

模块1 西门子MM4系列变频器应用于干燥生产线引风电机的设计及调试

本模块以干燥生产线控制系统的引风电机为交流变频调速对象,以西门子 MM4 系列变频器应用技术为主线展开,内容涉及西门子 S7-200 PLC、TP178Micro 触摸屏对 MM4 系列变频器的监控技术。由三个项目组成:

项目 1 介绍了 MM4 变频器控制干燥生产线引风电机的电气设计,内容包括变频器及 MM4 变频器基础知识认知、干燥生产线变频控制项目背景及方案、MM4 变频器基于 I/O 接口控制的电气设计、MM4 变频器的初始化及快速调试;

项目 2 围绕西门子 S7-200 PLC 设计引风电机的变频控制系统,内容包括 MM4 变频器基于 PLC 的 I/O 接口控制设计、基于 PLC USS 通信的现场总线控制方法,MM4 变频器的多段速度控制应用技术;

项目 3 围绕西门子 TP178Micro 触摸屏设计引风电机的 HMI 人机界面系统,内容包括 WinCC Flexible 触摸屏组态软件对 MM4 变频器监控的人机界面组态、TP178Micro 触摸屏与 S7-200 PLC 的通信及 MM4 变频器相关参数设置。



MM4变频器控制干燥生产线 引风电机的电气设计

知识目标

- (1) 掌握变频器的基本原理。
- (2) 掌握变频器的基本结构。
- (3) 了解典型干燥生产线的基本组成及引风电机的作用。
- (4) 掌握西门子 MM4 变频器产品及其用途。
- (5) 了解干燥生产线引风电机的变频控制基本要求。

能力目标

- (1) 能够正确选择变频器型号。
- (2) 能够正确安装变频器。
- (3) 能够设计 MM4 控制干燥生产线引风电机的变频控制主回路和控制回路。
- (4) 能够对 MM4 变频器进行初始化。
- (5) 能够正确设置 MM4 变频器参数,快速调试变频器。

素质目标

- (1) 结合具体项目,培养对变频器良好的认知能力。
- (2) 培养变频调速生产线项目设计初步能力。
- (3) 树立安全意识,严格遵守电气安全操作规程。
- (4) 爱护变频器、交流电机等仪器设备,自觉做好维护和保养工作。
- (5) 培养团队交流沟通和友好协作精神。

任务 1.1 认识变频器

随着电力电子技术、计算机技术、自动控制技术的迅速发展,交流调速取代直流调速已成为现代电气传动的主要发展方向之一,而异步电动

机交流变频调速技术是当今节能、改善工艺流程以提高产品质量和改善环境、推动技术进步的一种主要手段,它以其优越的调速和起制动性能、高效率、高功率因数和显著的节电效果,广泛应用于风机、水泵等大、中型笼型感应电动机的调速,被认为是最有发展前途的调速方式。

1.1.1 变频控制基本原理

异步电动机的转速公式为

$$n = n_1(1 - S) = \frac{60f_1}{p}(1 - S)$$

式中, n_1 为同步转速; f_1 为定子频率; p 为磁极对数; S 为异步电动机的转差率, $S = (n - n_1) / n$ 。

当极对数 p 不变时,电机转子转速 n 与定子电源频率 f_1 成正比,因此连续地改变供电电源的频率,就可以连续平滑地调节电动机的转速,这种调速方法称为变频调速。

电源的频率 f_1 是由发电机的结构及发电机的运行状态所决定的。国家电网的供电频率是固定的,我们国家的电网供电频率是 50Hz。要改变频率值,通过发电机这条渠道可行性不大,只有采取其他的方式,那就是用一种装置来改变电源的频率,这种装置就叫做变频器。

早期的变频器是一套由电动机(I)—变速器—发电机—电动机(II)组成的,叫做旋转机组变频器。电动机(I)由电网的固定频率交流电驱动,以固定的速度运行,有变速器来实现速度的改变(方式有多种),发电机在不同的速度作用下,产生了不同的频率的交流电,用于驱动电动机(II)。电动机(II)的供电频率会由于变速器的不同变速比而不同,由此产生不同的转动速度,满足机械的要求。由于中间部分均为旋转的机械,故称为旋转变频机组。有设备多,占地多,运行噪声大、效率不高、频率调节的可选择性不多的特点。

在 20 世纪 60 年代,出现了以电力电子器件和数字控制技术为主要特点的静止式的变频器。将其连接在负载电动机和电源之间,对变频器内部的控制电路和功率电路进行控制,变频器就能输出电动机所需要的不同于电源频率的交流电了。由于控制采用了数字化,精确度和连续性得到保证。所以这种变频器的输出频率范围很宽,连续性很好。由于采用了电力电子器件作为功率输出元件,变频器的转换效率较高。

由于采用了可变频率、可调电压的交流电源向电机供电,实现了电机的转速调节;并在快速性、正反转控制和制动等方面的技术难点均得到了有效的解决之后,变频调速形成了调速范围广、平滑性较高、机械特性较硬的优点,故可以方便地实现恒转矩或恒功率调速,而且它的整个调速特性与直流电动机调压调速和弱磁调速十分相似,可与直流调速相媲美。随着电力半导体的发展,交流变频技术开始成熟并进入实用化,从而彻底改变了交流电动机所受的应用限制,逐渐成为传动领域的主流。目前变频调速已成为异步电动机最主要的调速方式,在很多领域都获得了广泛的应用,随着一些新技术新理论在异步电动机变频调速中的应用,如矢量控制、无速度传感器技术等,它将向更高性能、更大容量以及智能化等方向发展。

静止式变频器从主电路的结构形式上可分为两种:交—直—交型和交—交型。

1. 交—直—交型变频器

它的功能是把固定频率的交流电先通过整流电路转换成直流电,再利用逆变电路将直流电转换成另一种频率的交流电。前后两种交流电之间没有关联,所以后边的交流电的频率是自由的,如图 1-1 所示。它根据直流部分稳压电路的不同形式,又可分为电压型和电流型两种。由于电压型变频器是作为电压源向交流电动机提供交流电功率,所以其主要优点是运行几乎不受负载的功率因数或换流的影响,它主要适用于中、小容量的交流传动系统。现代工业中,大量使用的就是这种类型的变频器。与之相比,电流型变频器施加于负载上的电流值稳定不变,其特性类似于电流源,它主要应用在大容量的电机传动系统以及大容量风机、泵类节能调速中。



图 1-1 交—直—交型变频器原理框图

2. 交—交型变频器

它的功能是把一种频率的交流电通过分组整流的方式,直接转换成另一种频率的交流电供给负载 Z 使用。由于中间不经过直流环节,不需换流,因而多用于低速大功率系统中,如回转变、轧钢机等。但这种控制方式决定了最高输出频率只能达到电源频率的 $1/3 \sim 1/2$,所以不能高速运行,如图 1-2 所示。

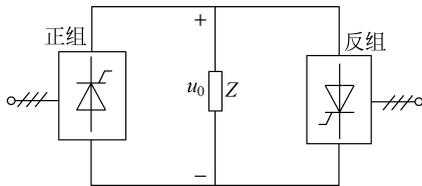


图 1-2 交—交型变频器原理框图

1.1.2 变频器的基本结构

市场上变频器的品牌很多,控制方式也有许多种类,但其主电路的形式和结构大体相同。典型的交—直—交型变频器原理框图如图 1-3 所示,主要由整流电路、滤波电路、制动电路及逆变电路四部分组成。

1. 整流电路部分

整流电路部分即交—直变换部分,由二极管组成整流桥。

图 1-3 中, $VD_1 \sim VD_6$ 组成三相整流桥,将交流变换为直流。

如三相线电压为 U_L ,则整流后的直流电压 U_D 为: $U_D = 1.35U_L$ 。

2. 滤波电路部分

滤波电路部分由电容和均压电阻组成。

滤波电容器 C_F 的作用是:

- (1) 滤除全波整流后的电压纹波;
- (2) 当负载变化时,使直流电压保持平衡。

因为受电容量和耐压的限制,滤波电路通常由若干个电容器并联成一组,又由两个电

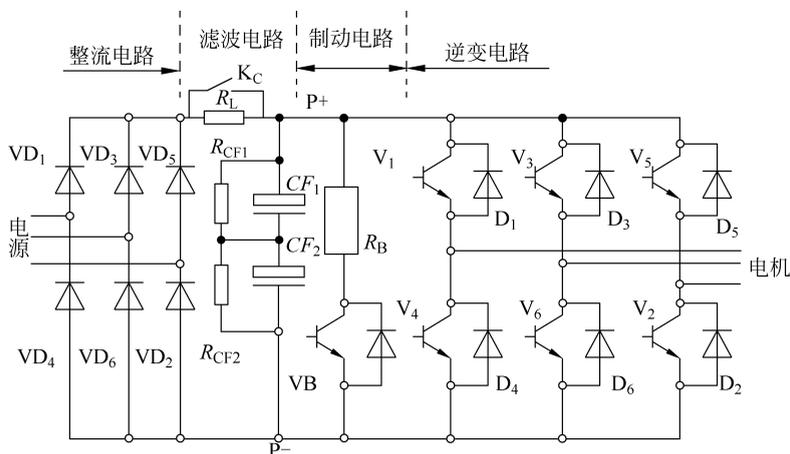


图 1-3 交—直—交型变频器原理框图

容器组串联而成。如图 1-3 中的 CF_1 和 CF_2 。由于两组电容特性不可能完全相同。在每组电容组上并联一个阻值相等的分压电阻 R_{CF1} 和 R_{CF2} ，其目的是保证在两个电容上电压分配均等。

3. 限流电阻 R_L 和开关 K_C

(1) R_L 的作用：如果电容器原来没有充电，或长时间停用导致电容上电压较低。变频器刚合上闸瞬间，冲击电流比较大，将使得整流电路中的整流二极管过载而造成故障。加一个电阻其作用就是在合上闸后的一段时间内，电流流经 R_L ，限制冲击电流，将电容 CF 的充电电流限制在一定范围内。保证整流二极管的安全。这个电阻叫做限流电阻。

(2) K_C 的作用：当 CF 充电到一定电压， K_C 闭合，将 R_L 短路。大部分变频器中这个开关使用晶闸管代替。

4. 能耗制动电路部分

(1) 制动电阻 R_B

变频器在频率下降的过程中，电动机的速度大于变频器给出的频率对应的速度，电动机将处于再生制动状态，回馈的电能将存储在电容 CF 中，使直流电压不断上升，甚至达到十分危险的程度。 R_B 的作用就是将这部分回馈能量消耗掉。除功率较小的变频器使用内部电阻，一般变频器，此电阻是外接的，都有外接端子（如 $DB+$ ， $DB-$ ）。

(2) 制动单元 VB

由 GTR 或 IGBT 及其驱动电路构成。其作用是为放电电流 I_B 流经 R_B 提供通路。

5. 逆变电路部分

逆变电路部分即直—交变换部分。

(1) 逆变管 $V_1 \sim V_6$

组成逆变桥，把 $VD_1 \sim VD_6$ 整流的直流电逆变为交流电。这是变频器的核心部分。常用的逆变管为 GTR 或 IGBT。

(2) 续流二极管 $D_1 \sim D_6$

作用:

- ① 电机是感性负载,其电流中有无功分量,为无功电流返回直流电源提供“通道”;
- ② 频率下降,电机处于再生制动状态时,再生电流通过 $D_1 \sim D_6$ 整流后返回给直流电路;
- ③ $V_1 \sim V_6$ 逆变过程中,同一桥臂的两个逆变管不停地处于导通和截止状态。

6. 逆变器的工作原理(以单相电路为例进行分析)

逆变电路简称为逆变器,如图 1-4 所示为单相桥式逆变器,四个桥臂由三极管构成,输入直流电压 U_d ,逆变器负载是电阻 R 。当将三极管 V_1 、 V_4 饱和导通, V_2 、 V_3 截止时,电阻上得到左正右负的电压;如果定义这个方向的电压为正,那么电阻上的电压为 $(U_d - 2U_{VT})$ 间隔一段时间 t_1 后将三极管 V_1 、 V_4 饱和导通, V_2 、 V_3 截止,电阻上得到右正左负的电压。

这个电压的方向就为负,那么电阻上的电压为 $-(U_d - 2U_{VT})$ 。间隔一段时间 t_2 后,重复这个过程。

我们以 $t_1 = t_2$ 交替切换 V_1 、 V_4 和 V_2 、 V_3 的导通和截止,在电阻上就可以得到如图 1-5 所示的电压波形。

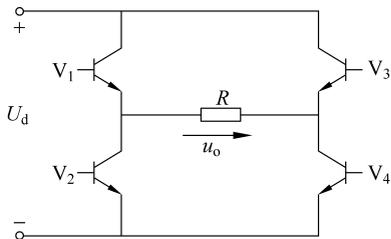


图 1-4 单相逆变原理图

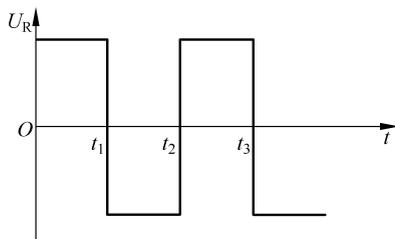


图 1-5 负载电阻上的电压波形

可以看出,电阻 R 上的电压就是一个大小和方向随时间变化的交变电压。

交流电有三个要素,第一,是有周期性;第二,正负交替;第三,是周期内平均值为 0。从前面的描述来看,这个电压波形完全符合这个条件,也就是这个负载上的电压波形是一个方波交流电。

这个方波交流电,其幅值就是直流电压 U_d 。频率由控制电路的交替时间 $(t_1 + t_2)$ 来决定,所以,此方波交流电的频率可以按我们的要求进行调整。

将方波交流电进行傅里叶级数分解,可以知道其中含有这样三个大的部分:

- (1) 直流分量。这一部分由于周期内平均值为 0,所以直流部分为 0。
- (2) 基波分量。就是频率与方波交流电相同的正弦交流电,其幅值是方波交流电幅值的一个固定的百分比。基波分量对负载是有用的。
- (3) 谐波分量。即频率是基波的 N 倍的正弦交流电组合,但其幅值随频率升高而成倍减少。谐波分量对负载无用,甚至是有害的。

我们只要取出其中的基波部分,就是我们所需要的可变频率的正弦交流电。

有了单相交流电,三相交流电就可以由同样的控制方法产生。

在图 1-4 的逆变电路可以看出,三条桥臂上的开关管用的是同一个直流电源,所以三个交流电的幅值是一致的。

交流电的频率是由开关管的导通截止周期决定的,可以做到周期一致,就保证了三个交流电的频率一致。

三个交流电的相位可以这样处理,每个桥臂对应一个交流电,所以只要让每个桥臂上的开关管的导通时间(截止时间也是同样)错开 120° ,就保证了三个交流电的相位问题。

在单相逆变电路中,每一相交流电用了两个桥臂(四个开关管,每一个开关管的导通时间是 180°),其目的是形成回路。而在三相逆变电路中,每一相交流电只有一条桥臂(两个开关管,每一个开关管的导通时间为 120°),它的回路问题是由其他两条桥臂的元件来解决的。

1.1.3 变频器的选择

1. 按照调速范围选择变频器控制方式

(1) U/f 恒值控制变频器

U/f 恒值控制是指在改变变频器输出频率的同时控制变频器的输出电压,使两个量保持固定的比例,使得电动机的定子磁通保持一定,在较宽的电动机速度调节范围内,电动机的力矩、效率、功率因数保持不变。因为控制的是电压和频率的比值,所以称为 U/f 恒值控制,其主电路原理框图如图 1-6 所示。但在输出频率较低场合,需要进行输出电压的修正,否则会影响其性能。由于是开环控制,不采用速度传感器,控制电路较简单,是目前通用型变频器中使用最多的一种控制方式。可以看出,此方法控制的实质是交流电动机的同步转动速度(电动机的定子旋转磁场速度),对于由于负载等因素引起的速度减(电动机转载实际速度)并未加以考虑。只能用于控制精度要求不高的场合。而且这种方法可以实现的速度调节范围不会超过 $1:40$ 。

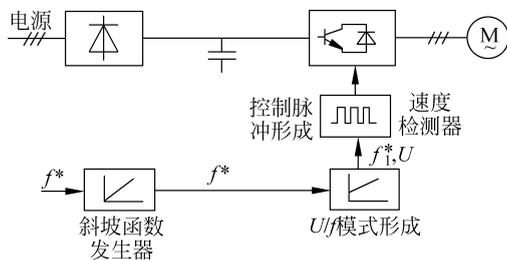


图 1-6 U/f 恒值控制变频器主电路原理框图

(2) 转差频率控制变频器

转差频率控制变频器也可以称为 U/f 恒值控制加速度负反馈控制变频器,其主电路原理框图如图 1-7 所示。这种变频器需要检测电动机的实际转动速度,构成速度的闭环。速度调节器的输出为转差频率,变频器的控制电路利用转差频率作为修正变频器输入信号的依据,使得变频器能够输出完全符合目标要求的转动速度。因为有了速度负反馈控制,对于速度的控制精度有了很大的提高,可以用于有一定精度要求的场合。但这种方法

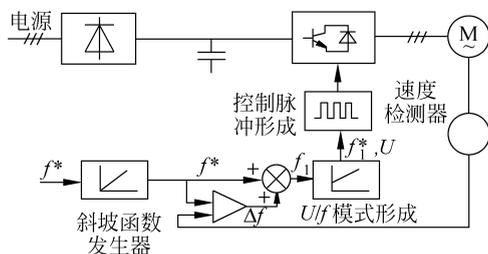


图 1-7 转差频率控制变频器主电路原理框图

可以实现的速度调节范围同样不会超过 1 : 40。

(3) 矢量控制方式变频器

矢量控制变频器是建立在将交流电动机转化成直流电动机模型的基础上,利用直流电动机磁场和电枢相互独立具有较好调速控制性能的控制思想,采用数学的方法,将交流电动机的定子和转子的耦合关系分解,通过矩阵运算,用两个相互垂直的交流电流,产生和三相交流电同样的旋转磁场。并通过控制这两个等效的交流电流达到控制三相交流电的目的。其主电路原理框图如图 1-8 所示。由于采用了直流电动机的控制思想,可以采用直流电动机中转子电流和负载力矩的关系来作为修正输入控制信号,达到没有速度反馈同样可以考虑负载对速度的影响,从而实现较高的控制精度。现在高控制精度的变频器大都采用此方式。这种控制方法可以实现的电动机速度调节范围可以达到 1 : 100,如果在矢量控制变频器的系统上再加速度传感器,速度调节范围更宽,可以达到 1 : 1000。

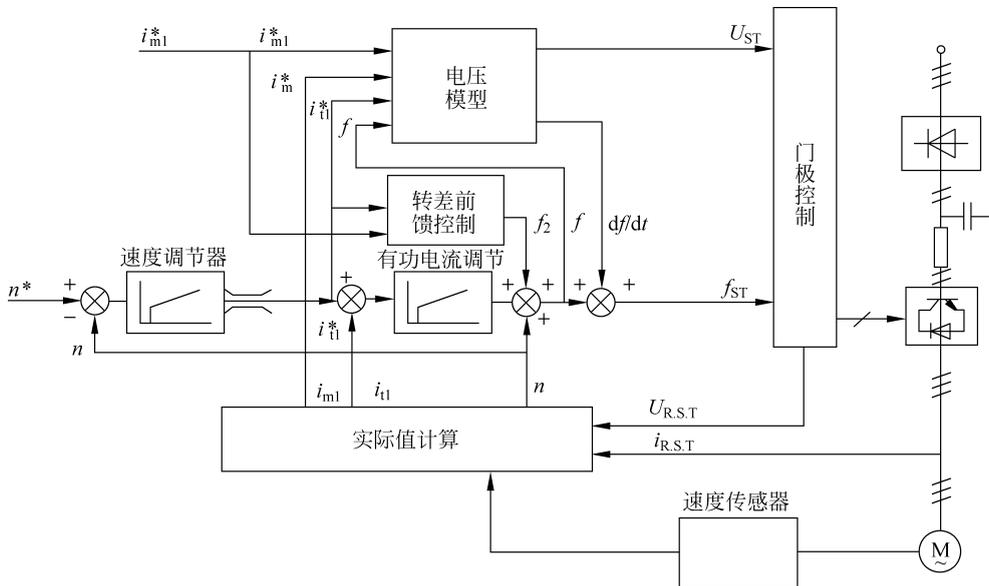


图 1-8 矢量控制变频器主电路原理框图

必须注意, U/f 控制在低速时具有控制的死区,一般的矢量控制变频器虽然低速的控制死区较小,但还是存在。所以如果需要在零至最高速度范围都具有较好性能,就一定

选择带速度负反馈的矢量控制变频器。

2. 按照用途来选择变频器的种类

(1) 通用型变频器

在较低的频率下输出大力矩的功能、具有较强的抗干扰能力、噪声较小,控制方式采用矢量随机 PWM 方式。还可以实现固定的三段速、四段速、八段速以供选择。还具有模拟量、数字量输入控制通道,能够满足一般自动化生产设备的基本要求,而且价格较为便宜,是自动化生产线的首选。

风机、泵类专用变频器。这类变频器由于其负载的机械特性具有力矩和转速的平方成正比的特性,所以在防止过载方面的功能特别优秀。同时还具有其他完善的保护措施。水泵控制时可采用“一拖一”、“一拖二”控制模式,还经常构成变频—工频转换系统。由于电路内部具有 PID 调节器和软件制动等功能模块,可以保护变频器及生产机械不受损害。

(2) 注塑机专业变频器

最主要的特点就是具有更高的过载能力,有更高的稳定性和更快的响应速度,而且抗干扰的性能特别强,控制较灵活。具有模拟量输入输出补偿的电流补偿功能,可以提供丰富多彩的补偿方法和补偿参数。

(3) 其他特殊用途的专用变频器

如电梯专业变频器、能量可回馈变频器、纺织机专用变频器等。

选择变频器,第一考虑是变频器的功能,第二考虑是变频器的控制精度,第三考虑是变频器的控制系统,第四考虑是变频器的价格。

一般仅有变速要求,而精度并不很重要的场合应考虑通用型变频器。基本无精度要求场合可考虑选用 U/f 控制变频器。

具有一定控制精度要求的场合,在经费不紧张的情况下可以考虑矢量控制变频器。经费较为紧张的场合可考虑选用转差率控制变频器。

控制精度要求高,调速范围要求高的场合选用带有负反馈的矢量控制变频器。

只有在一般通用变频器不能满足要求的地方,才考虑专用型变频器。因为专用型变频器的价格相对要高得多。

3. 根据安装位置的环境选择变频器的防护结构

变频器的防护结构主要有以下 4 种。

(1) 开放型:对环境的要求相对较高,是一种正常情况下,人体不能触摸到变频器内部带电部分的结构,所以此类变频器一般应安装于电气控制柜的内部,或是控制室的屏、盘上,尤其是相对集中的安装。

(2) 封闭型:这种类型变频器具有自己的外罩,可以单独地安装于建筑屋内。由于具有外部的壳罩,所以其散热受到一定的影响。

(3) 密封型:自身外壳的保护更加完善,但散热更受影响,应考虑使用专用于散热的风扇。

(4) 密闭型:具有防尘、防水的结构。可以独立使用于有水淋、粉尘、腐蚀性甚至于可燃可爆的气体的工业现场。但应该考虑能力超过风扇的冷却方式。