



高等院校电气工程及其自动化专业系列精品教材

电力系统基础

李林川 主编

李林川 肖 峻 张艳霞 编著



科学出版社
www.sciencep.com

高等院校电气工程及其自动化专业系列精品教材

电力系统基础

李林川 主编

李林川 肖 峻 张艳霞 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共7章,包括电力系统基本知识、电力网元件的等值电路和参数计算、简单电力系统的潮流计算、电力系统的正常运行与控制、电力系统故障与实用短路电流计算、电气主接线与设备选择、电力系统继电保护的原理及配置。本书注重基本概念和原理的阐述,强调基础理论和基本的分析方法,并简要介绍了超高压交流和直流输电,以及风力、太阳能等新型电源的内容,以利于扩展学生的视野。每章都提供了一些思考题和习题,并附有部分参考答案,便于学生掌握相关知识。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业的本科生教材,也可供高职、高专相关专业师生参考,还可作为电力工程技术人员的参考资料和培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统基础/李林川主编;李林川,肖峻,张艳霞编著. —北京:科学出版社,2009

(高等院校电气工程及其自动化专业系列精品教材)

ISBN 978-7-03-024759-9

I. 电… II. ①李…②李…③肖…④张… III. 电力系统-高等学校-教材 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 096983 号

责任编辑:余 江 潘继敏 / 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年6月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—3 000 字数:331 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是为电气工程及其自动化专业本科生编写的一门专业基础课教材。

电气工程及其自动化是一个宽口径本科专业,该专业的学生一般在专业课学习时选择不同的方向,但是都需要一定的电力系统的基础知识。为适应这种需要,本书选择有关电力系统的最基本和最重要的内容,重点讲述物理概念和实际应用。

同时考虑到学生进一步学习“电力系统分析”课程时避免内容重复,因而我们也相应编写了与本书配套的《电力系统分析》教材,今年底将由科学出版社出版。

全书共分7章,前5章可供全体电气工程及其自动化专业的学生选用,后2章仅供非电力系统及其自动化方向学生选用。

本书第1、5、6章由李林川编写,第2~4章由肖峻编写,第7章由张艳霞编写,全书由李林川任主编。

本书初稿承蒙王成山教授审阅,提出了很多宝贵的意见和建议,在此深表感谢。

同时感谢编者的研究生为本书所做的画图、校对等工作。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009年1月

目 录

前言

第 1 章 电力系统基本知识	1
1.1 电力系统的组成	1
1.2 电力系统概况	2
1.3 电力系统的特点和对运行的基本要求	7
1.4 电力系统的接线方式和中性点接地方式	9
1.5 电力系统的输电方式.....	11
1.6 电力系统负荷.....	17
1.7 电力系统电源类型及特点简介.....	22
思考题	26
习题	27
第 2 章 电网元件的等值电路和参数计算	28
2.1 电力线路的等值电路与参数计算.....	28
2.2 变压器的等值电路与参数计算.....	44
2.3 发电机的等值电路与参数计算.....	51
2.4 电网等值电路及其标么值参数计算.....	54
思考题	60
习题	61
第 3 章 简单电力系统的潮流计算	64
3.1 单一元件的功率损耗和电压降落.....	64
3.2 开式网络的潮流计算.....	69
3.3 配电网络的潮流计算.....	74
3.4 简单闭式网络的潮流计算.....	78
思考题	88
习题	89
第 4 章 电力系统的正常运行与控制	91
4.1 电力系统的无功平衡和电压调整控制.....	91
4.2 电力系统的有功平衡和频率调整控制	109
4.3 电力系统的能量损耗与节能降耗	120

思考题.....	126
习题.....	126
第 5 章 电力系统故障与实用短路电流计算.....	129
5.1 故障的一般概念	129
5.2 三相短路电流的物理分析	131
5.3 简单系统三相短路电流的实用计算方法	141
5.4 对称分量法在不对称短路计算中的应用	152
5.5 同步发电机、变压器、输电线的各序电抗及其等值电路	158
5.6 简单电网的正、负、零序网络的制定方法	162
5.7 电力系统不对称短路的分析与计算	168
5.8 故障时网络中的电流、电压计算.....	180
5.9 非全相运行的分析	185
思考题.....	190
习题.....	191
第 6 章 电气主接线与设备选择.....	195
6.1 电气主接线的设计原则	195
6.2 电气主接线的基本接线形式	198
6.3 高压电气设备的选择	210
思考题.....	220
第 7 章 电力系统继电保护的原理及配置.....	221
7.1 电力系统继电保护的作用及对其基本要求	221
7.2 继电器的工作原理	224
7.3 继电保护装置的构成及原理	241
7.4 输电线路的继电保护配置	264
7.5 变压器和发电机的继电保护配置	266
思考题.....	269
参考文献.....	270

第 1 章 电力系统基本知识

1.1 电力系统的组成

电能是二次能源,是由煤、油、风力和核能等一次能源转化而来的,又可以方便地转化成其他能源。它是现代社会中最重要的、最方便的、最清洁的能源,各行各业以及人们的日常生活都离不开它。在现代社会,如果发生大面积的、长时间的停电,整个社会尤其是大城市中人们的生活将会受到很大的影响,甚至可能影响到社会秩序直至国家的安全。

人们大量使用的电能是由发电机发出,通过变压器升压,再经电力线路传输,变压器降压等过程,最后到达用户。这个发、输、用的统一体就称为电力系统。具体地说,电力系统是由生产、输送、分配和消耗电能的所有电气设备所组成的统一整体。它的主要设备是生产电能的发电机,输送和分配电能的变压器和电力线路以及消耗电能的各种用电设备(如电动机等),习惯上称为一次系统;电力系统还包括继电保护装置、安全自动装置、通信设备和调度自动化等辅助系统,一般称为二次系统。电力网是电力系统中除去发电机和用户,剩余的变压器和电力线路所组成的输送、分配电能的网络。如果电力系统再加上电厂的原动机等动力部分,则称为动力系统,动力部分主要有:火电厂的锅炉和汽轮机等;水电厂的水库和水轮机等;原子能电厂的反应堆等;风力发电场的风机等。一个电力系统的示意图如图 1-1 所示。

由图 1-1 可见,电力网络比较庞大,含有各种电压等级,因而又把电力网分为输电网络和配电网络。输电网络的作用是将各个发电机所发出的电能送到一些负荷中心,由于距离远,功率大,为了减少电能损耗,因而往往采用较高电压等级(如 220kV、330kV、500kV、750kV 以及 1000kV)。不同电压等级的线路是不能直接相连的,它们必须通过变压器进行连接,因而输电网络是由连接发电厂和各个负荷中心的变压器和较高电压等级的电力线路所组成的网络。

电力系统中的用户所使用的电器设备种类繁多,它们的电压等级从 380V(相电压为 220V)到 110kV,甚至更高。为了满足用户的用电需要,电力部门必须把输电网络送过来的电能进行分配,用较低的电压等级(如 110kV、35kV、10kV、6kV、3kV 以及 380V)送到相应的企事业单位及千家万户。这一部分电网一般称为配

57km,输送容量为 1.5kW,供照明和驱动水泵使用。由于直流电压不能随意升高或降低,为了产生高电压,只能采用串联方式运行,这样的方式比较复杂,可靠性差,其发展受到了极大的限制。随着生产的发展和对电能需求的不断增长以及人们逐步掌握了多相交流电路原理,尤其是发明了交流发电机、变压器和交流电动机后,交流电的发电、变压、输送、分配和使用都很方便,而且经济、安全和可靠。因此,交流输电在很长一段时间内几乎完全代替了直流输电,交流制得到了大力发展,到 1995 年世界上交流输电的最高电压已达到 1150kV,输送距离最长为 1900km,最大的单机容量为 1300MW。

当前,电力系统不仅在输电电压、输送距离和输送功率等方面得到了巨大的发展,而且在电源构成、网络规模和负荷成分等方面都有了很大变化。电源中有燃煤、燃油或燃烧天然气的火电厂,有利用水能的水电厂,有利用核能的核电厂,有利用风能、太阳能、潮汐能、地热能等各类电厂。网络由一个地区到几个地区再到全国甚至形成跨国电网。负荷的成分不仅有电动机、电灯,还有占较大比重的空调、整流装置等。

由于大机组、高电压输电的出现,电网的规模越来越大,所连接发电机的规模及数量也不断增加,从而出现了并列运行的同步发电机的稳定问题。为了解决这一危害电网安全的大问题,又重新发展了直流输电,目前直流输电主要用在超高压远距离输电、大电网的互联、通过海底向海岛输电等。现在的直流输电是把交流电整流后,变成直流电,通过直流线路送到负荷中心,然后经逆变把直流电又变成交流电,再供用户使用。

我国电力工业始于 1882 年,至 1949 年全国的总装机容量为 1850MW,年发电量为 430GW·h。新中国成立后,电力工业得到了突飞猛进的发展,到 2005 年底,全国的总装机容量达到了 $5.084 \times 10^8 \text{ kW}$,年发电量为 $2.4747 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ (到 2008 年 6 月全国的总装机容量更是达到了 $7 \times 10^8 \text{ kW}$)。全国共有百万千瓦以上规模的电厂 130 座,其中火电厂 104 座,水电厂 22 座,核电厂 4 座。最大火电厂为内蒙古托克托电厂与福建后石电厂,总装机为 $360(6 \times 60) \times 10^4 \text{ kW}$;最大水电厂为三峡水电厂,总装机为 $1.82 \times 10^7 \text{ kW}$;最大核电厂为广东岭澳电厂,总装机为 $1.98 \times 10^6 \text{ kW}$ 。可再生能源发电特别是风力发电得到了较大发展,联网总装机达到了 $1.2659 \times 10^6 \text{ kW}$,最大风力发电厂为新疆达坂城风电二场,装机 197 台,容量 $1.128 \times 10^5 \text{ kW}$,其次为宁夏贺兰风电二场,装机 132 台,容量 $1.122 \times 10^5 \text{ kW}$ 。目前我国发电机的单机最大容量为核电 $9.9 \times 10^5 \text{ kW}$,火电 10^6 kW ,水电 $7 \times 10^5 \text{ kW}$ 。

在电网建设方面,除西北电网为 750/330/220kV 网架外,其他电网(东北、华北、华东、华中、华南等)均形成了 500/220kV 网架。到 2005 年底,220kV 及以上输电线路的总长度达到 $2.519 \times 10^5 \text{ km}$,其中 750kV 输电线路 141km,500kV 输电线路 61308km,330kV 输电线路 12481km,220kV 输电线路 177971km。全国联网

工程取得重要进展,东北与华北、华北与华中、华北与西北、华中与西北、华中与华东和华中与南方电网均已实现互联,联络线一般采用 500kV 交流和直流线路,全国联网格局已基本形成。直流输电工程也得到了较大的发展,华中到华东 2 条 $\pm 500\text{kV}$ 输电线路;三峡到广东直流输电工程 2004 年投入运行;华中与西北直流背靠背(整流器与逆变器基本上是直接相接,直流线路很短的直流工程)联网 2005 年投运。直流输电线路总长度达到 4821km,输送容量达到 $1.236 \times 10^7 \text{kW}$,两方面均居世界首位。西电东送的三大通道已形成 $3.2 \times 10^7 \text{kW}$ 的输送能力。其中北通道 11 回 500kV,主要是内蒙古、山西到京津塘与河北;中通道主要是三峡、葛洲坝到华东地区的 500kV 直流输电工程;南通道主要是三峡至广东地区的 500kV 直流输电工程,云南到广东等共形成“六交三直”九条输电线路。目前正在建设晋东南到湖北襄樊的 1000kV 特高压交流输电线路和四川向家坝到上海 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电线路。

1.2.2 电力系统的额定电压和额定频率

电气设备一般都是按照特定的电压和频率来进行设计和制造的。这些特定的电压和频率也就是该设备的额定电压和额定频率。电气设备在额定电压和额定频率下运行时,其技术性能和经济效益能达到最好。为了进行成批生产和实现设备的互换,又需对额定电压有一个合理的选择,不能太多,而且高一级电压与相邻低一级的电压在数值上最好相差 2~3 倍。为此各国都制定了本国的额定电压,我国的额定电压基本如表 1-1 所示。

表 1-1 我国电力系统的额定电压(单位: kV)

网络额定电压	发电机额定电压	变压器额定电压	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15	3, 3.15	3.15, 3.3
6	6.3	6, 6.3	6.3, 6.6
10	10.5	10, 10.5	10.5, 11
	13.8	13.8	
	15.75	15.75	
	18	18	
	23	23	
35		35	38.5
110		110	121
220		220	242
330		330	345, 363
500		500	525, 550
750		750	788, 825

在电力系统中,额定电压均指额定线电压而不是相电压,所以表中数值均为线电压值,单位为 kV。

1. 网络的额定电压

网络的额定电压等于用户设备的额定电压,也等于母线的额定电压,或等于线路的额定电压,即通常所说的额定电压。具体数值见表 1-1 的第一列。

2. 发电机的额定电压

为了调整网络的实际电压,发电机通常运行在比网络额定电压高 5% 的状态下,所以发电机的额定电压规定比网络额定电压高 5%。具体数值见表 1-1 的第二列。表中有的额定电压是发电机专用的。

3. 变压器的额定电压

变压器的额定电压是按照变压器的一次绕组和二次绕组分别规定的。变压器的一次绕组和二次绕组是根据功率的流向来规定的,具体为接收功率的一侧为一次绕组,输出功率的一侧为二次绕组。一次绕组相当于用电设备,额定电压应等于用户设备的额定电压,二次绕组相当于供电设备。对于双绕组升压变压器,低压绕组为一次绕组,高压绕组为二次绕组,一般用在发电厂和升压变电站;双绕组降压变压器,高压绕组为一次绕组,低压绕组为二次绕组,一般用在降压变电站。变压器额定电压的具体规定如下:

(1) 变压器的一次绕组相当于用电设备,故其额定电压等于网络的额定电压,但当直接与发电机连接时应与发电机的额定电压一致,因而就等于发电机的额定电压。变压器一次绕组的额定电压见表 1-1 的第三列。

(2) 变压器的二次绕组相当于供电设备,再考虑到变压器内部绕组的等值阻抗所引起的电压损耗,故:①当变压器的短路电压小于 7% 或直接与用户连接时,二次绕组额定电压比网络的高 5%。②当变压器的短路电压大于等于 7% 时,二次绕组额定电压比网络的高 10%。

变压器二次绕组的额定电压见表 1-1 的第四列。

当变压器二次侧为 380V 低压配电网时,其二次侧额定电压规定为 400V。

4. 我国电力系统的平均额定电压

电力系统的平均额定电压 $U_{avN} \approx 1.05U_N$,有些值并适当取整,具体为 3.15kV, 6.3kV, 10.5kV, 37kV, 115kV, 230kV, 345kV, 525kV, 788kV。

在电力系统的计算中,特别是短路电流计算中,在采用标幺值时,为了使计算简单,其基准电压往往选用各级平均额定电压。

5. 变压器的分接头及其变比

为了调节电压,两绕组变压器的高压绕组以及三绕组变压器的高、中压绕组一般设有抽头,称为分接头,用百分数表示,即表示分接头电压与主抽头电压的差值为主抽头电压的百分之几,即为变压器的档距。普通变压器的分接头档距一般为 $\pm 2.5\%$ 、 $\pm 5\%$,带负荷可调变压器的分接头档距一般为 $\pm 1.25\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 、 $\pm 2.5\%$ 。变压器的变比有额定变比和实际变比之分,其中,额定变比为变压器各侧主抽头额定电压之比,实际变比为变压器各侧实际所接分接头的额定电压之比。顺便指出,变压器的分接头均设在高、中压侧,这是因为高、中压侧绕组匝数比低压侧多,在容量相同的情况下,电压高,电流小,导线截面就小,故从制造工艺上来说,匝数多、截面小的绕组较容易设置分接头。

例 1-1 电力系统的部分接线示于图 1-2,各电压级的额定电压及功率输送方向已标明在图中。试求:

- (1) 发电机及各变压器高、低压绕组的额定电压;
- (2) 各变压器的额定变比;
- (3) 设变压器 T1 工作于 2.5% 抽头, T2 工作于主抽头, T3 工作于 -2.5% 抽头, T4 工作于 $+2.5\%$ 抽头时,求各变压器的实际变比。

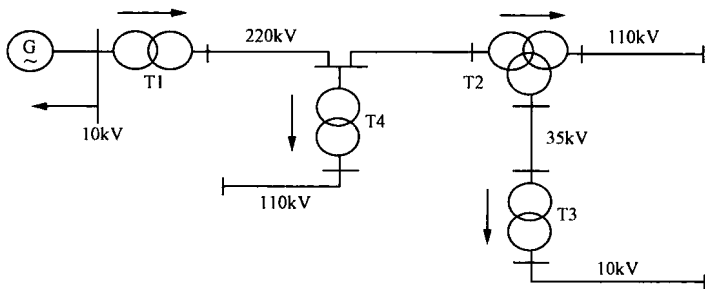


图 1-2 例 1-1 的电力系统图

解 (1) G: 10.5kV;

T1: 低 10.5kV, 高 242kV;

T2: 高 220kV, 中 121kV, 低 38.5kV;

T3: 高 35kV, 低 10.5kV;

T4: 高 220kV, 低 121kV。

(2) T1: 242/10.5; T2: 220/121/38.5;

T3: 35/10.5; T4: 220/121。

(3) T1: $242(1+0.025)/10.5$; T2: 220/121/38.5;

T3: $35(1-0.025)/10.5$; T4: $220(1+0.025)/121$ 。

6. 额定电压与输电距离和传输功率的关系

输配电网络的电压等级应与系统的容量和供电范围相适应,当传输功率一定时,电压高,电流就小;反之电压低,电流就大。而电压高,绝缘要加强;电流大,导线截面要增大,且用于支撑的塔架结构要加强。二者都要投资,因此使用一个电压等级需要通过进行经济、技术比较来决定。表 1-2 列出了架空单回电力线路的电压与输送容量、输送距离的比较合适的范围。

表 1-2 架空单回电力线路的电压与输送容量、距离的关系

电压等级/kV	输送容量/(MV·A)	输送距离/km
3	0.1~1	1~3
6	0.1~1.2	4~15
10	0.2~10	6~20
35	2~10	20~50
110	10~50	50~150
220	100~500	100~300
330	200~800	200~600
500	1000~1500	150~850
750	2000~2500	500 以上

7. 额定频率

电力系统中的许多用电设备的运行状况都同频率有密切的关系,尤其是电动机的转速,因此必须规定运行频率。世界各国所规定的频率并不完全相同,目前,主要有 50Hz 和 60Hz 两种。我国电力系统的额定频率规定为 50Hz,也就是工业用电的标准频率,简称工频。

1.3 电力系统的特点和对运行的基本要求

1.3.1 电力系统运行的特点

(1) 电能不能大量存储。由于目前还没有大量存储电能的好方法,因而电能的生产、输送、分配和消费实际上是同时进行的,即电力生产的同时性。任何时刻发电机所送出的功率等于用电设备所消耗的功率与输送过程中产生的功率损耗之和。

(2) 电力生产的快速性。电能输送过程迅速,其传输速度与光速相同,每秒达到 3×10^5 km,即使相距几万千米,发、输、用基本上都是同时完成的。电力系统的暂态过程非常短促。从一种运行状态到另一种运行状态的过渡极为迅速,以毫秒

甚至微秒计。

(3) 与国民经济和人民生活密切相关。当今社会一切厂矿企业、事业单位和人民生活均离不开电能,供电的突然中断会造成很大的损失甚至严重的后果。

1.3.2 对电力系统运行的基本要求

(1) 保证安全可靠持续供电。要最大限度地满足用户用电的要求,对负荷按照不同级别分别采取适当的技术措施来满足它们对供电可靠性的要求。为此供电部门一方面必须从各个方面采取措施防止和减少事故的发生;另一方面还必须配备足够的电源,完善电力系统的结构,提高电力系统的监视和控制能力,增强系统运行的稳定性。

(2) 保证电能的质量。电能与其他商品一样,也有质量指标。衡量电能质量的主要指标是电压、频率和谐波。

电能质量各项的具体指标是:

① 电压幅值。对于 35kV 及以上电压级允许变化范围为额定值的 $\pm 5\%$, 10kV 及以下电压级允许变化范围为 $\pm 7\%$ 。电动机: $\pm 5\%$; 照明: $+3\% \sim -2.5\%$ 。

② 频率。我国电力系统的额定频率为 50Hz,正常运行时允许的偏移为 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5\text{Hz}$ 。电力系统的运行频率偏离额定值过多,会给电力用户和电力部门自身都带来不良影响和危害。

③ 谐波。为保证电压质量,要求电压为正弦波形,但由于某些原因总会产生一些谐波,会造成电压波形的畸变。为此对电压正弦波形畸变率也有限制(波形畸变率是指各次谐波有效值平方和的方根对基波有效值的百分比),对于 110kV 及以上供电电压不超过 2%, 35~60kV 供电电压不超过 3%, 6~10kV 供电电压不超过 4%, 0.38kV 电压不超过 5%。

(3) 要有良好的经济性。电能的生产规模大,其消耗的一次能源占国民经济总消耗的比重很大,降低煤耗和降低网损是节约能源的重要途径。降低煤耗的具体方法有投入大容量机组,关停小机组;合理地安排各类发电厂的运行方式;加强管理,降低厂用电率。降低网损的主要方法有装设无功功率补偿设备,提高用户的功率因数,减少线路输送的无功功率,尽力实现无功功率就地平衡;合理地确定电力网的运行电压水平,一般来说,在 110kV 及以上电网,可适当提高运行电压水平,而在 10kV 及以下电网可适当降低运行电压水平;组织变压器经济运行;对原有电网进行技术改造等。

(4) 电能生产要符合环境保护标准,限制二氧化碳、二氧化硫等污染物的排放量。主要是在火电厂安装除尘、去硫设备。

1.4 电力系统的接线方式和中性点接地方式

1.4.1 电力系统中各种接线方式及特点

电力系统的接线包括发电厂、变电所的主接线和电力网络的接线。发电厂、变电所的主接线一般有单母线、单母线分段、双母线、双母线带旁路母线、桥形、角形等接线方式。电力网的接线通常按可靠性分为无备用和有备用两类。

1. 无备用接线

每一个负荷只能靠一条路径取得电能。优点是设备费用少,缺点是可靠性差。只要该路径中某段线路出了故障,故障线路及后续线路供电就中断。无备用接线主要有图 1-3 所示的三种方式(注:图中 $\odot$ —电源; $\circ$ —变电站,图 1-4 同)。

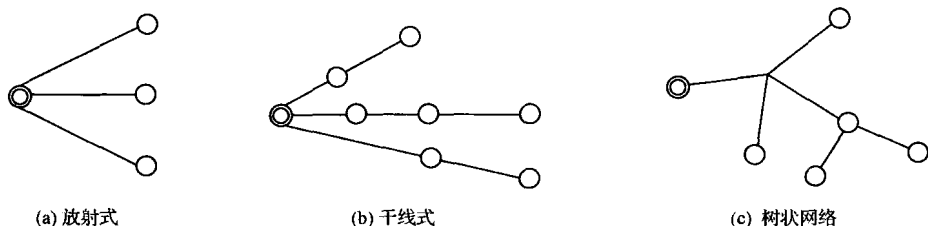


图 1-3 几种无备用接线

2. 有备用接线

负荷可以从两条及以上路径取得电能。优点是可靠性高,当一个路径上出现故障时,用户可从另一路径获得电能,缺点是设备费用高。有备用接线主要有图 1-4 所示的三种方式。

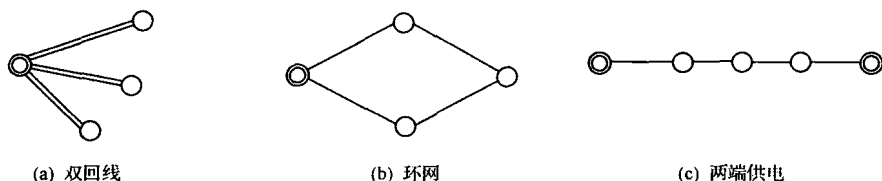


图 1-4 几种有备用接线

1.4.2 电力网络中性点运行方式

电力网络中性点是指星形接线的变压器或发电机的中性点。中性点的运行方

式关系到绝缘水平、通信干扰、接地保护方式和电压等级等很多方面的一个综合性的技术问题。我国目前中性点的运行方式(或称接地方式)可以分为两大类:

- (1) 中性点直接接地。
- (2) 中性点不接地或经消弧线圈接地。

1. 中性点直接接地的电力网络

中性点直接接地的电力网络,其优点:首先是安全性好,因为系统单相接地时即为单相短路,保护装置可以立即控制断路器跳闸切除故障;其次是经济性好,因中性点直接接地系统在任何情况下,中性点电压不会升高,且不会出现中性点不接地系统单相接地时电弧过电压问题,这样网络绝缘水平可按相电压要求设计。其缺点:供电可靠性差。只要发生单相接地故障,故障线路的供电就会暂时中断。目前我国 110kV 及以上电力网络为了降低绝缘水平和投资费用而采用中性点直接接地方式。

2. 中性点不接地的电力网络

中性点不接地的电力网络,其优点是供电可靠性高,因为电力网络发生单相接地时,接地电流只是网络电容电流,比较小,可继续供电,故接地时保护装置不作用于断路器跳闸,只给出信号,电网可继续运行 1~2h,因而提高了供电可靠性。缺点是经济性差,因不接地网络发生单相接地时,接地相电位与地相同,使不接地相对地电压升高为线电压,故系统的绝缘水平应按线电压设计,这对于电压较高的系统费用增加很多。故不接地方式一般用在 35kV 及以下电网。此外,中性点不接地系统发生单相接地时,接地点流过电容电流,易出现电弧引起的谐振过电压。为了使电弧容易熄灭,在电容电流较大的 35kV 或 10kV 电网(即出线数较多或线路较长),采用中性点经消弧线圈(电感线圈)接地。这是利用电感线圈中流过的感性电流与线路的电容电流在接地点相抵消,从而减少短路电流。一般消弧线圈设计成过补偿方式,即消弧线圈中流过的电流大于网络的电容电流,因而使得接地点电流变为感性,这样故障点熄弧后相电压恢复速度较慢,使接地点电弧不易重燃。

3. 中性点不接地系统故障时电压电流分析

对于中性点不接地系统,假设在 A 相发生单相接地,则接地点流过另外两非故障相(B 相和 C 相)的对地电容电流, $\dot{I}_d = \dot{I}_{bd} + \dot{I}_{cd}$, 如图 1-5(a)所示。该电流是容性的,其值不大,但易在接地点产生电弧。中性点电压 $\dot{U}_N$ 由正常时的 $\dot{U}_N = 0$ 变为 $\dot{U}_N = -\dot{U}_a$, 因而各相对地压变为

$$\dot{U}_{ad} = 0, \quad \dot{U}_{bd} = \dot{U}_b + \dot{U}_N = \dot{U}_b - \dot{U}_a, \quad \dot{U}_{cd} = \dot{U}_c + \dot{U}_N = \dot{U}_c - \dot{U}_a \quad (1-1)$$

即非故障相 B 相和 C 相的相电压升高到线电压,如图 1-5(b)所示。

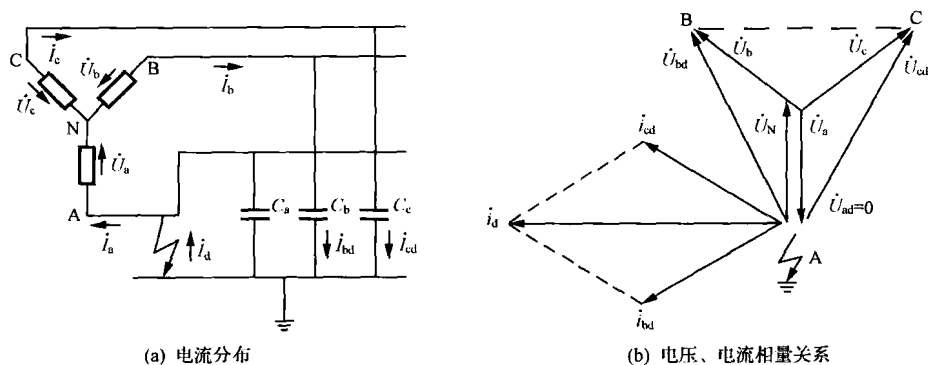


图 1-5 中性点不接地系统的单相接地时的电压电流

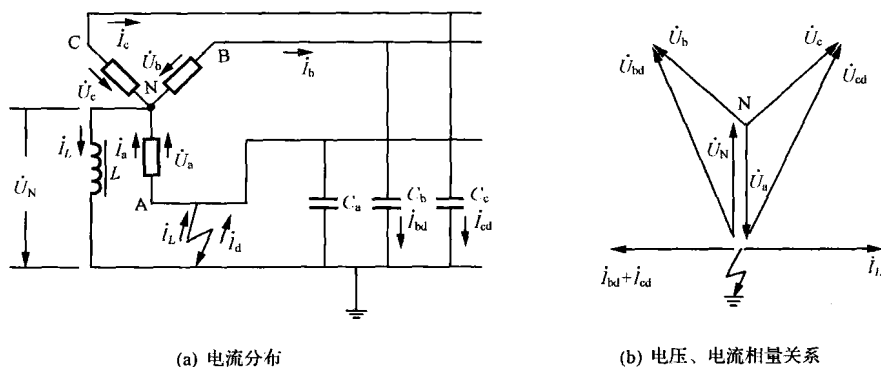


图 1-6 中性点经消弧线圈接地系统的单相接地的电压电流

如图 1-6 所示,当中性点有消弧线圈接地时,接地点流的电流是消弧线圈的电流 $\dot{I}_L$ 和另外两非故障相的对地电流 $\dot{I}_{bd}$ 和 $\dot{I}_{cd}$ 。由于 $\dot{I}_L$ 滞后电压 90° ,而 $\dot{I}_{bd}$ 和 $\dot{I}_{cd}$ 超前电压 90° ,故接地点电流 $\dot{I}_d = \dot{I}_L + \dot{I}_{bd} + \dot{I}_{cd}$,即 $I_d = I_L - \sqrt{3}I_{bd}$,两者在数值上有抵消作用,有利于灭弧,这就是消弧线圈的工作原理。实际中一般使 $\dot{I}_L$ 电流幅值大于 $\dot{I}_{bd} + \dot{I}_{cd}$ 电流的幅值,这种方式叫过补偿,接地点流的是感性电流。若 $\dot{I}_L = \dot{I}_{bd} + \dot{I}_{cd}$ 时,称为全补偿,系统中会产生谐波过电压,这是不允许的。

1.5 电力系统的输电方式

电力系统的输电方式有两种:交流输电方式和直流输电方式。很长一段时间基本是交流输电,随着电网规模的越来越大,交流输电的局限性在生产中也表现得更为