

21世纪电子电气工程师系列

接地技术与 接地系统

双色

〔日〕 川濑太郎 著

ART 21
电子电气工程师

科学出版社

OHM社

21 世纪电子电气工程师系列

接地技术与 接地系统



日川濑太郎 著
冯允平 译

ART 21
电子电气工程师

科学出版社 OHM 社

2001 北京

图字:01-2000-3674 号

Original Japanese edition

Genba no Secchi Gijyutsu to Secchi System

by Tarou Kawase

Copyright © 1993 by Tarou Kawase

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 2001

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

現場の接地技術と接地システム

川瀬太郎 オーム社 1999年第1版第6刷

图书在版编目(CIP)数据

接地技术与接地系统/[日]川瀬太郎著;冯允平译.-北京:科学出版社,2001
(21世纪电子电气工程师系列)

ISBN 7-03-009532-4

I. 接… II. ①川… ②冯… III. 电力系统-接地系统 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 038911 号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2001 年 8 月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2001 年 8 月第一次印刷 印张:4

印数:1—5 000 字数:117 000

定 价: 11.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

译者的话

日本千叶大学川濑太郎教授的专著《接地技术与接地系统》(現場の接地技術と接地システム),1993年问世以来至1999年已第六次印刷。该书在日本国内颇受电力技术和电子与电脑技术等领域广大科技工作者的欢迎。

该书内容丰富,作者系统全面地总结了多年来有关接地技术的研究成果。全书共分三部分,即接地的基础理论、接地系统和应用。基础部分涵盖了电力与电子设备接地技术的所有基础内容,讲述了接地的历史,接地电阻与性质,各种接地电极接地电阻的计算方法,避雷设备,医院的接地,各种接地施工的细则,接地的管理,接地电阻的测量方法等。接地系统部分讲述了触电事故的机理,接地系统与非接地系统,接地方式,触电与人体特性的关系,触电电流的安全界限,各种环境与电气安全,电气机器的分级,地络保护等;应用部分讲述了接地的模拟实验法,静电、电脑的接地,接地材料,大地参数的推定法等。书中还介绍了日本的有关指导性标准,可供我国技术人员参考。

该书对电力部门、电子设备使用部门、建筑部门的接地设计、施工及安全用电等极有参考实用价值。由于本书内容新颖、紧密结合实际,从大学生、研究生到科技工作者都会从中获得收益。希望中译本有助于我国有关科技工作者了解国外相关接地技术的情况及其进展,并供实际工作中借鉴或参考。

前 言

当1977年(昭和52年)由欧姆社推出的拙作《地络保护和接地技术》(地絡保護と接地技術)问世的时候,有幸得到社会的欢迎与好评,至最近已超乎想象地多次印刷。

从《地络保护和接地技术》出版到现在,已经过了15年多,这期间环绕接地问题的社会环境已大大变化。如从前,接地是电力设备的接地所使用的专门话题。但是,最近已变为电子机器用的接地问题较多。

在这样的变化了的形势中,国内外信息技术的飞速发展,特别是智能化大厦的出现,产生了对接地技术的新的关心。众所周知,在智能化大厦内有各种各样的电子机器,其间电力用、电话用、数据用的配线纵横交错,这必然发生电磁感应干扰(Electromagnetic interference; EMI)和电磁环境问题(Electromagnetic compatibility; EMC)。现在,与之相关的种种故障可以说是不断增加。

就是EMI或是EMC也出现和接地密切相关的问题,而笔者1977年的著作中没有把这些问题中的接地技术提出来讲述。因这样的背景,电子技术工作者产生了对接地技术的新的关心。不管怎么样,我们欢迎各部门的技术工作者来关心接地技术。

不论是电力设备用还是电子机器用,接地技术的基础是共同的。不管是什么部门,如处理接地问题,首先必须直接从基础来检查。拙著《地络保护和接地技术》是从“电力用”的接地观点来写的,而有趣的是这方面从电子技术工作者那里得到的反响意外地多。现在,接地关系到的问题是它在哪里发生,而且要启发研究领域的人们去真正关心接地问题。

就像经过了15年,什么样的书都会变旧一样。接地有时已“不时髦”了,潜在的变化在缓慢进行着,而简单来说书的结构也要变动。因此,应欧姆社的再次提议,针对前著作了全面的修订,书名也作了相应修改。

在出版时,首先应该想到,接地是由前人长期不懈努力累积而成的技术,我们在向这些前人的努力表示感谢的同时,有把这个技术继承发展的责

任。如果了解了某个国家关于接地的标准及规程的配备情况,即可观察到那个国家的社会基础设施的配备程度。这种说法也未必言过其实。如果本书使这样认识的人数增加,那是作者之万幸。

最后,对为本书的出版给予多方帮助与鼓励的欧姆社(OHMSHA)的各位致以深深的感谢。

著 者



接地技术与 接地系统

内 容 简 介

“21世纪电子电气工程师系列”是企业技术/管理干部知识更新用新型教科书。丛书特点是重视理论联系实际，用现象说明原理。反映该专业领域最新进展，通过产品与技术模型揭示学科基础知识。丛书各册执笔者均是在国际知名企业中长期从事技术、教育工作的专家。书中举例及例题均源于他们多年的工作实践。

本书涵盖了电力与电子设备接地技术的所有有关基础，讲述了接地技术的发展，接地电阻与性质，各种接地电极接地电阻的计算方法，避雷设备，医院电器设备的接地，各种接地施工的细则，接地的管理，接地电阻的测量方法等。

本书可作为企业工程技术人员培训专用教科书，也可供高等学校相关专业及高、中等职业学校相关专业师生学习参考。

著者简介

川瀬太郎

1959年 千叶大学工学部电气工程专业
毕业

1966年 东京大学研究生院工学研究专
业博士毕业
获工学博士

现在 千叶大学工学部电气工程专业
教授
(社)电气设备学会会长

译者简介

冯允平

1959年 交通大学电机工程系毕业

1984年~1985年

英国 University of Strathclyde
访问学者

现在 西安交通大学电机系高电压技
术专业教授、博士生导师



北京东方科龙图文制作有限公司 制作
www.okbook.com.cn

目 录

第 1 章 接地的基础

1.1	接地的历史	1
1.2	各种各样的接地	4
1.3	什么叫接地	8
1.4	接地电阻的定义	9
1.5	接地电阻的一般性质	10
1.6	大地电阻率的知识	12
1.7	半球状接地电极的接地电阻	13
1.8	接地电极的电阻区域	15
1.9	由接地电流引起大地电位上升	16
1.10	全球状接地电极	17
1.11	全空间问题和半空间问题	19
1.12	接地电阻和静电电容	20
1.13	叠加原理和镜像法——埋设深度的影响	21
1.14	并联接地和集合效应	22
1.15	旋转椭圆柱体接地电极(扁平)	23
1.16	旋转椭圆柱体接地电极(扁长)	24
1.17	棒状电极——等值半径	25
1.18	圆板电极	27
1.19	埋设地线	27
1.20	网状接地电极	32
1.21	结构体接地电极	35
1.22	避雷设备的接地	37

1.23	医院的接地	43
1.24	各种接地施工的细则	49
1.25	接地的共用和独立	53
1.26	接地的管理	57
1.27	接地电阻的测量方法	61
1.28	大地电阻率的测量方法	64

第 2 章 接地系统

2.1	什么是地络保护	71
2.2	触电事故的机理	74
2.3	接地系统和非接地系统	75
2.4	室内配线的接地方式	78
2.5	电气设备技术标准中有关接地的条款	80
2.6	电源侧接地和负荷侧接地	85
2.7	人体特性	86
2.8	环境和危险	89
2.9	各种环境和电气安全	90
2.10	电气机器的分级	91
2.11	二重绝缘机器	94
2.12	附有接地极的插座	96
2.13	漏电断路器的登场	97
2.14	漏电断路器和接地	97
2.15	漏电火灾和地络保护	98
2.16	电弧地络及其对策	99

第 3 章 应用

3.1	接地的模拟实验法	101
3.2	静电接地	104

3.3	大地参数的推定法	106
3.4	电脑的接地	109
3.5	接地的材料	111
3.6	接地阻抗	112

第 1 章 接地的基础

1.1 接地的历史

接地是在电气设备和大地之间实现确实的电气连接。一看似乎这是简单的技术,实际是非常不容易的事。如深入探究接地,可知它是非常深奥的技术。

接地技术在英式英语中称为 **earthing**,美式英语中称为 **grounding**。

接地的历史可从避雷针开始。

富兰克林在 1753 年进行了有名的举钉的实验。而后,翌年即 1754 年他设计了避雷针,很多朋友们主动设置了他的避雷针,这样,用避雷针防雷电灾害有确实的效果为世人认可,并在全世界得到推广。

富兰克林发明的最初的避雷针,如图 1.1 所示,即把铁棒接合并立在建筑物上,其下端埋入地中,恰好相当于现在的所谓接地电极。因为避雷针是把雷电的能量安全释放入大地的设备,它的足部与大地确保被短接是必要的,这样就产生了接地技术。

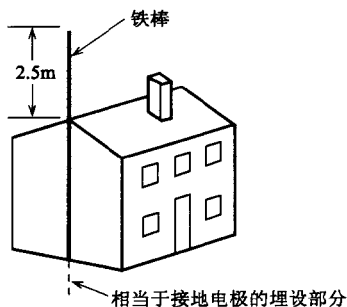


图 1.1 富兰克林的避雷针和世界上最早的接地

次于避雷针有必要接地的是有线电信,有线电信由莫尔斯于 1835 年实现了实用化。

有线电信必须把二根往复电线架起来,但实际如图 1.2 所示,即只将 1 根发出信号的电线架起来,而利用大地返回信号,把这叫作**大地归路(earth return)**。幸运的是,因大地有通电流的性质,所以用大地作归路是可行的。

如图 1.2 所示,在实现大地归路时,发信点及受信点必须接地。这个接地,是把大地组成为电路的一部分的接地,有人把这称为**机能的接地**。

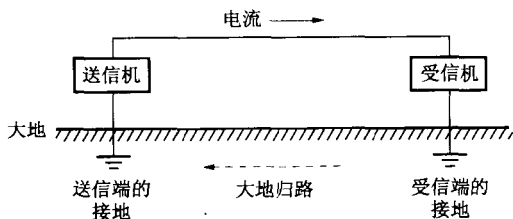


图 1.2 莫尔斯有线通信电路——大地归路的采用

1876 年,贝尔研究成功了**电话**,立刻,电话用的架空线网在广泛的大地上覆盖起来。当然,这些线路更加会受到雷的直接或间接的攻击,向线路直接落雷的场合不用说,即使在线路附近落雷的场合,线路亦受到影响,被称为**雷电冲击电压的陡波前冲击波**在电路上疾走。最坏的情况,这雷电冲击电压到达住宅内的电话机,带来各式各样的灾害。

所以在电话网便有**避雷器**登场,图 1.3 是现在的**电话保安器**。现在用二个避雷器与保险丝接在一起,因为电话线已不采用大地归路,必须对各线路接入避雷器。

可是,避雷器亦与避雷针一样是为了把雷电能量释放入大地的设备,所以,一定要把各避雷器的一端接地。这样,只从电话机数就可知是进入了接地要求的时代。由此可见,电话的接地,比其后发达起来的电力用的接地的历史更早。电话技术工作者对接地关心因称作**电力线——通信线间的感应干扰**的新的问题的发生而加深,如有名的贝尔电话研究所(Bell Telephone Laboratories, Inc.)进行了接地体系的研究。

1882 年开始的纽约的世界上最初的配电,1887 年(明治 20 年)开始的东京的日本国最初的配电是由直流发电机供给的直流三线式(与现在的单

相三线式类似),都不在中性点接地。

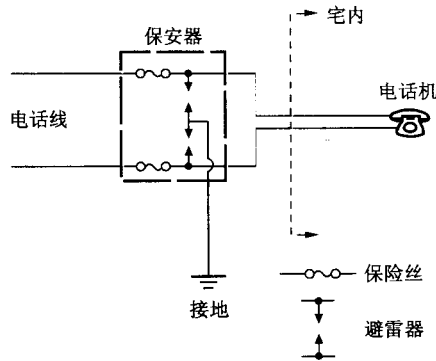


图 1.3 电话的保安器

日本的交流配电是 1889 年(明治 22 年)在大阪以 1kV 电压开始,东京稍迟以 2kV 及 3kV 电压开始。

但是,初始时期的变压器二次侧是不接地的,是作为非接地方式供电的。所谓非接地方式是在配用电变压器的二次侧以下,电路哪里也不与大地连接的方式。

在这非接地方式中,如变压器的一次-二次间的绝缘破坏,一次侧的高电压会照原样侵入到二次侧,把二次侧电路的电位搞得异常的高,这是有危险的。将其称作高低压混触事故(图 1.4)。

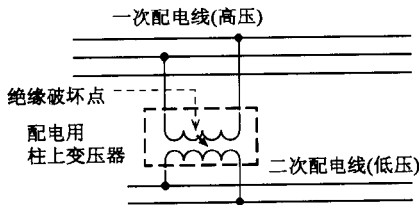


图 1.4 高低压混触事故

这种混触事故在世界各国都有发生。不只产生触电事故,亦发生火灾

事故。所以,作为对策,把变压器二次侧的电路实行接地。即是从非接地方式向**接地方式**(图 1.5)转换。现在,不只是日本而且在全世界,低压配电系统都采用接地方式。如把变压器二次侧保持平常接地,就能防止二次侧电路的电位异常上升。

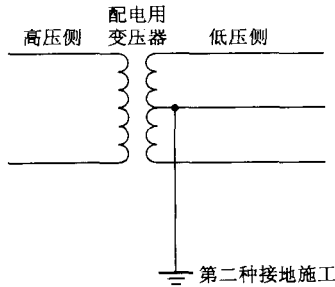


图 1.5 接地方式的配电系统

如以电气设备制定技术标准的省令(通商产业省令,以下称作电技)来区别,配用电变压器二次侧电路的接地可称为**第二种接地施工**。另外,亦有依然采用非接地方式的特殊系统,如医院的集中治疗室(ICU)的配线和游泳池有的电气设备的配线,至于为什么这种配线要采用非接地方式,其理由在后面解释。

总之,一般的交流配电因接地方式的转换,电力用的接地实施的效果问题,作为电力技术上的重要命题引人注目。

1.2 各种各样的接地

前节以时间系列回忆了接地技术的发展。本节将概述现在的各种接地技术。

首先是机器接地,即对连接在低压系统的电气机械器具的金属外箱或铁台等实施接地,在我们身边的例子有电气洗濯机的接地(图 1.6),这种接地称作箱壳或筐体接地。机器接地的特征是在那个非充电部分(指不通电的部分)接地,有接地点。

其次是系统接地。在前节介绍了配电网变压器的二次侧电路的接地,即这相当于第二种接地施工。在这里,所谓电路是指配线与机器平时有电流流过的部分,也可称为充电部分。在电技标准中,电路原则上与大地绝缘称为电路的绝缘原则被贯彻。但是,在第二种接地施工中为了把电路与大地连接,就是说与电路的绝缘原则是相反的。不用说,在电技标准中把第二种接地施工的接地点是排除在电路的绝缘原则之外的。

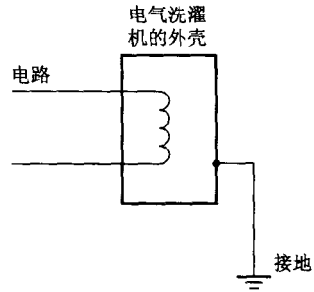


图 1.6 电气洗濯机的接地
——机器接地的例子

历史最长的是避雷针的接地。在避雷针直接落雷,即有被直击雷直击的可能性。一被直击雷直击,担心避雷针上有波幅为 10kA、持续时间为几十微秒的电流波通过。在对避雷针接地设计时,必须考虑这些条件。

与雷电有关的还有避雷器(arrester)的接地。避雷器是为对付由直击雷或感应雷(线路附近落雷的场合)在线路上发生的雷电冲击电压为目的。因为雷电冲击电压在线路上行进中衰减,应按避雷器安装位置(屋外或屋侧或屋内)不同而考虑变化避雷器的接地。又因为在避雷器上持有平时电路的对地电压,这个电压的高低也是选定避雷器及在设置上的重要条件。

对于自然界的雷及由其引起的雷电冲击电压称作外雷,与此对应的在内部产生的被称作内雷。所谓内雷,意味着电力系统中因接入的断路器等在操作时发生过渡的急剧上升的波(冲击波)。为迎接高度信息社会,利用半导体的虚弱体质的电子设备已在我们身边飞速增加。那样,不仅外雷而且对内雷而言,机器亦有防护的必要。所谓冲击电压吸收器从其扮演的角色来看,这相当于避雷器的亲属。因而,冲击电压吸收器就不是与接地无关的。

把大地作为组成回路一部分的机能接地例子,已经在前面谈到过有线电信回路。作为机能接地的另外一个例子是电气防腐蚀回路(图 1.7)。另外,被期待作为 21 世纪输电方式的直流输电系统(图 1.8)中有采用大地归路的计划,因此机能接地成为必要。机能的接地的特征为,接地电极上平时有负荷电流流过。在有水分的地中埋设的接地电极因常有电流流过,必定引起电气化学现象。特别是直流的场合因非常易引起这种现象,在对接地电极设计时必须充分注意。

可是,如采用大地归路,必须要用机能的接地。也就是大地归路和接地有不可分的关系。在这里,作为有关事项,应把称为准大地归路状态作如下介绍。

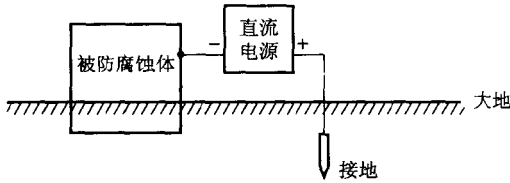


图 1.7 电气防腐蚀回路

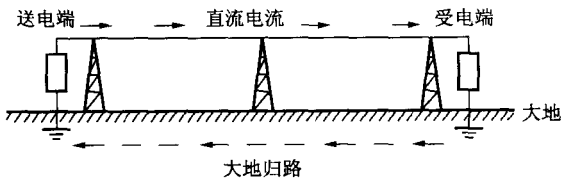


图 1.8 直流输电系统

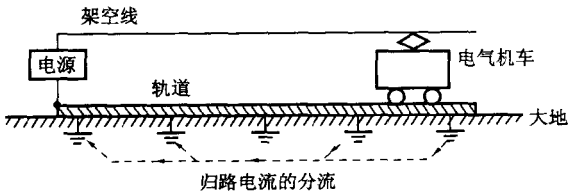


图 1.9 轨道归路——准大地归路

不管是交流还是直流,电气铁道中典型回路的归路是使用轨道(铁路)(图 1.9),但是,铁道的轨道是不与大地绝缘的。从而,铁道的轨道自然发生被多重接地。所以,并行于轨道归路的真的大地归路亦可能是同时起作用的。通常大部分的电流经轨道返回,而因条件一部分电流会向大地分流,因此把这称为准大地归路。

对以上的机能接地来说,在接地电极上有负荷电流流过,可以说,这是