

变频器谐波污染及治理

变频调速在工业生产中具有十分重要的意义,但是由于变频器在输入回路中产生的高次谐波电流,对供电系统,负载及其他邻近电气设备产生干扰;尤其是在高精度仪器|仪表、微电子控制系统等应用中,谐波干扰问题尤为突出。本文从变频器工程实际应用出发,从隔离、滤波和接地三个方面全面阐述了抑制和消除干扰的方法,对提高变频器等工业设备运行的可靠性和安全性提供参考。

一、变频器谐波产生机理

凡是在电源|稳压器侧有整流回路的,都将因其非线性而产生高次谐波。变频器的主电路一般为交一直一交组成,外部输入 380V/50HZ 的工频电源经晶闸管三相桥路整流成直流,经电容器滤波后逆变为频率可变的交流电。在整流回路中,输入电流的波形为不规则的矩形波,波形按傅立叶级数分解为基波和高次谐波,谐波次数通常为 $6N \pm 1$ (N 为自然常数)。如果电源侧电抗充分小、换流重叠 μ 可以忽略,那么第 K 次高次谐波电流的有效值为基波电流的 $1/K$ 。

二、高次谐波危害

谐波问题由来已久,近年来这一问题因由于两个因素的共同作用变得更加严重。这两个因素是:工业界为提高生产效率和可靠性而广泛使用变频器等电力电子装置,使得与晶闸管相关设备的使用迅猛增长,并伴随着谐波源的同步增加和放大;电力用户为改善功率因数而大量增加使用电容器组,并联电容器以谐振的方式加重了谐波的危害。

非线性负荷产生的谐波电流注入电网,使变压器低压侧谐波电压升高,低压侧负荷由于谐波干扰而影响正常工作,另一方面谐波电压又通过供电变压器传递到高压侧干扰其它用户。

在三相回路中,三的整数倍次谐波电流是零序电流,零序电流在中性线中是相互叠加的。零序谐波电流主要是由三相四线制非线性设备产生的,使供电系统中的中性线电流很大。当中性线上有较大的谐波电流时,中性导线的阻抗在谐波下能产生大的中性线电压降,此中性线电压降以共模干扰形式干扰计算机和各种微电子系统的正常工作,使控制设备和精密仪器工作不可靠,故障率高。

高次谐波的危害具体表现在以下几个方面。

变压器

谐波电流和谐波电压将增加变压器铜损和铁损,结果使变压器温度上升,影响绝缘能力,造成容量裕度减小。谐波还能产生共振及噪声。

感应电动机

谐波同样使电动机铜损和铁损增加,温度上升。同时谐波电流会改变电磁转矩,产生振动力矩,使电动机发生周期性转速变动,影响输出效率,并发出噪声。

开关设备

由于谐波电流使开关设备在起动瞬间产生很高的电流变化率,使暂态恢复峰值电压增大,破坏绝缘,还会引起开关跳脱、引起误动作。

保护电器电流中含有的谐波会产生额外转矩,改变电器动作特性,引起误动作,甚至改变其操作特性,或烧毁线圈。

计量仪表

计量仪表因为谐波会造成感应盘产生额外转矩,引起误差,降低精度,甚至烧毁线圈。

电力电子设备

电力电子设备通常靠精确电源零交叉原理或电压波形的形态来控制 and 操作,若电压有谐波成分时,零交叉移动、波形改变、以致造成许多误动作。

计算机和一些其它电子设备,通常要求总谐波电压畸变率(THD)小于5%,且个别谐波电压畸变率低于3%,较高的畸变量可导致控制设备误动作,进而造成生产或运行中断,导致较大的经济损失。

电力电缆

高频谐波电流会在导体中引起集肤效应,产生额外温升增加铜耗。特别是零序的3次谐波电流在中性线中是相互叠加的,使供电系统中的中性线电流很大,有的中性线上的电流还会超过相电流,使中性线发热,加速绝缘层老化,甚至引起火灾。此外当中性线上有较大的谐波电流时,导线的阻抗能产生大的中性线电压降,干扰各种微电子系统的正常工作。

电力电容器

高次谐波由于频率增大,电容器对高次谐波阻抗减小,因过电流而导致温度升高过热、甚至损坏电容器;电容器与系统中的感性负荷构成的并联或串联电路,还有可能发生谐波共振,放大谐波电流或电压加重谐波的危害。经由电容器组电容和电网电感形成的并联谐振回路,可被放大到10-15倍。

三、变频器高次谐波污染的解决途径

高次谐波主要通过传导和感应耦合两种方式对电源及邻近用电设备产生谐波污染。传导是指高次谐波按着各自的阻抗分流到电源系统和并联的负载,对并联的电气设备产生干扰;感应耦合是指谐波在传导的过程中,与此电源线平行敷设的导线又会产生电磁耦合,形成感应干扰。

在实际工业生产中为消除变频器高次谐波对电气设备的干扰,主要从抑制干扰源、切断干扰对系统的耦合通道并且避免功率补偿电容器与系统谐振二个方面解决。

解决传导干扰主要是在电路中把传导的高频谐波电流滤掉或者隔离;

合理布置干扰源和被干扰线路的距离、走向,可避免或减少耦合产生。

四、 实际工程抗干扰措施应用

随着工业生产技术的逐步提高,变频器使用范围的逐步加大,变频器高次谐波带来的电磁干扰和污染问题也越来越突出,怎样处理好变频器系统的谐波干扰和污染问题也越为越突出,怎么样处理好变频器系统的谐波干扰污染成了变频器进一步推广应用,特别是在对谐波污染要求高的场所的推广应用的关键。

隔离措施

隔离技术是电磁兼容性中的重要技术之一。所谓干扰的隔离,是指从电路上把干扰源和易受干扰的部分隔离开来,使它们不发生电的联系。

(1)、在变频器交流输入侧安装交流电抗器,增大整流阻抗使整流重叠角增大,减小高次谐波电流。

(2)、使所有的信号线很好地绝缘,使其不可能漏电,这样,防止由于接触引入干扰。

(3)、将不同种类的信号线隔离铺设(在不同一电缆槽中,划用隔板隔开),可根据信号不同类型将其按抗噪声干扰的能力分成几等,单独走电缆或电缆槽。

接地措施

接地的作用有两类:一是保护人和设备不受损害(保护接地);二是抑制干扰(工作接地)。正确的接地既可以使系统有效地抑制外来干扰,又能降低设备本身对外界的干扰。

为了使变频控制系统以及与之相连的仪表均能可靠运行并保证测量和控制精度,必须为变频器设立可靠地工作接地。它分为电源地、信号地、模拟地(AG屏蔽地),在石化和其他防爆系统中还有本安地。

变频器的各种接地在没汇到接地汇流排前,彼此之间应保证绝缘,避免接地干扰。

反谐振措施

谐波对连接在功率因数电路中的电容器是非常危险的。电容器的电容与电网的电感形成了一个谐振电路,通常这个谐振电路的自谐振频率一般位于 250 和 500Hz 之间,即在 5 次和 7 次谐波范围内。当电网中存在的谐波频率与自谐振频

率相近时,有可能使谐波电流放大到正常的 20 倍左右。受谐波影响的电网不能采用常规的电容器来做无功补偿。

当系统上存在谐波时,使用调谐滤波电容器组,是功率因数补偿的最佳方法之一。由电容器和电抗器串联组成的非调谐滤波电容器组,可以在基波频率段补偿无功功率,同时解调谐振电路的自谐振频率。

调谐滤波电容器组,由数段电容器及调谐电抗器组合而成,每段形成串联共振回路,使共振频率低于最低之谐波频率。对含有 5 次以上谐波的系统,使用带 6%电抗器的调谐式电容器组;对含有 3 次以上谐波的系统,使用带 14%电抗器的调谐式电容器组。在基本波频率(50Hz)下,调谐滤波电容器组呈现电容性,以提供无功功率;而在谐波频率下,则呈现电感性,故与网络不会形成并联共振回路,亦即不会造成谐波放大。因此,调谐滤波电容器组,可安全补偿无功功率,亦可消除低次谐波电流约 30%。

滤波技术

滤波器能有效地抑制谐波的传导干扰。在低压电网中,当谐波电流畸变率 $THD_I > 10\%$,或谐波电压畸变率 $THD_V > 3\%$ 时,可考虑安装谐波滤波器。对于不同的谐波源和电气设备,可考虑安装相应的滤波设备。

当系统中的变频器是以三相六脉动全波整流为主时,根据公式谐波次数 $K=6N \pm 1$,谐波以 5、7 次为主,通常采用并联式 5 次和 7 次单调谐滤波器。

当系统中的变频器主要用于三相四线中的单相电路时,谐波以相序为零的 3 次谐波为主,应该安装并联式 3 次谐波滤波器。

当系统对抗干扰能力要求较高、或系统中谐波含量较复杂时,为减少变频器高次谐波的污染,可在电源输入端并联有源滤波器。有源滤波器能有效滤除电网中 2~50 次谐波,反应时间小于 1 毫秒,是目前最有效的一种滤波技术。