

微机保护整定计算与二次电路图集 ——110kV及以下变电站

中国航空工业规划设计研究院 组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

微机保护整定计算与二次电路图集 ——110kV 及以下变电站

中国航空工业规划设计研究院 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

变电站综合自动化系统将就地监控、继电保护与远方调度集中在一起,由间隔层和站控层组成一个变电站监控、保护与计算机管理系统,与电力系统调度联网后,可形成变电站及电力系统的计算机管理系统。本书简要介绍了数字式保护装置的保护原理及应用,内容包括:110kV及以下电压等级变电站继电保护配置、整定计算以及二次电路设计与图集。对二次电路中的测量、控制、保护和信号回路设计及其与开关柜、电流互感器、电压互感器、操动机构、操作电源等有关问题进行了分析,对变电站综合自动化产品开发、电气设计及运行维护有一定的参考价值。

本书可供从事变电站工程设计和相关工作的技术人员参考,也可供设备制造厂家参考。

图书在版编目(CIP)数据

微机保护整定计算与二次电路图集. 110kV及以下变电站/中国航空工业规划设计研究院组编. —北京:中国电力出版社,2010.11

ISBN 978-7-5123-1022-3

I. ①微… II. ①中… III. ①变电所-计算机监控-系统设计-图集
②变电所-继电保护-设计-图集 IV. ①TM63-64②TM77-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第205613号

微机保护整定计算与二次电路图集 110kV及以下变电站

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

责任编辑:齐伟 责任印制:郭华清 责任校对:常燕昆

2011年1月第1版第1次印刷

880mm×1230mm 横16开本 13.25印张

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

333千字

定价 58.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

本社购书热线电话(010-88386685)

编写委员会

主 任	丁 杰								
副主任	刘太华	任元会	周明辉						
主 编	李英武								
副主编	高凤荣								
编 委	苏碧萍	逯 霞	牛 犇	蓝 娟					

前 言

《微机保护整定计算与二次电路图集》(110kV 及以下变电站)编写的依据有:《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)、《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006)、《35~110kV 变电所设计规范》(GB 50059—1992)、《10kV 及以下变电所设计规范》(GB 50053—1994)、《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001)、《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)、《电流互感器和电压互感器选择及计算导则》(DL/T 866—2004)、《变电站通信网络和系统》(DL/T 860、IEC 61850—1~10),以及国家建筑标准图集《变配电所二次接线》(D203—1~2)和《工业与民用配电设计手册》(第三版)。本书主要适用于 110/10kV 与 35/10kV 终端变电站及 10kV 变电站,内容包括:数字式保护装置原理与应用、继电保护配置、保护整定计算、二次电路设计及二次电路图示例。

由电流继电器、电压继电器、阻抗继电器、差动继电器、时间继电器与信号继电器等组成的常规继电保护装置已经很少采用,数字式继电保护装置已经得到普遍应用。《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006)第 3.4 条规定:在确定继电保护和安全自动装置的配置方案时,应优先选用具有成熟运行经验的数字式装置。数字式装置包括数字式保护装置、数字式安全自动装置与数字式监控装置;又分别称为微机保护装置、微机安全自动装置与微机监控装置。

数字式保护装置按照保护对象来分类,分别有发电机保护装置、电力变压器保护装置、线路保护装置、电力电容器保护装置与高压电动机保护装置等。电压等级越高保护功能也越强,保护整定计算与二次电路设计也越复杂。在 110/10kV 与 35/10kV 终端变电站以及 10kV 变电站设计中,经常会出现选用电压等级高、保护功能强及价格高的数字式继电保护装置的情况。有些保护功能由于有关设计规范与技术规程还没有作出具体规定,或者找不到可靠的保护整定计算依据,现场调试时经常通过软件设置将其退出,造成不必要的浪费。

继电保护整定与二次电路设计以及数字式继电保护装置的功能应符合有关设计规范与规定的要求,三者之间有着密切的联系。有些保护装置的功能可以简化二次电路设计,提高运行的可靠性。

有关部门统计二次电路故障引起变电站事故的概率比较高,这与二次电路设计、安装施工以及运行维护都有直接关系,其中二次电路设计的合理性又直接影响到二次电路的施工安装与运行维护。采用数字式保护装置后,由于产品功能与接线端子定义不统一,给二次电路图设计带来许多困难,应该引起大家的重视。

解决上述问题需要广大变电站电气设计、运行管理以及有关设备制造同行的共同努力。结合产品开发、保护整定与二次

目 录

前言

1 变电站继电保护一般要求	1	3.12 数字式保护装置电流、电压、功率因数与功率测量 以及谐波分析计算公式	19
1.1 变电站继电保护配置与方案构成需要考虑的问题	1	4 变电站继电保护配置与整定计算	20
1.2 变电站继电保护分类	1	4.1 电力变压器保护配置与整定计算	20
1.3 变电站继电保护一般要求概要	1	4.2 电力变压器保护整定计算示例	26
2 数字式保护装置	4	4.3 6~66kV 线路保护配置与整定计算	28
2.1 数字式保护装置的定义与工作原理	4	4.4 6~66kV 线路整定计算示例	32
2.2 数字式保护装置的特点	4	4.5 6~110kV 分段断路器保护配置与整定计算	34
2.3 数字式保护装置应满足的要求	5	4.6 6~110kV 分段断路器整定计算示例	34
2.4 数字式保护装置的选用	5	4.7 6~10kV 电力电容器保护配置与整定计算	35
2.5 数字式保护装置的发展	5	4.8 10kV 星形接线电力电容器保护整定计算示例	37
2.6 变电站综合自动化系统	6	4.9 6~10kV 电动机保护配置与整定计算	39
3 数字式保护与监控装置主要保护原理	7	4.10 6~10kV 异步电动机保护整定计算示例	44
3.1 数字式变压器差动保护装置	7	5 变电站安全自动装置	46
3.2 数字式变压器后备保护	9	5.1 自动重合闸	46
3.3 数字式 10/0.4kV 变压器保护	10	5.2 备用电源自动投入	46
3.4 数字式线路保护	11	5.3 母线测量电压自动切换	47
3.5 数字式线路光纤差动保护	12	5.4 同步并列及解列	47
3.6 数字式线路距离保护	13	6 变电站继电保护装置的电磁兼容	48
3.7 数字式母线分段断路器保护（带备自投）	15	6.1 变电站的电磁环境	48
3.8 数字式电源进线保护（带备自投）	16	6.2 继电保护装置的抗扰度要求	48
3.9 数字式电力电容器保护	16	6.3 电磁干扰的减缓措施	48
3.10 数字式高压电动机保护	17	6.4 电缆及导线布线要求	49
3.11 数字式电压互感器监控及母线测量电压自动切换	18		

6.5 继电保护装置电源与输入回路应具有的减缓抗电磁干扰的措施	49	图 9-8 10kV 环网式供电一次系统单线图示例	77
6.6 继电保护装置的抗扰度试验要求	49	10 变电站综合自动化系统图示例	78
7 继电保护用电流互感器	52	图 10-1 110/35/10kV 变电站综合自动化系统图示例	78
7.1 性能要求	52	图 10-2 35/10kV 变电站综合自动化系统图示例 (一)	79
7.2 类型选择	52	图 10-3 35/10kV 变电站综合自动化系统图示例 (二)	80
7.3 准确级及误差限值	53	图 10-4 10kV 变电站综合自动化系统图示例	81
7.4 电流互感器性能验算	53	图 10-5 变电站综合自动化系统中央信号系统图示例	82
7.5 电流互感器二次负荷计算	55	11 变电站二次电路图示例	83
8 变电站二次电路设计	56	图 11-1 110kV 电源进线二次电路图测量回路	83
8.1 变电站二次电路设计的依据及内容	56	图 11-2 110kV 电源进线二次电路图控制、保护与信号回路	84
8.2 变电站操作电源选择	56	图 11-3 110kV 电源进线二次电路图刀闸控制与信号回路	85
8.3 变电站数字式保护装置的安装方式	58	图 11-4 110kV 母线分段断路器二次电路图测量回路	86
8.4 10/0.4kV 变电站单相接地保护设计	58	图 11-5 110kV 母线分段断路器二次电路图控制、保护与信号回路	87
8.5 变电站二次电路测量回路设计	59	图 11-6 110kV 母线分段断路器二次电路图刀闸控制与信号回路	88
8.6 变电站二次电路控制与保护回路设计	62	图 11-7 110kV 双绕组与三绕组变压器后备保护二次电路图 测量回路	89
8.7 变电站二次电路信号回路设计	64	图 11-8 110kV 双绕组与三绕组变压器差动保护二次电路图 测量回路	90
8.8 6~10kV 电动机二次电路设计	64	图 11-9 110kV 双绕组变压器二次电路图控制、保护与信号回路	91
8.9 220/380V 低压监控与低压电动机二次电路设计	65	图 11-10 110kV 三绕组变压器二次电路图控制、保护与信号回路	92
8.10 变电站备用电源自动投入二次电路设计	66	图 11-11 110kV 内桥接线变压器后备保护二次电路图测量回路	93
8.11 变电站母线测量电压自动切换二次电路设计	67	图 11-12 110kV 内桥接线变压器差动保护二次电路图测量回路	94
8.12 变电站中央信号系统与模拟盘设计	67	图 11-13 110kV 内桥接线变压器二次电路图控制、保护 与信号回路	95
8.13 变电站二次电路接线	67	图 11-14 110kV 变压器二次电路图刀闸控制与信号回路	96
8.14 变电站综合自动化系统的系统集成	68	图 11-15 110kV 变压器非电量保护与有载调压二次电路图	97
8.15 变电站外部电缆设计与屏柜顶小母线布置	69	图 11-16 110kV 内桥接线桥断路器二次电路图测量回路	98
9 变电站一次系统图示例	70	图 11-17 110kV 内桥接线桥断路器二次电路图控制、保护与 信号回路	99
图 9-1 110/35/10kV 变电站一次系统单线图示例 (一)	70	图 11-18 110kV 内桥接线桥断路器二次电路图开关控制回路 (一)	100
图 9-2 110/35/10kV 变电站一次系统单线图示例 (二)	71	图 11-19 110kV 内桥接线桥断路器二次电路图开关信号回路 (二)	101
图 9-3 110/10kV 变电站单母线分段一次系统单线图示例	72	图 11-20 110kV 变压器中、低压侧主断路器柜二次电路图测量回路	102
图 9-4 110/10kV 变电站内桥接线一次系统单线图示例	73		
图 9-5 35/10kV 变电站单母线分段一次系统单线图示例	74		
图 9-6 35/10kV 变电站内桥接线一次系统单线图示例	75		
图 9-7 10kV 变电站一次系统单线图示例	76		

图 11-21	110kV 变压器中、低压侧主断路器柜二次电路图控制、 保护与信号回路	103	图 11-39	35/10kV 变压器出线柜二次电路图变压器保护测量回路 ...	121
图 11-22	110kV 变压器中、低压侧母线分段断路器柜二次电路 图测量回路	104	图 11-40	35/10kV 变压器出线柜二次电路图控制、保护与信号回路 (有非电量保护装置)	122
图 11-23	110kV 变压器中、低压侧母线分段断路器柜二次电路图 母联备自投控制、保护与信号回路	105	图 11-41	35/10kV 变压器出线柜二次电路图控制、保护与信号回路 (无非电量保护装置)	123
图 11-24	110kV 电压互感器监控二次电路图测量回路(带母线 测量电压切换)	106	图 11-42	35/10kV 内桥接线变压器差动与后备保护二次电路图 测量回路	124
图 11-25	110kV 电压互感器监控二次电路图控制与信号回路	107	图 11-43	35/10kV 内桥接线变压器差动与后备保护二次电路图控制、 保护与信号回路(有非电量保护装置)	125
图 11-26	110kV 电压互感器监控二次电路图刀闸控制与信号回路 ...	108	图 11-44	35/10kV 内桥接线变压器差动与后备保护二次电路图控制、 保护与信号回路(无非电量保护装置)	126
图 11-27	10~35kV 电源进线柜二次电路图三相式电流互感器 测量回路	109	图 11-45	35/10kV 变压器非电量保护与有载调压二次电路图	127
图 11-28	10~35kV 电源进线柜二次电路图二相式电流互感器 测量回路	110	图 11-46	35kV 内桥接线桥断路器柜二次电路图测量回路	128
图 11-29	10~35kV 电源进线柜二次电路图控制、保护与信号 回路	111	图 11-47	35kV 内桥接线桥断路器柜二次电路图控制、保护 与信号回路	129
图 11-30	10~35kV 电源进线柜二次电路图母联备自投控制、 保护与信号回路	112	图 11-48	35/10kV 变压器 10kV 侧主断路器柜二次电路图测量 回路	130
图 11-31	10~35kV 电源进线柜二次电路图线路备自投控制、 保护与信号回路	113	图 11-49	35/10kV 变压器 10kV 侧主断路器柜二次电路图控制、 保护与信号回路	131
图 11-32	10~35kV 母线分段断路器柜二次电路图测量回路	114	图 11-50	35/10kV 变压器 10kV 侧母线分段断路器柜二次电路图 测量回路	132
图 11-33	10~35kV 母线分段断路器柜二次电路图控制、保护 与信号回路	115	图 11-51	35/10kV 变压器 10kV 侧母线分段断路器柜二次电路图 母联备自投控制、保护与信号回路	133
图 11-34	10~35kV 母线分段断路器柜二次电路图母联备自投 控制、保护与信号回路	116	图 11-52	10kV 所用变柜二次电路图测量、控制与信号回路	134
图 11-35	10~35kV 线路出线柜二次电路图三相式电流互感器 测量回路	117	图 11-53	10kV 接地变压器出线柜二次电路图测量回路	135
图 11-36	10~35kV 线路出线柜二次电路图电能表测量回路	118	图 11-54	10kV 接地变压器出线柜二次电路图控制、保护与信号 回路	136
图 11-37	10~35kV 线路出线柜线路光纤纵差保护二次电路图 测量回路	119	图 11-55	10/0.4kV 变压器出线柜二次电路图三相式电流互感器 测量回路	137
图 11-38	10~35kV 线路出线柜二次电路图控制、保护与 信号回路	120	图 11-56	10/0.4kV 变压器出线柜二次电路图二相式电流互感器 测量回路	138
			图 11-57	10/0.4kV 变压器出线柜二次电路图干式变压器控制、	

	保护与信号回路	139
图 11-58	10/0.4kV 变压器出线柜二次电路图油浸变压器控制、 保护与信号回路	140
图 11-59	10~35kV 电压互感器柜二次电路图 (V/V 型) 测量 与信号回路	141
图 11-60	10~35kV 电压互感器柜二次电路图 (V/V 型带母线 测量电压切换) 测量回路	142
图 11-61	10~35kV 电压互感器柜二次电路图 (V/V 型带母线 测量电压切换) 控制与信号回路	143
图 11-62	10~35kV 电压互感器柜二次电路图 (Y/Y/△型) 测量 与信号回路	144
图 11-63	10~35kV 电压互感器柜二次电路图 (Y/Y/△型带母 线测量电压切换) 测量回路	145
图 11-64	10~35kV 电压互感器柜二次电路图 (Y/Y/△型带母线 测量电压切换) 控制与信号回路	146
图 11-65	10~35kV 计量柜二次电路图示例	147
图 11-66	10kV 电力电容器出线柜二次电路图一次系统以及电流 与电压互感器接线示例	148
图 11-67	10kV 电力电容器出线柜二次电路图测量回路	149
图 11-68	10kV 电力电容器出线柜二次电路图控制、保护与信号 回路	150
图 11-69	10kV 异步电动机出线柜二次电路图二相式电流互感器 测量回路	151
图 11-70	10kV 异步电动机出线柜二次电路图三相式电流互感器 电流测量回路	152
图 11-71	10kV 异步电动机出线柜二次电路图弹簧储能操动机构 控制、保护与信号回路	153
图 11-72	10kV 异步电动机出线柜二次电路图有源接点控制的 永磁操动机构控制、保护与信号回路	154
图 11-73	10kV 异步电动机出线柜二次电路图无源接点控制的 永磁操动机构控制、保护与信号回路	155
图 11-74	10kV 异步电动机出线柜二次电路图高压真空接触器	

	操作控制、保护与信号回路	156
图 11-75	10kV 异步电动机出线柜二次电路图与高压真空接触器配合 的弹簧储能机构控制、保护与信号回路	157
图 11-76	10kV 异步电动机出线柜二次电路图机旁高压真空接触器 控制与信号回路	158
图 11-77	10kV 异步电动机出线柜二次电路图有 DCS 系统的机旁 高压真空接触器控制与信号回路	159
图 11-78	10kV 异步电动机出线柜二次电路图要求正反转的机旁高 压真空接触器控制与信号回路	160
图 11-79	10kV 异步电动机出线柜二次电路图差动保护测量回路	161
图 11-80	10kV 异步电动机出线柜二次电路图磁平衡差动保护 测量回路	162
图 11-81	10kV 异步电动机出线柜 (带差动保护) 二次电路图 弹簧储能操动机构控制、保护与信号回路	163
图 11-82	10kV 异步电动机出线柜 (带差动保护) 二次电路图 有源接点控制的永磁操动机构控制、保护与信号回路	164
图 11-83	10kV 异步电动机出线柜 (带差动保护) 二次电路图 无源接点控制的永磁操动机构控制、保护与信号回路	165
图 11-84	10kV 异步电动机现场操作箱与端子箱箱门布置与 端子排图	166
图 11-85	220/380V 低压监控电源进线断路器二次电路图	167
图 11-86	220/380V 低压监控母线分段断路器二次电路图	168
图 11-87	220/380V 低压监控一路出线断路器二次电路图	169
图 11-88	220/380V 低压监控六路出线二次电路图	170
图 11-89	220/380V 低压监控八路出线二次电路图	171
图 11-90	220/380V 低压监控低压电力电容器监测二次电路图	172
图 11-91	220/380V 低压电动机保护二次电路图 (短路事故由 断路器保护)	173
图 11-92	220/380V 低压电动机保护二次电路图 (短路事故由 保护装置保护)	174
图 11-93	220/380V 低压电动机保护二次电路图 (短路事故由 断路器保护, 有 PLC 控制)	175

图 11 - 94	220/380V 低压电动机保护二次电路图（短路事故由保护装置保护，有 PLC 控制）	176	图 11 - 100	中央信号箱屏原理、箱门布置与出线端子图示例（二） （分路报警中央信号箱第 1~8 路报警原理及出线端子图） ...	182
图 11 - 95	220/380V 低压电动机保护二次电路图（正反转起动、短路事故由断路器保护）	177	图 11 - 101	中央信号箱屏原理、箱门布置与出线端子图示例（三） （分路报警的中央信号箱报警部分原理及箱门布置图） ...	183
图 11 - 96	220/380V 低压电动机保护二次电路图（正反转起动、短路事故由保护装置保护）	178	图 11 - 102	交流电源屏一次系统图示例	184
图 11 - 97	220/380V 低压电动机保护二次电路图（正反转起动、短路事故由断路器保护，有 PLC 控制）	179	图 11 - 103	直流屏一次系统图示例	185
图 11 - 98	220/380V 低压电动机保护二次电路图（正反转起动、短路事故由保护装置保护，有 PLC 控制）	180	图 11 - 104	10kV 变电站电缆表与柜顶小母线分类示例	186
图 11 - 99	中央信号箱屏原理、箱门布置与出线端子图示例（一） （集中报警中央信号箱原理、箱门布置与出线端子图）	181	附录		187
			附录 A	DVP - 9000 系列微机保护监控与装置的特点与技术参数	187
			附录 B	DVP 系列变电站自动化装置的型号、名称、功能与应用 范围表	193
			附录 C	有关设计规范、技术规程、技术规定与技术条件	199

1 变电站继电保护一般要求

1.1 变电站继电保护配置与方案构成需要考虑的问题

(1) 变电站应装设反应短路故障与异常运行的继电保护与安全自动装置, 保证变电站及其设备的安全运行。

(2) 变电站的结构与运行特点, 以及变电站的近期发展。

(3) 变电站故障出现的概率和可能造成的后果。

(4) 相关专业的技术发展、经济上的合理性及国内外的先进经验。

(5) 变电站继电保护与安全自动装置应简单可靠, 使用元件和接点应尽量少, 接线回路简单, 运行维护方便。在能够满足要求的前提下宜采用最简单的继电保护方案。

(6) 在确定继电保护和安全自动装置的配置方案时, 应优先选用具有成熟运行经验的数字式保护装置; 设计与运行的用户应积极创造条件支持新产品的应用。

1.2 变电站继电保护分类

(1) 变电站继电保护按保护所起的作用分类, 有主保护、后备保护、辅助保护和异常运行保护。

1) 主保护是满足电力系统稳定和设备安全要求, 能够以最快速度有选择性地切除被保护的电力设备和线路故障的保护。

2) 后备保护是主保护或断路器拒动时, 用以切除故障的保护。后备保护又分为远后备与近后备两种方式。

① 远后备是当主保护或断路器拒动时, 由上一级相邻电力设备和线路的保护动作实现后备保护。

② 近后备是当主保护拒动时, 由该电力设备和线路的另外一套保护动作

实现后备保护。数字式保护装置可以分为独立的两套装置; 也有另一种情况是软件分为独立的两套, 硬件为一套的保护装置。

3) 辅助保护是为补充主保护和后备保护的性能或当主保护和后备保护退出运行而增加的简单保护。在 110/10kV 与 35/10kV 终端变电站以及 10kV 变电站中, 辅助保护很少采用。

4) 异常运行保护是反应被保护电力设备或线路异常运行状态的保护, 如过负荷、变压器瓦斯与温度保护、高压电动机温度保护等。

(2) 变电站继电保护按被保护的对象分类, 有输电线路保护、变压器保护、母线保护、高压电动机保护、高压电力电容器保护与电抗器保护等。

(3) 变电站继电保护按保护的動作原理分类, 有电流保护 (分为电流速断、过电流与过负荷保护, 以及复合电压起动的过电流保护、电流电压连锁保护)、电压保护 (分为过电压、低电压与失电压保护)、距离保护、方向保护、高频保护、差动保护、磁平衡保护、零序过电压保护、零序过电流保护、不平衡电流保护与不平衡电压保护等。

(4) 按保护所反应的故障类型分类, 有相间短路保护、接地故障保护、匝间短路保护、断线保护、失步保护、失磁保护及过励磁保护等。

(5) 变电站继电保护按继电保护装置的实现技术分类, 有机电型保护 (如电磁型继电器保护和感应型继电器保护)、整流型保护、晶体管型保护、集成电路型保护及数字式 (微机) 保护等。

1.3 变电站继电保护一般要求概要

(1) 保护性能要求。

1) 继电保护的设计应以合理的运行方式和可能的故障类型为依据, 并应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性四项基本要求。

2) 可靠性是指保护该动作时应可靠动作, 不该动作时不动作。为保证可靠性, 宜选用可能的最简单的保护方式, 应采用由可靠的元件和尽可能简单的回路构成的良好装置, 并应具有必要的监测、闭锁和双重化等措施。数字式保护装置软件与硬件应可靠, 并便于整定、调试和运行维护。

3) 选择性是指首先由故障设备或线路本身的保护切除故障。当故障设备或线路本身的保护或断路器拒动时, 才允许由相邻电力设备、线路的保护或断路器失灵保护切除故障。为保证选择性, 对相邻电力设备和线路有配合要求的保护和同一保护内有配合要求的两元件 (如起动与跳闸元件或闭锁与动作元件), 其灵敏系数和动作时间应相互配合。

在某些条件下必须加速切除短路事故时, 可使保护无选择性动作, 但必须采取补救措施, 如采用自动重合闸或备用电源自投来补救。

4) 灵敏性是指在电力设备或线路的被保护范围内发生金属性短路时, 保护装置应具有必要的灵敏系数。灵敏系数应根据不利的正常 (含正常检修) 运行方式和不利的故障类型计算, 但可不考虑可能性很小的情况。灵敏系数应满足有关设计规范与技术规程的要求, 当不满足要求时, 应对保护动作电流甚至保护方案进行调整。

灵敏系数 K_m 为保护区发生短路时, 流过保护安装处的最小短路电流 $I_{k \cdot \min}$ 与保护装置一次动作电流 I_{dz} 的比值, 即

$$K_m = I_{k \cdot \min} / I_{dz}$$

式中, $I_{k \cdot \min}$ 为流过保护安装处的最小短路电流, 对多相短路保护, $I_{k \cdot \min}$ 取两相短路电流最小值 $I_{k2 \cdot \min}$, 对 66kV、35kV、6~10kV 中性点不接地系统的单相短路保护, 取单相接地电容电流最小值 $I_{c \cdot \min}$, 对 110kV 中性点接地系统的单相短路保护, 取单相接地电流最小值 $I_{k1 \cdot \min}$; I_{dz} 为保护装置一次动作电流。

各类短路保护的最小灵敏系数见表 1-1。

表 1-1 短路保护的最小灵敏系数				
保护分类	保护类型	组成元件	灵敏系数	备 注
主保护	带方向和不带方向的电流保护或电压保护	电流元件和电压元件	1.3~1.5	200km 以上线路, 不小于 1.3; (50~200) km 线路, 不小于 1.4; 50km 以下线路, 不小于 1.5
		零序或负序方向元件	1.5	

续表

保护分类	保护类型	组成元件	灵敏系数	备 注
主保护	线路纵联保护	跳闸元件	2.0	个别情况下, 为 1.3
		对高阻接地故障的测量元件	1.5	
	变压器、电动机纵差保护	差动电流元件的起动电流	1.5	按照保护安装处短路计算
	变压器、线路和电动机电流速断保护	电流元件	1.5	
后备保护	远后备保护	电流、电压和阻抗元件	1.2	按照相邻电力设备和线路末端短路计算 (短路电流应为阻抗元件精确工作电流 1.5 倍以上), 可考虑相继动作
		零序和负序方向元件	1.5	
	近后备保护	电流、电压和阻抗元件	1.3	按照线路末端短路计算
		零序和负序方向元件	2.0	
辅助保护	电流速断保护		1.2	按照正常运行方式保护安装处短路计算

- 注 1. 保护的灵敏系数除表中注明者外, 均按被保护线路 (设备) 末端短路计算。
2. 保护装置如反映故障时增长的量, 其灵敏系数为金属性短路计算值与保护整定值之比; 如反映故障时减少的量, 则为保护整定值与金属性短路计算值之比。
3. 各种类型的保护中, 接于全电流和全电压的方向元件的灵敏系数不作规定。
4. 表内未包括的其他类型的保护, 其灵敏系数另作规定。

5) 速动性是指保护装置应能尽快切除短路故障, 其目的是提高系统的稳定性, 减少故障设备和线路的损坏程度, 缩小故障波及范围, 提高自动重合闸和备用电源及备用设备自动投入的效果等。

(2) 如果为了满足相邻保护区末端短路时的灵敏性要求, 将使保护过分复杂或在技术上难以实现时可按下列原则处理:

- 1) 在变压器以后短路的情况下, 可缩短后备保护作用的范围。
2) 后备保护灵敏系数可仅按常见的运行方式和故障类型进行验算。

3) 后备保护可无选择性动作, 但应尽量采用自动重合闸或备用电源自动投入来补救。

4) 应合理选择电流互感器的电流比, 保证保护装置用电流互感器的误差符合规范要求; 当技术上难以满足要求, 且不致使保护装置不正确动作时, 才允许较大的误差。

5) 在配电系统正常运行情况下, 当电压互感器的二次回路断线或其他故障能使保护装置误动作时, 一般应装设电压回路断线信号装置, 并能闭锁引起误动作的保护。

(3) 继电器返回系数 K_b 为出口继电器的返回电流与起动电流的比值, 保护整定时常规保护取 0.85, 数字式保护装置可取 0.9~0.95。数字式保护装置可以根据保护整定要求软件组态时进行设置。有些数字式保护装置软件已经固定为 0.9, 不需要软件组态时再设置。

(4) 技术上无特殊要求及无特殊情况时, 保护装置中的零序电流方向元件应采用自产零序电压, 不应接入电压互感器的开口三角形电压。

2 数字式保护装置

2.1 数字式保护装置的定义与工作原理

1. 数字式保护装置定义

数字式保护装置是利用计算机技术完成继电保护功能的先进的继电保护装置，有些地方称为微机保护装置，简称微保装置或微保单元。具有保护、监控与通信功能的数字式保护装置称为变电站综合自动化装置，简称综保装置或综保单元。变电站综合自动化装置通过计算机联网后就可形成变电站综合自动化系统。

2. 数字式保护装置工作原理

数字式保护装置是利用计算机技术，由模拟量输入接口通过交流采样，直接采集电流与电压互感器的二次值；全数字化变电站可以直接采集由数字式电流电压互感器提供的数字量；软件经过各种算法计算出需要的各种电气参数，再由软件根据保护设置进行处理与逻辑判断后，由开关量输出继电器的接点去跳闸，完成保护动作，并可由开关量输出继电器的接点及通信接口发出各种事故与预告报警信号。

数字式保护装置的开关量输入接口可以采集到外部各种位置信号以及报警与跳闸信号，进行各种状态监视与非电量保护报警与跳闸。

数字式保护装置的通信接口可以实现计算机联网，组成变电站综合自动化系统。

2.2 数字式保护装置的特点

1. 可靠性高

数字式保护装置具有高可靠与冗余功能的软件设计，可以考虑到电力系统中各种复杂的故障，具有很强的综合能力和判断能力，因此动作可靠性高。此

外，数字式保护装置具有很强的自检与巡检功能，也提高了继电保护可靠性。

2. 动作正确率高

由于数字式保护装置软件计算具有实时性强的特点，能保证在任何时刻均不断迅速地采样与计算，反复正确的校核。在电力系统发生故障的暂态时期内，就能正确判断故障，当故障发生了变化或进一步发展，也能及时作出判断和自纠。因此动作的正确率高，这一点在运行中已得到证实。

3. 具有故障记录与自检功能

数字式保护装置可以进行故障与操作自动记录，而且有断电保护功能。通过自检在装置本身出现故障后可随时报警。

4. 保护性能容易得到改善

由于数字式保护装置软件具有可以很方便地进行修改与重写的特点，所以继电保护性能经过研究出现新的保护原理时，可以及时得到改善；而继电保护现代新原理的算法，无法用硬件来实现，利用软件则可以实现。

5. 易于获得各种附加功能

由于数字式保护装置具有很强的软件功能，可以做到硬件和软件资源共享，在不增加任何硬件的情况下，只需要增加一些软件就可获得附加功能。如可很方便的附加低频减载、自动重合闸、故障录波与故障测距等安全自动装置功能。

6. 使用灵活方便

数字式保护装置可以通过软件组态，实现系统参数与保护定值等参数设置以及保护投入与退出设置。利用丰富的汉化人机界面，操作简单方便，一般工作人员根据使用说明书就可以进行操作。微机保护的查询，运行方式改变后的系统参数与保护定值等参数更改以及保护投入与退出设置的更改都十分灵活方便。

7. 维护、调试简单

数字式保护装置除输入量的采集接口外，所有计算与逻辑判断都是由软件

来完成。成熟的软件一次性设计测试完成,并经过有关检测部门检测通过之后,就不必在投产前再逐项进行测试试验。数字式保护装置硬件和软件都有自检功能,装置通电后硬件、软件有故障就会立即报警、需要调试的项目由制造厂在出厂前调试完成后,现场安装好之后,几乎不用调试,投入运行前做一次动态和静态试验,通过软件组态输入有关系统参数与保护定值等参数以及保护投入与退出设置即可投入运行。

8. 具有远方监控特性

数字式保护装置都具有通信功能,与变电站微机监控系统的计算机联网后,就可将数字式保护装置纳入变电站综合自动化系统,能够对数字式保护装置实现远方监控。

9. 二次电路设计简单

数字式保护装置的各种功能由软件来实现,二次电路设计只与测量、控制及信号回路的输入与输出有关,与保护功能关系不大,二次电路设计就可得到简化。测量回路元件少,输入阻抗比较小,可减小电流互感器的负载。

2.3 数字式保护装置应满足的要求

(1) 220kV 及以上变电站保护要求双重主保护时,宜将被保护设备或线路的主保护与后备保护综合在一整套装置内,共用直流电源及电流与电压互感器二次回路。对仅配置一套主保护的设备或线路,则应采用主保护与后备保护系统独立的装置。

(2) 应尽可能根据输入的电流与电压自行判别系统运行状态的变化,减少外接相关的输入信号来执行其应完成的功能。

(3) 应具有在线自动检测功能,包括装置硬件损坏、软件功能失效、通信中断和二次回路异常;在线自动检测功能不应由外部手段起动。除跳闸继电器外,装置内任一元件故障均不应引起误动作跳闸。

(4) 能够输入的定值应满足继电保护功能要求,应做到保护整定设置简单方便,某些保护宜有多套保护定值可以切换的功能。

(5) 必须具有故障记录功能。记录内容为故障时的有关电流与电压值、信号输入、继电器动作时间与返回时间等、应保证装置电源消失时不丢失记录信息;但不要求代替专用的故障录波器。

(6) 应具有与变电站综合自动化系统联网的标准通信接口,通信协议应符合 DL/T 860、IEC 60870—5—101、103 与 104 及 IEC 61850 等电力系统标准

通信协议的要求。

(7) 应满足电磁兼容标准要求,并在不外接抗干扰元件的前提下通过 GB/T 14598 规定的电气干扰检测试验。

(8) 软件应有安全的防护措施,有效防止保护定值等设置参数出现不符合要求的改动。

2.4 数字式保护装置的选用

(1) 数字式保护装置按照被保护的对象有发电机、变压器、线路、电动机与电力电容器等保护装置,可根据继电保护需要来选用。

(2) 有些 110kV 及以上电压等级的数字式保护装置只有保护功能而无监控功能,组成变电站综合自动化系统时,就需要再选用数字式监控装置。

(3) 非常小的变电站采用数字式保护装置后,如果采用交流操作电源,为了保证数字式保护装置供电电源的可靠性,需要选用 UPS 不间断电源。国内已有厂家开始生产用于变电站操作电源的小型直流电源,这样比较小的变电站就可以选用直流操作电源。国外有专门用于小型变电站的由电流互感器提供电源的数字式保护装置,国内有些单位也开始开发这一产品,定型生产后就可为小型变电站继电保护设计提供更大方便。

2.5 数字式保护装置的发展

1. 数字式保护装置硬件发展

(1) CPU 由 16 位向 32 位发展、保护监控装置由单 CPU 向多 CPU 方向发展。

(2) 模拟量输入 A/D 转换(测量)由 12 位向更高位发展,精度向免调节方向发展。

(3) 开关量输入(信号)电压由 DC 24V 向 DC 110 与 DC 220V 以及 AC 220V 方向发展。目前已经有自适应上述不同电压的产品出现。

(4) 开关量输出(合分闸出口)由综合出口向独立出口带独立信号方向发展。

(5) 结构由不全密封向全密封方向发展,由前插结构向背插式结构发展。

(6) 人机界面多样化。

(7) 硬件由不通用化向通用化方向发展。

2. 数字式保护装置软件发展

(1) 软件采用面向设备对象编程向通用化方向发展。

(2) 保护向多段整定值及自适应方向发展。

(3) 附加功能向多样化方向发展。

3. 数字式保护装置通信

(1) 通信网络由 RS-232、485 向 CAN、LON、以太网 (TCP/IP) 方向发展；由单网络向双网络方向发展；通信介质多样化，如屏蔽双绞线，光缆等。

(2) 通信规约由不统一，统一向 IEC 61850 方向发展，与调度端相连从 CDT，SC 1801 及 IEC-60870-5-101、103、104 向 IEC 61850 发展。

(3) 配电间隔之间连锁由电缆连接实现向过程总线方向发展。

4. 继电保护原理

(1) 高压保护原理由稳态原理向暂态原理方向发展。

(2) 各级之间的选择性配合由电流与时间向交换信息方向发展。

2.6 变电站综合自动化系统

(1) 变电站内部的数字式保护装置与监控装置通过通信接口，与计算机系统联网后，便形成变电站综合自动化系统；大中型变电站采用变电站综合自

动化系统后，可以提高变电站的管理水平，还可以实现少人或无人值班。

变电站自动化系统的设备统称为智能电子设备 IED (Intelligent Electronic Devices)。IEC 61850 协议对智能电子设备 IED 的定义是由一个或多个处理器组成，具有从外部源接收和传送数据或控制外部源的各种设备（如电子多功能仪表、数字继电器、控制器）。这些 IED 在物理位置上，可安装在 3 个不同的功能层，即变电站层、间隔层（单元层）与过程层上。

(2) 变电站综合自动化系统由过程层 (Process level)、间隔层 (Bay level) 与站控层 (Station level) 组成。过程层包括变电站一次设备中的电流与电压互感器与断路器及隔离开关的操作机构；间隔层包括以配电间隔为单元的数字式保护装置与数字式监控装置、安全自动装置与数据采集装置；站控层包括与通信有关的通信管理装置（通信管理单元）、网关与交换机以及计算机系统。

(3) 变电站综合自动化系统的通信规约有 CDT，SC 1801 及 IEC 60870-5-101、103 与 104，现在要求统一执行 IEC 61850 规约。在过渡期可通过规约转换装置进行各种规约的相互转换。

3 数字式保护与监控装置主要保护原理

3.1 数字式变压器差动保护装置

1. 起动元件

数字式变压器差动保护装置起动元件包括差流突变量起动元件和稳态差流起动元件，任一起动元件动作则保护起动。突变量起动元件利用扰动时，差电流会发生突变的特征判断系统是否有扰动。差电流突变量起动元件判据如下

$$|\Delta i_{ACD}| \geq I_{st} \quad |\Delta i_{BCD}| \geq I_{st} \quad |\Delta i_{CCD}| \geq I_{st}$$

$$\begin{aligned} \Delta i_{ACD} &= |i_{ACD(k)} - i_{ACD(k-N)}| - |i_{ACD(k-N)} - i_{ACD(k-2N)}| \\ \Delta i_{BCD} &= |i_{BCD(k)} - i_{BCD(k-N)}| - |i_{BCD(k-N)} - i_{BCD(k-2N)}| \\ \Delta i_{CCD} &= |i_{CCD(k)} - i_{CCD(k-N)}| - |i_{CCD(k-N)} - i_{CCD(k-2N)}| \end{aligned}$$

式中， Δi_{ACD} 、 Δi_{BCD} 与 Δi_{CCD} 分别为 A、B、C 三相差动电流突变量； I_{st} 为差流突变量起动门槛值；(k) 为当前采样值；(k-N) 为前一周波采样值。

数字式变压器差动保护装置实时对当前采样值与前一周波采样值进行比较，当任一相差电流突变量连续 6 次大于起动门槛整定值时保护起动。该起动元件具有下列优点：

(1) 能够反映各种故障，灵敏度高，不受负荷电流的影响。

(2) 不反映故障电流的直流分量，具有较强的抗干扰能力。

(3) 稳态差流起动元件，主要防止轻微匝间短路或缓慢故障情况下，差动电流突变起动判据可能失去起动能力，增加稳态差流起动判据，作为差动电流突变量起动的补充。

2. 差动速断保护

变压器差动速断保护是为了在变压器保护区内严重性故障时，快速切除变压器各侧开关，以确保变压器的安全。为了保证装置的正确动作，差动速断的定值必须按下列原则选取：

(1) 必须躲过空投变压器时可能产生的最大励磁涌流。

(2) 必须躲过变压器区外端部故障时穿越电流造成的不平衡电流。

(3) 动作判据为

$$I_{cd} \geq I_{sdzd}$$

式中， I_{cd} 为实测差动电流，它等于高、低压侧差动计算电流向量和的绝对值； I_{sdzd} 为差动速断保护动作电流整定值。

3. 三折线比率制动差动保护

变压器差动保护采用三折线比率制动差动保护，它由无制动和比率制动两部分组成；三折线比率制动差动保护具有较高的灵敏度，并可消除保护区外发生故障时，电流互感器饱和的影响。三折线比率制动动作方程为

$$(1) I_{cd} = |I_H + I_L| \quad (A)$$

$$(2) I_{zd} = |I_H - I_L| / 2 \quad (A)$$

$$\text{当 } I_{zd} \leq I_{zd1} \text{ 时, } I_{cd} \geq I_{cdqd} \quad (A)。$$

$$\text{当 } I_{zd1} < I_{zd} < I_{zd2} \text{ 时, } I_{cd} \geq I_{cdzd} + K_{b1}(I_{zd} - I_{zd1}) \quad (A)。$$

$$\text{当 } I_{zd} \geq I_{zd2} \text{ 时, } I_{cd} \geq I_{cdzd} + K_{b1}(I_{zd2} - I_{zd1}) + K_{b2}(I_{zd} - I_{zd2}) \quad (A)。$$

式中， I_{cd} 为实测差动电流，它等于高、低压侧差动计算电流向量和的绝对值； I_{zd} 为制动电流，它等于高、低压侧差动计算电流向量差绝对值的二分之一； I_H 、 I_L 分别为高、低压侧差动计算电流向量值； I_{cdqd} 为差动保护动作电流整定值，软件可以任意设定； I_{zd1} 、 I_{zd2} 为差动保护比率制动起动（拐点）电流整定值，软件可以任意设定； K_{b1} 、 K_{b2} 为差动保护比率制动系数，软件可以任意设定。

三折线比率制动动作特性曲线如图 3-1 所示。

4. 励磁涌流判据

为了在变压器空投时，防止励磁涌流引起差动保护误动，变压器差动保护采用二次谐波制动。二次谐波的判据为