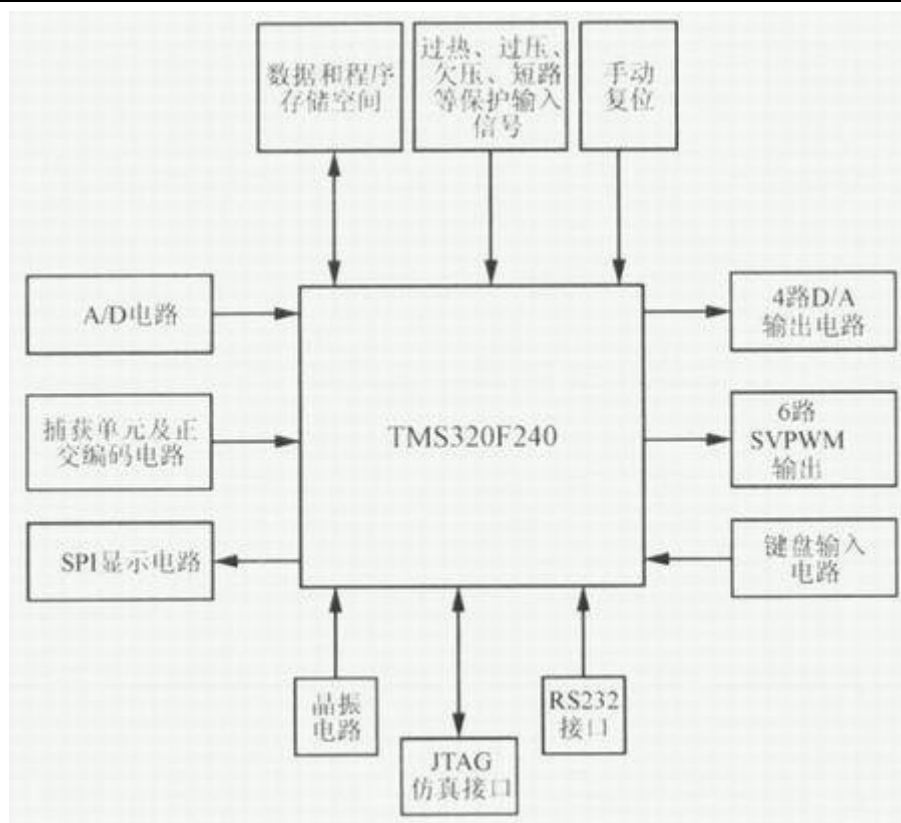


图 1: 数字控制器的硬件结构示意图。

电机或者逆变器的工作频率通过键盘给定，同时，其频率显示通过 DSP 内部的显示程序回显在 LED 上，当按下运行键以后，键盘设计频率被送到产生空间电压矢量的 SVPWM 处理子程序，生成的 SVPWM 波形通过 GAL 器件保护后输出，与此同时，电动机或者变频器的实时运行动态频率通过 LED 显示。正交编码脉冲可以接入电机的光电编码器，对系统构成速度环反馈，A/D 模块可以接入电机的电流环，至于变频调速系统的保护中断源由 DSP 的引脚 PDPINT 提供，主要是过压、过流、控制电压欠压、过热等中断源。电机的速度或者逆变器的输出频率可以通过键盘改变。

## 2 硬件设计

数字信号处理器是数字控制器的核心部分，也是数字控制器对信号的检测、滤波、整形，核心算法的实时完成以及驱动信号的产生，系统的监控、保护等功能的核心部分。数字控制器的功能模块设计如下。

### 2.1 数据和程序存储器的设计

DSP 是一种高速存取器件，对于外围接口芯片有较高的要求，虽然 DSP 本身可以软件提供 0~7 个等待状态来满足与片外存取器件速度的匹配，但是为了不至于影响整个系统的控制和仿真功能，一般采用存取速度比较高的存储器来做为 DSP 的片外数据和程序存储器。本文采用 CY7C199 存储器，存取时间 15ns，完全不用提供软件等待状态也不用加硬件等待电路，因为，CY7C199 是 32K 的 8 位存

存储器，所以，使用了 4 片该存储器组成了 32K 的 16 位存储器 RAM，数据和程序各 32K。

## 2.2 DSP 复位及时钟电路的设计

为了使系统被复位信号正确地初始化，对复位信号的脉冲宽度必须有一定的要求。对于 TMS320F240 而言，复位信号至少要 1ms。不过上电之后，系统的振荡器达到稳定工作状态需要 20ms 甚至更长的时间，一般来说上电复位时，在复位引脚上置 100~200ms 的一个低电平脉冲是比较合适的。根据这一原则，采用 MAXIM 公司的集成微处理器监控复位电路来完成，本文使用了 MAX705。MAX705 监控芯片，与传统的分立元器件组成的微机监控电路比较，它的可靠性高、动态响应好，功耗小、设计简单、体积小，在电子产品设计中已得到广泛的应用。

在设计中，时钟往往不被人充分地重视，其实，时钟是电路设计中非常重要的一个环节。DSP 时钟既可由外部提供，亦可由板上的振荡器来提供。由于 DSP 及其它芯片工作都是以时钟为基准的，如果时钟质量不高，那么系统的可靠性、稳定性就很难保证。本文采用外部时钟输入，由有源晶振产生 10MHz 脉冲，通过覆铜和串接 LC 滤波电路来抑制外界干扰，保证了系统的稳定工作。

## 2.3 RS232 的串行口电路设计

RS232 是美国电子工业协会于 1960 年发布的串行通信接口标准，目前应用广泛的是 RS232C 和 RS232D。

RS232C 的标准连接为 DB25。但在实际应用中采用非标准的 DB9 连接，实际应用中根据需要对定义的引脚进行取舍。RS232C 电气特性最大的特点是采用了负逻辑，逻辑 1 的电平是 -3V~-15V，逻辑 0 的电平是 +3V~+15V，因此，在使用中有一个电平转换接口的问题。本文中采用自升压的集成芯片 MAX232C 来构成，只由 +5V 电源来供电，电平转换所需的 ±10V 电源由片内电荷泵产生。在控制器做好以后，进行了计算机的串行通信接口 (SCI) 检验，数据通信收发正常，能够稳定工作。

## 2.4 D/A 输出功能块的设计

在数字控制系统中，D/A 和 A/D 电路是必不可少的，根据各种运用场合不同，系统对 D/A、A/D 的速度要求也不一样。本文中用的是并行输入的 D/A 芯片 DAC7625，它是 12 位数据并行输入，4 路模拟输出的 D/A 转换器。其建立时间是 10μs，功耗 20mW，电源可以采用单电源 +5V 和双电源 ±5V 供电，广泛应用于电机控制和数据采集等。数模转换器 DAC 的数据输入来自 DSP 的高 12 位，通过 74LS245 送到 DAC7625 的数据端，采用单电源 +5V 供电，参考电压 VHEFH 使用精密稳压器件提供的 +2.5V，VHEFL 模拟地，其输出通

过运算放大器 TLCH2272 进行放大，输出范围为 0~+5V。

## 2.5 键盘输入接口电路和 LED 显示电路设计

键盘和七段 LED 显示器是微型计算机系统最常用的输入、输出设备。它是实现人机之间进行信息交换的主要通路。键盘的功能就是把人们要处理的数据、命令等转换成计算机识别的二进制代码，即计算机能识别的符号；七段 LED 显示器则是把计算机的运算结果、状态等代码转换成为人们能识别的符号显示出来。键盘是计算机系统的主要输入设备，特别是在微处理器中，键盘设计成为必然。本文在设计时考虑到 DSP 处理速度的快速性，对于键盘去抖动环节，采用了硬件延时电路，具体电路如图 2 所示。

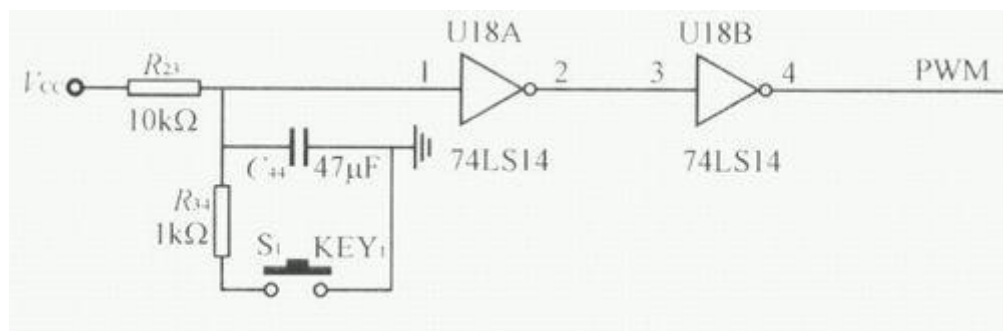


图 2：数字控制器中 DSP 键盘输入接口电路。

七段 LED 显示器有静态显示和动态显示两种连接方式。动态扫描方式节省硬件，常用的 BCD 七段译码驱动和动态扫描驱动电路有两种，如 Intel 8279、Max 7219 等，控制器中采用 MAX7219 芯片。DSP 具有一个与外设打交道的串行接口 SPI，这为串行接口显示提供了方便。MAX7219 是一种串行的共阴极 LED 数字显示驱动器，内没多个控制和数据寄存器，其工作方式可通过编程灵活地设计，它是体积小、功能强大、使用灵活方便的串行接口。应用中需要注意的问题就是，MAX7219 抗 EMI 能力比较差，相对而言用 MAX7221 比较可靠一点。另外一个问题是，说明书中虽然说寄存器可以使用任意数字，比如说数据格式中的高 4 位用的是 XXXX 来表示，但是，在实际应用中最好使用非零位，本文采用 1111 来表示，可以增加抗干扰能力。另外，在串行数据线和电源中必须加适量电容，以提高抗干扰能力，特别是电源尤其要注意，如果波动比较大的话，MAX7219 比较容易损坏。

## 2.6 SVPWM 脉冲输出模块的设计

空间电压矢量 SVPWM 脉冲输出是数字控制器中的关键部分，电机调速或者逆变器的频率就是由 SVPWM 波形来控制的。为了防止逆变器的上下桥臂直通，虽然在 DSP 内部编程可以加入死区技术，但是用微处理器产生的 SVPWM 脉冲可能由于程序跑飞而造成控制混乱，为安全起见，采用 GAL 器件做了互锁保护电路，防止逆变器同一桥臂上下器件的直通，数字控制器中使用的是 Lattice 公司的 GAL16V8。

### 3 软件设计

随着变频器产品的不断成熟,它的功能也不断丰富,可靠性也得到不断提高,从而导致了其程序编制的复杂度和难度。本文设计的变频调速系统是针对实验室无轴承高频电机用,主要完成了一些基本功能,比如频率的设定与显示,低速时转距补偿功能等,程序不是特别复杂,设计程序近 2000 行,并对程序进行了测试,证明程序运行良好。本文变频调速系统中的整个程序主要由主程序、键盘程序、显示程序、PWM 程序、故障保护中断程序等组成。

#### 3.1 主程序和故障保护中断程序

主程序是整个程序的最主要部分,它完成了变频器的主要功能,它的流程图如图 3 (a) 所示。程序初始化部分主要包括: I/O 口的初始化,波形发生器的初始化,定时计数器的初始化,SP1 的初始化,MAX7219 的初始化等。读数到内部寄存器,就是把常用的数据读入到内部寄存器,缩短 DSP 处理时间,更好地实现? 夹浴 I 瓚夕德蚀? 理,就是判断按键所给定的值,判别所设定的频率谁是最最终的目标频率。频率显示部分,就是把最终目标频率,按常规以千位、百位、十位、个位通过 LED 显示出来。运行控制就是根据 RUN 键来决定是否启动电机运行。在硬件设计上,采用的是富士公司的第三代智能功率模块 IPM,它的内部本身就集成厂过压、过流、过热、控制电压欠压、短路等的输出报警功能,通过光耦隔离后送入到 DSP 的外部中断源引脚 PDPINT,完成相应的保护功能,具体流程图如图 3 (b) 所示。

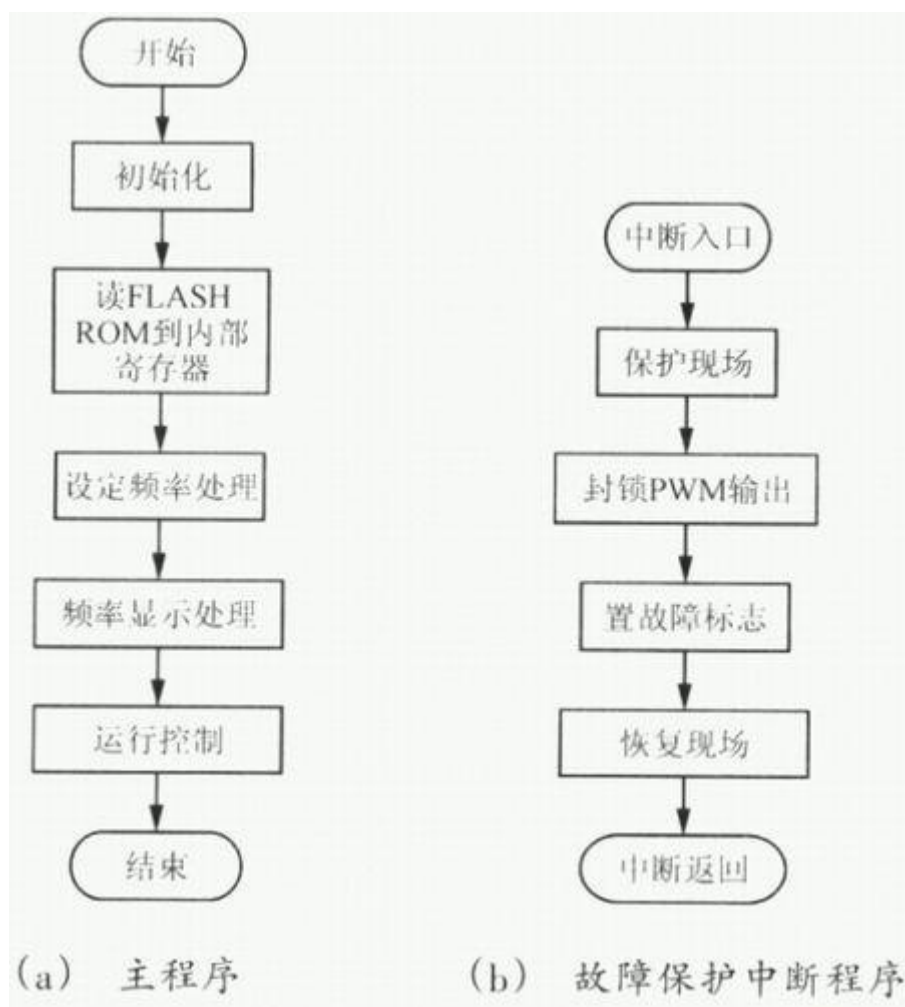


图 3: 主程序和保护程序流程。

### 3.2 SVPWM 中断子程序

PWM 中断子程序是整个控制器工作的关键程序,空间电压矢量调制的完成就是靠它来实现的,具体的流程图如图 4 所示。PWM 发生程序主要完成如下的功能:电机运行时频率的动态显示,根据主程序中所给定的目标频率,可以得到角速度 $\omega$ , $\omega$  经过积分运算可以得到 usref 的角度 $\theta$ ,然后计算 usref 在两相静止坐标系 $\alpha, \beta$  轴上的投影 $us_{\alpha}$  及 $us_{\beta}$ ,有了 $\theta$  可以同时计算出参考电压矢量所在的扇区/N,根据已知量由公用值求取两相邻电压矢量的作用时间 $T_1$ 、 $T_2$  和 $T_0$ ,然后给 DSP 内部的 3 个全比较寄存器 CMPRx ( $x=1, 2, 3$ ) 进行赋值,产生相应的 SVPWM 波形。

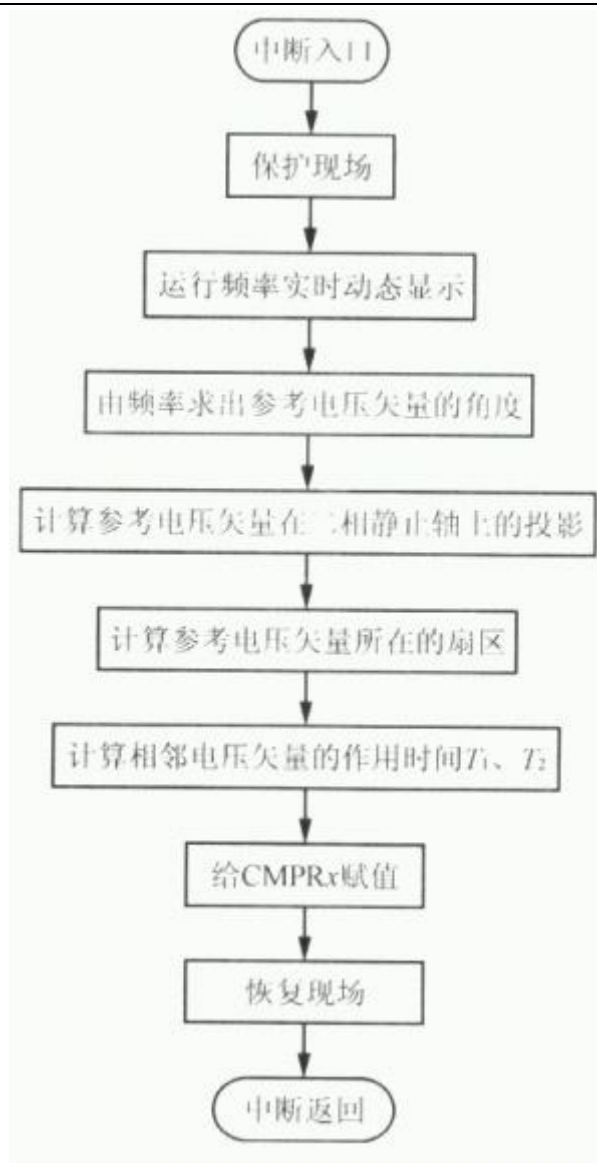


图 4：SVPWN 中断子程序流程图。

#### 4 实验结果

根据前面介绍的系统硬件电路和软件控制算法，对制作的原理样机进行了实验研究。实验测试了异步电动机空载稳态运行情况，以此来检测原理样机的可行性，对实验结果进行了波形记录，300 Hz 稳态运行时其 PWM 控制波形和测得的异步电机实测线电压波形如图 5 所示。

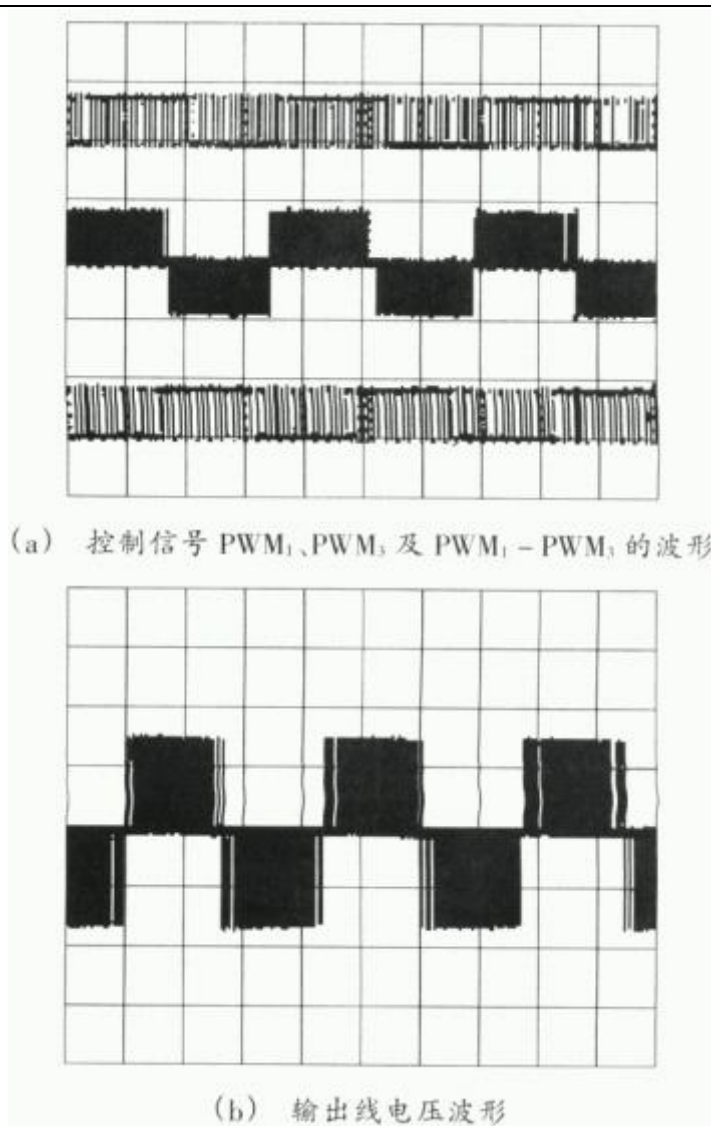


图 5: 300Hz 时控制器输出的控制波形和实测电机线电压波形。

实验用高频电机的参数如下:

额定电压  $U_n=220V$ , 额定电流  $I_n=1.5A$ , 额定频率  $f=400Hz$ , 异步电机的极对数=1, 额定功率  $P_e=800W$ , 额定空载电流  $0.75A$ 。

## 5 结语

以 TMS320F240 数字信号处理器为核心构成的数字控制器是一个信号处理系统, 该系统可以完成信号的检测、滤波、整形, 核心算法的实时完成以及驱动信号的产生, 系统的监控、保护等功能, 相对于一般的单片机构成的系统, 它的处理速度快、实时性能比较好, 也易于选择和配合, 同时集测量、监控、保护于一身, 可与上位机通信, 具有很高的使用价值。

[基于 DSP 控制的三相 AC/AC 变频器控制方案的研究](#)



[变频技术在中央空调系统中的节能应用](#)

相关文章:

[变频器知识大全：基础篇](#)

[变频器知识大全：应用篇](#)