

变频器知识大全

目录

基础篇

变频器的基础知识

变频器的工作原理

变频器控制方式

变频器的使用中遇到的问题和故障防范

变频器对周边设备的影响及故障防范

变频器技术发展方向预测

控制篇

通用变频器中基于 DSP 的数字控制器实现

基于 DSP 控制的三相 AC/AC 变频器控制方案的研究

应用篇

变频器在工程应用中需要注意的几个问题

变频器在中央空调中的应用

丹佛斯VLT变频器在纺织机械中的应用

西门子 MicroMaster 440 变频器在电梯控制系统中的应用

基础篇

变频器的基础知识

变频器是把工频电源(50Hz 或 60Hz)变换成各种频率的交流电源,以实现电机的变速运行的设备,其中控制电路完成对主电路的控制,整流电路将交流电变换成直流电,直流中间电路对整流电路的输出进行平滑滤波,逆变电路将直流电再逆成交流电。对于如矢量控制变频器这种需要大量运算的变频器来说,有时还需要一个进行转矩计算的 CPU 以及一些相应的电路。变频调速是通过改变电机定子绕组供电的频率来达到调速的目的。

变频技术是应交流电机无级调速的需要而诞生的。20 世纪 60 年代以后,电力电子器件经历了 SCR(晶闸管)、GTO(门极可关断晶闸管)、BJT(双极型功率晶体管)、MOSFET(金属氧化物场效应管)、SIT(静电感应晶体管)、SITH(静电感应晶闸管)、MGT(MOS 控制晶体管)、MCT(MOS 控制晶闸管)、IGBT(绝缘栅双极型晶体管)、HVIGBT(耐高压绝缘栅双极型晶闸管)的发展过程,器件的更新促进了电力电子变换技术的不断发展。20 世纪 70 年代开始,脉宽调制变压变频(PWM—VVVF)调速研究引起了人们的高度重视。20 世纪 80 年代,作为变频技术核心的 PWM 模式优化问题吸引着人们的浓厚兴趣,并得出诸多优化模式,其中以鞍形波 PWM 模式效果最佳。20 世纪 80 年代后半期开始,美、日、德、英等发达国家的 VVVF 变频器已投入市场并获得了广泛应用。

变频器的分类方法有多种，按照主电路工作方式分类，可以分为电压型变频器和电流型变频器；按照开关方式分类，可以分为 PAM 控制变频器、PWM 控制变频器和高载频 PWM 控制变频器；按照工作原理分类，可以分为 V/f 控制变频器、转差频率控制变频器和矢量控制变频器等；按照用途分类，可以分为通用变频器、高性能专用变频器、高频变频器、单相变频器和三相变频器等。

VVVF：改变电压、改变频率 CVCF：恒电压、恒频率。各国使用的交流供电电源，无论是用于家庭还是用于工厂，其电压和频率均为 400V/50Hz 或 200V/60Hz (50Hz)，等等。通常，把电压和频率固定不变的交流电变换为电压或频率可变的交流电的装置称作“变频器”。为了产生可变的电压和频率，该设备首先要把电源的交流电变换为直流电 (DC)。

用于电机控制的变频器，既可以改变电压，又可以改变频率。

变频器的工作原理

我们知道，交流电动机的同步转速表达式为：

$$n=60 f(1-s)/p \quad (1)$$

式中

n——异步电动机的转速；

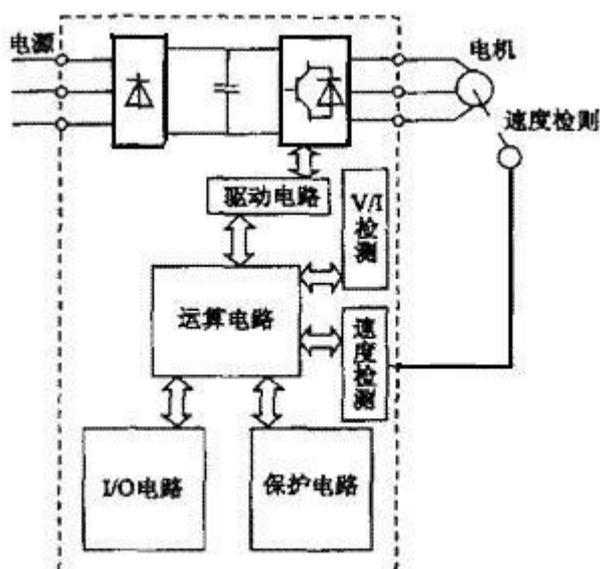
f ——异步电动机的频率；

s ——电动机转差率；

p ——电动机极对数。

由式(1)可知，转速 n 与频率 f 成正比，只要改变频率 f 即可改变电动机的转速，当频率 f 在 $0\sim 50\text{Hz}$ 的范围内变化时，电动机转速调节范围非常宽。变频器就是通过改变电动机电源频率实现速度调节的，是一种理想的高效率、高性能的调速手段。

变频器原理框图



变频器控制方式

低压通用变频输出电压为 380~650V，输出功率为 0.75~400kW，工作频率为 0~400Hz，它的主电路都采用交—直—交电路。其控制方式经历了以下四代。

1. $U/f=C$ 的正弦脉宽调制 (SPWM) 控制方式

其特点是控制电路结构简单、成本较低，机械特性硬度也较好，能够满足一般传动的平滑调速要求，已在产业的各个领域得到广泛应用。但是，这种控制方式在低频时，由于输出电压较低，转矩受定子电阻压降的影响比较显著，使输出最大转矩减小。另外，其机械特性终究没有直流电动机硬，动态转矩能力和静态调速性能都还不尽如人意，且系统性能不高、控制曲线会随负载的变化而变化，转矩响应慢、电机转矩利用率不高，低速时因定子电阻和逆变器死区效应的存在而性能下降，稳定性变差等。因此人们又研究出矢量控制变频调速。

2. 电压空间矢量 (SVPWM) 控制方式

它是以三相波形整体生成效果为前提，以逼近电机气隙的理想圆形旋转磁场轨迹为目的，一次生成三相调制波形，以内切多边形逼近圆的方式进行控制的。经实践使用后又有所改进，即引入频率补偿，能消除速度控制的误差；通过反馈估算磁链幅值，消除低速时定子电阻的影响；将输出电压、电流闭环，以提高动态的精度和稳定度。

但控制电路环节较多，且没有引入转矩的调节，所以系统性能没有得到根本改善。

3. 矢量控制(VC)方式

矢量控制变频调速的做法是将异步电动机在三相坐标系下的定子电流 I_a 、 I_b 、 I_c 、通过三相—二相变换，等效成两相静止坐标系下的交流电流 I_{a1} I_{b1} ，再通过按转子磁场定向旋转变换，等效成同步旋转坐标系下的直流电流 I_{m1} 、 I_{t1} (I_{m1} 相当于直流电动机的励磁电流； I_{t1} 相当于与转矩成正比的电枢电流)，然后模仿直流电动机的控制方法，求得直流电动机的控制量，经过相应的坐标反变换，实现对异步电动机的控制。其实质是将交流电动机等效为直流电动机，分别对速度，磁场两个分量进行独立控制。通过控制转子磁链，然后分解定子电流而获得转矩和磁场两个分量，经坐标变换，实现正交或解耦控制。矢量控制方法的提出具有划时代的意义。然而在实际应用中，由于转子磁链难以准确观测，系统特性受电动机参数的影响较大，且在等效直流电动机控制过程中所用矢量旋转变换较复杂，使得实际的控制效果难以达到理想分析的结果。

4. 直接转矩控制(DTC)方式

1985年，德国鲁尔大学的 DePenbrock 教授首次提出了直接转矩控制变频技术。该技术在很大程度上解决了上述矢量控制的不足，并以新颖的控制思想、简洁明了的系统结构、优良的动静态性能得到

了迅速发展。目前，该技术已成功地应用在电力机车牵引的大功率交流传动上。直接转矩控制直接在定子坐标系下分析交流电动机的数学模型，控制电动机的磁链和转矩。它不需要将交流电动机等效为直流电动机，因而省去了矢量旋转变换中的许多复杂计算；它不需要模仿直流电动机的控制，也不需要为解耦而简化交流电动机的数学模型。

5. 矩阵式交—交控制方式

VVVF 变频、矢量控制变频、直接转矩控制变频都是交—直—交变频中的一种。其共同缺点是输入功率因数低，谐波电流大，直流电路需要大的储能电容，再生能量又不能反馈回电网，即不能进行四象限运行。为此，矩阵式交—交变频应运而生。由于矩阵式交—交变频省去了中间直流环节，从而省去了体积大、价格贵的电解电容。它能实现功率因数为 1，输入电流为正弦且能四象限运行，系统的功率密度大。该技术目前虽尚未成熟，但仍吸引着众多的学者深入研究。其实质不是间接的控制电流、磁链等量，而是把转矩直接作为被控制量来实现的。具体方法是：

——控制定子磁链引入定子磁链观测器，实现无速度传感器方式；

——自动识别 (ID) 依靠精确的电机数学模型，对电机参数自动识别；

——算出实际值对应定子阻抗、互感、磁饱和因素、惯量等算出实际的转矩、定子磁链、转子速度进行实时控制；

——实现 Band—Band 控制按磁链和转矩的 Band—Band 控制产生 PWM 信号，对逆变器开关状态进行控制。

矩阵式交—交变频具有快速的转矩响应($<2\text{ms}$)，很高的速度精度($\pm 2\%$ ，无 PG 反馈)，高转矩精度($<+3\%$)；同时还具有较高的起动转矩及高转矩精度，尤其在低速时(包括 0 速度时)，可输出 $150\% \sim 200\%$ 转矩。

变频器的使用中遇到的问题 and 故障防范

由于使用方法不正确或设置环境不合理，将容易造成变频器误动作及发生故障，或者无法满足预期的运行效果。为防患于未然，事先对故障原因进行认真分析显得尤为重要。

外部的电磁感应干扰

如果变频器周围存在干扰源，它们将通过辐射或电源线侵入变频器的内部，引起控制回路误动作，造成工作不正常或停机，严重时甚至损坏变频器。提高变频器自身的抗干扰能力固然重要，但由于受装置成本限制，在外部采取噪声抑制措施，消除干扰源显得更合理、更必要。以下几项措施是对噪声干扰实行“三不”原则的具体方法：变频器周围所有继电器、接触器的控制线圈上需加装防止冲击电压的吸收装置，如 RC 吸收器；尽量缩短控制回路的配线距离，并使其与主线路分离；指定采用屏蔽线回路，须按规定进行，若线路较长，应采用合理的中继方式；变频器接地端子应按规定进行，不能同电

焊、动力接地混用；变频器输入端安装噪声滤波器，避免由电源进线引入干扰。

安装环境

变频器属于电子器件装置，在其规格书中有详细安装使用环境的要求。在特殊情况下，若确实无法满足这些要求，必须尽量采用相应抑制措施：振动是对电子器件造成机械损伤的主要原因，对于振动冲击较大的场合，应采用橡胶等避振措施；潮湿、腐蚀性气体及尘埃等将造成电子器件生锈、接触不良、绝缘降低而形成短路，作为防范措施，应对控制板进行防腐防尘处理，并采用封闭式结构；温度是影响电子器件寿命及可靠性的重要因素，特别是半导体器件，应根据装置要求的环境条件安装空调或避免日光直射。

除上述 3 点外，定期检查变频器的空气滤清器及冷却风扇也是非常必要的。对于特殊的高寒场合，为防止微处理器因温度过低不能正常工作，应采取设置空间加热器等必要措施。

电源异常

电源异常表现为各种形式，但大致分以下 3 种，即缺相、低电压、停电，有时也出现它们的混和形式。这些异常现象的主要原因多半是输电线路因风、雪、雷击造成的，有时也因为同一供电系统内出现对地短路及相间短路。而雷击因地域和季节有很大差异。除电压波动外，有些电网或自行发电单位，也会出现频率波动，并且这些

现象有时在短时间内重复出现，为保证设备的正常运行，对变频器供电电源也提出相应要求。

如果附近有直接起动电动机和电磁炉等设备，为防止这些设备投入时造成的电压降低，应和变频器供电系统分离，减小相互影响；对于要求瞬时停电后仍能继续运行的场合，除选择合适价格的变频器外，还因预先考虑负载电机的降速比例。变频器和外部控制回路采用瞬停补偿方式，当电压回复后，通过速度追踪和测速电机的检测来防止在加速中的过电流；对于要求必须量需运行的设备，要对变频器加装自动切换的不停电电源装置。

二极管输入及使用单相控制电源的变频器，虽然在缺相状态也能继续工作，但整流器中个别器件电流过大及电容器的脉冲电流过大，若长期运行将对变频器的寿命及可靠性造成不良影响，应及早检查处理。

雷击、感应雷电

雷击或感应雷击形成的冲击电压有时也能造成变频器的损坏。此外，当电源系统一次侧带有真空断路器时，短路器开闭也能产生较高的冲击电压。变压器一次侧真空断路器断开时，通过耦合在二次侧形成很高的电压冲击尖峰。

为防止因冲击电压造成过电压损坏，通常需要在变频器的输入端加压敏电阻等吸收器件，保证输入电压不高于变频器主回路期间所允

许的最大电压。当使用真空断路器时，应尽量采用冲击形成追加 RC 浪涌吸收器。若变压器一次侧有真空断路器，因在控制时序上保证真空断路器动作前先将变频器断开。

过去的晶体管变频器主要有以下缺点：容易跳闸、不容易再启动、过负载能力低。由于 IGBT 及 CPU 的迅速发展，变频器内部增加了完善的自诊断及故障防范功能，大幅度提高了变频器的可靠性。

如果使用矢量控制变频器中的“全领域自动转矩补偿功能”，其中“起动转矩不足”、“环境条件变化造成出力下降”等故障原因，将得到很好的克服。该功能是利用变频器内部的微型计算机的高速运算，计算出当前时刻所需要的转矩，迅速对输出电压进行修正和补偿，以抵消因外部条件变化而造成的变频器输出转矩变化。

此外，由于变频器的软件开发更加完善，可以预先在变频器的内部设置各种故障防止措施，并使故障化解后仍能保持继续运行，例如：对自由停车过程中的电机进行再启动；对内部故障自动复位并保持连续运行；负载转矩过大时能自动调整运行曲线，避免 Trip；能够对机械系统的异常转矩进行检测。

变频器对周边设备的影响及故障防范

变频器的安装使用也将对其他设备产生影响，有时甚至导致其他设备故障。因此，对这些影响因素进行分析探讨，并研究应该采取哪些措施时非常必要的。

电源高次谐波

由于目前的变频器几乎都采用 PWM 控制方式，这样的脉冲调制形式使得变频器运行时在电源侧产生高次谐波电流，并造成电压波形畸变，对电源系统产生严重影响，通常采用以下处理措施：采用专用变压器对变频器供电，与其它供电系统分离；在变频器输入侧加装滤波电抗器或多种整流桥回路，降低高次谐波分量，对于有进相电容器的场合因高次谐波电流将电容电流增加造成发热严重，必须在电容前串接电抗器，以减小谐波分量，对电抗器的电感应合理分析计算，避免形成 LC 振荡。

电动机温度过高及运行范围

对于现有电机进行变频调速改造时，由于自冷电机在低速运行时冷却能力下降造成电机过热。此外，因为变频器输出波形中所含有的高次谐波势必增加电机的铁损和铜损，因此在确认电机的负载状态和运行范围之后，采取以下的相应措施：对电机进行强冷通风或提高电机规格等级；更换变频专用电机；限定运行范围，避开低速区。

振动、噪声

振动通常是由于电机的脉动转矩及机械系统的共振引起的，特别是当脉动转矩与机械共振电恰好一致时更为严重。噪声通常分为变频装置噪声和电动机噪声，对于不同的安装场所应采取不同的处理措施：变频器在调试过程中，在保证控制精度的前提下，应尽量减小

脉冲转矩成分；调试确认机械共振点，利用变频器的频率屏蔽功能，使这些共振点排除在运行范围之外；由于变频器噪声主要有冷却风扇机电抗器产生，因选用低噪声器件；在电动机与变频器之间合理设置交流电抗器，减小因 PWM 调制方式造成的高次谐波。

高频开关形成尖峰电压对电机绝缘不利

在变频器的输出电压中，含有高频尖峰浪涌电压。这些高次谐波冲击电压将会降低电动机绕组的绝缘强度，尤其以 PWM 控制型变频器更为明显，应采取以下措施：尽量缩短变频器到电机的配线距离；采用阻断二极管的浪涌电压吸收装置，对变频器输出电压进行处理；对 PWM 型变频器应尽量在电机输入侧加滤波器。

变频器技术发展方向预测

变频器是运动控制系统中的功率变换器。当今的运动控制系统包含多种学科的技术领域，总的发展趋势是：驱动的交流化，功率变换器的高频化，控制的数字化、智能化和网络化。因此，变频器作为系统的重要功率变换部件，提供可控的高性能变压变频的交流电源而得到迅猛发展。

随着新型电力电子器件和高性能微处理器的应用以及控制技术的发展，变频器的性能价格比越来越高，体积越来越小，而厂家仍然在不断地提高可靠性实现变频器的进一步小型轻量化、高性能化和多

功能化以及无公害化而做着新的努力。变频器性能的优劣，一要看其输出交流电压的谐波对电机的影响；二要看对电网的谐波污染和输入功率因数；三要看本身的能量损耗如何。这里仅以量大面广的交一直一交变频器为例，阐述它的发展趋势：

主电路功率开关元件的自关断化、模块化、集成化、智能化；开关频率不断提高，开关损耗进一步降低。

变频器主电路的拓扑结构方面。变频器的网侧变流器对低压小容量的装置常采用 6 脉冲变流器，而对中压大容量的装置采用多重化 12 脉冲以上的变流器。负载侧变流器对低压小容量装置常采用两电平的桥式逆变器，而对中压大容量的装置采用多电平逆变器。对于四象限运行的转动，为实现变频器再生能量向电网回馈和节省能量，网侧变流器应为可逆变流器，同时出现了功率可双向流动的双 PWM 变频器，对网侧变流器加以适当控制可使输入电流接近正弦波，减少对电网的公害。

脉宽调制变频器的控制方法可以采用正弦波脉宽调制控制、消除指定次数谐波的 PWM 控制、电流跟踪控制、电压空间矢量控制(磁链跟踪控制)。

交流电动机变频调整控制方法的进展主要体现在由标量控制向高动态性能的矢量控制与直接转矩控制发展和开发无速度传感器的矢量控制和直接转矩控制系统方面。

微处理器的进步使数字控制成为现代控制器的发展方向。运动控制系统是快速系统，特别是交流电动机高性能的控制需要存储多种数据和快速实时处理大量信息。近几年来，国外各大公司纷纷推出以DSP (数字信号处理器) 为基础的内核，配以电机控制所需的外围功能电路，集成在单一芯片内的称为DSP单片电机控制器，价格大大降低，体积缩小，结构紧凑，使用便捷，可靠性提高。DSP和普通的单片机相比，处理数字运算能力增强 10~15 倍，可确保系统有更优越的控制性能。数字控制使硬件简化，柔性的控制算法使控制具有很大的灵活性，可实现复杂控制规律，使现代控制理论在运动控制系统中应用成为现实，易于与上层系统连接进行数据传输，便于故障诊断、加强保护和监视功能，使系统智能化(如有些变频器具有自调整功能)。

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。

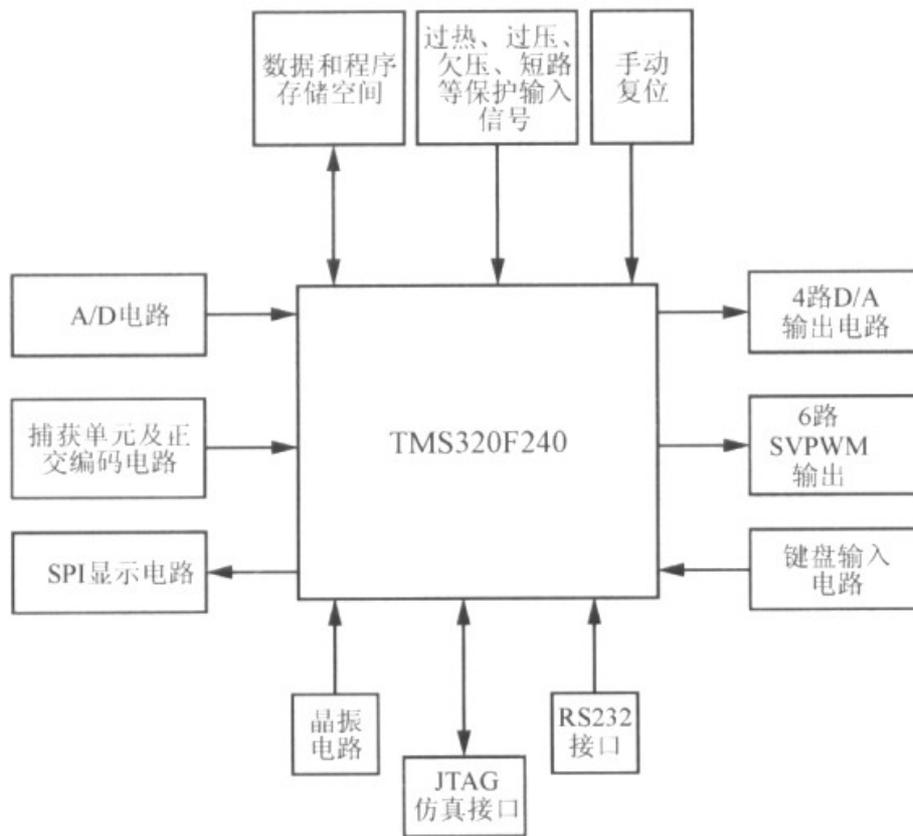


图 1 数字控制器的硬件结构示意图

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 $-3V \sim -15V$ ，逻辑 0 的电平是 $+3V \sim +15V$ ，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 $\pm 10V$ 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。本文中使用的是并行输入的 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 $10\mu\text{s}$ ，功耗 20mW，电源可以采用单电源+5V 和双电源 $\pm 5\text{V}$ 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 $0\sim+5\text{V}$ 。

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。

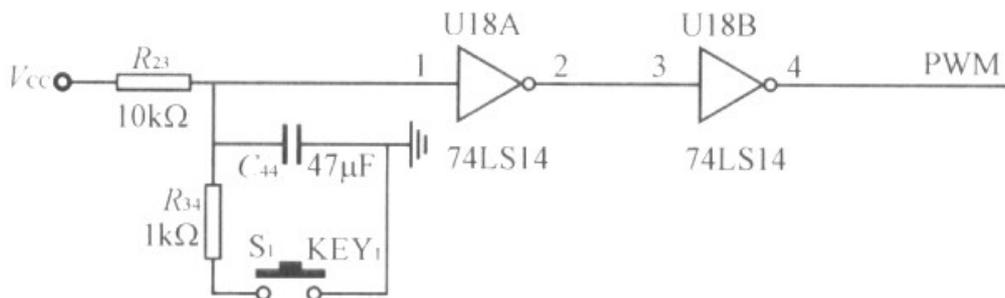


图 2 数字控制器中 DSP 键盘输入接口电路

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 SP1，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时间，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，更好地实现实时性。设定频率处理，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。

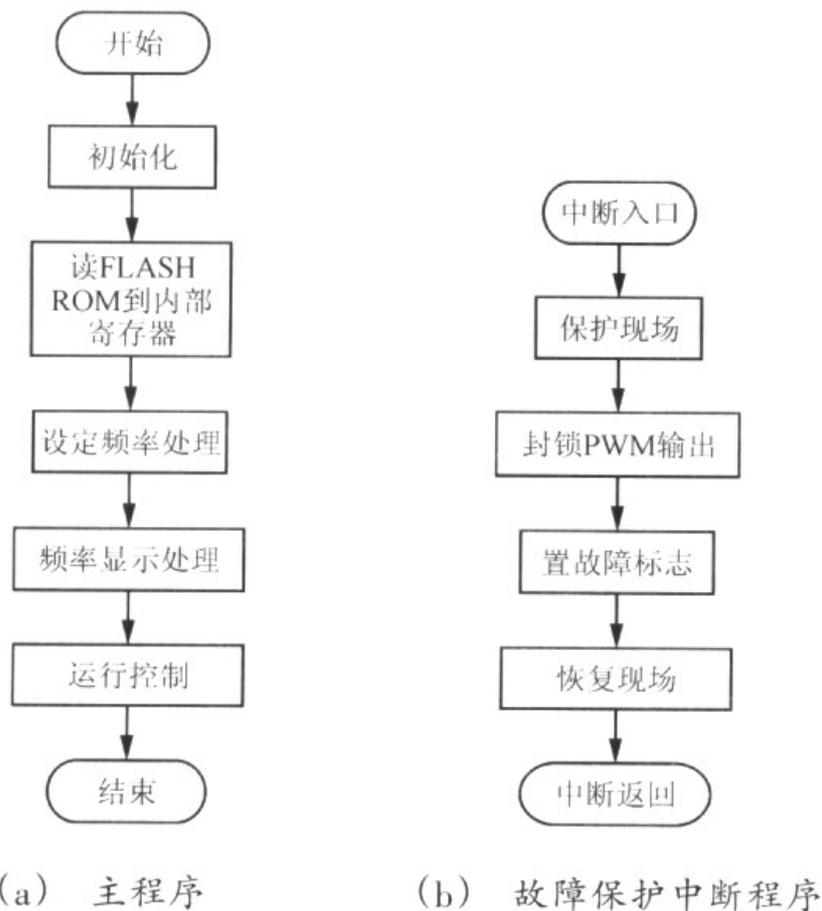


图3 主程序和保护程序流程

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 ω ， ω 经过积分运算可以得到 usref 的角度 θ ，然后计算 usref 在两相静止坐标系 α, β 轴上的投影 us_α 及 us_β ，有了 θ 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 T1、T2 和 T0，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 5VPWM 波形。

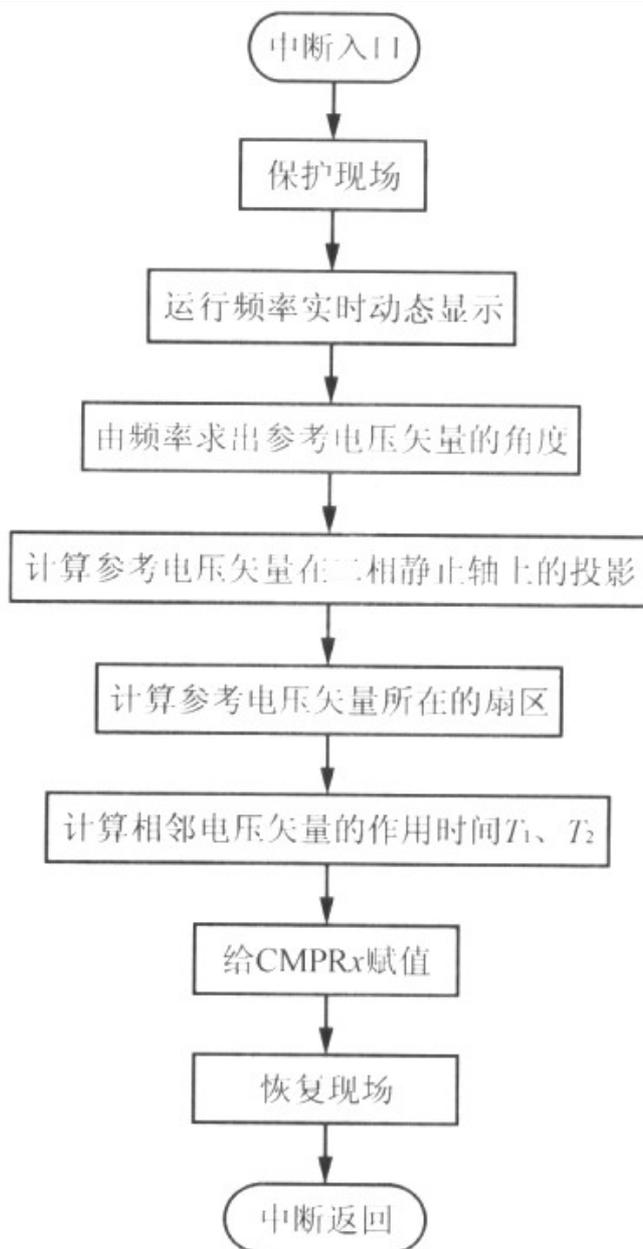
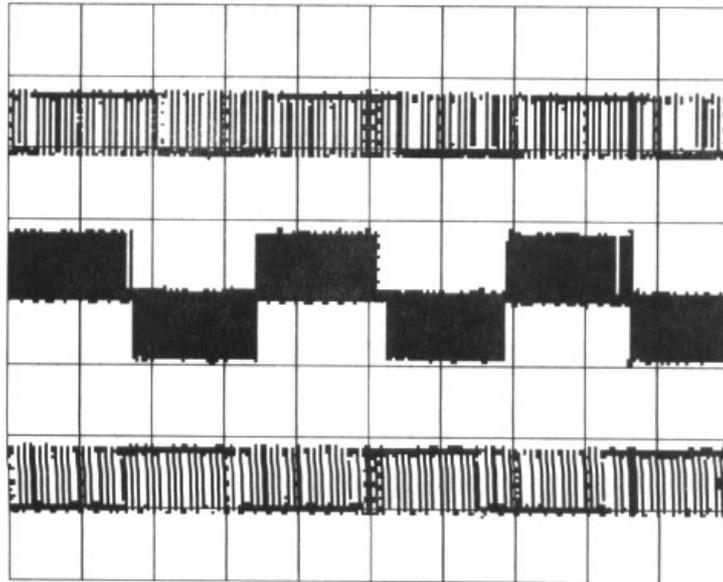


图 4 SVPWM 中断子程序流程图

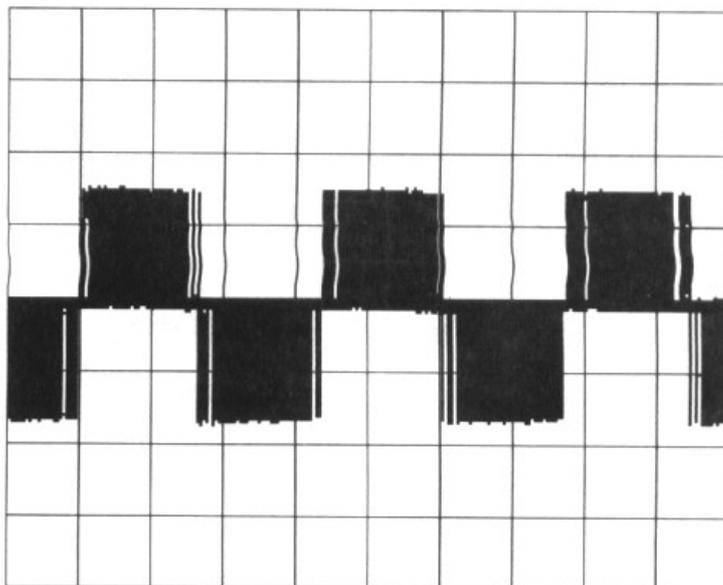
4 实验结果

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。



(a) 控制信号 PWM_1 、 PWM_3 及 $PWM_1 - PWM_3$ 的波形



(b) 输出线电压波形

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

引言

AC/AC 变频器是指直接将较高固定频率的电压变换为频率较低而输出电压幅值可变的变换器。为了使输出电压的谐波减到最小，要求在交流传动中应用的变频器输出电压的波形尽可能接近于正弦，那么就要对反并联变换器的触发延迟角连续进行交变的相位调制。

近年来，微处理器的迅猛发展使数字化的交 - 交变频器在电力拖动中的应用日益广泛，本文以 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320F240 为核心

来研究三相交-交变频器的各种控制方案，并且比较了各自的优缺点。

本系统的硬件基础包括主回路、晶闸管驱动电路、I/O扩展电路、数据采集电路。由数据采集电路产生换组的零电流信号和三相同步信号。捕获中断口 CAPINT1 每隔 $60^\circ(10/3\text{ms})$ 捕捉电源的同步信号，进入同步信号中断程序，结合I/O端口 PB1、PB2、PB3所处的状态，就可以确定相应的同步波波头值以判相定管。I/O 端口 PC0、PC1、PC2 检测三相电流的过零检测信号，当过零信号有效时，进入相应的换组子程序，进行换组。在触发脉冲产生的时刻，这时将编码通过数据总线输出到I/O扩展电路以触发相应的晶闸管。以此硬件电路作为基础介绍了几种控制方法编写程序，并比较了各自的优缺点。

1 逐点比较法

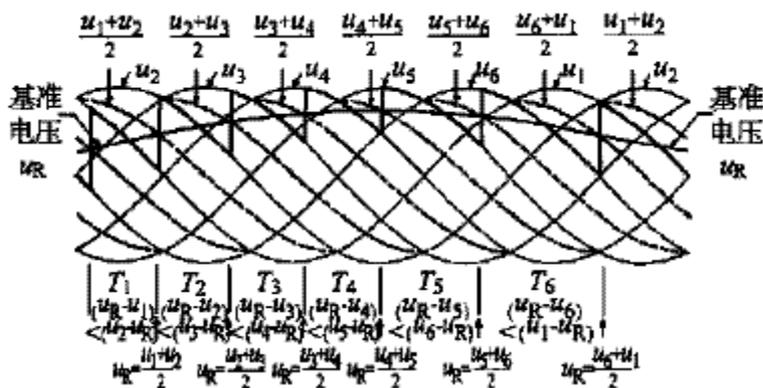


图 1 比较法确定的换相时刻图

电网换相AC/AC变频器的交流输出电压是由其各相输入电压波形的各个片段组合而成的。理想的调制方法应能使输出电压的瞬时值与正弦

波形的差值保持最小。设要求输出的基准电压 $U_R=U_0\sin \omega_0 t$ ，输出的三相交流线电压波形为 u_1, u_2 ，如图 1 所示。只要原先导通相 u_1 比相继导通相 u_2 更接近要求输出的理想电压，即 $(u_R-u_1) < (u_2-u_R)$ 得 $u_R < (u_1+u_2)/2$ ，则 u_1 应继续出现在输出端。当 $u_R = (u_1+u_2)/2$ ，则由 u_1 转换到 u_2 。以自然换相点作为起点，则

$$u_1 = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right), \quad u_2 = -U_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right),$$

则 $1/2(u_1+u_2) = \sqrt{3}/2U_m \cos \omega t$ 。

当触发角为 a 时，要求

$$\sqrt{3}/2U_m \cos a = U_0 \sin \omega_0 t。$$

因此，对于脉波的交-交变频器，以各晶闸管触发延迟角 $a=0$ 为起点的一系列余弦同步电压与理想输出电压的交点为触发点，即可满足输出的电压波形与正弦电压相差最小的要求。

逐点比较法就是在 DSP 内存中制作表格，用查表法产生同步波和基准电压波，然后不断地循环比较。当两者的值相等时，立即触发相应的晶闸管。只要 DSP 的采样间隔取得足够小，通过比较就可以得到精确的交点。

2 直线近似余弦交点法

查表法控制算法简单，易于实现，但占用很大的计算资源，大量的时间用于比较操作，而一个输出电压周期中真正得到的交点很少，

并且要达到一定的精度，需大量表格，内存占用量较大。

为了避免 DSP 不断循环查表耗费大量时间，利用其 CAPINT1 捕获公共同步信号，每隔 3.3ms 向 DS 申请中断。在中断服务子程序中完成交点的计算程序得到触发角对应的定时值，并启动计数器。在余弦交点法的原理中用直线代替余弦波和电压基准波，可以得到下面的图形，如图 2 所示。

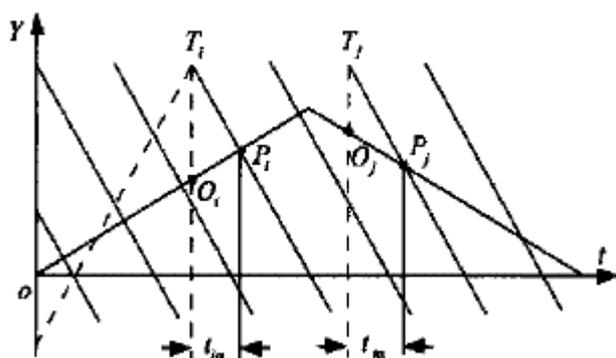


图 2 近似直线的同步波形和基准波形

波形简化后，以基准电压正相过零点为坐标原点建立坐标系。设同步波的幅值为 1，基准电压波的幅值范围为 $[-1, +1]$ 。要输出的电压幅值和频率给定后，其波形的斜率为 $\pm 4rf$ ，同步波频率不变，它的斜率是固定的 ± 200 。已知 O 点和触发点 P 点的瞬时值分别为 x, y ，则解直线方程组：

$$y = \pm 4rf \quad (1)$$

$$y = \pm 200t + b \quad (2)$$

可以求得 $y = (50x \pm rf) / (50 \pm rf)$

$$t_a = (1 - y) / 200$$

式中， t_a 为延迟角 α 对应的时刻。将 DSP 的 TPINT1 周期设置为 $T_{\min}=20/2^9\text{ms}$ 用来表示最小的定时单位， t_a 转换成相应的定时量。在 TPINT1 中断中，给各个定时变量进行减计数操作。当减计数值到零时，立即根据波头值触发相应的晶闸管。具体实现可见参考文献。

3 规则采样法

在余弦交点法实现的 AC/AC 变频器中，有算法较为复杂和其输出的基波电压幅值较小的缺点。从采样控制的角度看，对输入基准波的采样值只是在交点处才是有效的，所以可以把各交点看成是采样点。因此，采样点是不等距、不规则的。由此使得输出波形的高次谐波成分加大。

规则采样法是在每个采样点(选自然换相点)采样基准波电压值，然后计算由该电压值所对应的触发控制角，以该触发角触发下一相晶闸管。如图 3 所示，上部是一组桥的输出电压波形图，下部是同步电压和基准电压的波形图。

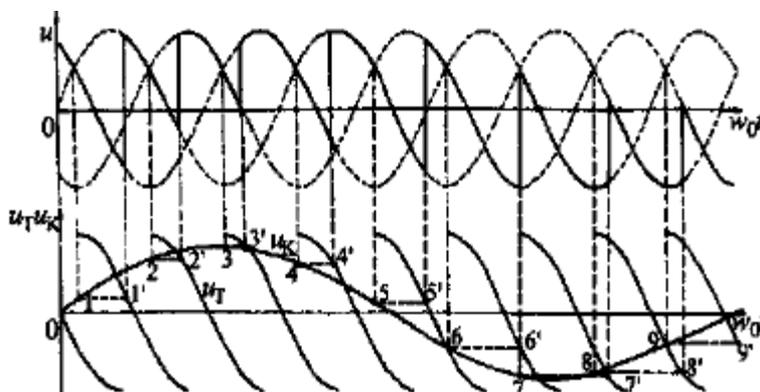


图 3 基准波采样点和同步波触发点

系统在自然换相点采样基准波得到的采样值，如图中 1、2、3、-----，各点，然后按这些采样值在同步电压波上计算相应的触发控制角，如图中 1'、2'、3'、-----，各点。这些点就是要求的换相点。

本系统采用给定基准波幅值和频率，然后查正弦表得到采样点的基准波瞬时值。正弦函数按等时间间隔(3.3ms)离散化，依次存在 DSP 内存的 256 个单元中。DSP 响应电源同步信号中断（即自然换相点）时，按步长 ΔA （即地址差）查表，每查一次瞬时值，将查表地址递增 ΔA 。当查表地址递增到 256 时便完成一次循环，对应的时间等于一个输出周期 T_0 ，所以变频器的输出频率与查表步长之间的关系为：

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{\frac{256}{\Delta A} \times \frac{20}{6} \times 10^{-3}} = 1.17\Delta A \text{ (Hz)}$$

由上式可见， f_0 与 ΔA 成正比，改变 ΔA 即可改变输出频率实现变频。查表得到的瞬时值乘以 K 值即可改变输出电压幅值，以实现变压。然后根据瞬时值查同步电压波的反余弦函数表，得到触发角的值，转化成 DSP 的定时量。定时到，则触发相应的晶闸管。为了使变频器输出对称，三相给定的正弦函数互差 $T_0/3$ ，并与各自的反组正弦函数波成轴对称。用表地址描述的时间轴即 0、 $T_0/3$ 、

$T_0/2$ 、 T_0 时刻分别对应于表地址： $\times\times 00H$ 、 $\times\times 55H$ 、 $\times\times 7FH$ 、 $\times\times FFH$ 。所以只需制作一张正弦函数表，三相查取给定电压波瞬时值的地址始终互差 $55H$ ，这样就实现了三相对称输出。

4 实验结果

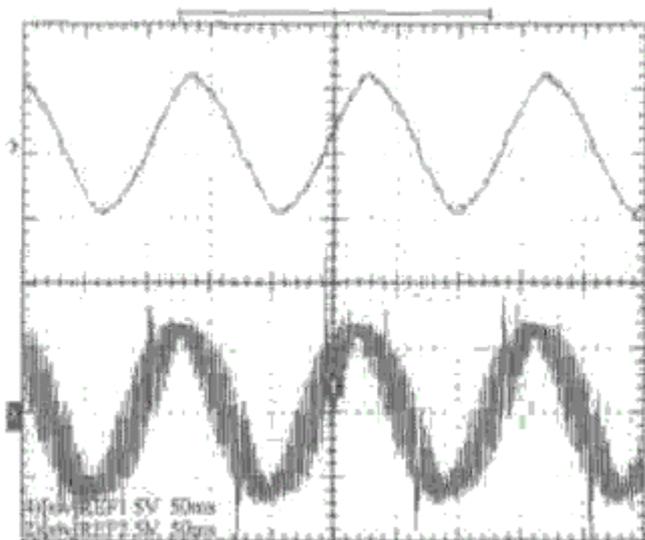


图 4 阻感负载的电压电流波形

从实验结果来看，采用此算法的系统运行稳定可靠，调制的频率可按照设定要求输出，电流过零死区小于 $1ms$ ，满足控制要求，电压电流波形比前两种控制策略所得波形更佳，并且由于规则采样减少了输出波形中的次谐波含量，从而可以扩大 AC/AC 变频器输出频率的上限。

变频器在中央空调中的应用

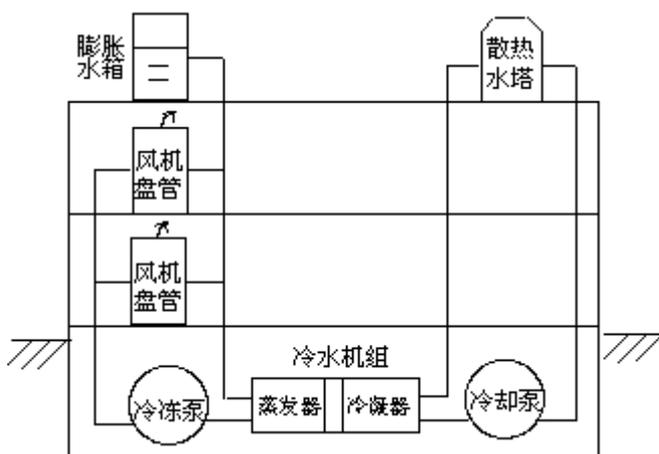
中央空调系统已广泛应用于工业与民用领域。据统计，中央空调的用电量占各类大厦总用电量的 70%以上。

中央空调主要是由风机和水泵组成，采用变频调速技术不仅能使商场室温维持在所期望的状态，让人感到舒适满意，更重要的是其节能效果高达 30%以上，能带来良好的经济效益。

一、中央空调系统的构成及工作原理

它主要由制冷机、冷却水循环系统、冷冻水循环系统、风机盘管系统和散热水塔组成。其工作原理如图 1 示：

制冷机通过压缩机将制冷剂压缩成液态后送蒸发器中与冷冻水进行热交换，将冷冻水制冷，冷冻水泵将冷冻水送到各风机风口的冷却盘管中，由风机吹送冷风达到降温的目的。经蒸发后的制冷剂在冷凝器中释放出热量，与冷却循环水进行热交换，由冷却水泵将带来热量的冷却水泵到散热水塔上由水塔风扇对其进行喷淋冷却，与大气之间进行热交换，将热量散发到大气中去。



二、对中央空调的变频调速节能改造

1. 系统组成

用艾默生变频器对中央空调进行改造，可以组成如下系统，如图 2 所示：

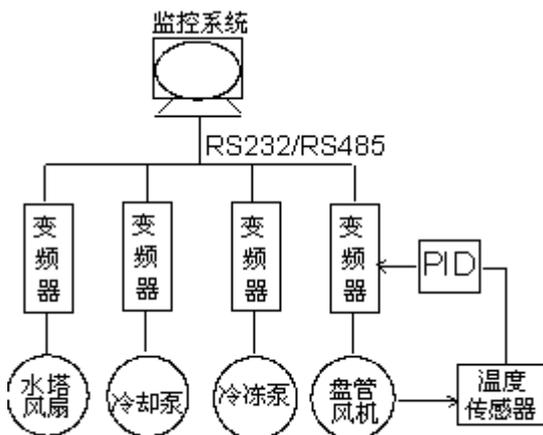


图 中央空调的变频调速改造图

在该系统中，冷冻泵、冷却泵、水塔风扇变频器采用开环控制，由维护人员根据季节不同和负荷的变化进行调节；风机采用温度闭环控制，可根据温度传感器的反馈值，调节风机的转速，从而使被控环境温度基本保持恒定。原理图如下所示：

艾默生的 TD2000 系列 P 型变频器适用于风机和水泵的控制，能根据负载情况，自动实现节能运行。并且其内置 PID 功能，无需借助其它控制器便可完成温度等参量的闭环自动控制。

TD2000 变频器还提供了 RS232/RS485 串行接口，以便与中央控制室的微机联

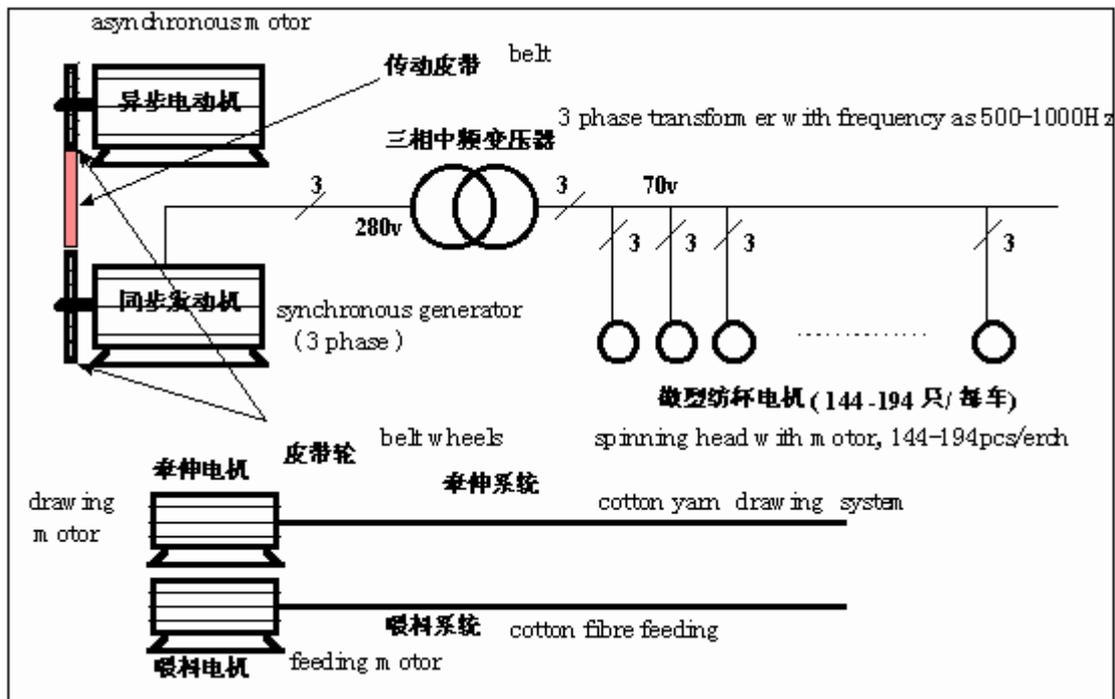
网，实现集中监控，使维护人员及时了解各变频器的的工作状态。

三、综合效益预测

- 1) 显著的节电效果，良好的经济效益；
- 2) 使室温维持恒定，让人感到舒适；
- 3) 操作方便，维护量小；
- 4) 变频调速使电机大多数时间运行在工频之下，减少了环境噪音，并减轻了电机轴承磨损。

丹佛斯 VLT 变频器在纺织机械中的应用

转杯纺机的主要电气系统结构及工作原理如下：



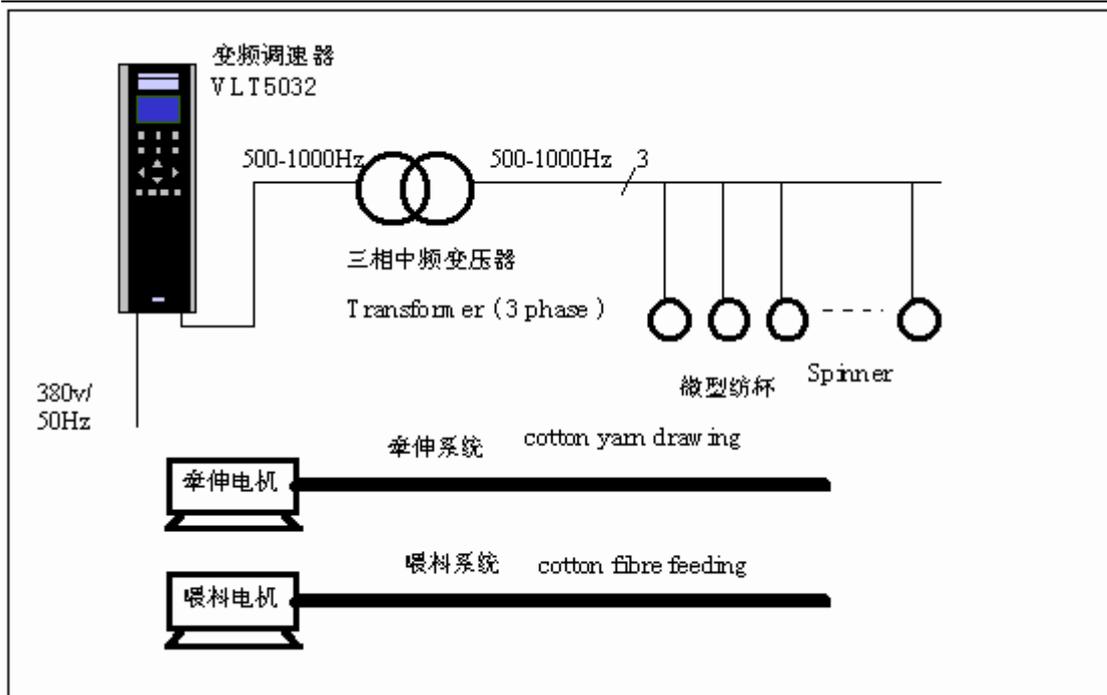
上图所示系统的动力传递过程如下：

由电网供电的三相异步电动机通过皮带拖动同步发电机,同步发电机发出约 280V 的三相电压,通过三相中频变压器变为 70V 电压,然后供给三相微型纺杯电机。同步发电机的输出频率是通过改变同步发电机和异步电动机的转速比来调整的。其常备可调频率为 600Hz, 700Hz, 800Hz, 900Hz 和 1000Hz。为非连续性调整。

牵伸系统和喂料系统的速度系根据工艺要求而单独调整的。在该系统中,纺杯电机的转速须严格与喂料系统,牵伸系统的速度同步,方能保证产品质量的稳定。且不同的产品规格要求不同的纺杯速度,牵伸比和喂料速度。因此,纺杯速度的稳定度,以及纺杯速度和牵伸速度,喂料速度的比值的可调整性和精度则直接决定了产品的质量 and 产量。

上述传统的转杯纺机存在的主要问题有:

电网参数变化引起异步电机转速变化,进而引起同步发电机输出频率的漂移,造成纺杯转速不稳定,中频机组的输出频率以 100Hz 为单位,不能连续可调。系统的工艺调整性差,系统效率极差,产品成本巨大,中频机组故障率高,占地面积大,噪音十分严重,对转杯纺机进行改造的主要手段之一是采用变频调速器替代传统的中频机组。



使用变频器替代中频机组,能够彻底解决中频机组输出频率不稳定带来的产品质量问题且频率连续可调。采用变频器亦能补偿中频变压器在不同频率段传递效率不同的问题。

由新疆东光有限公司为乌鲁木齐红山棉纺织厂 4 台转杯纺机进行变频改造后,取得了十分令人满意的效果.改造系统使用了 4 台丹佛斯 VLT5000 系列变频调速器替代原有的中频机组,解决了中频机组运行时的主要问题:

改造后的计算节能效果为 70%,实测节能效果大于 50%,大幅度降低了生产成本。

改造前系统运行频率不能超过 800Hz(超过时频率不稳定),改造后系统最高运行频率达到 960Hz,单产明显提高。

由于变频器频率连续可调且稳定度好,产品质量明显得到改进,原系统更换工艺过程繁琐,改造后,可迅速完成工艺变更,变频器为静态运行,彻底消除了中频机组的运行噪音,大幅度降低了系统故障率,大幅度削减占地面积,该厂在原4台机组的辅助面积上安装了第5台机组。由上述论述可见,转杯纺机的技术改造有极其可观的经济效益。

值得注意的是,在转杯纺机的改造过程中,中频变压器的保留是必要的。否则改造成本将提高较大。由于中频变压器的存在,必须使用带有多段可调U/F曲线的变频器,如VLT5000系列和VLT2800系列。

应用篇

变频器在工程应用中需要注意的几个问题

引言

随着通用变频器市场的日益繁荣,不包括OEM进口变频器,中国通用变频器年用量超过25亿元人民币,变频器及其附属设备的安装、调试、日常维护及维修工作量剧增,给用户造成重大直接和间接损失。本文就针对造成以上问题的原因,根据大量用户的实际应用情况,从应用环境、电磁干扰与抗干扰、电网质量、电机绝缘等方面进行了分析,提出了一些改进的建议。

2 工作环境问题

在变频器实际应用中,由于国内客户除少数有专用机房外,大多为了降低成本,将变频器直接安装于工业现场。工作现场一般是灰尘大、温度高,在南方还有湿度大的问题。对于线缆行业还有金属粉尘,在

陶瓷、印染等行业还有腐蚀性气体和粉尘，在煤矿等场合，还有防爆的要求等等。因此必须根据现场情况做出相应的对策。

2.1 变频器的安装设计基本要求

- (1) 变频器应该安装在控制柜内部。
- (2) 变频器最好安装在控制柜内的中部；变频器要垂直安装，正上方和正下方要避免安装可能阻挡排风、进风的大元件。
- (3) 变频器上、下部边缘距离控制柜顶部、底部、或者隔板、或者必须安装的大元件等的最小间距，应该大于 300mm。

柜内安装变频器的基本要求

- (4) 如果特殊用户在使用中需要取掉键盘，则变频器面板的键盘孔，一定要用胶带严格密封或者采用假面板替换，防止粉尘大量进入变频器内部。
- (5) 对变频器要进行定期维护，及时清理内部的粉尘等。
- (6) 其它的基本安装、使用要求必须遵守用户手册上的有关说明；如有疑问请及时联系相应厂家技术支持人员。

2.2 防尘控制柜的设计要求

在多粉尘场所，特别是多金属粉尘、絮状物的场所使用变频器时，采取正确、合理的防护措施是十分必要的，防尘措施得当对保证变频器正常工作非常重要。总体要求控制柜整体应该密封，应该通过专门设计的进风口、出风口进行通风；控制柜顶部应该有防护网和防护顶盖出风口；控制柜底部应该有底板和进风口、进线孔，并且安装防尘网。

- (1) 控制柜的风道要设计合理，排风通畅，避免在柜内形成涡流，在

固定的位置形成灰尘堆积。

(2) 控制柜顶部出风口上面要安装防护顶盖，防止杂物直接落入；防护顶盖高度要合理，不影响排风。防护顶盖的侧面出风口要安装防护网，防止絮状杂物直接落入。

(3) 如果采用控制柜顶部侧面排风方式，出风口必须安装防护网。

(4) 一定要确保控制柜顶部的轴流风机旋转方向正确，向外抽风。如果风机安装在控制柜顶部的外部，必须确保防护顶盖与风机之间有足够的高度；如果风机安装在控制柜顶部的内部，安装所需螺钉必须采用止逆弹件，防止风机脱落造成柜内元件和设备的损坏。建议在风机和柜体之间加装塑料或者橡胶减振垫圈，可以大大减小风机震动造成的噪音。

(5) 控制柜的前、后门和其他接缝处，要采用密封垫片或者密封胶进行一定的密封处理，防止粉尘进入。

(6) 控制柜底部、侧板的所有进风口、进线孔，一定要安装防尘网。阻隔絮状杂物进入。防尘网应该设计为可拆卸式，以方便清理、维护。防尘网的网格要小，能够有效阻挡细小絮状物(与一般家用防蚊蝇纱窗的网格相仿)；或者根据具体情况确定合适的网格尺寸。防尘网四周与控制柜的结合处要处理严密。

(7) 对控制柜一定要进行定期维护，及时清理内部、外部的粉尘、絮毛等杂物。维护周期可根据具体情况而定，但应该小于 2~3 个月；对于粉尘严重的场所，建议维护周期在 1 个月左右。

防尘控制柜的安装要求

2.3 防潮湿霉变的控制柜的设计要求

多数变频器厂家内部的印制板、金属结构件均未进行防潮湿霉变的特殊处理，如果变频器长期处于这种状态，金属结构件容易产生锈蚀，对于导电铜排在高温运行情况下，更加剧了锈蚀的过程。对于微机控制板和驱动电源板上的细小铜质导线，由于锈蚀将造成损坏，因此，对于应用于潮湿和含有腐蚀性气体的场合，必须对于使用变频器的内部设计有基本要求，例如印刷电路板必须采用三防漆喷涂处理，对于结构件必须采用镀镍铬等处理工艺。除此之外，还需要采取其它积极、有效、合理的防潮湿、防腐蚀气体的措施。

(1) 控制柜可以安装在单独的、密闭的采用空调的机房，此方法适用控制设备较多，建立机房的成本低于柜体单独密闭处理的场合，此时控制柜可以采用如上防尘或者一般环境设计即可。

(2) 采用独立进风口。单独的进风口可以设在控制柜的底部，通过独立密闭地沟与外部干净环境连接，此方法需要在进风口处安装一个防尘网，如果地沟超过 5m 以上时，可以考虑加装鼓风机。

(3) 密闭控制柜内可以加装吸湿的干燥剂或者吸附毒性气体的活性材料，并近期更换。

3 干扰问题

3.1 变频器对微机控制板的干扰

在注塑机、电梯等的控制系统中，多采用微机或者 PLC 进行控制，在系统设计或者改造过程中，一定要注意变频器对微机控制板的干扰问

题。由于用户自己设计的微机控制板一般工艺水平差，不符合 EMC 国际标准，在采用变频器后，产生的传导和辐射干扰，往往导致控制系统工作异常，因此需要采取必要措施。

(1) 良好的接地。电机等强电控制系统的接地线必须通过接地汇流排可靠接地，微机控制板的屏蔽地，最好单独接地。对于某些干扰严重的场合，建议将传感器、I/O 接口屏蔽层与控制板的控制地相连[3]。

(2) 给微机控制板输入电源加装 EMI 滤波器、共模电感、高频磁环等，成本低。可以有效抑制传导干扰。另外在辐射干扰严重的场合，如周围存在 GSM、或者小灵通基站时，可以对微机控制板添加金属网状屏蔽罩进行屏蔽处理。

微机控制板的电源抗干扰措施

(3) 给变频器输入加装 EMI 滤波器，可以有效抑制变频器对电网的传导干扰，加装输入交流和直流电抗器 L1、L2，可以提高功率因数，减小谐波污染，综合效果好。在某些电机与变频器之间距离超过 100m 的场合，需要在变频器侧添加交流输出电抗器 L3，解决因为输出导线对地分布参数造成的漏电流保护和减少对外部的辐射干扰。一个行之有效的方法就是采用钢管穿线或者屏蔽电缆的方法，并将钢管外壳或者电缆屏蔽层与大地可靠连接。请注意，在不添加交流输出电抗器 L3 时，如果采用钢管穿线或者屏蔽电缆的方法，增大了输出对地的分布电容，容易出现过流。当然在实际中一般只采取其中的一种或者几种方法。

减小变频器对外部控制设备的干扰措施

(4) 对模拟传感器检测输入和模拟控制信号进行电气屏蔽和隔离。在变频器组成的控制系统设计过程中，建议尽量不要采用模拟控制，特别是控制距离大于 1M，跨控制柜安装的情况下。因为变频器一般都有多段速设定、开关频率量输入输出，可以满足要求。如果非要用模拟量控制时，建议一定采用屏蔽电缆，并在传感器侧或者变频器侧实现远端一点接地。如果干扰仍旧严重，需要实现 DC/DC 隔离措施。可以采用标准的 DC/DC 模块，或者采用 V/F 转换，光藕隔离再采用频率设定输入的方法。

3.2 变频器本身抗干扰问题

当变频器的供电系统附近，存在高频冲击负载如电焊机、电镀电源、电解电源或者采用滑环供电的场合，变频器本身容易因为干扰而出现保护。建议用户采用如下措施：

- (1) 在变频器输入侧添加电感和电容，构成 LC 滤波网络。
- (2) 变频器的电源线直接从变压器侧供电。
- (3) 在条件许可的情况下，可以采用单独的变压器。
- (4) 在采用外部开关量控制端子控制时，连接线路较长时，建议采用屏蔽电缆。当控制线路与主回路电源均在地沟中埋设时，除控制线必须采用屏蔽电缆外，主电路线路必须采用钢管屏蔽穿线，减小彼此干扰，防止变频器的误动作。
- (5) 在采用外部模拟量控制端子控制时，如果连接线路在 1M 以内，采用屏蔽电缆连接，并实施变频器侧一点接地即可；如果线路较长，现场干扰严重的场合，建议在变频器侧加装 DC/DC 隔离模块或者采用

经过 V/F 转换，采用频率指令给定模式进行控制。

(6) 在采用外部通信控制端子控制时，建议采用屏蔽双绞线，并将变频器侧的屏蔽层接地(PE)，如果干扰非常严重，建议将屏蔽层接控制电源地(GND)。对于 RS232 通信方式，注意控制线路尽量不要超过 15m，如果要加长，必须随之降低通信波特率，在 100m 左右时，能够正常通信的波特率小于 600bps。对于 RS485 通信，还必须考虑终端匹配电阻等。对于采用现场总线的高速控制系统，通信电缆必须采用专用电缆，并采用多点接地的方式，才能够提高可靠性。

4 电网质量问题

在高频冲击负载如电焊机、电镀电源、电解电源等场合，电压经常出现闪变；在一个车间中，有几百台变频器等容性整流负载在工作时，电网的谐波非常大，对于电网质量有很严重的污染，对设备本身也有相当的破坏作用，轻则不能够连续正常运行，重则造成设备输入回路的损坏。可以采取以下的措施：

集中整流的直流共母线供电方式

(1) 在高频冲击负载如电焊机、电镀电源、电解电源等场合建议用户增加无功静补装置，提高电网功率因数和质量。

(2) 在变频器比较集中的车间，建议采用集中整流，直流共母线供电方式。建议用户采用 12 脉冲整流模式。优点是，谐波小、节能，特别适用于频繁起制动、电动运行与发电运行同时进行的场合。

(3) 变频器输入侧加装无源 LC 滤波器，减小输入谐波，提高功率因数，成本较低，可靠性高，效果好。

(4) 变频器输入侧加装有源 PFC 装置，效果最好，但成本较高。

5 电机的漏电、轴电压与轴承电流问题

变频器驱动感应电机的电机模型, C_{sf} 为定子与机壳之间的等效电容, C_{sr} 为定子与转子之间的等效电容, C_{rf} 为转子与机壳之间的等效电容, R_b 为轴承对轴的电阻; C_b 和 Z_b 为轴承油膜的电容和非线性阻抗。高频 PWM 脉冲输入下, 电机内分布电容的电压耦合作用构成系统共模回路, 从而引起对地漏电流、轴电压与轴承电流问题。

漏电流主要是 PWM 三相供电电压极其瞬时不平衡电压与大地之间通过 C_{sf} 产生。其大小与 PWM 的 dv/dt 大小与开关频率大小有关, 其直接结果将导致带有漏电保护装置动作。另外, 对于旧式电机, 由于其绝缘材料差, 又经过长期运行老化, 有些在经过变频改造后造成绝缘损坏。因此, 建议在改造前, 必须进行绝缘的测试。对于新的变频电机的绝缘, 要求要比标准电机高出一个等级。

轴承电流主要以三种方式存在: dv/dt 电流、EDM(Electric Discharge Machining) 电流和环路电流。轴电压的大小不仅与电机内各部分耦合电容参数有关, 且与脉冲电压上升时间和幅值有关。 dv/dt 电流主要与 PWM 的上升时间 t_r 有关, t_r 越小, dv/dt 电流的幅值越大; 逆变器载波频率越高, 轴承电流中的 dv/dt 电流成分越多。EDM 电流出现存在一定的偶然性, 只有当轴承润滑油层被击穿或者轴承内部发生接触时, 存储在电子转子对地电容 C_{rf} 上的电荷 ($1/2 C_{rf} \times U_{rf}$) 通过轴承等效回路 R_b 、 C_b 和 Z_b 对地进行火花式放电, 造成轴承光洁度下降,

降低使用寿命，严重地造成直接损坏。损坏程度主要取决于轴电压和存储在电子转子对地电容 C_{rf} 的大小。

环路电流发生在电网变压器地线、变频器地线、电机地线及电机负载与大地地线之间的回路(如水泵类负载)中。环路电流主要造成传导干扰和地线干扰，对变频器和电机影响不大。避免或者减小环流的方法就是尽可能减小地线回路的阻抗。由于变频器接地线(PE 变频器)一般与电机接地线(PE 电机 1)连接在一个点，因此，必须尽可能加粗电机接地电缆线径，减小两者之间的电阻，同时变频器与电源之间的地线采用地线铜母排或者专用接地电缆，保证良好接地。对于潜水深井泵这样的负载，接地阻抗 Z_E 电机 2 可能小于 Z_E 变压器与 Z_E 变频器之和，容易形成地环流，建议断开 Z_E 变频器，抗干扰效果好。

在变频器输出端串由电感、RC 组成的正弦波滤波器是抑制轴电压与轴承电流的有效途径。目前有多家厂家可提供标准滤波器。

MicroMaster 440 变频器在电梯控制系统中的应用

一、 系统概述

电梯行业是一个特种行业，国家对电梯的设计、制造、安装以及使用都有详细的国家标准。电梯的主要部分有土建、机械和电气等组成，机械部分有导轨、轿厢、对重、钢丝绳以及其他机械部分。电气部分

有主控制板，变频器、曳引机等部分构成。电梯的运行在主控制板的指令控制变频器，有变频器驱动曳引机带动轿厢运行。变频器作为电梯中系统的核心部件，对电梯的安全可靠的运行是非常重要的。同时系统也对变频器有一些特殊的要求。许多公司针对电梯的特殊要求，推出了电梯专用变频器来满足电梯的特殊要求。而西门子的通用多功能变频器 MM440 采用具有现代先进技术水平的绝缘栅双极型晶体管（IGBT）作为功率输出器件，具有很高的运行可靠性和功能的多样性，采用脉冲频率可选的专用脉宽调制技术，可使曳引机在低噪声下运行，系统更加平稳。全面而完善的保护功能为系统提供了可靠而良好的保护性能，高性能的矢量控制技术，有多种控制方式灵活选用，适用不同的领域。在电梯控制系统中，采用的是闭环矢量控制。具有快速的动态响应特性和超强的过载能力。众多的自由功能模块通过 BICO（二进制互联连接）组成了大量资源供用户使用，从而完成复杂的多种控制。正是 MM440 强大而灵活的功能可以胜任电梯控制系统的要求。通过 MM440 驱动异步曳引机构成的电梯系统完全满足国标 GB7588-2003《电梯制造与安装规范》，GB/T10058-1997《电梯技术条件》的要求。

二、系统的组成和基本原理

电梯是一个复杂的系统，本文就针对由 MM440 和曳引机主控板组成的电气控制系统进行介绍。如图 1 所示。

电源经空气开关Q接电源接触器KMC之后连接到变频器的进线端RST，变频器出线端UVW经接触器KMY连接到曳引机构成了系统的主供电回路。在上电后主控制板闭合KMC一直带电，为变频器自身提供电源和系统动力。并且使变频器初始化，并把初始化的结果通过GZ节点输出给主控制板，而运行接触器KMY平时是断开的，在电梯需要启动时在启动KMY使曳引机带电。

在曳引机的驱动轴上安装有旋转编码器，经过屏蔽线接到变频器的信号输入端PGP、PGM、PFA、PFB构成闭环控制，同时也把输出信号也经过屏蔽线接到主控制板APCR的型号输入端，以便主控制板控制电梯的正常运行。

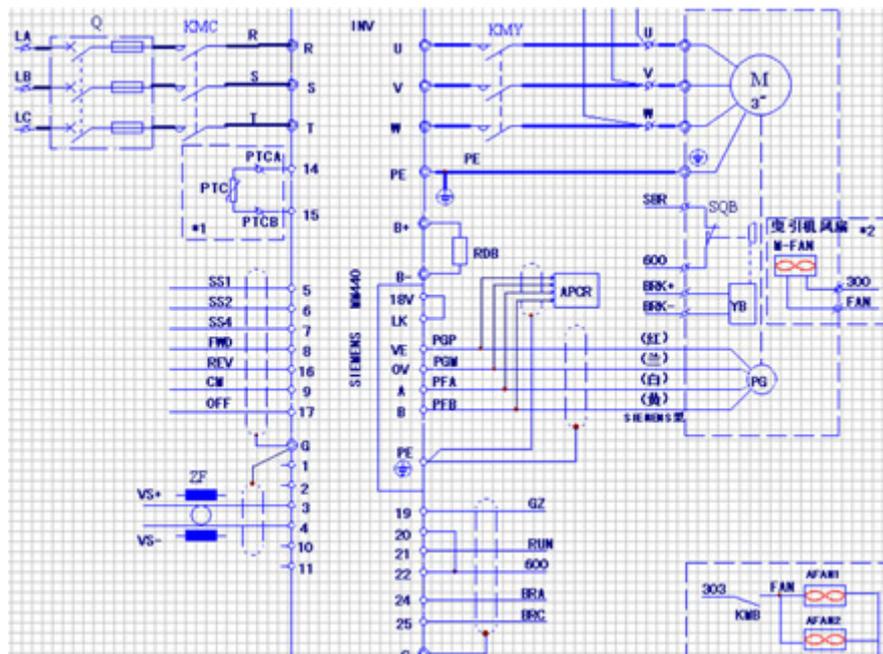


图 1 电气系统原理图

MM440 变频器采用多段速控制方式，主控制板 APCR 根据内选以及外呼等命令，计算出要去的目的楼层，此时首先闭合 KMY，根据上行或者下行命令接通 FWD 或者 REV，使变频器建立励磁，输出转矩。变频器输出运行信号 RUN，之后经过一定的时间打开抱闸 YB。再根据启动设置不同的段速输出到多段速端子 SS1、SS2、SS3。变频器就会按照预先设定的速度曲线控制曳引机运行。

停止时主控制板 APCR 首先在预定的减速距离把运行多段速改为爬行速度输出给变频器数字输入端子 SS1、SS2、SS3，变频器就会按设定的速度曲线控制曳引机到爬行速度，到将要平层时首先去掉多段速信号，然后下闸，最后去掉方向信号，完成一次启停过程。下面就分析变频器是如何根据 APCR 的命令完成电梯的控制的。

三、MM440 变频器的设置和应用

根据电梯的速度、曳引比以及电梯的载重来确定曳引机的转速和功率，当曳引机的功率和电压确定之后，变频器的选型要和曳引机相匹配，一般是选取大于曳引机功率的上一个档次的数据来选择。不能小也不能太大，太大不但造成成本的上升，而且导致控制精度的降低。使整个系统的性能下降。

直接按图 1 接好线后，变频器是不能运行的，必须对变频器进行正确的设置。首先是变频器的快速调试，这是变频器“能转起来”的基本步骤。快速调试的目的是完成变频器最基本的设置，决定变频器的基本

工作方式的选择，对曳引机的参数进行“学习”，使变频器和曳引机匹配起来，更加精确的完成控制控制任务。在快速调试中，要输入曳引机的基本参数，包括电压、

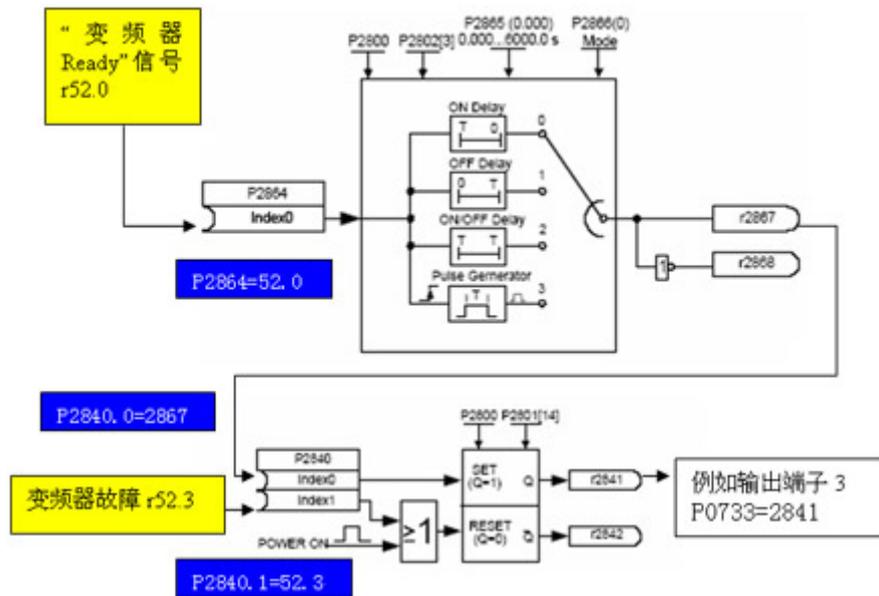


图 2

电流、功率、功率因数、额定频率等参数，根据 MM440 的数据手册要求按曳引机名牌上的数据输入，其他的几个重要参数 P0300 要选择异步电机，命令源 P0700 选用数字量输入方式，选择 2，并且在之后的调试中使 P0701~P0708 设置为 17，各个数字量输入按照设定功能进行参数化。P1300 控制方式选择 23，带传感器的矢量转矩控制，这样才能满足电梯控制的要求。按照步骤最后在 P3900 中输入 3 快速调试结束并进行电动机的数据计算。

变频器的快速调试完成之后，这只是第一步，还不能控制电梯的运行还要进行多段速的设置，RUN 信号的输出设置，以及闭环控制的 PI 制设置、S 速度曲线的各个时间的设置等等。

变频器每次上电后要进行本身的初始化工作，由于所选用的功能模块不同，很可能在没有完全初始化完成后前输出变频器准备好，可以工作的信号，这时若有呼梯信号主板就会输出给变频器信号驱动电梯运行，这就造成系统的不正常工作，给安全运行带来危害。为确保变频器完全初始化好，对信号经过一个定时器延时输出，同时主板要求变频器输出的信号为保持型的，为此在把信号经一个 RS 触发器保持，如图 2 所示。此时，真正的“Ready”信号就是 RS-触发器的输出 r2841 了，将 r2841 连接到输出端子上即可（例如，P0733=2841）。

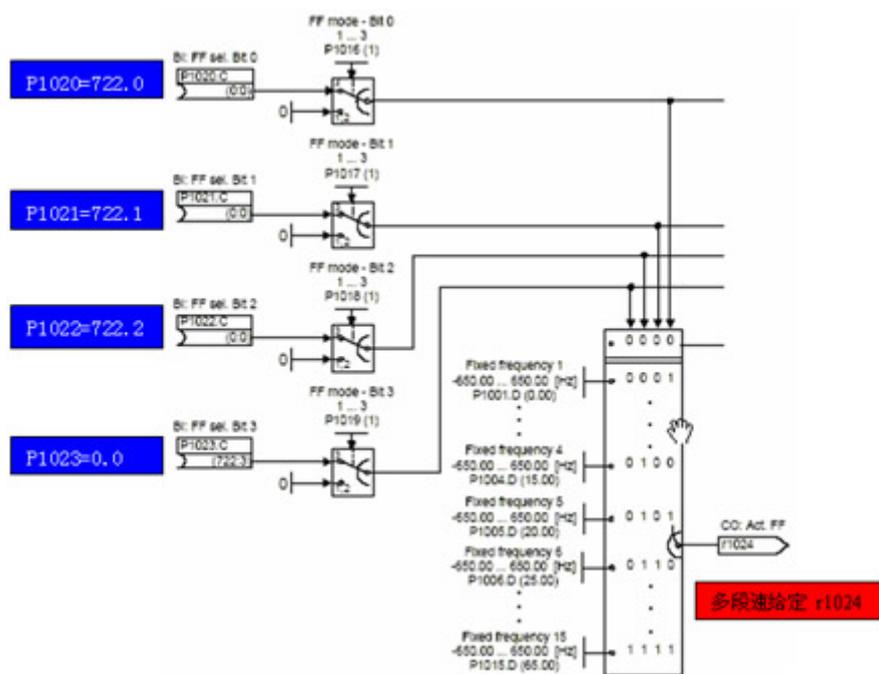


图 3 多段速输出选定

多段速的选择与实现是利用参数 P0722.0~P0722.7 存放了数字输入 1~7 的状态，如图 3 所示当把 P701~P703 设置为 17 后，变频器会自动把图 3 种的参数设置为如下的值：P1020=722.0，P1021=722.1，P1022=722.2。当输入状态变化时，会选择 P1001~P10016 中的速度值防御参数 r1024 中，再把 r1024 的值连接到主给定通道上作为多段速的输出值。

当主控制板通过端子输入给变频器，变频器就会按设定的速度控制曳引机运行，电梯的一次启动和停止曲线如图 4 所示。在启动过程中，加速度起始段曲线有 P1130 来确定，加速度直线段有参数 P1120 来确定，加速度结束段曲线由参数 P1131 来确定。之后进入匀速运行阶段。在减速起始段曲线由参数 P1132 来确定，减速直线段由参数 P1121 确定，减速结束段曲线由参数 1133 来确定。上述参数的单位为时间，要根据速度时间换算成速度和加速值，并根据电梯技术条件和规范的要求来调整，满足舒适感和效率的要求。

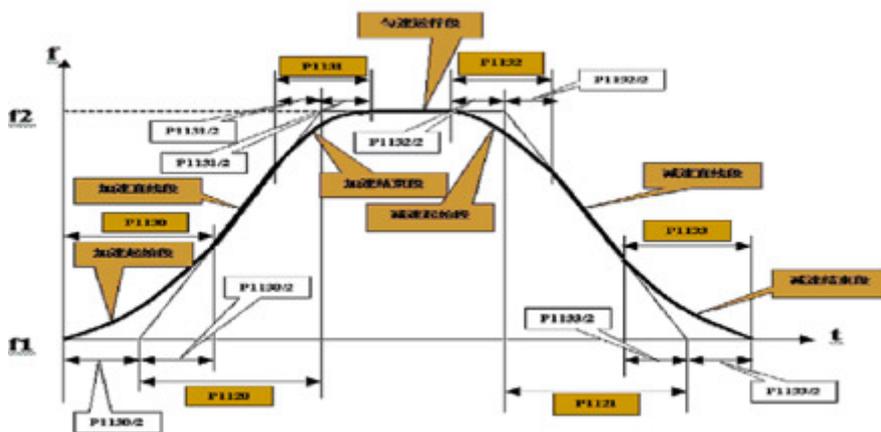


图 4 电梯运动速度曲线

除了上述参数外，还有两个参数对电梯的未定运行和舒适感非常重要，速度调节器比例系数 P1460.0，速度调节器积分常数 P1462.0，图 5 是 P1460.0 和 1462.0 的调整情况，图中 A 为速度

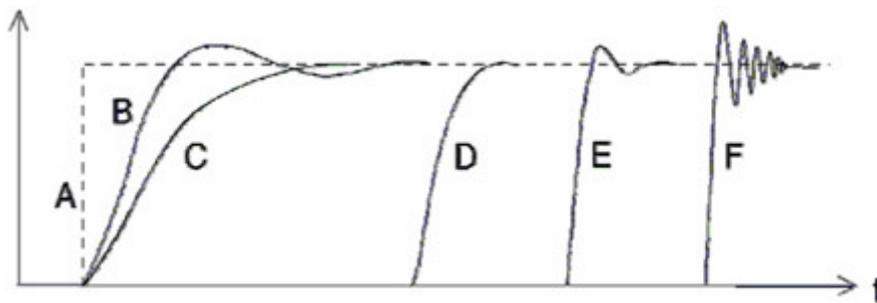


图 5

给定信号，B、C、D、E、F 为反馈信号，B 为 P1460 和 P1462 都偏小，C 为 1460 偏小，但高速事震动小，低速控制效果比较差。E 轻微超调，P1460 偏大，P1462 偏小，低速是控制效果好，但高速时会有一些振动。F 为严重超调 P1460 太大，P1462 偏小。D 的效果最好，调整时先进可能的加大 P1460，到不产生超调为止，之后在尽可能加大 P1462，以不产生振荡为止。

四、应用前景以及问题

目前，许继电梯公司已经有 2000 台电梯应用西门子 MM440 变频器在投入运行，运行稳定可靠，全部是应用于异步曳引机的直梯。在同步曳引机和扶梯上还没有应用，如何挖掘 MM440 强大的功能，使之应用于同步曳引机和扶梯等控制系统的应用，是下一步研究的课题。