

机电设备电磁干扰源及抑制措施分析

杨恕¹ 杨和霖^{2, 通讯作者} 蔡培良¹ 华卫¹ 岳绍东¹

(1 红云红河集团曲靖卷烟厂卷包车间 云南 曲靖 655000; 2 云南浩昌科技有限公司 云南 玉溪 653100)

摘要: 文章首先简述了电气系统的供变电、直流稳压源、逆变电路产生电磁干扰的原因, 重点阐述隔离、屏蔽、接地、滤波及简化电路等抑制电磁干扰的方法, 对谐波干扰及尖峰脉冲干扰提出有针对性处理意见, 使电气系统达到电磁兼容 EMC 的目的, 从而提升了系统的稳定性和安全性。

关键词: 逆变电路; 隔离; 尖峰脉冲; 电磁干扰

0 引言

现代电子设备已大量应用 PLC、IPC 可编程技术, 采集设备上的模拟量和数字量信号, 经过计算、存储, 从而控制执行机构按设备的控制要求进行动作与状态显示。电气设备上存在的检测单元、微处理器、工控机、显示及执行动作机构, 由于工频、高频和射频信号交叉感染的存在, 这种电磁干扰引起的设备故障大致分成两大类: 一是设备不能进行规定的动作, 或达不到规定的性能指标; 二是设备出现了非规定的动作或出现了不应有的现象^[1]。如设备的检测和控制信号受到干扰, 会引起 PLC 跳闸、HMI 显示器死机、仪器仪表显示抖动、显示误差增大等; 若干扰信号处理不净会引起电气元件过压、过流而烧毁; 若尖峰干扰脉冲会引起执行机构无指令误动作, 也会引起电子元件击穿, 严重时还会造成人身伤害事故。为了避免以上问题, 在电气设备上有必要做一些抗干扰措施。

1 电气设备常见的几种干扰源

从广义上讲, 机电设备产生的干扰包括电磁干扰、机械振动干扰、温度干扰、湿度干扰、光源干扰以及声波干扰^[2], 其中电磁干扰对电气系统的影响尤为恶劣。因此, 本文以电气设备的电磁干扰源为主进行分析研究。

1.1 电气设备供变电产生的干扰源

电气设备供电常采用三相五线制, 敷设的交流主回路线路与直流控制线路混合交叉走线, 会对敏感的电子装置产生工频干扰。设备上需要用到不同等级的交流电, 就要采用三相、单相变压器变压; 拖动

系统的电动机运行时, 电磁线圈必然通入交流电; 这两种情况工作时都会使导体中的 di/dt 、 du/dt 变化, 使周边存在着电场和磁场^[3], 由此产生电磁辐射污染。交流接触器带感性负载运行时, 触点断开时会产生电弧, 客观上对周围环境产生干扰效应。

1.2 直流稳压电源产生的干扰源

设备上不可避免地要用到开关直流稳压电源, 这是把工频正弦波电压转变成直流电压的装置。它用 20kHz 以上的频率控制大功率开关管的通和断, 通过脉冲变压器次级整流而得到直流电压。大功率开关管工作在大电流高频切换状态, 开关管由导通切换到关断状态, 或由关断切换到导通瞬间会形成浪涌电流, 它们的高次谐波成分会沿着电源线传导或向空间辐射, 以此形成干扰源。

1.3 逆变回路产生的干扰源

变频器或伺服控制器采用正弦波脉宽调制 SPWM 技术, 高频脉冲换相控制 IGBT 模块的开关频率, 逆变输出的电压波形为近似的正弦波用于驱动三相电动机, 但在换相的瞬间电机的感性负载电流不能突变, 将产生瞬间浪涌电压。变频或伺服控制器在整流、逆变换过程中电流不可避免含有高次谐波, 这会对周边环境造成大量的电磁干扰。

2 电柜布局以及柜内装置的抗干扰措施

抗电磁干扰的改善措施有隔离、屏蔽、接地、滤波、简化电路及合理电缆铺设等。

2.1 合理电柜布局, 远离电磁互扰

电气设备的电柜在设计之初就要考虑其安全可靠, 以降低电磁干扰等各种因素。电柜布局大致有紧凑式电柜和集中式电柜两种类型。紧凑式电柜设

计通常在设备上安装多个电柜，如交流电源配电柜、直流电源柜、变频伺服柜和电子电路柜等。集中式电柜设计通常是把设备与电柜用线缆经过桥架连接，电柜内通过隔栅或墙板隔离强弱电。其目的是对于扰信号进行屏蔽隔离。

2.2 配电柜抑制电磁辐射措施

交流电源配电柜应安装隔离刀闸、断路器、交流接触器、变压器等元件，三相电源进线端可以选配隔离变压器，从而隔离原、副边绕组线圈的电流，以避免偶然触及带电体对人体产生的严重伤害。接地是抗电磁干扰的措施之一，电柜预留的接地柱 PE 与电柜金属底板连接，变压器接地端应与电柜接地柱 PE 柱相连。独立安装交流电源配电柜的目的是隔绝工频信号对精密电子设施的电磁干扰。

2.3 直流电源柜抑制电磁辐射措施

独立安装直流电源柜的目的是隔离高频或谐波辐射对电子设备的干扰，直流电源柜通常安装有不同直流电压等级的开关稳压器、断路器等元件。直流电源的“一”级应与电柜的地线 PE 相连，以防止“一”级与地之间产生悬浮电压，使二者之间达到真正意义的等电位。柜内的开关电源的抗干扰设计主要从抑制干扰源的强度和衰减噪声两个方面考虑，抑制电网瞬态干扰应从方案设计上采取措施。如：在交流侧加装低通滤波器，其中 $L=100\mu\text{F}$ ， $C_1=0.1 \sim 0.5\mu\text{F}$ $C_2=0.01 \sim 0.05\mu\text{F}$ 。对于 20kHz 以上的干扰信号有较强的抑制能力（图 1）。

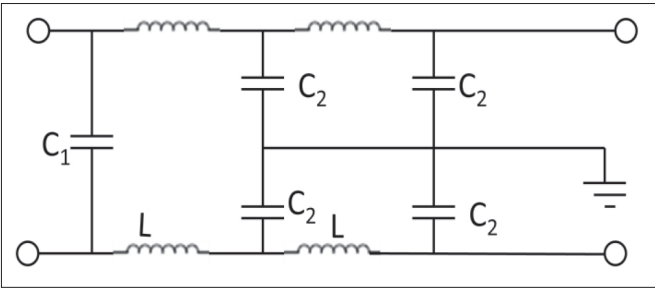


图 1 抑制干扰低通滤波器

2.4 变频伺服柜抑制电磁辐射措施

独立安装变频伺服柜的目的是隔离高频或谐波辐射对电子设备的干扰，变频伺服柜通常安装不同种

类的变频器、伺服控制器、电抗器、断路器等元件。变频器、伺服控制器主回路由三相整流桥、直流滤波器、制动回路、逆变器组成（图 2）；控制回路主要由操作显示单元、编码器分解器、微处理器 CPU、脉宽调制 PWM 发生器等组成^[4]。由此可见，变频器、伺服控制器主回路使用的非线性元件是产生电磁干扰的根源。

输入侧的三相整流桥会使三相交流电源电流波形发生畸变。为了抑制这种干扰，需要在输入交流电源侧加装交流电抗器 Z，选配的原则是变频器或伺服控制器的容量越大，相匹配的电抗器 $\Omega/\text{相}$ 越小。

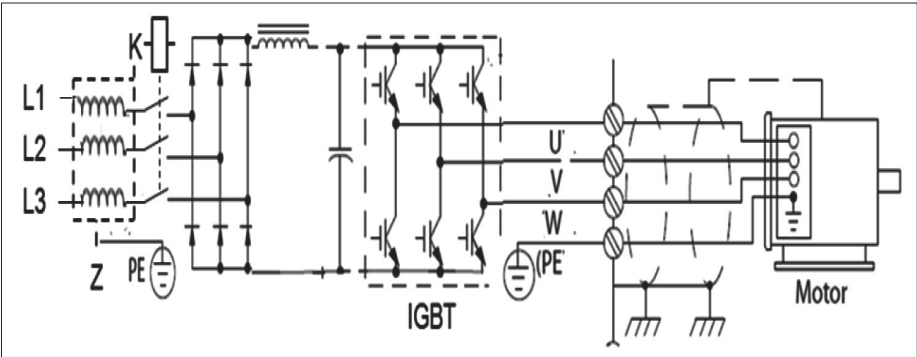


图 2 变频器或伺服控制器主回路

输出侧的逆变器脉宽调制 PWM 高频切换 IGBT 瞬间会使输出电压波形产生谐波辐射。为了抑制这种干扰，需要把逆变器到电动机之间用屏蔽电缆相连接，且使用专用接地夹，方法是用两颗紧固螺丝对弹簧夹施力对电缆拨开的屏蔽网压紧接地（图 3），逆变器输出侧 U、V、W 每一根相线需加装磁环，且应穿绕磁环 2 ~ 3 圈^[5]。

为防止主回路谐波辐射干扰到直流电源，或干扰到控制回路而引起电动机误动作，变频器或伺服控制器外接的 PROFIBUS-DP 现场总线、输入接口

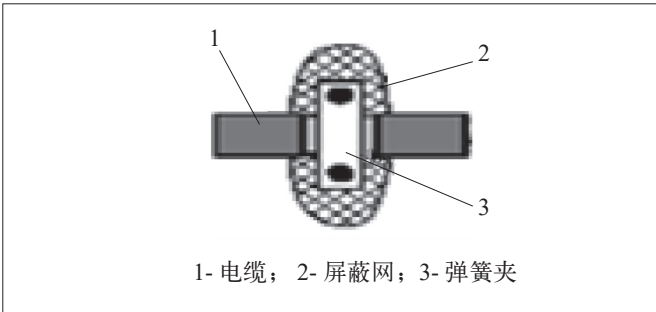


图 3 专用接地夹

外接的启动使能信号或速度指令电压信号线路、输出接口外接的继电器线路、或输出接口外接的仪器仪表线路均应采用屏蔽电缆，且屏蔽网应良好接地。若涉及速度、位置控制的变频器或伺服控制器，测量角速度和角位移的轴编码器反馈信号宜采用多芯屏蔽电缆，并用专用接地夹对屏蔽层接地。

2.5 电控柜抗电磁辐射措施

独立安装电控柜的目的是把强弱电区域分开，隔绝不同类型的辐射干扰。电控柜通常安装有 IPC 或 PLC、工控机、耦合器、电路板、继电器等低压直流供电的信号处理部件。电控系统的发展经历三个阶段，继电器控制、电路板集中控制到可编程逻辑控制^[6]。现代的电气系统以 IPC 或 PLC 为控制中心，软件编程、模块化设计、集中管理、网络通讯。器件布置就近检测、现场处理，总线传输，最大限度地减少了电路板数量、线路敷设数量和线路中间节点，从而减少了电磁辐射干扰的概率，提高了电气系统的稳定性、可靠性和安全性。如过程控制涉及机器的主机进行粗加工，下游机进行精加工和包装环节，搭建电气系统构架（图 4）。HMI 人机交互接口与 IPC 之间用工业以太网 TCP/IP 通讯，IPC 的三个总线耦合器用三条 PROFIBUS-DP 现场总线分别连接主机、下游机子站 PLC、变频伺服柜、操作面板、阀岛等部件。伺服控制器内部信号利用同步总线通讯，使各个不同控制功能的伺服电动机按照过程控制需要的速度和相位运行。操作面板、阀岛、安全防护开关等信号进入分布式现场 I/O 模块，再通过 PROFIBUS-DP 现场总线与 IPC 通讯，IPC 程序完成整机的信号采集、逻辑运算和信号控制与传输。

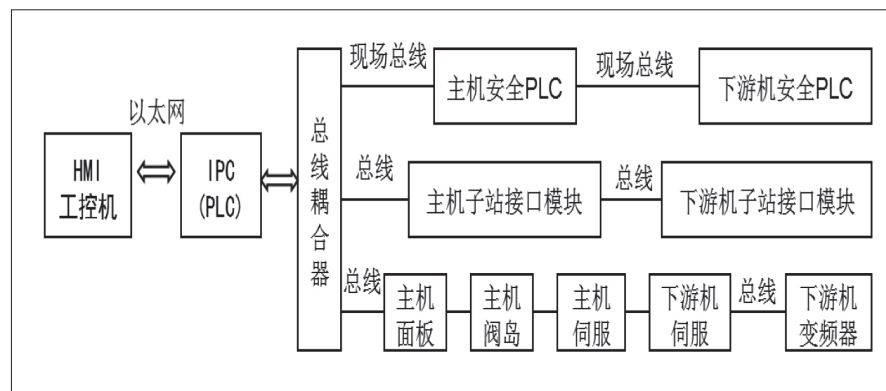


图 4 电气系统架构图

3 电控元件抑制干扰信号的措施

变频器或伺服控制器电源侧接触器电感线圈 K1 断电时，电感线圈两端产生反电动势高电压，原因是断电时线圈电流不会突变，从而产生尖峰脉冲，易造成控制继电器 K 触点损坏^[7]。利用电容隔直通

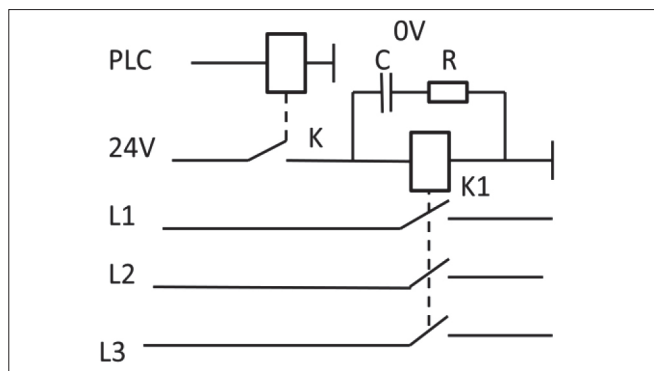


图 5 接触器阻容耦合抗干扰图

交的特性，在接触器电感线圈两端并联电阻 R 电容 C 串联回路，线圈断电时尖峰脉冲经过电容在电阻上快速释放（图 5），从而避免接触器失去控制。同理，电控柜内装有的继电器，线圈 K 断电将产生尖峰脉冲干扰，线圈两端反向并联续流快恢复二极管 D 释放以电流的形式消耗其残余电能量，防止高压脉冲击穿 PLC 输出接口的驱动开关管（图 6），从而避免继电器失去控制。在高压、大电流控制的场所，还应该在逆变输出侧增加浪涌电压三角形阻容吸收回路（图 7），从而减小逆变器的输出产生浪涌电压和抑制不规则的谐波信号，使三相电动机的启动和运行更加平稳可靠。

4 结语

本文对配电变电产生的工频干扰，对直流稳压电源非线性电子切换高频干扰，变频或伺服控制器 IGBT 逆变产生谐波干扰进行了分析，得出其电磁干扰的危害性。通过独立电柜设计，使强弱电充分隔离。完善电气系统构架，简化线路敷设数量和减少中间节点，并对电感元件增加必要的高压泄放回路。结果表明，这种设计思路对提高电气系统的稳定运行有一定的可行性。

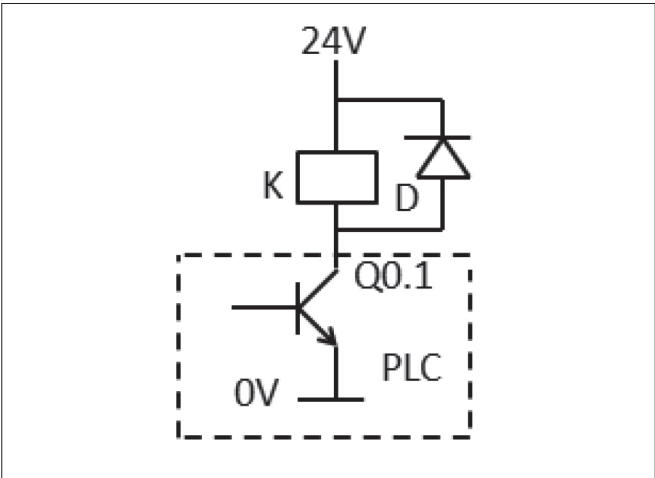


图 6 继电器续流二极管抗干扰

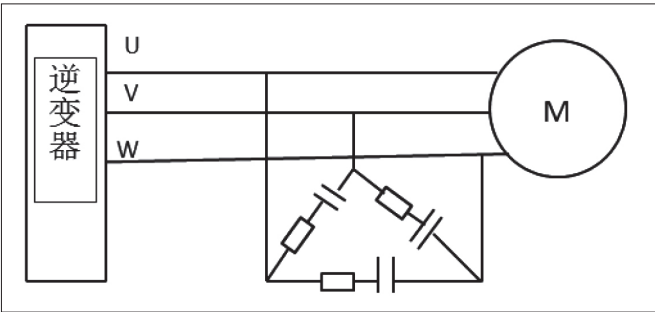


图 7 三角形阻容耦合抗干扰

参考文献：

[1] 沙启荣. 维修电工 [M]. 北京：中国劳动社会保障出版社, 2004:27-28.

[2] 刘宏新. 机电一体化技术 [M]. 北京：机械工业出版社, 2015:56-59.

[3] 秦曾煌. 电工学简明教程 [M]. 北京：高等教育出版社, 2015:32-35.

[4] 陈亚林, 陆东明. 伺服系统应用技术 [M]. 北京：中国铁道出版社, 2015:42-44.

[5] 陈松, 荣军. 380V 电永磁控制器的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2016(3):51-54.

[6] 吕强, 孙锐, 李学生. 机电一体化技术原理与应用 [M]. 北京：国防工业出版社, 2010:34-35.

[7] 韩建生, 陈农. ACS 变频器过流故障原因分析及解决方法 [J]. 电工技术, 2022(18):91-92.

作者简介：杨恕（1964.05-），男，白族，云南大理人，本科，工程师，研究方向：工业过程控制与电气系统维修；

通讯作者：杨和霖（1992.03-），男，白族，云南曲靖人，本科，助理工程师，研究方向：工业过程控制和安全监理。

