

励磁装置的电磁兼容设计

李志军, 陆俭国, 刘艳萍

(河北工业大学, 天津 300130)

摘要: 励磁装置是发电机的主要辅机,其性能好坏直接关系到电力生产的可靠性。良好的电磁兼容设计是励磁装置品质的可靠保证,结合励磁装置的特点,主要从设备自身防护的角度重点论述励磁装置的交、直流侧过电压及过电压抑制,高次谐波及谐波抑制,可控硅同步及触发脉冲的噪声抑制,量测回路的噪声抑制等措施,测试试验及现场应用验证了其实用性。

关键词: 电磁兼容; 励磁装置; 可靠性

中图分类号: TM621.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)04-0057-04

0 引言

电磁兼容性 (Electromagnetic Compatibility 简称 EMC) 指的是设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁干扰的能力。电磁兼容技术是为解决实践中的电磁干扰而出现并发展起来的一门新兴学科。从广义角度来讲,电磁兼容技术要研究和解决的问题是电气、电子设备及系统以及人类或动植物在一个共同的电磁环境中的安全共存问题。它既包括电气、电子设备之间的相互干扰,也包括自然界电磁干扰(宇宙干扰、天电干扰、雷电干扰等)对电气、电子设备、人或动植物的电磁影响或电磁效应。

在电力系统中,自动化设备可能产生各种电磁骚扰并处在恶劣的电磁污染环境中。为了保证自身能够正常可靠地工作,它们必须承受这些电磁干扰(EMI)而不误动、拒动,同时它们自身产生的电磁干扰又不能影响周围别的电子产品的正常工作。因此这些产品必须在设计、制造、测试、安装与运行上完全符合 GB 或 IEC 所规定的 EMC 标准要求。

1 励磁装置电磁兼容的特殊性

传统的电磁兼容技术的设计要从电磁兼容的三个基本要素着手,从原理的可行性、元器件的选择、加工生产工艺、安装运行环境等几个方面来重点考虑。以微型计算机技术和电力电子技术为核心的微机励磁装置是电力系统中主要的自动化设备之一,除了存在与传统自动化设备的电磁兼容问题之外,还具备其自身的特殊性。

如图 1 所示为一典型的自并激微机励磁装置原理框图,其主要组成包括:与发电机机端或电网系统

关联的励磁变压器(LB)、发电机定子电流互感器(CT)、发电机机端电压互感器(PT)、励磁功率单元 G1~G4、直流侧过电压保护及灭磁单元(ZB)及双通道(CHI、CHII)微机励磁调节器等。

基于电力系统微型自动化设备的传统电磁兼容设计已为人们所熟知,本篇论文将结合励磁装置的特点,主要从设备自身防护的角度重点论述励磁装置的交、直流侧过电压及过电压抑制,高次谐波及谐波抑制,可控硅同步及触发脉冲的噪声抑制,量测回路的噪声抑制等。

2 励磁装置的电磁兼容设计

2.1 励磁装置的过电压及过电压抑制

如图 1 所示,微机励磁装置中的功率源是由和电网关联的发电机机端经由励磁变压器(LB)供给的,而电网是一个十分严重的噪声源,电网因直接受到雷击或因雷电感应所产生的浪涌电压线值可达 6 kV,对地可达 12 kV;各种电气设备开关时所产生的浪涌电压以及电气设备电源对地短路引起的电网电压波动也可达常规电压的 4 倍,另外励磁装置功率源本体运行时也会产生影响设备安全运行的过电压。这些过电压不仅会危及功率器件和发电机绝缘的安全,而且由于其具有丰富的频谱,会形成严重的干扰源,若加以有效抑制,将严重威胁励磁装置的安全运行。

2.1.1 励磁装置过电压分类

在同步发电机励磁装置中过电压的原因是多方面的,按过电压方式的不同可分为如下几类:

1) 交流侧过电压: 经由变压器或发电机机端传输到励磁装置的大气过电压或由操作引起的暂态过电压; 励磁变压器分断引起的过电压; 由于励磁变压器存在漏抗,可控硅整流器件换相引起

的过电压；由励磁变压器(LB)耦合电容引入的操作过电压。

2) 直流侧过电压：灭磁开关开断引起的过电压；同步发电机与电网并列非全相合闸引起的过电压；变压器高压侧发生两相或三相短路引起的过电压；非同步运行引起的过电压；可控硅整流桥工作时的换相过电压。

2.1.2 励磁装置过电压抑制

实际应用的过电压抑制措施应视具体情况而定,通常选择其中几项以构成合理的抑制。选用时应以简单可靠、吸收暂态能量大、抑制过电压能力强、使用寿命长等为总的原则。

1) 采用压敏电阻抑制交直流侧过电压

如图1交流侧保护柜(JB)、直流侧过压保护及初励柜(ZB)内抑制原理简图所示,抑制交直流侧过

电压简单而有效的方法是在交流电源输入端、整流桥的输出端及容易产生尖峰电压的地方并接压敏电阻。压敏电阻是由氧化锌、氧化铋等材料烧结制成的非线性电阻元件,是一种较为理想的浪涌吸收器,压敏电阻本身体积很小,当电路电压低于其标称电压 U_1 (mA) 时,电阻很大,只有几 μA 的漏电流;当电压超过压敏电阻的标称电压 U_1 (mA) 时,电阻急剧减小,可通过高达数千安的放电电流,将过电压的能量泻放,以达到保护整流元件、主开关元件的目的。

2) 采用隔离屏蔽技术抑制电网噪声

普通电源变压器的初次级绕组之间存在着数百微法的分布电容,这种分布电容不仅容量大,而且有十分好的频率特性,对高频噪声有很低的阻抗。通过初次级绕组之间的分布电容耦合而引入噪声是电网噪声的主要传输渠道。

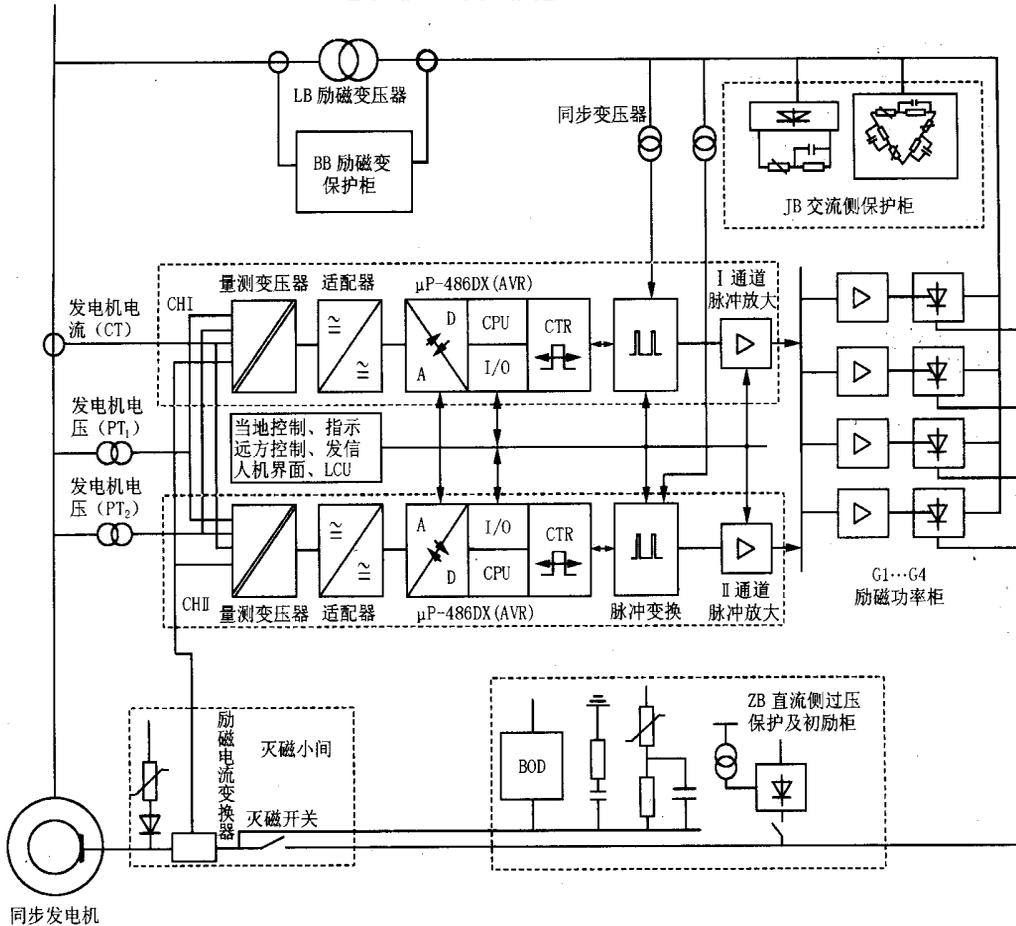


图1 励磁装置原理框图

Fig. 1 Block diagram of excitation equipment

励磁装置中可采用初次级绕组之间加设接地屏蔽层的特制变压器或在变压器二次侧直接接入对地电容的方法抑制电网噪声。

3) 采用五线式保护抑制换相过电压

由励磁变压器或交流励磁机供电的可控硅整流器励磁装置,由于整流元件之间存在着周期性换相,

在换相瞬间将产生足以危及可控硅安全运行的换相过电压。采用图 2 所示的由 R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 、 R_3 、 C_3 、 $V_{11} \sim V_{17}$ 组成的五线式保护方案可以获得良好的抑制效果。

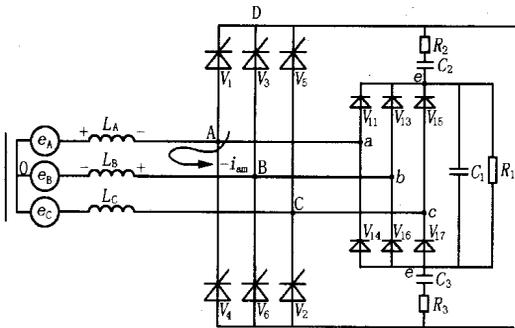


图 2 五线式保护方案原理图

Fig. 2 Block diagram of 5 line protection model

2.2 励磁装置的谐波及谐波抑制

在采用整流器的励磁装置中,不论是由交流励磁机供电还是由励磁变压器供电,整流器的交流相电流均发生畸变,具有非正弦波形,并存在高次谐波电流分量。谐波分析表明,对于周期为 2、对称于横轴的交流电流波形,不存在直流分量及偶次谐波,除基波外只存在奇次谐波。在励磁装置中采用 Y/d-11 接线方式、二次绕组为三角形连接的变压器,因无中性点接线,可以有效地抑制三次及三的奇数倍次谐波。

2.3 量测回路的噪声抑制

励磁装置是以发电机机端电压为主要控制对象的闭环控制系统,如图 1 所示其量测回路主要由电流互感器 (CT)、电压互感器 (PT) 构成,该回路输入一般是几千安培到几十千安培的交流电流信号或几千伏到几十千伏的交流电压信号。电流互感器 (CT) 输出一般为 5 A、电压互感器 (PT) 输出一般为 100 V。

微机励磁装置采用交流接口把发电机的电压互感器副边电压以及电流互感器副边电流转换为相应成比例的较低的交流电压。微型计算机对这些电压采样,并计算出当时发电机的机端电压、定子电流、有功功率、无功功率等重要电量。这些信号相对于励磁装置来说至关重要,处理不好的话将对整个励磁装置的性能带来非常大的影响。

如图 3、图 4 所示交流电压接口和交流电流接口,在励磁装置中除了完成其信号幅度变换的基本功能外,通过采取隔离屏蔽、雪崩二极管限副、模拟低通滤波等噪声抑制措施可以大大提高其电磁兼容特性。

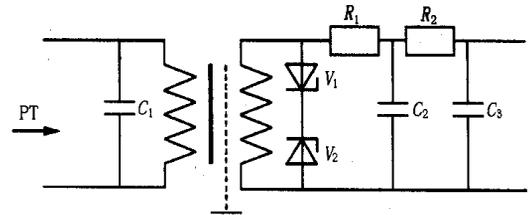


图 3 交流电压接口

Fig. 3 Interface of AC voltage

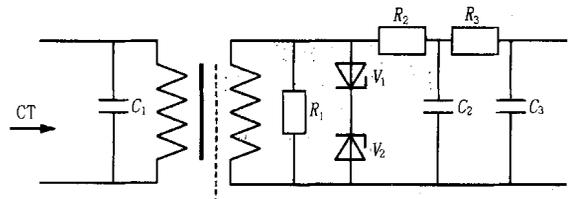


图 4 交流电流接口

Fig. 4 Interface of AC current

2.4 可控硅同步和触发脉冲的噪声抑制

由 2.3 可知,励磁装置是以发电机机端电压为主要控制对象的闭环控制系统,而发电机机端电压的控制是通过控制励磁装置功率器件可控硅的触发角度完成的。在励磁装置中,由于电或磁的干扰造成的同步和脉冲干扰可导致可控硅误导通,从而引起发电机无功大幅度震荡的事故。为了保证电力系统的安全运行,必须采取必要的抑制防护措施。

2.4.1 利用采样保持技术抑制同步噪声

在实际应用过程中,由于可控硅换相引发的同步信号二次过零现象普遍存在,严重破坏了触发脉冲控制角的记时起点,这一现象的存在威胁着发电机励磁装置的稳定运行。

国内励磁装置中普遍运用的方法是通过同步变压器 30° 或 90° 移相接法,使同步电压整形前超前 30° 或 90°,然后通过 RC 低通滤波器回归,借此将二次过零噪声信号消除。这一方法由于电路简单、实现容易在国内获得了普遍应用。但是 30° 移相低通滤波器回归法在同步信号波形畸变严重时效果不佳,而 90° 移相低通滤波器回归法又使得同步信号衰减严重,在一定程度上也制约了其应用。

我们知道,触发脉冲引发换相过程,二次过零又在换相过程中产生,微机励磁装置利用可控硅触发脉冲作为同步电压采保信号源,通过计算机合理设置保持时间可以灵活适应不同复杂条件。如图 5 所示电气原理简图,同步采样保持技术加移相低滤波技术完美地解决了这一难题。

2.4.2 脉冲传输和噪声抑制

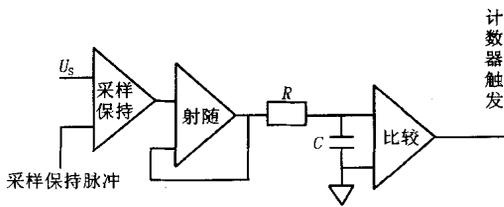


图5 同步采样保持整形硬件适配电路

Fig. 5 Adaptable circuit of synchronously S/H and filtering hardware

可控硅的误触发通常是由于干扰信号进入门极电路而引起的。在励磁装置中产生控制脉冲的励磁调节器和可控硅功率桥通常分别放置,两者距离有时可达500米以上,因此除了对触发电路本身采用的通用抑制措施之外,还必须针对励磁装置的特殊性采取进一步措施以确保触发脉冲的正确性。一般采取的措施有:

- 1) 采用独立脉冲触发电源以及彼此独立地触发电脉冲信号、接地回路,降低传导干扰;
- 2) 在可控硅功率桥设置噪声阈值及恢复整形电路提高触发脉冲可靠度;
- 3) 采用电流环提高脉冲远距离传输噪声容限;
- 4) 将可控硅触发门极回路导线加以屏蔽。如采用有屏蔽层的绞线,将金属屏蔽层接地。此外,与大电流的导线以及易产生干扰的引线(如接触器、继电器操作回路)之间应保证足够的距离。
- 5) 单独敷线,走线径直,避免和电感类元件混合或与其回路并行。

3 试验

到目前为止,我国已经制定了70多个有关电磁兼容的国家标准。应用于电力系统的微机型产品的电磁兼容项目主要有:GB/T17626.2-1998《电磁兼容试验和测量技术静电放电抗干扰试验》、GB/T17626.4-1998《电磁兼容试验和测量技术电快速瞬变脉冲群抗干扰试验》、GB/T17626.5-1999《电磁兼容试验和测量技术浪涌(冲击)抗干扰试验》、GB/

T17626.3-1998《电磁兼容试验和测量技术(射频)辐射电磁场抗干扰试验》、GB/T17626.12-1998《电磁兼容试验和测量技术振荡波抗干扰试验》。

本文论及的励磁装置曾委托上海电器设备检测所依据国标检验依据进行了上述项目的电磁兼容试验,除去接触静电放电试验失败外全部通过了检测,接触静电放电试验经接地系统的进一步处理后也顺利通过。

4 结论

本文针对励磁装置的特点,结合电磁兼容理论和工程实践,从工程应用的角度讨论了励磁装置电磁兼容设计的几个特殊问题,设计并经实践证明所采用的电磁兼容措施获得了良好的设计效果。衷心希望能对励磁装置和电力系统工作者有所帮助。

参考文献:

- [1] 李基成(LI Ji-cheng). 现代同步发电机励磁系统设计与应用(Design and Application of Modern Excitation System) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Power Press), 2002.
- [2] 电磁兼容标准实施指南(Implementation Guide of EMC Standards) [M]. 北京:中国标准出版社(Beijing:China Standards Press), 1999.
- [3] 陈伟华(CHEN Wei-hua). 电磁兼容实用手册(Handbook of EMC) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing:Mechanic Industry Press), 1998.
- [4] Caizer B E. 电磁兼容原理(Theory of EMC) []. 肖华庭, 等译(XIAO Huarting, et al, Trans). 北京:电子工业出版社(Beijing:Publishing House of Electronics Industry).
- [5] 上海电器设备检测所(Shanghai Inspect Institute of Electrical Equipment). 检验报告(Inspect Report of EMC) [D], 2002.

收稿日期: 2003-05-30;

修回日期: 2003-06-26

作者简介:

李志军(1964-),男,高级工程师,硕士生导师,博士研究生,长期从事电力系统及自动化设备的设计和研究工作。

EMC design of excitation equipment

LI Zhi-jun, LU Jian-guo, LIU Yarping

(Hebei University of Industry, Tianjin 300130, China)

Abstract: The performance of excitation equipment, whose quality is assured by a fine design of EMC, is very important for the reliability of electric power production. This paper mainly discusses an EMC design method of excitation equipment, including AC and DC circuit, high harmonic and harmonic, synchronous and firing pulse circuit of thyristors, noise of measurement circuit control, and so on. Its practicality has been validated by testing in laboratory and on site.

Key words: EMC; excitation equipment; reliability