



电力科技专著出版资金资助项目

电力系统谐振接地

(第二版)

要焕年 曹梅月 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



电力系统谐振接地

(第二版)

要焕年 曹梅月 著

电力科技专著出版资金资助项目



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

随着继电保护选择性难题的解决和自动消弧线圈的推广应用,显著提高了优化谐振接地系统的运行绩效;同时实践结果表明,该系统的最高电弧接地过电压与低电阻接地系统持平;近来,优化谐振接地方式在西方国家也有了很大的发展;等等。这些说明谐振接地方式已经并正在成为中压电网和大型发电机中性点接地方式的发展方向。

本书在总结国内外电力系统运行经验的基础上,结合作者多年来的研究成果,对电力系统中性点的不同接地方式进行了概要的讨论,重点对其中的谐振接地方式问题进行了系统的分析与论述。

本书内容理论联系实际,对电力系统的发展和城乡电网的建设改造具有实用与参考价值,可供电力系统中从事设计、运行、安装、检修、试验、制造的科研、工程技术人员及有关管理人员阅读,亦可供大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统谐振接地/要焕年,曹梅月著. —2版. —北京:
中国电力出版社,2009

ISBN 978-7-5083-8038-4

I. 电… II. ①要…②曹… III. 电力系统-中性点接地
IV. TM862

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 161401 号

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>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 7 月第一版

2009 年 5 月第二版 2009 年 5 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23 印张 550 千字

印数 12001—15000 册 定价 48.00 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

第二版序言

改革开放以来，西风东渐，当部分相关人士得知我国中压电网的中性点接地方式与西方一些发达国家有所不同时，便认为“谐振接地方式不能适应电网发展的需要，应当与国际接轨”；由于在引进的大型发电机中性点“看不到消弧线圈的身影”，随即就转向高电阻接地方式；等等。技术科学领域中的这些浮躁现象，对电力系统的安全、稳定运行是不利的，甚至是有害的。

相对于自然科学与社会科学而言，电力属于技术科学范畴。技术科学的突出特点是理论密切联系实际。据此，本书第一版对半个多世纪以来中性点接地方式的运行经验进行了系统的分析和论述。正如审稿人周庆昌总工的评语所言：“本书稿总结了新中国成立 50 年以来电力系统谐振接地运行经验。其内容就上述经验而言在系统性、完整性和实用性三者齐备上是以前从未有过的。在当前高、中压城市电网的建设和改造高潮中，此书稿的内容针对性强，可发挥很好的指导作用。特别是理论密切联系实际，实用性很强，大量实例和技术数据，很容易为读者应用。估计出版后必然能指导城网的发展和改造，为进一步提高电网运行和供电可靠性，更好地为改革开放服务作出应有的贡献”。

在 20 世纪 50 年代，AIEE 便明确地指出了谐振接地方式具有三个方面的优点，而中压电网中性点采用低电阻接地方式和发电机中性点采用高电阻接地方式，均是为了利用接地故障电流，瞬间跳开故障线路或发电机，而且这种情况已在美国等西方国家形成了“惯例”。不过，近些年来谐振接地方式在西方一些国家的电力系统中也有了很大的发展。

随着科学技术的进步，经过国内外几代科学技术研究人员的共同努力，同时在当代电子、微电子技术的支持下，继电保护选择性的技术难题，已经获得了解决。诸如：法国的零序导纳（Zero Sequence Admittance）、反向残流有功分量（DEtection Selective par les Intensites Residuells, DESIR）；中国的参数（残流）增量、零序基波时序鉴别，以及自适应式等原理的微机接地保护装置，在国内外电力系统中不断投入运行，实践结果表明效果满意，显著提高了谐振接地系统的运行绩效。由此不难看出，在世界范围内，谐振接地方式已经并正在成为中压电网和大型发电机中性点接地方式的发展方向。而且，在超高压和特高压的电力系统中，谐振接地方式正在与全（或非常有效）接地方式并行发展。这些技术自然成为本书第二版中新增添的重要内容。

“电弧接地过电压”历来是众所关注的另一大课题。因此，在本书的第一版中便进行了正本清源；现今运行经验表明，采用优化谐振接地方式时的最大值为 2.5p. u.，与低电阻接地方式持平。理论分析与运行实践表明，任何中性点接地方式，包括直接接地

方式在内，均不能消除电弧接地过电压。而优化谐振接地方式不能消除电弧接地过电压的原因，其实与残流中存在的高次谐波分量并无直接关系。关于这些问题，包括“消除”电弧接地过电压的技术途径，同样在本书第二版中进行了详细的分析与说明。

另据读者反映，本书第一版概论中的发电机中性点接地方式和不同中性点接地方式的适用范围，文字内容偏于简约。为了方便读者了解、掌握和运用，故在第二版中进行了扩写和补充。

最近十余年来，作者又先后多次参加国际学术会议、全国专业技术会议，以及省（市）电力管理部门和制造厂家举办的专题技术讲座与现场事故分析等 40 余次，并得到广泛的响应。

总之，事物都是相比较而存在、相竞争而发展的，电力系统的中性点接地方式也不例外。随着实践、认识，再实践、再认识的不断发展，本书的内容一定会进一步丰富和提高。同时趁这次再版的机会，作者对本书第一版中的一些细部也分别进行了修订等。

最后，再次衷心欢迎读者不吝赐教，批评指正。

作者

2009 年 3 月于厦门





第二版序言

第一版序言

第一章 电力系统中性点接地方式概论

第一节 导言	(1)	二、中性点非有效接地系统	(13)
第二节 中性点接地方式发展简史	(2)	1. 中性点不接地系统	(13)
第三节 一个概念和几个术语	(2)	2. 谐振接地系统	(14)
一、零序阻抗	(3)	三、中性点经电阻接地系统	(15)
二、中性点不接地和中性点绝缘	(3)	四、几个有关的技术问题	(17)
三、中性点有效接地和中性点直接接地	(3)	第七节 发电机中性点的接地方式	(18)
四、中性点全接地和中性点非常有效接地	(4)	一、从接地方式的发展历程看限制单相接地故障电流的必要性	(18)
五、中性点谐振接地和中性点经消弧线圈接地	(4)	二、5~15A 的高电阻接地方式对大型发电机已不适用	(19)
六、中性点非有效接地	(4)	三、引进技术必须考虑其先进性	(21)
第四节 接地方式的划分及电压、电流的互换特性	(4)	第八节 不同中性点接地方式的适用范围	(21)
一、中性点接地方式的划分	(5)	一、中性点有效接地方式类	(22)
二、非故障相工频电压和单相接地故障电流	(5)	1. 中性点非常有效接地方式	(22)
三、电压与电流的互换特性	(8)	2. 中性点有效接地方式	(23)
第五节 接地程度系数与中性点接地方式的关系	(10)	二、中性点非有效接地方式类	(24)
第六节 典型接地方式系统的基本运行特性	(12)	1. 大电流接地方式	(24)
一、中性点有效接地和全接地系统	(12)	2. 小电流接地方式	(26)
1. 有效接地系统	(12)	三、低压配电系统的中性点接地方式	(30)
2. 全接地（非常有效接地）系统	(13)	1. TN 型低压系统	(30)
		2. TT 型低压系统	(30)
		3. IT 型低压系统	(30)
		第九节 结语	(30)
		参考文献	(31)

第二章 谐振接地原理

第一节 引言	(34)	3. 用标么值表示的不对称度 (\dot{u}_{00})	(48)
第二节 减小接地故障电流	(35)	三、电压谐振等值回路	(49)
一、补偿电网的等值接线图	(35)	1. 位移电压 (\dot{U}_0)	(49)
二、单相接地故障时电压、电流相量图	(36)	2. 位移度 (\dot{u}_0)	(51)
三、电流谐振等值回路	(37)	四、正常运行情况下的位移度允许值	(52)
四、失谐度、合谐度与阻尼率	(37)	第六节 断线故障状态下的位移度	(53)
1. 失谐度 (ν)	(37)	一、断线故障状态下位移度的分析	(54)
2. 合谐度 (K)	(38)	1. 断线后电容电流的变化	(54)
3. 阻尼率 (d)	(39)	2. 断线后的合谐度与失谐度	(54)
五、不同补偿状态下的残流特性	(39)	3. 断线后位移度的计算	(55)
第三节 降低故障相恢复电压的初速度	(40)	二、过补偿断线后的中性点位移圆	(55)
一、补偿电网电压恢复过程及相量图	(40)	1. 单相断线后的位移度	(55)
二、故障相恢复电压的表达式	(41)	2. 两相断线后的位移度	(55)
三、故障相恢复电压的初速度	(42)	3. 单相和两相断线后的位移圆	(56)
四、故障相电压的恢复时间	(43)	三、欠补偿断线后的中性点位移圆	(57)
第四节 接地电流电弧的熄灭	(43)	四、不同补偿状态下断线位移度的比较	(59)
一、交流电流电弧的熄灭	(44)	1. 过补偿状态下断线	(59)
1. 有功电流的熄弧	(44)	2. 欠补偿状态下断线	(59)
2. 电感电流的熄弧	(44)	第七节 其他补偿装置的熄弧原理	(60)
3. 电容电流的熄弧	(44)	一、消弧变压器	(60)
二、残余电流电弧的熄灭	(45)	二、接地故障三相补偿装置	(62)
第五节 正常运行情况下的位移度	(45)	第八节 结语	(63)
一、中性点残余电压	(46)	参考文献	(63)
二、不对称电压和不对称度	(46)		
1. 不对称电压 (\dot{U}_{00})	(46)		
2. 用百分值表示的不对称度 (u_{00})	(47)		

第三章 单相接地时的暂态过程

第一节 引言	(64)	二、暂态电容电流	(65)
第二节 单相接地暂态过程	(64)	三、暂态电感电流	(67)
一、等值回路	(64)	四、暂态接地电流	(69)

第三节 单相电弧接地过电压····· (70)	4. 线路升压中性点接地方式的 选定····· (88)
一、理论分析····· (70)	5. 城市电网同级电压中的中性点 接地方式····· (89)
1. 彼得生理理论····· (71)	6. 技术经济比较与“一刀切” 问题····· (89)
2. 彼得和斯列宾理论····· (72)	三、消弧接地开关装置····· (90)
3. 别列柯夫理论····· (74)	1. 基本工作原理····· (90)
二、国内外实测结果····· (76)	2. 实施方案····· (90)
1. 国内实测结果····· (76)	3. 理论分析结果····· (90)
2. 国外实测结果····· (77)	4. 110kV 系统的运行经验····· (91)
三、实践经验····· (78)	第五节 消除绝缘缺陷与防止电弧 接地过电压····· (91)
1. 绝缘弱点容易扩大事故····· (79)	一、消除绝缘缺陷的途径····· (92)
2. 高概率过电压危险性较大····· (79)	1. 电气设备维修制度的选择····· (92)
第四节 电弧接地过电压的消除与 限制措施····· (80)	2. 积极推行状态维修制度····· (92)
一、谐振接地方式····· (82)	二、定期维修制度存在的问题····· (92)
1. 高次谐波电流与电弧接 地过电压····· (82)	1. 定期维修制度的由来····· (92)
2. 电弧接地暂态过程中的 补偿电流····· (83)	2. 定期维修制度的缺点····· (93)
3. 单相接地故障发展的 一般过程····· (84)	三、状态维修制度的优点····· (93)
4. 间歇电弧接地阶段过电压和 振荡电流的危害性····· (84)	1. 防患于未然····· (93)
5. 不接地与谐振接地系统的过电压 倍数与概率····· (85)	2. 显著提高经济效益和社会效益····· (94)
6. 理论需要经过实践检验····· (85)	四、消除绝缘缺陷值得注意的 一些问题····· (94)
二、电阻接地方式····· (86)	1. 优选监测仪器设备····· (94)
1. 快速准确选线与断开单相接地 故障线路····· (86)	2. 适当提高泄漏比距····· (95)
2. 苏联的过电压保护导则与 俄罗斯的新导则····· (87)	3. 重视电缆绝缘老化问题····· (96)
3. 工矿企业内部电网、电厂厂用 电系统的中性点接地方式····· (87)	4. 适当分网(区)运行····· (98)
	第六节 结语····· (98)
	参考文献····· (99)

第四章 影响熄弧的因素

第一节 引言····· (101)	2. 位移电压分量 \dot{U}''_0 ····· (105)
第二节 故障点的过渡电阻····· (101)	3. 位移度····· (106)
一、对中性点位移电压的影响····· (101)	二、对残流的影响····· (106)
1. 位移电压分量 \dot{U}'_0 ····· (102)	三、对故障相恢复电压的影响····· (108)

第三节 高次谐波电流分量	(109)	第七节 系统频率和电压的波动	(115)
第四节 有功电流分量	(110)	第八节 电容电流的自然变化	(116)
一、泄漏电流	(110)	一、线路的几何尺寸	(116)
二、零序回路的有功损耗	(111)	二、介电系数的变动	(116)
三、电晕损耗	(111)	三、电容电流变化的实测结果	(118)
四、消弧线圈的有功损耗	(111)	第九节 风力的影响	(118)
第五节 残流的无功分量	(112)	第十节 结语	(119)
第六节 消弧线圈的伏安特性	(114)	参考文献	(119)

第五章 中压电网谐振接地

第一节 引言	(121)	一、关于与国际接轨问题	(133)
第二节 供电可靠性	(121)	二、关于降低绝缘水平问题	(133)
第三节 设备安全	(124)	三、关于污闪问题	(133)
第四节 人身安全	(126)	第八节 电缆网络	(134)
一、接触电压和跨步电压	(126)	一、电缆网络的电容电流	(134)
二、电弧烧伤	(127)	二、电缆网络的接地故障	(135)
三、伤亡概率	(127)	三、不宜降低电缆的绝缘水平	(138)
第五节 继电保护选择性	(128)	1. IEC 对电缆额定电压的规定	(138)
一、历史回顾	(128)	2. GB 对电缆额定电压的规定	(139)
1. 增大故障点的有功电流	(128)	3. 综合经济指标	(139)
2. 增大故障点的无功电流	(128)	第九节 不同接地方式下中压电网的	
3. 利用单相短路电流	(128)	运行特性	(139)
4. 利用功率方向继电器	(128)	一、一个常见的对照表	(139)
5. 暂态电流首半波保护	(129)	二、中压电网的内部过电压	(140)
6. 5次谐波电流接地保护	(129)	1. 中性点不接地电网	(140)
二、微机接地保护	(129)	2. 中性点谐振接地电网	(141)
三、国内外运行经验	(129)	三、对表 5-4 的商榷	(141)
第六节 通信干扰与电磁兼容	(130)	四、发展前景	(142)
一、通信干扰的原因及危害	(130)	第十节 中压电网接地方式对低压	
二、谐振接地限制干扰的效果	(130)	配电系统的影响	(142)
1. 音频干扰	(131)	一、低压配电系统的接线方式	(143)
2. 工频干扰	(131)	1. TN 型低压配电系统	(143)
3. 接触干扰	(131)	2. TT 型低压配电系统	(144)
4. 地电位升高	(131)	3. IT 型低压配电系统	(144)
5. 纵向电动势	(131)	二、中压电网不同接地方式对低	
6. 零序(不对称)电流干扰	(131)	压系统安全的影响	(144)
三、高压电网产生的干扰及对策	(132)	1. 小电流接地方式情况下安全	(145)
第七节 绝缘水平	(133)	2. 大电流接地方式情况下危险	(145)

三、安全保护措施	(145)	3. 管理是决策和服务	(150)
1. 限制中压电网的单相接地		4. 搞好现代管理的途径	(150)
故障电流	(146)	5. 搞好故障管理的重要性的	
2. 安全接地与工作接地分离	(146)	必要性	(150)
3. 消除金属构件上的电位差	(147)	二、故障自动指示	(151)
4. 增设安全保护装置	(147)	1. 短路故障指示器	(151)
5. 提高基层单位的安全用		2. 接地、短路组合故障指示器	(153)
电管理水平	(148)	三、故障自动定位	(154)
第十一节 中压电网故障管理	(149)	1. 国外故障定位情况介绍	(154)
一、现代管理理念的发展	(150)	2. 国内故障定位研究的进展	(158)
1. 管理是社会的一具器官	(150)	第十二节 结语	(163)
2. 管理是决策	(150)	参考文献	(164)

第六章 高压电力系统谐振接地问题

第一节 引言	(166)	七、绝缘配合与设备改造	(175)
第二节 220kV 系统中性点接地方式的		八、减轻维修工作量	(176)
变迁	(166)	九、降低误操作和误动作概率	(177)
一、德国 220kV 补偿系统	(166)	十、重大事故分析释疑	(177)
二、瑞典 220kV 补偿系统	(167)	1. 大面积停电事故	(177)
第三节 154kV 谐振接地系统运行		2. 谐振过电压事故	(177)
经验	(168)	第五节 对 110kV 系统中性点接	
一、提高系统运行的可靠性	(168)	地方式的几点看法	(177)
二、提高输电线路的耐雷水平	(169)	一、山区架空线路防雷问题	(178)
三、降低通信干扰到无害程度	(169)	二、联网问题	(178)
四、接地故障的选择性	(170)	三、线路极限长度问题	(178)
五、154kV 系统的残流问题	(171)	四、多点接地短路事故问题	(179)
第四节 110kV 谐振接地系统的		五、引进国外技术问题	(179)
实践	(172)	第六节 高压、超高压和特高压系统	
一、成功地消除了大量线路故障	(173)	的潜供电流电弧	(180)
1. 降低输电线路的雷击跳闸率	(173)	一、潜供电流电弧的产生	(180)
2. 减少台风引起的线路跳闸率	(173)	二、潜供电流的补偿	(181)
二、防止发电厂、变电所单相接		1. 自耦变压器	(181)
地扩大事故	(174)	2. 并联电抗器	(181)
三、防止人员伤亡重大事故	(174)	3. 中性点小电抗器	(181)
四、减轻通信干扰	(174)	三、潜供电流电弧的熄灭	(181)
五、必要时可允许带故障运行	(175)	第七节 结语	(182)
六、过渡阶段的线路接地保护	(175)	参考文献	(183)

第七章 发电机中性点谐振接地

第一节 引言	(184)	二、接地故障电流的危害	(193)
第二节 发电机中性点不同接地 方式的主要运行特征	(184)	三、继电保护依然复杂	(193)
一、中性点直接接地方式	(185)	四、单相接地故障切机问题	(193)
二、中性点经低阻抗接地方式	(185)	五、综合经济指标问题	(194)
三、中性点不接地方式	(186)	第五节 谐振接地方式	(194)
四、中性点经高电阻接地方式	(186)	一、安全防护定子铁心	(194)
五、中性点经消弧线圈(谐振) 接地方式	(186)	二、降低暂态过电压	(195)
第三节 接地电流限值的研究与 演进	(187)	三、提高接地保护灵敏度	(196)
一、德国	(187)	四、简化工频耐压试验	(197)
二、苏联	(188)	五、提高发电机和电力系统的 运行可靠性	(198)
三、捷克	(188)	第六节 提高直配发电机系统的 运行可靠性	(198)
四、中国	(188)	一、安装消弧线圈前的运行情况	(199)
1. 确定“安全接地电流” 的必要性	(188)	1. 6kV线路的雷击跳闸率很高	(199)
2. 试验条件	(189)	2. 发电机定子绕组的电晕 现象严重	(199)
3. 试验结果	(189)	二、装设消弧线圈后的运行情况	(200)
4. 安全接地电流推荐值	(190)	1. 大量降低线路的雷击跳闸率	(200)
5. 运行实例	(191)	2. 显著提高直配发电机安全 运行水平	(201)
第四节 高电阻接地方式	(192)	第七节 结语	(201)
一、电弧接地暂态过电压	(192)	参考文献	(202)

第八章 谐振接地方式的优化

第一节 引言	(204)	六、负序电流接地保护	(211)
第二节 微机选线和微机接地保护 装置	(204)	1. 谐振接地电网	(211)
一、基波电量解析	(205)	2. 中性点不接地电网	(211)
1. 基波电压的变化	(205)	七、电流信号注入式接地保护	(211)
2. 基波零序电流的分布	(206)	八、零序导纳接地保护	(212)
二、有功电流接地保护	(208)	九、参数(残流)增量接地保护	(213)
三、功率方向接地保护	(209)	十、基波时序鉴别接地保护	(214)
四、谐波电流接地保护	(210)	十一、低频脉冲阻性信号电流 接地保护	(214)
五、暂态电流接地保护	(210)	十二、不对称信号电流检测接	

地保护	(214)	一、单相接地故障线路的	
十三、小波(包)分析接地保护 ..	(214)	成功检除	(233)
十四、基于过程分析的接地故障		1. 微机接地保护装置的现状	(233)
诊断系统	(215)	2. 微机接地保护装置的类型	(234)
第三节 自动跟踪补偿装置	(216)	3. 提高微机接地保护装置动作	
一、多级有载细调消弧线圈	(216)	功率的技术措施	(238)
二、无级连续调节消弧线圈	(217)	4. 几种成功的微机接地保护装置	(241)
1. 动铁式	(217)	二、自动跟踪补偿装置的运行	
2. 动圈式	(218)	经验	(244)
三、直流助磁式消弧线圈	(218)	1. 自动消弧线圈的种类	(244)
四、磁阀式补偿装置	(220)	2. 运行中暴露出的一些问题	(245)
1. 磁阀式消弧线圈	(220)	3. 自动消弧线圈的推广应用	(246)
2. 磁阀式组合型装置	(220)	三、推广应用优化谐振接地技术的	
五、晶闸管调节消弧装置	(222)	绩效	(247)
1. 消弧变压器	(222)	1. 提升消弧线圈熄灭接地电弧的	
2. 消弧线圈	(222)	两大功能	(247)
六、调容式消弧线圈	(222)	2. 限制电弧接地过电压的幅值并防止间歇	
七、电流注入式消弧线圈	(223)	电弧接地过电压的产生	(247)
1. 少数固定分接头消弧线圈加		3. 保持补偿电网的供电连续性	(247)
注入电流	(223)	4. 免除突然停电可能引起的经济	
2. 自动消弧线圈加注入电流	(224)	纠纷	(247)
八、限压电阻的选择	(224)	5. 对运行中的全部电力设备具有	
九、自动测控系统	(226)	保护作用	(247)
1. 变频信号法	(227)	6. 简便有效地保护低压配电系统	(247)
2. 节点方程法	(227)	7. 防止危险接触电压和跨步	
3. 调谐测算法	(227)	电压的产生	(248)
4. 状态比较法	(228)	8. 限制电磁感应保护电磁环境	(248)
5. 相角控制法	(228)	9. 增进高压和低压系统的运行	
6. 电流注入法	(228)	稳定性	(248)
第四节 需要说明的几个问题	(229)	四、优化谐振接地是中压电网接	
一、电阻接地方式问题	(229)	地方式的发展方向	(248)
二、法国的实践经验	(229)	1. 欧洲	(248)
三、美国的现状问题	(230)	2. 美洲	(249)
四、日本的变迁问题	(230)	3. 亚、非、大洋洲	(249)
五、中国的若干问题	(230)	第六节 结语	(250)
第五节 优化谐振接地技术的发展		参考文献	(251)
与应用	(233)		

第九章 谐振接地方式实施技术

第一节 引言	(254)	2. 转移中性点的操作	(265)
第二节 消弧线圈的参数选择	(254)	3. 分接头的转换操作	(266)
一、电网的电容电流	(254)	二、接地故障的检出与清除	(267)
二、消弧线圈的容量	(255)	1. 划分区域	(267)
三、消弧线圈的台数	(255)	2. 手动拉路	(267)
四、消弧线圈的形式	(256)	3. 清除故障	(268)
第三节 与变压器、发电机的配合	(256)	4. 持续时间	(268)
一、利用容量问题	(256)	第七节 提高消弧线圈动作成功率的措施	(268)
二、附加损耗问题	(256)	一、采用自动消弧线圈	(268)
三、接线方式问题	(257)	二、加装微机选线或微机接地保护装置	(269)
1. Yd 接线	(257)	三、消除绝缘弱点	(269)
2. Yz 接线	(258)	四、降低不对称度	(269)
3. Yy 接线	(258)	五、掌握消弧线圈伏安特性	(269)
4. Yyd 接线	(259)	六、掌握电容电流变化规律	(269)
第四节 消弧线圈的装设	(259)	七、欠补偿运行须适当	(269)
一、节点变电所	(259)	八、合理分区(网)运行	(270)
二、发电机中性点	(259)	九、正确掌握失谐度	(270)
三、附属设备及保护装置	(260)	十、提高运行管理水平	(270)
四、安装和试验	(261)	第八节 消弧线圈的实效	(270)
第五节 消弧线圈的调谐与运行	(261)	一、瞬间单相接地故障时不断电	(270)
一、位移度允许值	(261)	二、永久性单相接地故障时不被动	(272)
二、残流无功分量允许值	(262)	三、对全网电力设备有保护作用	(272)
1. 恢复电压初速度	(262)	四、减少维护检修工作量	(273)
2. 恢复时间	(262)	1. 线路设备	(273)
3. 恢复电压幅值	(262)	2. 变电设备	(273)
4. 最高过电压水平	(262)	五、降低误操作与误动作概率	(273)
5. 高于线电压的过电压概率	(262)	六、降低对接地装置的要求	(273)
6. 故障点的残流	(263)	七、减少人身伤亡和设备损坏概率	(274)
三、补偿状态	(263)	八、电磁兼容性好	(274)
1. 电力网络	(263)	第九节 结语	(275)
2. 发电机	(264)	参考文献	(275)
四、运行灵活性	(264)		
第六节 消弧线圈的操作	(265)		
一、正常情况下的操作	(265)		
1. 线路的操作	(265)		

第十章 谐振接地系统的参数测量与计算

第一节 引言	(276)	2. 利用图解	(293)
第二节 残压测量与调谐试验	(276)	3. 通过估算	(293)
一、残压(含不对称电压)测量	(277)	四、变频法	(294)
二、位移电压测量与调谐试验	(277)	1. 利用 f 和 I_0 的变化	(294)
第三节 电容电流的直接测量	(278)	2. 利用 f 和 U_0 的变化	(294)
一、测量方法	(279)	3. 利用 f 、 I_0 和 U_0 的变化	(295)
1. 在消弧线圈投入状态下	(279)	五、电容增量法	(295)
2. 在消弧线圈退出状态下	(279)	1. 计算公式	(295)
二、误差分析	(280)	2. 电容增量 ΔC	(296)
1. 三相对称系统	(280)	3. 不对称电压增量 ΔU_{00}	(296)
2. 三相不对称系统	(281)	4. 实测结果	(296)
3. 最大误差计算	(283)	5. 几个要点	(296)
4. 现场试验验证	(287)	六、人工不对称法	(297)
三、安全注意事项	(288)	第五节 电容电流计算	(298)
1. 清除绝缘弱点	(288)	一、架空线路	(298)
2. 接地断路器三相接点串联	(288)	1. 精确计算法	(298)
3. 接地电流互感器加装保护间隙	(288)	2. 图表估算	(298)
4. 合理确定被试电网范围	(288)	3. 经验公式	(298)
5. 在接地状态下禁止操作 线路断路器	(289)	二、电力电缆	(299)
6. 缩减接地次数和持续时间	(289)	三、电力网络	(300)
7. 隔离 220V 试验电源	(289)	第六节 消弧线圈特性试验	(300)
8. 明确现场组织分工	(289)	一、伏安特性试验	(300)
四、测量注意事项	(289)	1. 电压谐振法	(301)
1. 选好仪器准确等级	(289)	2. 电流谐振法	(302)
2. 适当测量有功电流	(289)	3. 变压器更改接线法	(302)
3. 所有仪表同时读数	(289)	4. 发电机变压器组调压法	(302)
4. 适当增大接地电流	(289)	二、温升试验	(303)
5. 及时验算测量结果	(290)	三、工频耐压试验	(303)
6. 慎选测量导线	(290)	第七节 单相接地现场试验	(304)
7. 归算整理试验结果	(290)	一、现场消弧试验的几个要点	(304)
第四节 电容电流的间接测量	(290)	二、自动跟踪补偿装置调谐精度的 校验	(304)
一、外加电容法	(290)	三、微机选线和微机接地保护装置 动作情况的检验	(305)
二、外加电压法	(292)	第八节 结语	(305)
三、调谐法	(293)	参考文献	(306)
1. 测量零序电流	(293)		

第十一章 消弧线圈的异常动作及损坏原因分析

第一节 引言	(307)	4. 直接电气连接	(311)
第二节 异常动作原因分析	(307)	四、其他原因	(311)
一、不对称度增大	(308)	1. 断开中性点带有消弧线圈的 变压器	(312)
1. 运行方式改变	(308)	2. 电网阻尼率减小	(312)
2. 线路断线	(308)	3. 信号装置整定不当	(312)
3. 非全相操作	(308)	第三节 损坏和失灵原因分析	(312)
4. 负荷不平衡	(308)	一、振动引起元件损坏	(313)
二、失谐度减小	(308)	二、涡流引起围屏烧毁	(313)
1. 电容电流随季节变化	(308)	三、耐压方法不当使绝缘击穿	(313)
2. 消弧线圈伏安特性不良	(309)	四、丝杠发热使绝缘油碳化变质	(314)
3. 电网频率波动	(309)	五、电流冲击引起绕组烧毁	(314)
4. 电网电压变动	(310)	六、分接开关拒动、误动	(315)
三、电容、电磁耦合	(310)	七、串联限压电阻过热	(315)
1. 变压器高、低压绕组间 电容耦合	(310)	八、自动测控装置失灵	(316)
2. 同杆架设线路间电容耦合	(310)	第四节 结语	(316)
3. 平行线路间电磁耦合	(310)	参考文献	(316)

第十二章 谐振接地系统的内部过电压及防止措施

第一节 引言	(317)	一、线路导线相碰	(322)
第二节 欠补偿断线过电压	(317)	二、环流、中性点位移电压的 计算	(322)
一、事故前电网运行方式	(317)	第六节 电容耦合过电压	(323)
二、事故情况及原因分析	(317)	一、变压器高、低压绕组间电容 耦合	(323)
三、防止措施	(318)	二、同杆架设线路间电容耦合	(325)
第三节 地网电位升高过电压	(318)	第七节 共用消弧线圈过电压	(325)
一、过电压的产生	(319)	一、过电压起因	(325)
二、原因分析及对策	(319)	二、防止措施	(326)
1. 35kV 补偿电网	(319)	第八节 断开两相接地短路过电压	(326)
2. 6.3kV 发电机回路	(319)	一、44kV 补偿电网	(326)
第四节 定相过电压	(320)	二、110kV 补偿电网	(326)
一、定相过电压的危害性	(320)	三、66kV 补偿电网	(327)
二、过电压的起因	(320)	四、保护措施	(327)
三、过电压的图解	(321)	第九节 中性点不稳定过电压	(327)
四、利用电阻定相杆定相	(322)		
第五节 线路碰线过电压	(322)		

一、产生条件及现象	(328)	二、限制措施	(331)
二、过电压机理	(328)	第十一节 断路器非全相投入	
三、防止措施	(328)	过电压	(331)
第十节 配电变压器高压绕组接地过		一、事故简况	(331)
电压	(329)	二、原因分析及防止措施	(332)
一、研究结果	(329)	第十二节 断线接地过电压	(332)
1. 等值电感与对地电容谐振		一、事故简况	(332)
过电压	(329)	二、原因分析及对策	(333)
2. 配电变压器高压绕组接地伴随高		第十三节 结语	(333)
压断路器熔断谐振过电压	(330)	参考文献	(334)

第十三章 谐振原理在电力系统中的其他应用

第一节 引言	(335)	2. 调容式装置	(344)
第二节 大型发电机交流		3. 调频式装置	(345)
耐压试验	(335)	第四节 电力变压器等 3 倍频感应	
一、定子绝缘的等值回路	(335)	耐压试验	(345)
二、超低频交流耐压试验	(336)	一、3 倍频感应耐压试验装置	(346)
三、谐振工频耐压试验	(337)	二、电力变压器 3 倍频感应耐	
1. 并联谐振工频耐压试验	(338)	压试验	(346)
2. 串联谐振工频耐压试验	(339)	三、电压互感器 3 倍频感应耐	
四、串联谐振工频耐压试验		压试验	(347)
的优点	(341)	第五节 消弧线圈伏安特性和	
第三节 电力电缆、电容器、GIS 串联		温升试验	(348)
谐振工频耐压试验	(341)	一、伏安特性试验	(348)
一、电力电缆耐压试验	(341)	1. 常规并联谐振方法	(348)
二、电力电容器耐压试验	(343)	2. 串联谐振方法	(348)
三、气体绝缘组合电器 (GIS) 耐压		3. 混联谐振方法	(348)
试验	(343)	二、温升试验	(349)
四、几种交流耐压试验装置	(344)	第六节 结语	(349)
1. 调感式装置	(344)	参考文献	(349)