

Discussion on Solutions to Electromagnetic Disturbance in High Voltage Frequency Converters

Zhiguang Ren Yuan Yuan Kong Yuhang Liu

Xi'an Shaanxi Drum Power Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710075, China

Abstract

This paper takes the commonly used high-voltage frequency converters in industrial enterprises as the object, introduces the main common structures of high-voltage frequency converters, and takes the phenomenon of accident hazards caused by conduction or radiation interference of frequency converters as the background. Combining the principle of frequency converters and the layout of construction sites and design drawings of the design institute. Introduced the main causes and prevention measures of interference, and based on relevant national EMC standards, combined with on-site construction specifications, processes, user actual operation and relay protection cooperation needs; during construction and debugging, potential areas and equipment that may cause disturbance were avoided, and solutions were provided. The focus is on the manufacturer's optimization design, operation parameter settings, cable selection and layout, grounding treatment, and other construction details.

Keywords

high voltage frequency converter; overvoltage; EMC; harassment

高压变频器电磁骚扰解决办法的探讨

任智广 孔园园 刘宇航

西安陕鼓动力股份有限公司, 中国 · 陕西 西安 710075

摘 要

论文以工业企业常用的高压变频器为对象, 介绍了高压变频器的主要常见结构, 对变频器传导或辐射干扰造成事故隐患现象为背景, 结合变频器原理和施工现场的厂房布置和设计院图纸设计。介绍了干扰的产生主要原因及防治措施, 并根据国家 EMC 相关标准, 结合现场施工规范、工序、用户的实际运行与继保配合需求; 在施工、调试中对可能产生骚扰的部位和设备进行规避, 同时给出了解决措施。重点在于制造商优化设计、运行参数设置、线缆选型布置、接地处理等施工细节处理。

关键词

高压变频器; 过电压; EMC; 骚扰

1 背景

基于科技领域近年的迅猛发展势头下, 高压变频器在工业应用中逐步占据主流地位, 且趋向模块化方向成熟发展, 同时 IGBT 等大功率开关器件的功率、频率、耐压等级实现了很大的提升, 伴随着造成的电磁干扰也更为严重。对此, 变频器的制造商、使用者面临更高的要求, 必须重视干扰带来的问题和给出解决方向和措施。

2 变频器的作用和工作原理以及易产生的干扰部位

2.1 变频器的主要作用

高压交流变频调速技术是 20 世纪 90 年代迅速发展起

来的一种新型电力传动调速技术, 主要用于交流异步、同步电动机的启动和调速, 尤其是优异的调速性能使得交流电机的调速性能可以媲美直流电机。

2.2 高压变频器的主要拓扑结构

高压变频器按照技术方案的不同划分可分为电流源型变频器和电压源型变频器。电压源型与电流高压变频器的主要不同之处, 在直流滤波部分, 直流采用电容滤波的是电压源型高压, 在电压低时(脉动直流波谷), 电容器释放电能补充波谷, 在电压高时(脉动直流波峰), 电容器存储电能, 从而使整流后的直流电压始终保持稳定; 采用电抗器滤波的为电流源型高压变频器, 在滤波电流低时(脉动直流波谷), 电抗器释放电能补充波谷, 在电流高时(脉动直流波峰), 电抗器存储电能, 从而使得整流后的直流电流保持稳定。其中, 图 1 为电压源型逆变器结构, 图 2 为电流源型逆变器结构。

【作者简介】任智广(1995-), 男, 中国陕西西安人, 本科, 从事透平设备高低压调试、故障处理研究。

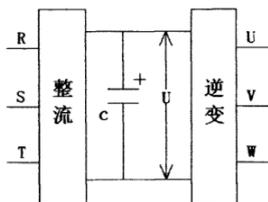


图1 电压源型逆变器结构

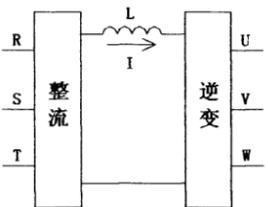


图2 电流源型逆变器结构

2.3 高压变频器的主要工作原理

目前国际流行的功率单元串联多电平技术，系统为高-高结构，见图3。高压变频器由多个功率单元串联而成，通过将多个低压功率单元的输出叠加起来得到高压输出。电网三相10kV（或6kV）交流电，经移相变压器，由其副边每相的多个二次线圈电压逐个移相，供电给功率单元，三相共多个功率单元，形成Y联结结构。控制IGBT的通断，即可在输出端得到PWM波形，多个功率单元相叠加进行波形合成，可直接输出高压正弦波驱动高压电动机。

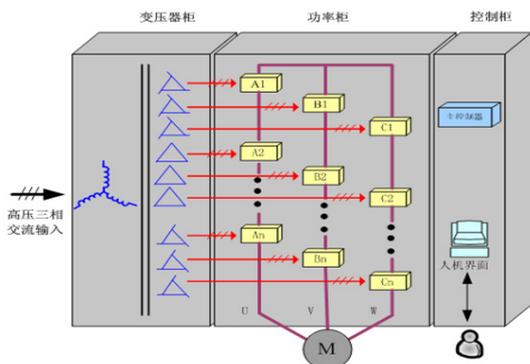


图3 高-高变频器结构示意图

3 变频器干扰源

变频器的主要干扰源之一在逆变环节，IGBT高速通断过程中产生。对此，变频器自身生产设计过程中应注意对EMC的防治，主要可通过以下方面增强抗干扰能力：

① 主控系统对功率模块的控制信号传输不建议使用硬接线传输，宜使用光纤传输。

② PCB板的布局、尺寸应合理，避免干扰大范围扩散、耦合。

第一，元件布局作为布线前的准备工作，是一个重要的环节，结果的好坏将直接影响布线效果。在确定特殊元件

的位置时应遵循以下原则：尽可能缩短高频元器件之间的连线；加大存在较高电位差的元件或导线之间的距离；重量大、发热多的元器件尽量不要安装在PCB上、尽可能采用分立元件；电位器、可调线圈、微动开关放在方便调节的地方；预留足够的固定孔位。

第二，电路板尽量采用四层板及多层板：印制导线的布设应尽可能短，拐弯成圆角或倒角；印制导线宽度最小不宜小于0.2mm，公共地线应尽量要粗；布线顺序应遵循先布高频线（如PWM信号线、晶振走线），后布普通线，数字区与模拟区尽可能隔离，并且数字地与模拟地要分离；多层线路板的电源和地线尽量采用敷铜方式，这种大的接地平面可形成低的电源阻抗。

第三，对于变频器系统中所应用的高速数字信号电路，优先采用多点接地（即多个低阻抗路径并联，串联单点接地容易被地线噪声和共模电流引起干扰），目的在于建立一个统一电位共模参考系统，见图4。

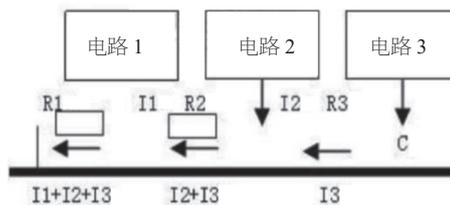


图4 单点串联接地示意图

引起高频电磁干扰的其他原因包含变频器控制单元中的高频开关电源和极高频时钟的微处理器（高频MHz级别）。为了限制这种干扰辐射，需要采用能够形成法拉第效应的金属封闭变频器柜体，同时应注意通风散热和IP防护的综合考虑，必要时采用屏蔽通风板，因为IGBT工作在导通状态期间会存在很大的发热量，要综合考量设计柜体及柜内器件布置结构、控制部分与功率板部分宜分开布置^[1]。

第四，变频器设计定型阶段应经过严格的EMC测试并合格。要根据产品特点，经过DL/T478—2013中的强制性条款试验，敏感度测试和骚扰传导与辐射测试，保证出厂产品的电磁兼容性。对于出厂使用环境恶劣的地方，电磁兼容测试可以将辐射电磁场干扰、脉冲群干扰等同时测试，最大程度模拟恶劣环境^[2]。

4 在变频器使用中可采取的预防干扰措施

传输电缆对电动机的容性效应存在，电缆的特性阻抗和电机的特性阻抗会不匹配，线缆线径越大、长度越长电动机端子上承受的过电压峰值越高^[3]。

机端电压的增大加剧了电机绕组的绝缘压力，使其过早出现绝缘老化问题，同时通过定、转子间的寄生电容耦合，在转子上感应出轴电压，产生轴电流。

第一，在工程设计和施工过程中要合理安排空间布置、

减小变频器至电机的布线长度、线缆线径预留不宜过大。线缆的选型上可以选择施工难度小的多芯线缆或者管母（单芯高压电缆的施工较为复杂），能很好地减轻反射过电压强度和频次。从线缆设计选型中减小电缆绝缘的介电系数或增加电缆绝缘的厚度（或间距），有利于减小电缆末端的过电压水平，改善电动机端子上的电压特性。

第二，PWM 脉冲波经过滤波器滤波后，再经过长线电缆传输到电机端。通过合理设置滤波器的参数，使其为正弦滤波器，即将 PWM 脉冲滤波成近似的三相正弦波，减少过电压和高频干扰，见图 5。

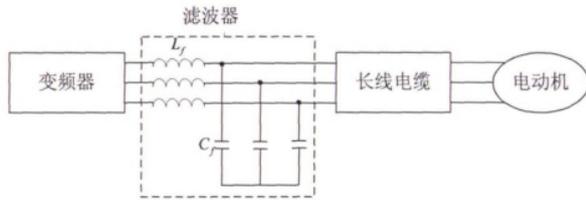


图 5 变频器出口配备滤波器示意图

第三，在变频器使用中参数设置中的注意事项：变频器可以根据需要调整功率模块内部 IGBT 的开关频率。一般调整范围在 150~600Hz，150~300Hz 范围内变频器可以输出额定功率，300~600Hz 之间，变频器须降额使用，开关频率以 300Hz 为基准，每升高 100Hz，变频器须降额 5% 使用。以大禹电气 GBT-MV 高压变频器为例，开关频率不宜设置的过高，严格遵守厂家的参数设定范围， di/dt 的干扰源会减小，导通损耗及产品发热也会减小，机端过电压频次也会相应减少。

第四，在施工中严格遵守线缆的安装敷设规范，由于高压变频器的电压高、在 PWM 输出过程中产生的辐射骚扰也不容忽视，所以高压动力线缆严禁与通信线缆同一线槽平行敷设，在空间范围允许时尽量拉开与控制电缆的空间距离，线缆的接地符合规范要求。

第五，在变频启动过程中传统的差动保护容易误动，此时建议选用磁平衡差动互感器的保护方式并配备有磁平衡保护功能的微机保护装置。

5 结语

高压变频器在运行过程中处于复杂的电磁环境，此时 PDS（交流电气传动系统）是一个比 PDS 本身更大的过程的功能序列的组成部分，因此 PDS 的性能变化而引起的对这一过程的影响就是难以预料的。但是变频器的抗干扰水平至少不低于它直接连接的电网和电机的兼容水平，制造厂家也应按此需求进行产品的抗干扰性能设计，并进行相应测试，满足最终安装地点的使用要求。同时现场的使用环境和安装工程也应尽可能按照变频制造商的要求去施工和设定参数，共同减小电磁干扰对整个 PDS 的骚扰。

参考文献

- [1] 黄佩.大功率中频变压器电磁分析与优化设计[D].武汉:华中科技大学,2018.
- [2] GB/T18039.9—2013 电磁兼容环境公用中压供电系统低频传导骚扰及信号传输的兼容水平[S].
- [3] 刘学忠,徐传骧.PWM变频调速电动机端子上电压特性的研究[J].电工技术学报,2000,15(5).