



TM77
4436

964615

高等学校教材



电力系统继电保护信号处理

武汉水利电力学院 黄守盟 主编



TM77
4436

高 等 学 校 教 材

电力系统继电保护信号处理

武汉水利电力学院 黄守盟 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

高等学校教材

电力系统继电保护信号处理

武汉水利电力学院 黄守熙 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 11.25印张 249千字

1993年6月第一版 1993年6月北京第一次印刷

印数0001—3300册

ISBN 7-120-01779-9/1·471

定价3.00元

内 容 提 要

本书重点阐述数字信号处理的原理及应用于电力系统继电保护、电力系统自动化和数据采集方面的技术及方法。

全书共分八章，主要内容有：电力系统继电保护信号、模拟滤波器、离散信号的时域分析、离散系统的 Z 变换分析方法、傅里叶变换、快速傅里叶变换、无限长脉冲响应数字滤波器设计、有限长脉冲响应数字滤波器设计。

本书为高等学校电力系统继电保护及自动化、电力系统及其自动化专业高年级学生的选修课教材，也可作有关专业研究生的教材或参考书，并可供电力系统继电保护及电力系统自动化方面的科技人员参考。

前 言

本书是高等学校电力系统及其自动化和电力系统继电保护及自动化两个专业高年级学生的选修课教材，该教材是根据全国高等学校电力工程类专业电力系统继电保护组在1989年4月所制定的教材编审出版规划而编写的。

数字信号处理是讲述如何从携带噪声的载体中提取有用信号的，它是电力系统继电保护信号处理技术中最主要的内容。数字滤波又是数字信号处理中的基本部分。

数字信号处理是近10年来发展非常迅速的一门新兴学科，它属于应用数学的一个分支，所涉及的数学方法较广。随着计算机在电力系统中的应用和普及，微型机继电保护技术迅速崛起。数字信号处理是微型机继电保护技术中的重要基石，因此已广泛用于电力系统继电保护、电力系统自动化，以及通信、航天、地震、天文、声学、生物工程、语言处理、机械工程等学科领域。可见对数字信号处理的学习和掌握，不仅与学习、研究和从事微型机继电保护技术的人员密切相关，而且对学习和研究电力系统中任何微型机实时控制技术的人员也是非常重要和十分必要的。

本书可供讲授30学时，虽篇幅有限，但对理论推导仍较详细，还特别注重物理概念和实际应用中所提出问题的分析。书中列有例题，有助读者加深理解和便于实际应用。

全书共分八章，第一、二、七、八章由黄守盟编写，第三、四、五、六章由陈允平编写。

全书由杨奇逊主审。

本书在编写过程中得到能源部电力科学研究院王旭蕊和黄英的大力相助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

1991年10月

EA D11/04

目 录

前 言

第一章 电力系统继电保护信号	1
第一节 概述	1
第二节 电力系统中干扰的来源	2
第三节 所需信号的获取方法	7
第四节 防止干扰的对策	8
第五节 电力系统故障时的频谱	9
第二章 模拟滤波器	13
第一节 理想频域滤波器模型	13
第二节 滤波器频率响应逼近	17
第三节 低通的频率变换	26
第四节 RC滤波器	30
第三章 离散信号的时域分析	41
第一节 概述	41
第二节 信号与系统的分类及系统运算	41
第三节 线性非时变离散系统差分方程的列写与求解	50
第四节 单位取样序列的响应	56
第五节 卷积和的若干性质及其计算方法	58
第四章 离散系统的Z变换分析方法	62
第一节 Z变换的定义及收敛域	62
第二节 Z变换的性质	65
第三节 逆Z变换	67
第四节 离散系统的Z变换分析法	74
第五节 离散系统的基本网络结构	77
第六节 离散系统的状态空间表示	81
第七节 状态方程的求解	88
第五章 傅里叶 (Fourier) 变换	90
第一节 非周期连续信号的傅里叶变换及其频谱函数	90
第二节 傅里叶变换的性质	97
第三节 采样定理	101
第四节 离散信号的傅里叶变换与傅里叶级数	107
第五节 离散傅里叶级数的性质	110
第六节 离散傅里叶变换的性质	112
第六章 快速傅里叶变换	117

第一节	FFT的基本思想	117
第二节	按时间抽取的FFT算法	121
第三节	按频率抽取的FFT算法(DIF)	124
第七章	无限长脉冲响应数字滤波器设计	129
第一节	概述	129
第二节	双线性变换法	131
第三节	脉冲响应不变法	138
第四节	模拟低通滤波器的频率变换	141
第五节	零点-极点法设计数字滤波器	143
第六节	数字滤波器的量化效应	149
第八章	有限长脉冲响应数字滤波器设计	152
第一节	概述	152
第二节	窗函数	154
第三节	梳状滤波器	157
第四节	简单整系数数字滤波器设计	163
第五节	采用卷积法设计数字滤波器简介	167
第六节	数字滤波器的实验及有关问题	168
参考文献		171

第一章 电力系统继电保护信号

第一节 概 述

电力系统中的信号对继电保护和自动装置(简称装置)而言,可分为有用信号和非有用信号。通常50Hz(工频或基波)、100Hz(2次谐波)、150Hz(3次谐波)和行波等信号属有用信号,其它谐波和各种噪声属非有用信号。通常,通过电流互感器、电压互感器及中间变换器等环节提取装置所需信号;混杂在有用信号中的直流分量、谐波和噪声,可通过滤波器和继电保护的算法来抑制,这样可以提高装置动作的准确性和快速性。噪声可导致计算机程序出格和计算错误,人们力图提高计算机的抗干扰能力,实际上就是对信号的一种广义加工处理,正因为如此,对噪声及其抑制也就成为本章研究的重点之一,这个研究对微型机继电保护和自动装置具有特别重要的意义。通常噪声的频率高、幅度大、持续时间短,比较容易通过各种途径侵入装置。进入装置后的信号,虽是具有有一定抗干扰能力的数字信号,但由于装置中的数字信号必须在时钟控制下同步工作,而且又不能用简单的延时办法来躲开噪声的不良影响,这样就增加了问题的特殊性。

所谓电磁兼容性(缩写EMC),俗称抗干扰,是指干扰可以在不损害信息的前提下与有用信号共存。按照电磁兼容性设计的原则,抗电磁干扰措施包括三个方面:①在噪声源发生处将其强度抑制到最小;②使噪声在传播途径上给以最大衰减,切断噪声的传递途径;③提高装置的抗干扰能力,降低对噪声的敏感度。第①种是抗电磁干扰的积极措施;第②、③种是预防性抑制电磁干扰的措施。

噪声从电磁干扰模式来分可分为:

(1)差模噪声。差模噪声又称线间感应噪声、串模噪声或常模噪声、横向噪声。信号线上的几种噪声,如图1-1所示。在图1-1(a)中,噪声侵入往返在两导线之间, N 为噪声源, U_N 为噪声电压, I_N 、 I_S 分别为噪声电流和有用信号。差模噪声可能是由于平行线路

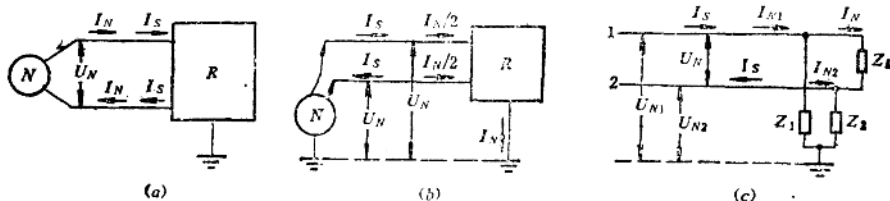


图 1-1 信号线上的几种噪声

(a)差模噪声;(b)共模噪声;(c)差模噪声与共模噪声相互关系

间互感的影响、分布电容的相互干扰及工频干扰等原因造成的,这种噪声可采用低通滤波器来抑制,但低频差模干扰却不易被滤波器吸收。

(2)共模噪声。共模噪声又称对地感应噪声、纵向噪声、不对称噪声。 I_N 在两条线

上流过一部分, 以地为公共回路, I_s 只在往返两条线路中流过, 见图1-1(b)。这种噪声往往可以消除。

如果导线对地阻抗 Z_1 和 Z_2 相等, 则 $U_{N1}=U_{N2}$, 从而 $I_{N1}=I_{N2}$, 即此时噪声电流不流过负载 Z_L , 这种噪声是共模噪声。通常 $Z_1 \neq Z_2$, 则 $U_{N1} \neq U_{N2}$, $I_{N1} \neq I_{N2}$, 出现 $U_{N1}-U_{N2}=U_N$, $I_N=U_N/Z_L$, 这种噪声是差模噪声[图1-1(c)]。可见, 如发现差模噪声, 则首先要考虑导线的阻抗是否平衡。阻抗不平衡对信号的不良影响, 与其不平衡程度成比例。

分析共模噪声很重要, 其原因在于共模噪声普遍存在, 是造成微型机继电保护、自动装置不正常工作的重要原因; 另一方面, 共模噪声最终会转化为差模噪声, 且不易被察觉, 比共模噪声更不易抑制。

第二节 电力系统中干扰的来源

一、操作引起的噪声

当发生高压线路或高压母线空载投入或切断、补偿电容器投切、电容式电压互感器投切、电力系统跳闸等情况时, 均可引起瞬时过电压(浪涌)和高频振荡。浪涌电压和高频振荡电流的噪声可达相当大的数值, 通过电磁感应、静电感应和公共电路的耦合将窜入二次回路, 造成对装置的干扰。

在345/138/3.3kV三绕组变压器低压侧装有两组18Mvar补偿电容器, 一组在稳定运行, 另一组合闸投入, 其充电电流在25kA以上, 振荡频率达几十兆赫, 持续时间3ms, 通过电磁感应引起继电保护误动作。

母线空载投入所产生的噪声与输电线空载投入时相似, 回路中的分布电感和电容产生驻波和行波, 驻波频率为几十兆赫, 行波的波前很陡峭。

用隔离开关切除空载电气设备, 断口处电弧多次熄灭和重燃, 暂态过程历时更长。某500kV变电所, 用隔离开关拉合空载母线时, 振荡频率为30MHz, 这种噪声对继电保护威胁也很严重。

当小接地短路电流系统发生间歇弧光接地时, 通过录波看出, 电流波形呈针状, 电压波形严重畸变。

总之, 不论是断路器对高压母线或电缆进行带负载开合操作、空载投入电力变压器、电力系统故障跳闸、短路时相间飞弧, 还是隔离开关切除空载电气设备, 均将引起高压瞬变电压。经长期运行实践表明, 高压瞬变电压的频带为5kHz~10MHz、振荡周期在50μs以内、重复率为1~100次/s、尖峰电压为200~3000V、衰减时间达数秒, 严重地威胁继电保护的正常工作。

二、耦合引起的噪声

不同耦合方式产生不同的耦合噪声, 即静电耦合、电磁耦合和公共阻抗耦合等将产生不同的耦合噪声。

1. 电磁耦合

电容式电压互感器(CVT)投入时, 通过电磁感应在二次回路中所引起的噪声, 如图

1-2(a)所示。变压器绕组和断路器带电部分的分布电容, CVT的分压电容 C_1 、 C_2 , 高压线路电感, 引线电感及接地网的电阻(图中未绘出)、电感等形成高频振荡回路。该回路所产生的高频振荡电流, 流过接地网和两端都接地的中性线。如果CVT的二次引线接地网、高压线路平行, 则电磁耦合将在二次回路内产生很高的电压, 此电压施加在继电保护装置的机壳, 将产生高达数千伏的共模噪声。由于电压回路的控制电缆芯间对地阻抗往往不相等, 因而在电压二次回路各相间可引起很大的差模噪声。

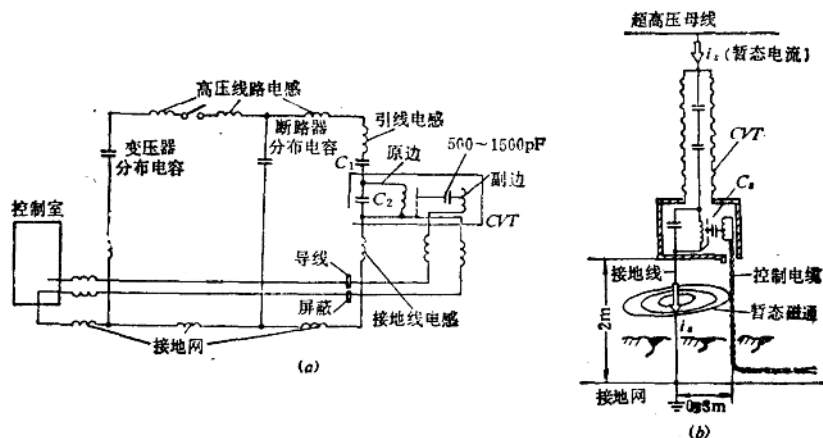


图 1-2 电容式电压互感器引起的干扰
(a)CVT投入; (b)CVT高压侧接地线和低压引线间互感引起的干扰

结合CVT具体安装情况, 进一步说明电磁耦合的另一途径。如果CVT安装底座对地高2m[图1-2(b)所示], 高压侧接地线一般垂直埋于地中, 接于变电所的接地网, 低压侧二次控制电缆也往往垂直进入电缆沟。当CVT投入或进行其它操作时, 流过CVT高压侧接地线的高频振荡电流, 将在接入装置的二次控制电缆中感应噪声电压。

2. 静电耦合和静电

发电厂和变电所的控制电缆, 通常处在发电机母线、电力变压器、高压线路和高压设备带电部分的强大电场中。控制电缆、带电体与大地间存在分布电容, 通过静电耦合或称电容耦合在二次控制电缆内产生差模噪声, 差模电压是由于两电缆芯对于干扰源或大地的电容不相等所引起的。

静电噪声是由于工作服和内衣摩擦使人体带电引起的。当工作服和内衣衣料均是维尼隆/棉(55/45)布时, 人体带静电电压为最低(0.3kV); 当工作服衣料为维尼隆/棉布、内衣衣料为纯棉时, 人体带静电电压达0.6kV; 当工作服和内衣衣料均为纯棉时, 人体带静电电压达1.2kV; 当工作服衣料为聚酯/人造丝(65/35)、内衣衣料为丙烯时, 人体带静电电压最高(19.2kV)。据测定, 人体手腕外侧电位最高。手触器件管脚, 由于放电可使器件损坏。

3. 公共阻抗耦合

CVT投入时所产生的暂态电流 i_s 流过如图1-2(b)所示的接地线。如将接地线分布电阻

和电感用集中参数表示(图中未绘出), i_L 在集中阻抗上引起压降,使CVT二次绕组中性点和接地点电位升高,在装置外壳呈现过电压,据报道,由于该过电压而使低压设备和控制电缆发生烧毁之事屡见不鲜。

发电厂和变电所内的一、二次回路及屏、箱的外壳多处接地,并且最终接入接地网,噪声电流将部分或全部地流过接地网的金属结构,从而引起公共阻抗耦合噪声。

三、地磁引起的噪声

大自然中存在磁暴现象。磁暴是由于太阳黑子爆炸时放出大量的电子和质子,在高空产生的极光电流,其方向在地球由东向西流动。极光电流在大地表面感应电势,在大地表面产生电流。极光电流和感应电势的周期为 $5\sim 100\text{min}$,具有近似直流的性质。近似直流的感应电流,从大地感应电势的高电位端的接地中性点,经变压器和输电电流至电位低的变压器和接地中性点,这一电流使变压器和电流互感器呈半周期饱和,即产生所谓偏磁现象。偏磁现象对继电保护将产生如下的影响:

(1)在大地表面产生的电流,相当于短路电流中衰减极慢的非周期分量,非周期分量电流使电流互感器误差增大,将影响电力系统继电保护动作的正确性。

(2)地表面电流中较低次谐波的幅值,可达线路正常运行时谐波电流幅值的10倍以上,并使线路中的奇、偶次谐波分量明显增大,导致装置中滤波器工作情况恶化,严重时会引起保护装置不正确动作。

(3)偏磁使得变压器铁芯饱和,励磁阻抗下降,从电源侧吸取的励磁电流将超过变压器额定电流的许多倍,可能引起变压器差动保护误动作。另外,对谐波制动原理的差动保护,由于其一次电流中的谐波分量电流显著增加,如此时又发生内部短路,谐波制动的差动保护则可能拒绝动作。可见,地磁噪声既影响差动保护的选择性,又直接降低差动保护的灵敏性。

(4)超高压长距离输电线路两端常装有并联电抗器,在并联电抗器中性点串接小电抗器,小电抗器的作用可减小单相重合闸时的潜供电流,在进行单相重合闸又巧遇大地表面电流流经小电抗器时,会使接地故障点的电弧难于熄灭而影响单相重合闸的成功率。

(5)大地表面电流具有直流性质,不能顺利流经串补电容器,如果串补电容器的保护被击穿,大地表面电流将通过串补输电线路,给线路继电保护带来不良影响。

四、直流和厂(所)用电系统操作引起的噪声

当突然切断带电感的中间继电器、电磁阀、接触器、断路器操作线圈时,这类带电感器件的两端将出现感应电压,它是一个主要的噪声源。

现以继电器触点断开为例,说明开断带电感器件时在其线圈两端所产生的暂态过电压。被开断带电感器件的等效电路如图1-3(a)所示。

如果触点J间有15V以上的电位差,触点回路有0.5A电流流过,在触点断开瞬间,触点间出现火花。当触点间电压大于300V时,将产生辉光放电,成为强烈的噪声源。在触点断开过程中,继电器线圈的自感电势欲维持电流通路,电流I向线圈及连接导线的分布电容充电,形成LRC串联振荡回路。如果振荡电压小于触点间隙击穿电压,C将继续充电到很高的尖峰电压,间隙又被击穿,电容C向+24V小母线放电。当触点间隙继续拉开,

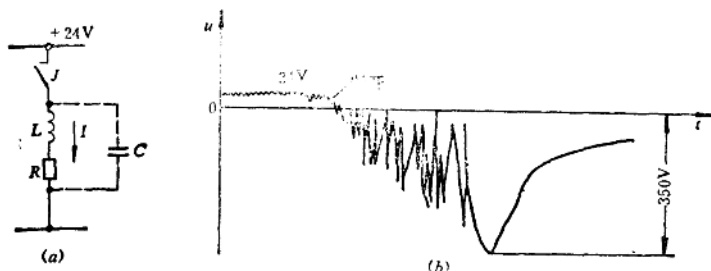


图 1-3 开断带电感器件时的说明图
(a)等效电路; (b)线圈两端电压波形

再次断弧, 重复上述充放电过程, C 上的电压可达数千伏。与此同时, 波形中含有丰富的高频暂态分量, 经导线分布电容和绝缘电阻侵入数字逻辑系统, 导致逻辑关系紊乱, 可引起装置误动作。

五、大规模集成电路工作时引起的噪声

一些微型计算机采用存储容量大的动态随机存储器 (RAM), 平时 RAM 消耗电流很小, 瞬间工作冲击电流可到 80mA。若其中有 8 个芯片一起工作, 冲击电流为 640mA, 冲击时间仅几十纳秒, 电流变化率 (di/dt) 很大, 印刷线路板上的电源线出现大幅度电压波动, 产生尖峰噪声, 尖峰值越高, 危害也越重。

六、谐波

谐波与暂态噪声是有区别的, 国际上公认的谐波定义为: 它是一个周期电气量的正弦波分量, 其频率为工频的整数倍; 如果谐波的频率是工频的整数倍称高次谐波。至于研究铁磁谐振现象时, 会出现为工频频率 1/2、1/3、1/5 等的低次波, 不属本书的谐波含义范围。波形畸变不作谐波现象考虑, 而可只作为一种暂态现象来考虑。

从数学观点定义认为: 能进行傅里叶变换的波形, 必须是不衰减且为周期性的, 因此, 被变换的波形必须是周期性的, 波形不变的电量称为谐波。反之, 若不存在周期性, 则称暂态现象。从 EMC 性质看, 暂态现象属噪声范畴。

电力系统中负荷随时在变化, 负荷变化直接影响谐波的含量, 被变换的波形要严密满足周期性和波形不变的条件, 这很难实现。在工程计算中, 只要某一现象持续一段时间, 引用傅里叶变换被认为是允许的, 第五章将要用到此概念。

电力系统中谐波源主要有:

(1) 变压器铁芯属非线性导磁材料, 励磁电流的大小与导磁材料的优劣和外加电压有关。对同一材料的变压器而言, 当工作在额定电压时, 磁化曲线上的工作点处于线性段, 谐波含量将很小。如果系统电压升高 (23 点钟以后常出现), 铁芯开始饱和, 工作在磁化曲线的非线性段, 谐波分量明显增大, 三倍零序电压可达工频电压的 30% 以上。可见, 电力系统中的变压器是一个主要谐波源。

(2) 发电机正常工作时, 发电机电势并非完全正弦, 其谐波电势很小, 根据国际电

工委员会 (IEC) 规定, 发电机谐波电势在任何瞬间不得大于工频幅值的 5%。由于发电厂中升压变压器的三角形接法的绕组安排在发电机侧, 电势的奇次谐波分量基本上不窜入电力系统中。

(3) 电气化铁道的出现是电力网中谐波明显增加的一个主要原因。电气机车是单相负荷, 会使三相负荷不平衡。另一方面, 对 50Hz、27.5kV 单相供电、快速行驶的电气机车的导电弓, 与架空线时而接触、时而脱离, 引起电流急剧波动, 电流波形如图 1-4 (a) 所示, 脉冲电流频率为 8~250 次/s。电气机车高速行驶所产生的幅射噪声频率很高, 图 1-4 (b) 的横坐标为受干扰装置至电气化铁道的中心距离, 纵坐标为噪声电场强度。由关系曲线可见, 幅射噪声频率越高, 距离越近, 噪声电场强度也越大。

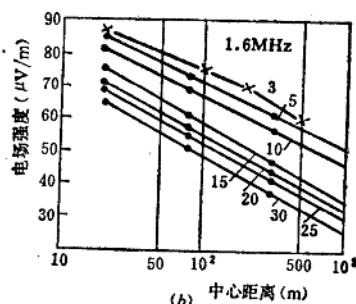
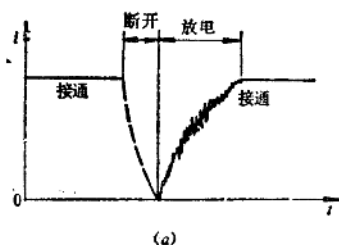


图 1-4 高速电气机车对电网的影响
(a) 电流波形; (b) 电场强度、距离、频率的关系

据实测, 机车的不平衡负荷在电网中所引起的各次谐波比例为 (50Hz 频率取为 100%), 3 次谐波为 15%~19%; 5 次谐波为 27%~52%; 7 次谐波为 10%~13%; 11 次谐波为 4%~8%; 13 次谐波为 4%~7%。

(4) 当高压直流输电中的换流器工作时, 在 A 相电流中包含 50Hz 的基波和 $6k \pm 1$ (k 为正整数) 次特征谐波, 它是在三相对称的条件下才成立。各次谐波对基波的比值为该次谐波次数 n 的倒数 ($1/n$)。其中: $6k-1$ 次谐波构成负序三相系统, $6k+1$ 次谐波构成正序三相系统, 零序分量不存在。当直流输电系统某极发生接地, 谐波分量经接地故障点、大地、换流变压器中性点的接地网构成回路, 谐波分量窜入三相交流网络, 使交流网络中的继电保护受到某些影响。

由于交流侧配置有交流滤波器, 只要交流滤波器调谐条件没有被破坏, 交流网络的谐波基本上被滤波器所吸收。

(5) 变压器空载投入或电压恢复时所产生的涌流在电力系统继电保护课程中已有阐述。其涌流值通常是变压器额定电流的 6~8 倍, 甚至 15 倍, 持续时间为几个工频周期至 1s。涌流中各次谐波比例为: 2 次谐波为 23%~63%; 3 次谐波为 6.9%~26.8%; 4 次谐波为 5.1%~11%; 5 次谐波为 4.1%, 5 次以上谐波的含量更小。

(6) 空载投入高压输电线路时将产生高次谐波。投入带有并联电抗器的高压输电线路

路时, 5 及 7 次谐波相当丰富。

第三节 所需信号的获取方法

在额定工况下, 电流互感器和电压互感器的二次侧分别为 5A (有时为 1A)、100V。如构成装置的元件为电子器件, 5A 和 100V 的信号仍超过器件的输入允许值, 为此, 需变换为弱信号, 以适应器件的要求。进行变换的器件有: 电抗变换器、电压变换器和电流变换器、分量过滤器, 其中分量过滤器在《电力系统继电保护技术》中讨论过。

对变换器的主要技术要求是:

(1) 采用高磁导率的铁芯。当电力系统发生故障情况下, 铁芯不得处于饱和状态。

(2) 损耗小, 变换器一、二次侧的相角差尽可能小。

当被保护设备出现轻微故障时, 电流变换器必须保证模/数 (A/D) 芯片有足够的分辨率; 而当出现最大短路电流时, 不造成 A/D 有溢出, 同时希望变换器的输出波形不发生畸变。为此, 在设计电流变换器时, 通常考虑最大短路电流与最小短路电流之比在 10~20 以上。如果还需要考虑短路电流中的非周期分量, 其比值可取为 40。

一、电抗变换器

电抗变换器实质上是 1 只带小气隙 (1~2 mm) 的小型变压器, 其等效电路相当于一个变比为 $n_1:n_2$ 的理想变压器 (图 1-5)。其励磁阻抗 Z_μ 流过一次电流 $\dot{I}_1$ 的一部分 $\dot{I}_\mu$ (励磁电流), 二次侧输出电压 $\dot{U}_2 = \dot{I}_1 \omega L_\mu n_2/n_1$ 。由于具有气隙, $\dot{U}_2$ 与 $\dot{I}_1$ 成正比关系变化。

电抗变换器除能获取装置所需电压信号外, 还有两个作用: 第一, 与电流互感器二次侧隔离, 对提高抗干扰能力有利; 第二, 有抑制非周期分量的作用; 由图 1-5 (a) 输出波形可见它有放大高次谐波的作用。

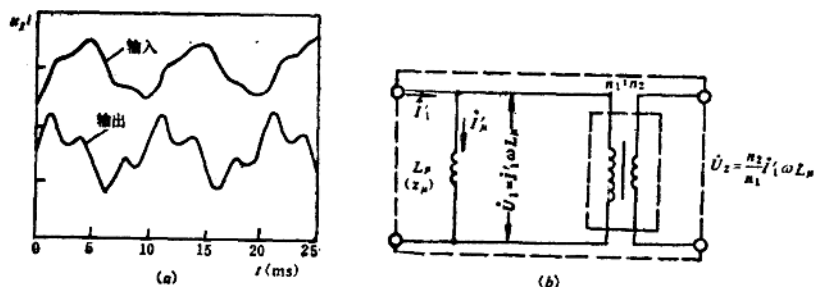


图 1-5 电抗变换器的波形及等效电路
(a) 输入、输出波形; (b) 等效电路图

二、电压变换器

电压变换器工作原理与电压互感器相同, 二次电压与一次电压成正比关系, 通常由无气隙的硅钢片迭成铁芯。由于二次负荷固定不变, 其幅值误差可计入变压比之中。

三、电流变换器

其铁芯由不带气隙的硅钢片迭成, 其特点为: 二次电流与一次电流成正比关系; 在电

流变换器二次侧应接入适当电阻,以获取装置所需输入电压。

对于反映多个电气量的继电保护等装置,有时还需要考虑电抗变换器、电压变换器与电流变换器的相位配合。

四、变换器的屏蔽

由于变换器一、二次侧之间存在分布电容,电力系统中的噪声(不需要的谐波也属噪声)可顺利通过互感器和变换器的分布电容耦合到电子器件电路中去。为了提高变换器的抗干扰能力,在变换器一、二次线圈之间通常采用双重屏蔽措施,屏蔽层可采用 $0.03\sim$

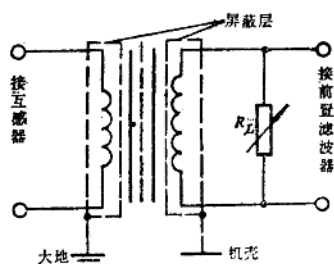


图 1-6 变换器的屏蔽措施

0.05mm 铜箔或银箔绕成非闭合回路。外层屏蔽接大地,内层屏蔽接零电位,即采取机壳对大地浮空方式,在两层屏蔽间加以绝缘,互不构成通路。

为防止电力系统发生故障时的浪涌损坏电子器件,在前置低通或带通滤波器输出端接入限幅器是必要的。限幅器的输出电压不得超过采样/保持放大器(S/H)、多路转换器(MPX)的最高允许电压。

为保证模/数(A/D)芯片不溢出,限幅器的电压精度要高,即希望尽量接近但又低于A/D芯片的满量程电压;如对正、负半波限幅,则要求有较好的对称度。

第四节 防止干扰的对策

如上所述,噪声将使开关电路翻转和使数字电路中误传送数据或地址,造成逻辑紊乱或计算出错,引起装置误动或拒动;有的还带来附加延时;严重时还可将器件损坏。现将抗干扰措施归纳如下。

1. 硬件方面

采用带双重屏蔽的变换器,接地和接零正确;输出部分采用光电耦合器进行隔离;装置按浮地方式,即装置的零电位线与大地(机壳)严格隔离,并加良好的屏蔽;在输入和输出端接入对地电容,以减低现场高频噪声及浪涌;在数据采集系统中,采用前置模拟低通滤波器来抑制差模干扰和其它噪声。

2. 软件方面

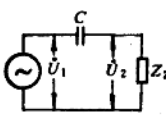
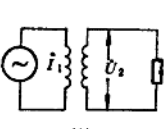
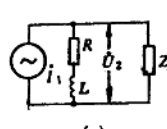
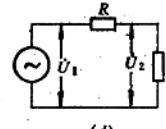
采用良好的数字滤波(要求运算量少、实时性恰当、可抑制噪声),实现静、动态自检和硬件自检。静态自检是在开机加电源或整机复位后,检查EPROM程序区及数据采集系统(主要检查A/D)是否工作正常;动态自检是调用继电保护功能程序,对被保护元件(发电机、线路等)进行数值计算、故障判断和处理,并将其结果与标准值进行比较,检查是否正常。硬件自检是防止程序出格或CPU、地址总线、数据总线及EPROM损坏,导致微型机不正常工作,这时软件自检已无法进行,硬件自检是针对这一情况而设置的,其具体实现方式不在此讨论。若一旦发现自检电路故障,则应闭锁整个保护装置,以防保

护装置误动和拒动。

最后列表1-1, 归纳噪声耦合机理和抑制对策。

表 1-1

噪声耦合机理和抑制对策分析表

类别 项目	静电感应	电磁感应	公共阻抗耦合	漏电流耦合
等效电路	 (a)	 (b)	 (c)	 (d)
估算式	$\dot{U}_2 = j\omega C \dot{U}_1 Z_2$	$\dot{U}_2 = j\omega M \dot{I}_1$	$\dot{U}_2 = R \dot{I}_1 + j\omega L \dot{I}_1$	$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 Z_2 / R$
与实际器件的对应工况 (括号内为示例和典型数据)	元件内部的分布电容 (电阻器、线圈) 元件内部的耦合电容 (光电耦合器0.8PF, 继电器15PF) 元件相互间 元件—大地间 端子或插座引脚间 印制导线间 配线间、电缆相互间 电缆芯线间 (控制电缆90PF/m) 电缆—大地间	电磁元件漏磁通 (变压器) (线圈) (继电器) (扼流线圈) 印制导线间 电缆间的互感	交流电源阻抗 (电源变压器) (配电线) 直流电源阻抗 (输出阻抗) 导线阻抗 (直径0.8mm导线 1μH/m) (供电线) (条型电源母线) (小母线) (印制导线, 特别是公用零线) (公用接地线)	印制线路板表面 (尤其靠近运算放大器的 输入端) 端子板表面 继电器端子间 加热器 加热器 热电偶 电容器等的漏电
抑制噪声主要方法 (从估算式得出的技术措施)	切断或减小噪声电压 $\dot{U}_1$ 抑制高频分量或电压 突变 减小耦合电容 (隔离、减少导线平行 长度, 或减少相对部分 的面积) (输入线、装置加屏蔽) 减少二次侧阻抗 Z_2	切断或减小噪声电 流 $\dot{I}_1$ 抑制高频分量或电 流突变 减少互感(隔离、将 线圈朝向错开, 增加间 距, 减少环路面积) (磁屏蔽) (用双绞线, 当节距为 2.5cm时, 噪声衰减 43dB)	切断或减小噪声电 流 $\dot{I}_1$ 抑制高频分量或电 流突变 抑制电阻分量 R (也 注意集肤效应) 抑制本身电感 L (导 线用编织线、无感线圈)	减小或切断噪声电 压 $\dot{U}_1$ 增加绝缘电阻(改善 材料、爬电距离、表面 处理) 隔板 减少二次侧阻抗 Z_2

第五节 电力系统故障时的频谱

信号分析的目的, 在于找到描述信号的某些特征变化规律。信号既可用时间函数进行描述, 又可用频率函数进行描述, 两者互相依存, 一一对应, 即只要知道一个函数, 则其对应的唯一函数就被确定。

频谱亦即系统的频域分析, 或称频率响应或功率谱。所谓频谱就是将信号的各次正弦

波按其频率高低,依次排列成谱状的总称。相位谱与幅度谱就是指信号所含各次正弦波的相位值与幅度值随频率分布情况的频谱。

谱频分析是完成对信号的检测、估计与分辨的一种有效方法,随着信号处理技术的发展,频谱分析已从模拟转向数字,从非实时转向实时处理,进入新的阶段并得到很快的发展。所谓数字频谱分析,即用数字方法求信号序列的离散近似谱。这里的分析方法是建立在傅里叶变换的基础上,进行离散傅里叶(DFT)分析。DFT的具体分析放在第五章中。

数字滤波方案的合理选择,主要取决于当电力系统中的元件(线路、发电机等)发生突然短路时,输入信号的形式和频谱。在突然短路的瞬间,除 $t=0$ 时的突然短路外,故障电流和故障电压都是非周期信号,故障量可由四部分所组成:

(1)工频周期分量;

(2)直流分量:由输电线路电感所引起的基本直流分量和超高压线路上并联电抗器引起的附加直流分量,它们具有衰减特性;

(3)高频分量:是由超高压输电线路对地分布电容而产生,通常只考虑频率最低的几个高频分量;

(4)低频分量:在具有串联电容的高压线路中产生。

在工程技术中,经常遇到模拟信号 $f(t)$ 。模拟信号是一个连续信号,因此,它的频谱是连续的频率函数 $F(j\omega)$ 。为了便于用计算机进行处理和计算,必须先将 $f(t)$ 进行采样,并进行DFT运算,亦即它的离散频谱为 $F(m)$ 。由于 $F(m)$ 为不连续的离散函数, $F(j\omega)$ 为连续函数,因此, $F(m)$ 只是 $F(j\omega)$ 的近似。另一方面,由傅里叶的变换性质可知:信号的延续时间为有限,其频谱宽度为无限;反之,频谱宽度有限,其信号延续的时间必为无限,这是 $F(m)$ 近似 $F(j\omega)$ 的另一个原因。基于这一原因,要想得到既是时间有限又是带宽有限的信号,严格说是不存在的。我们往往遇到两种工况:当要求处理时间短、频带较宽的信号时,必然出现频谱混迭现象;处理延续时间较长、带宽较窄的信号时,势必造成计算上的困难。为此,对第一种工况则采用前置模拟低通滤波器,抑制高频信号,让模拟信号的频带限制在一定范围,并按采样定理适当提高采样率,尽可能减小混迭所造成的误差;对于第二种工况,则采取将延续时间较长的信号截短,截取有限的样点以便计算。

应该指出,信号的非周期性(如非周期信号)和电路中设置前置模拟低通滤波器,无论怎样也改变不了信号的连续频谱特性。

众所周知,电力系统的故障是随机的,企图找出描述电力系统故障的精确数学表达式是相当困难的。对于具有分布参数的线路,故障量的输入信号可用下述三种形式作为近似描述。

(1)输入信号由衰减直流分量、衰减工频分量及有限个衰减谐波分量所组成

$$f(t) = A_0 e^{-\beta_0 t} + \sum_{i=1}^n A_i e^{-\beta_i t} \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (1-1)$$

式中 A_0 —— $t=0$ 时直流分量值;

A_i —— i 次谐波分量的幅值;

β_0 、 β_i ——直流分量和谐波分量的系数,与故障网络的 x/R 之比值有关;