

工业电机控制中变频器的应用研究

赵春瑞

迈科斯(天津)技术服务有限责任公司 天津 300452

【摘要】工业现代化过程中的电机控制直接关系到电机寿命和使用性能,关系着工业生产时动力系统的能耗和运行安全。巧妙应用变频器对电机的启动、转速以及功率进行调节有利于预防电机烧损,起到节能降耗、稳定运行的效果。本文概述了变频器的三种基本功能以及其控制工业电机工作的基本原理,并详细分析了工业电机运转过程中变频器的具体应用机制,希望能够为变频器硬件、控制算法、在工业电机中应用策略的优化提供理论参考。

【关键词】变频器;电机控制;变频调速;过载保护

0 引言

随着现代工业技术的快速发展,工业电机控制技术在提高生产效率、优化能源利用以及增强设备性能等方面的作用日益显著。变频器是工业电机控制中的关键元件之一,按照不同的工业电机运行需求对元件参数进行设置,能够最大化提升变频器控制工业电机的精度和有效性。而准确设置变频器各项参数则需要充分了解变频器的基本功能与工作原理,并以变频器在各种工业电机中的实际应用效果与作用机制为经验参考。

1 变频器基本功能概述

1.1 变频调速

变频调速是变频器最基本的功能,通过改变经过电动机动力系统的交流电的频率,变频器能够实现对电动机转速的控制。其中,电机的转速 n 与供电频率 f 有以下关系, s 为转差率, p 为电机的极对数。^[1]

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

应用这一关系,变频器就能够根据工业电机控制电路中接收到的电机转速变化需求信号对应调节输出的电流频率,完成调速。变频器在工业电机应用中的一大优势在于其能够连续改变交流电的频率,从而实现电机的无级调速,这一功能特点能够保障工业电机平滑自如切换于各种档位,减少了电机转速骤变给设备带来的电流波动与机械冲击,满足工业生产时变化着的生产功率需求。

1.2 变频与功率因数补偿节能

变频器应用于工业电机能够节约电机运转时的能耗,是由于变频器能够根据工业电机的运转转速和扭矩需求精确调整输出电流频率与电压,尽可能减少不必要的电能损

耗。而其应用于工业电机时的功率因数补偿机制也能够通过提高电动机的有功功率来实现节能降耗——通过变频器内置滤波电容,具有脉动性的直流电中的无功功率显著下降,无功损耗减少,电动机电网的功率因数也就随之提高,电网有功功率增加,有利于减少工业电机线损及设备发热现象,最大程度将电能应用于驱动工业电机运转。^[2]

1.3 软启动辅助

传统的电机启动方式会对电网造成较大冲击,同时可能对电机本身的机械元件和拖动系统造成振动损害。变频器应用于工业电机时具有的软启动功能能够有效缓冲电机启动的速度和启动过程中的电路电流、电压突变,也就能够预防因为这些突变而发生的机械振动,从而避免机械元件彼此之间的冲击与磨损。软启动过程中,变频器通过控制输出电压和电流的大小及变化速率使电机在启动时的电流从零开始逐渐增大,最大值也不超过额定电流。这样,工业电机的动力系统就能够在相对温和的电流电压变化下逐渐运转起来。

2 变频器控制工业电机的工作原理

变频器主要由整流器、滤波器、逆变器、控制电路等部分组成,对工业电机的控制直接体现在改变供给电机的电源频率和电压。例如,当需要电机快速启动和加速时,变频器可调控增加输出电压和电流频率;当需要电机稳定运行在某一转速时,变频器可用于保持输出电压和频率的稳定;当需要电机减速或停止时,变频器可以逐渐降低输出电压和频率。这些对电机动力系统输出电压和电流频率的调整又间接控制着电机运行时的转速和扭矩。^[3]

从变频器各组成部分的功能来看,整流器主要用于经二

极管或晶闸管构成的桥式整流电路将输入的三相交流电转换为直流电，整流过程中，交流电的正负半周期被转换为脉动的直流电，其波形包含一定的脉动性；滤波器主要用于平滑整流后的脉动直流电，减少其中的谐波成分以得到较为平滑的直流电，这一功能通过滤波器的电容器和平滑电感实现，它们能够吸收和释电能起到平滑直流电的作用；逆变器是变频器的核心部分，其主要功能在于将滤波器输出的平滑直流电逆变为所需频率和电压的交流电。逆变器通常采用由可控硅（如IGBT）构成的桥式电路，通过控制这些可控硅的开关状态实现对输出电压和频率的精确控制；控制电路则是变频器的“大脑”，功能上负责接收转速设定、启动或停止等外部控制信号，再根据这些信号和电机的实际运行状态计算出所需的输出电压和频率，并负责监测电机的运行状态。

当工业电机启动时，变频器的整流器元件使用二极管或晶闸管桥式整流电路将交流电的正负半周期转换为脉动的直流电。整流后的直流电通常含有一定的脉动性，利用变频器中滤波器的电容器和平滑电感对这一脉动的直流电进行滤波，就能够将其转化为较为平滑的直流电。而后，将平滑的直流电逆变为所需频率和电压的交流电。变频器对电机的控制通常是在这一步骤完成的，在逆变过程中，变频器采用脉宽调制技术进一步调整电流脉冲的占空比，并通过改变可控硅的开关状态使逆变器输出的交流电波形接近正弦波，同时减少谐波成分，降低对电机的损害。由此，变频器能够实现对输出电压和频率的控制，进而控制电机的转速和输出功率。

3 工业电机控制中变频器的具体应用

3.1 精确控制电动机转速

应用于工业电机控制的变频器对电动机转速的精确控制主要是通过控制输出电压和电流频率实现的。变频器能够调节电机内部开关管的通断频率和占空比，从而使电机动力系统的输出电压和电流频率在一定范围内可调。^[4]依据工业电机的应用情境不同，对电动机转速的控制精确度需求也有差异，变频器采取不同策略对不同类型的工业电机进行电动机转速控制。

对于风机与水泵上应用的负载特性需求不高的电机而言，变频器采用的主要转速控制策略为V/F控制法。V/F控制法的核心思想是同时调整电机的输入电压和频率，使二者保持一定的比例关系，从而确保电机磁通的恒定，避免

弱磁和磁饱和现象的产生，维持电机在不同运行速度下的稳定输出。在V/F控制下，变频器利用压敏电容感知电压变化，并根据电机运转需求预设的电压和频率输出相应的电信号来控制电机转速。

对于数控机床等设备上配备的对转速和转矩精度要求较高的电机而言，其中安装的变频器主要利用矢量控制法动态控制电机转速。该法能够综合考虑电压、频率和电流等因素的动态变化情况，从电机转矩和力矩平衡的角度来控制电机的转速和转矩。使用磁通矢量控制的变频器有助于解决电机低速时转矩不足的问题，甚至在低速区也能够使电机输出合适的转矩。该种对电机转速与转矩实现精确控制的方式有三种常见实现方法，一是在电机定子电流回路中安装电流传感器实时检测电流的大小和相位，并将其反馈到变频器控制元件中，控制元件根据反馈的电流信息调整输出电压和频率；二是利用变频器内置的PID算法估算电机的转子速度和位置，实现对电机的矢量控制；三是在电机轴上安装速度传感器实时检测电机的转速和位置信息，并将其反馈到变频器的控制元件中，控制元件再根据反馈的转速和位置信息，结合电流传感器检测的电流信息实现对电机动力系统电流频率与电压的精确矢量控制。

针对纺织机械等设备上配备的需要掌握电机真实转速的高转速需求电机，其上利用变频器精确控制电机转速则通常需要根据所搭载转速传感器传回的电机转速信息与预设电机转速之间的差值进行电流频率与电压的反馈调节，实现闭环控制。该控制策略中，变频器能够获取转速传感器检测到的真实转速值并与预先设定的标准转速值进行比较，从而调节变频器的参数实现对电动机转速的精确控制。

3.2 维护电动机运行稳定性

变频器应用于工业电机的动力结构中能够起到维护电动机运行稳定性的作用，主要依赖于其对电动机运转的平滑控制。这种平滑控制是通过变频器内置的PID控制算法以及负载检测反馈机制实现的。^[5]

其中，负载检测反馈机制能够利用各类传感器辅助变频器全面获取电动机运作过程中扭矩、功率等负载情况。当负载发生变化时，各类传感器就将检测到的参数变量反馈给控制系统，控制系统分析处理反馈数据后将相应的控制信号输出给变频器。此时，变频器内置的PID控制算法就依据电动机传感器传回的电动机运转各类参数的现值与设定值之间的误差、过去误差的积分以及误差的变化率来动态

计算具体的变频控制量,实现对电流输出频率和电压的动态调整。PID控制算法的三重控制机制是算法高速高精度实现电机运行参数控制的基础:比例控制中,算法根据误差的大小来调整控制量,误差越大,控制量的变化就越大。接下来的积分控制对上一步比例控制的算法处理结果进行再分析,随着误差出现的时间的延长逐渐增大积分项,从而消除上一步形成的稳态误差。PID控制算法还可通过微分控制模块根据误差的变化率来调整控制量,从而预测系统的变化趋势提前进行调整,缓解积分控制环节导致的系统响应慢问题。应用变频器内置的PID控制算法,除对电流输出频率和电压这两个主要参数进行变频调整外,变频器还可通过电容器等附加元件消除无功电流、提升功率因数,进一步提升电动机运行的稳定性。

3.3 减少电动机启动冲击并保护运行安全

变频器辅助缓冲电动机启动时大电流与机械冲击的机制主要在于变频器对电机动力系统输出电压与启动电流增幅的控制。而其维护电动机运行安全的作用则主要体现在过载保护、短路保护、过热保护等故障保护功能。

当电动机启动时,变频器能够通过控制晶闸管等电力电子器件的触发角实现对输出电压增幅速度的控制。这样,电动机的端电压就会以设定的速度逐渐升高,而不是瞬间达到额定电压。与此同时,变频器还能够通过电流负反馈等控制机制确保启动电流以相对平缓的斜率上升至设定值,并控制电动机转矩变化也相对稳定。这一控制策略能够有效避免瞬间启动时过大的冲击电流对电动机动力系统和电动机电网的损害,预防转矩突变可能给电动机内部结构造成的机械性冲击。随着电压和电流的逐渐增加,电动机的转速将以相对平缓的速度逐渐提升,从而实现电动机的平滑启动。

在电动机运行过程中,变频器所起到的三种主要故障保护功能的故障保护机制如下:

过载保护是指当电机负载超过其额定值时,变频器会采取措施避免设备超负荷运行而损坏。具体保护机制又分为设定时间来检测负载电流是否连续超过额定值,超过设定时间后触发保护动作的定时过载保护和设置负载电流的上限值,一旦超过该值即触发保护的电流限制过载保护两类。

变频器对电动机的短路保护机制分为电流监测、故障判

断、保护性断电等步骤。变频器内置的电流传感器能够实时监测其控制输出电流大小的成效并感知电流变化,为短路判断提供数据支持。检测到的电流信号被传输到变频器的主控电路中进行处理,根据预设的短路保护阈值对电流信号进行快速分析,判断是否发生短路故障。一旦判断发生短路故障,变频器将立即触发关闭输出开关、断开继电器或切断半导体器件驱动信号等保护动作。

变频器对电机的过热保护则是通过温度传感器实时监测电机动力系统各元件的运行温度,与变频器过热保护预设元件运行温度阈值对比。一旦某一元件运行温度阈值,则由变频器的PID控制算法分析输出功率与温度变化的关系,输出信号控制电机功率降低或暂时停机。待该元件运行温度恢复正常后,变频器再控制电机恢复运行。

4 结语

变频器与工业电机动力结构的精妙结合能够实现对电动机转速的精确控制,从而减少电机运作能耗与电机元件的不必要磨损。而其功率因数补偿机制有利于保障电机在低能耗下稳定运行。若利用变频器元件实现电动机启动缓冲,则有利于减少电动机启动时线路受到的电磁冲击,增强其运行的安全性。进一步研究变频器与工业电机动力系统的协调配合机制,是持续推进工业现代化关键技术突破的一项重要工作。未来继续以变频器控制工业电机的原理基础为参考研究能够提升变频器对工业电机运行控制精度的应用策略和变频器硬件、算法优化策略,是工业4.0时代工业动力系统高质量发展的必然需求。

参考文献:

- [1] 魏冬. 浅析变频器在电机拖动及其控制领域的应用[J]. 电力设备管理, 2021(5): 202-203, 206.
- [2] 王旭, 张国胜. 变频器在电机拖动及其控制领域的应用分析[J]. 百科论坛电子杂志, 2020(13): 418.
- [3] 沈广利. 变频器在电机控制中的应用[J]. 商场现代化, 2013(17).
- [4] 张港. 探讨变频器在电机拖动及其控制领域的应用[J]. 科学与信息化, 2020(12): 118.
- [5] 柳志刚. 浅谈工业企业通用设备电机的启动及控制设计[J]. 机电信息, 2019(32): 35, 37.