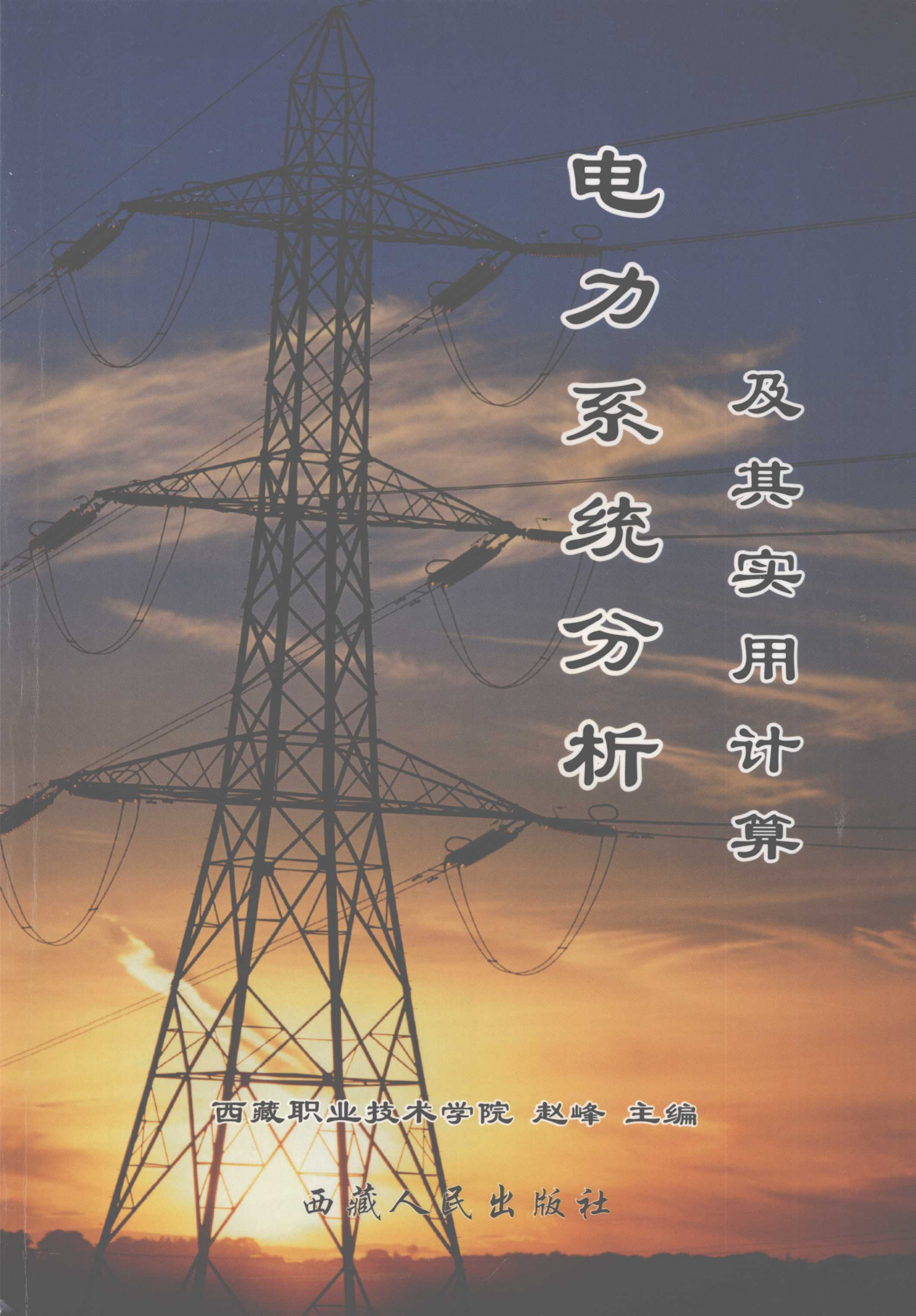




电力系统分析

及其实用计算

西藏职业技术学院 赵峰 主编

西藏人民出版社

电力系统分析 及其实用计算

西藏职业技术学院

赵峰 主编

西藏人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力系统分析及其实用计算/赵峰主编. —拉萨:西藏人民出版社,2007.3

ISBN 978—7—223—02116—6

I. 电… II. 赵… III. ①电力系统—分析②电力系统计算 IV. TM711 TM74

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 010014 号

电力系统分析及其实用计算

编 著	赵 峰
责任编辑	晋美旺扎
封面设计	刘 君
出版发行	西藏人民出版社(拉萨市林廓北路 20 号)
印 刷	拉萨福明印刷有限责任公司印刷
开 本	787×1092 1/16
印 张	27
字 数	586 千
版 次	2007 年 3 月第 1 版
印 次	2007 年 3 月第 1 次印刷
印 数	01—520
书 号	ISBN 978—7—223—02116—6
定 价	48.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

《电力系统分析》是高等学校电力电气类专业的一门主要专业课程，其特点是理论性强、概念复杂、与工程实际联系密切。习题是培养学生融会贯通所学理论，训练解决工程实际问题的重要手段之一。

本书拟通过在阐明电力系统基本概念、基本理论和计算方法的基础上，对计算机在电力系统分析计算中的应用也作了介绍，拟通过解典型的计算题和概念题，帮助学生加深对电力系统基本理论的理解，提高计算能力和解决问题的能力，全书精选了各类题目，其中大部分为例题，留有少量习题，并配有答案或提示，供读者练习用。

本书参照有关《电力系统分析》课程基本教学要求，紧密结合教学，贴近工程实际，注重题型的典型性和启发性，有一定的广度和深度，比如列举了一些研究生考题和个别比较难的题目。题目主要来自编者多年以来教学中使用的习题、试题和近年国内有关电力系统教材，以及工程实际中的问题。

本书分章归纳了基本原理和计算方法，指出重点和基本要求，围绕予此编写习题，给出解题方法和思路，题目量大面广，以例题为主，计算题为主，可读性强，实用面宽。因此，本书可作为高等院校《电力系统分析》课程教学用书，也可供有关工程技术人员继续学习和函授、自学者使用。

鉴于编者时间仓促，水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2006年12月于拉萨

内 容 提 要

本书可以作为电力电气类高等职业技术学院《电力系统分析》课程的教材，本书拟通过在阐明电力系统基本概念、基本理论和计算方法的基础上，对计算机在电力系统分析计算中的应用也作了介绍，通过解答典型的计算题，帮助学生加深对电力系统基本理论的理解，提高计算能力和解决实际问题的能力，例题和习题部分精选了各类题目，其中大部分为例题，留有少量习题，并配有答案或提示，供读者练习用。题目遵循由简到繁、由易到难的原则，注重实用，使用方便。

本书可作为高等职业技术学院《电力系统分析》课程教学用书，也可供有关工程技术人员继续学习和函授、自学者使用。

目 录

第一章 电力系统的基本概念.....	1
理论部分.....	1
例题与习题部分.....	8
第二章 电力系统计算基础.....	10
理论部分.....	10
例题与习题部分.....	17
第三章 简单电力系统的潮流分析.....	40
理论部分.....	40
例题与习题部分.....	52
第四章 电力系统的计算机算法.....	83
理论部分.....	83
例题与习题部分.....	121
第五章 电力系统短路的基本知识.....	148
理论部分.....	148
例题与习题部分.....	156
第六章 电力系统三相短路.....	164
理论部分.....	164
例题与习题部分.....	200
第七章 电力系统不对称短路.....	226
理论部分.....	226
例题与习题部分.....	261
第八章 电力系统的稳定性.....	278

理论部分.....	273
例题与习题部分.....	310
第九章 电力系统的频率及其调整.....	327
理论部分.....	327
例题与习题部分.....	340
第十章 电力系统的电压及其调整.....	348
理论部分.....	348
例题与习题部分.....	366
第十一章 电力系统的经济运行.....	380
理论部分.....	380
例题与习题部分.....	400
附录 I 常用网络变换的基本公式.....	408
附录 II 短路电流周期分量计算曲线数字表.....	409
附录 III 电力电容器型号及参数.....	414
附录 IV 架空线型号及参数.....	415
附录 V 铜芯三芯电缆的感抗和电纳.....	419
附录 VI 电力变压器型号及参数.....	420

第一章 电力系统的基本概念

理 论 部 分

1.1 电力系统的组成

生产、输送、分配、消耗电能的发电机、变压器、电力线路、各种用电设备联系在一起组成的整体叫电力系统。如果把发电厂的动力部分、水电厂的水轮机和水库或核电厂的反应堆和汽轮机等包括进来，就称为动力系统。电力系统中输送和分配电能的部分叫电力网。动力系统、电力系统和电力网的示意图如图 1-1 所示：

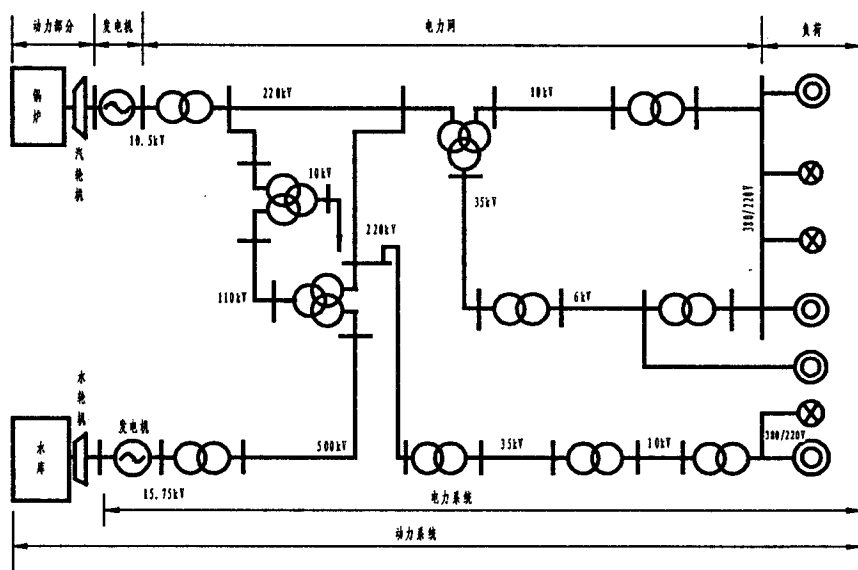


图 1-1 动力系统、电力系统和电力网示意图

电力系统与别的工业系统相比较，具有如下的特点：

1. 电能与国民经济各部门及人民生活关系密切；
2. 电能不能大量储存；
3. 电力系统暂态过程非常短暂。

根据这些特点，对电力系统运行的基本要求有以下三个方面：

1. 保证安全可靠的供电；
2. 保证良好的电能质量；
3. 保证电力系统运行的经济性。

1.2 电力系统的负荷

1. 系统综合最大用电负荷

电力系统在一定时间段内（如一月、一年）的最大负荷值称为该时段的系统综合最大用电负荷。时段内其余负荷值称为系统综合用电负荷。系统综合最大用电负荷值一般小于全系统各用户最大负荷值的总和，即

$$P_{\sum \max} = \sum P_{\max} \quad (1-1)$$

式中 $P_{\sum \max}$ ——系统综合最大用电负荷；

K_0 ——同时率， $K_0 \leq 1$ ，根据实际统计资料或查设计手册确定；

$\sum P_{\max}$ ——各用户最大负荷值的总和。

2. 系统供电负荷

系统综合用电负荷加上对应时刻的网损就是该时刻系统应供电的负荷，称为系统供电负荷。其计算公式如下：

$$P_s = \frac{1}{1 - K_l} P_{\sum} \quad (1-2)$$

式中 P_s ——系统供电负荷；

$P_{\sum}$ ——系统综合用电负荷；

K_l ——网损率，根据实际统计资料或查设计手册确定。

3. 系统发电负荷

系统各发电机发出的功率叫系统发电负荷。它等于系统供电负荷加上发电厂厂用电。其计算公式如下：

$$P_g = \frac{1}{1 - K_p} P_s \quad (1-3)$$

式中 P_g ——系统发电负荷；

K_p ——厂用电率，根据实际统计资料或查设计手册确定。

4. 系统负荷曲线

负荷曲线是指某一时间段内负荷随时间而变化的规律。负荷曲线根据不同的分类法可以分为功率负荷曲线、时间（日、年）负荷曲线和计量对象负荷曲线。重点在电力系统有功日负荷曲线和有功年负荷曲线：

(1) . 系统有功日负荷曲线

连续形和阶梯形有功日负荷曲线如图 1-2:

有功日负荷曲线的最大值称为日最大负荷 $P_{\max}$ (峰荷), 最小值称为日最小负荷 $P_{\min}$ (谷荷), 曲线下的面积就是一天负荷所消耗的电能。即

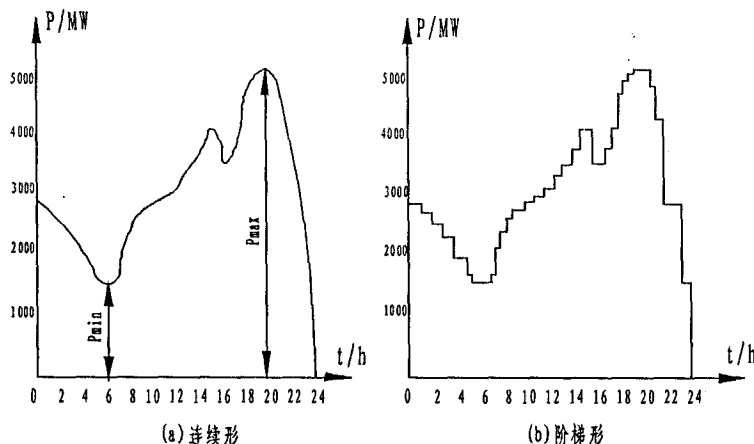


图 1-2 电力系统有功日负荷曲线

$$W_d = \int_0^{24} p(t) dt \quad (1-4)$$

因此, 日平均负荷为

$$P_{av} = \frac{W_d}{24} = \frac{1}{24} \int_0^{24} p(t) dt \quad (1-5)$$

有功日负荷曲线的起伏特性, 常用日负荷率和日最小负荷率两个指标来表征。

日负荷率

$$\gamma = \frac{P_{av}}{P_{\max}} \quad (1-6)$$

日最小负荷率

$$\beta = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \quad (1-7)$$

(2) . 系统有功年负荷曲线

一般指有功年最大负荷曲线, 如图 1-3 所示。主要用来安排发电设备的检修计划, 同时也为电源扩建、新建安排提供依据, 图中阴影面积 A 代表检修机组容量和检修时间的乘积, B 是新装机组容量。

图 1-4 是年持续负荷曲线, 用来安排发电计划、计算电能损耗和进行可靠性估算。图中表示全年有 t_1 小时有功负荷最大值为 P_1 , 有 t_2 小时有功负荷为 P_2 ,

有 t_3 小时有功负荷为 P_3 。年负荷曲线下面的面积，即为负荷全年消耗的电能：

$$W = \int_0^{8760} p(t) dt \quad (1-8)$$

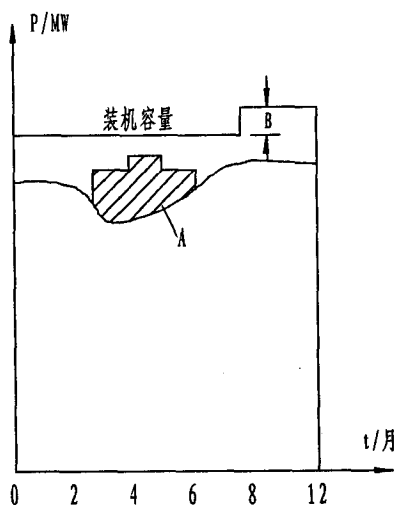


图1-3 电力系统有功年负荷曲线

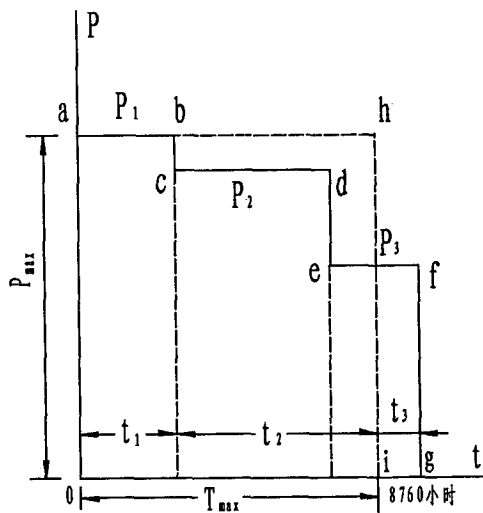


图1-4 年持续负荷曲线

表征年持续负荷曲线起伏特性的主要指标是年最大负荷利用小时 $T_{\max}$ 。其定义式为：

$$T_{\max} = \frac{W}{P_{\max}} = \frac{1}{P_{\max}} \int_0^{8760} p(t) dt \quad (1-9)$$

对于图 1-4 所示的年持续负荷曲线，若使矩形面积 oahio 同面积 oabcdefgo 相等，则线段 oi 长度等于 $T_{\max}$ 。

5. 系统负荷的复功率表示法

本书采用国际电工委员会推荐的约定，即感性无功 Q_p 为正、容性无功 Q_p 为负，电源发出感性无功 Q_p 为正、吸收感性无功 Q_p 为负。

1.3 电力系统的结线方式

1. 电力系统电气结线图

详细表示出电力系统各主要元件之间的电气联系，不反映相对的地理位置。

2. 电力系统电气结线图

只按照比例绘制发电厂、变电所相对地理位置和线路路径，但不反映各主要元件详细的电气联系。

3. 电力系统无备用结线图

变电站（用户）只能从一条线路上获得电能。这类结线简单，投资少，运行维护方便；但供电可靠性较低，末端电压可能偏低。

4. 电力系统有备用结线图

变电站（用户）可以从两条（或两条以上）线路上获得电能。这类结线运行方便，供电可靠性和电压质量高；但设备费用显著增大，调度较无备用结线难度增加。在电力系统分析计算中，有时又将电力系统结线分为开式网络和闭式网络。凡电站（用户）只能从一个方向获得电能的网络叫开式网络；凡电站（用户）可以从两个（或两个以上）方向获得电能的网络叫闭式网络。开式和闭式网络，在运行、计算方面都有所不同。

1.4 电力系统的额定电压

1. 电力系统的额定电压等级

我国国家标准规定的额定电压等级如表 1-1 所示。

表 1-1 额定电压等级（单位：kV）

用电设备额定线电压	交流发电机线电压	变压器线电压	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	13.8	13.8	
	15.75	15.75	
	18	18	
35		35	38.5
60*		60	66
110		110	121
220		220	242
330*		330	363
500		500	550

注 1：60、330 kV 电压等级不是全国统一的额定电压等级。

注 2：我国 500 kV 特高压电压等级选择尚在研讨中。

从表中可以看出：同一电压等级下各种设备的额定电压值并不完全相等，这是为了各设备额定电压之间的互相配合；电力线路的额定电压和用电设备额定电压相等，这一电压即称为电网的额定电压，如 10 kV 电网、110 kV 电网等；发电机额定电压比电网电压高 5%，这是为了使线路末端电压不低于额定值的 95%；变压器额定电压的规定较为复杂，一次绕组额定电压与电网额定电压相等，但直接与发电机连接时，其额定电压与发电机额定电压相等，又由于变压器二

次侧额定电压定义为空载时电压，当变压器满载时内部电压降约为 5%，所以变压器二次侧额定电压应比电网额定电压高 10%，只有内阻抗小于 7.5% 的小型变压器和供电距离很短的变压器，二次侧额定电压才较电网额定电压高 5%。

2. 电力网额定电压等级的选择

表 1-2 各级电压与输送容量、输送距离的关系

额定电压/kV	输送容量/MW	输送距离/km
0.38	0.1 以下	0.6 以下
3	0.1-1	1-3
6	0.1-1.2	4-15
10	0.2-2	6-20
35	2-10	20-50
110	10-50	50-150
220	100-500	100-300
330	200-1000	200-600
500	1000-1500	150-850

根据运行和设计经验，各级电压与输送容量、输送距离的关系如表 1-2 所示。《电力系统设计手册》中列有负荷矩（线路输送功率和输电距离的乘积）与各电压等级的对照表，本书从略。

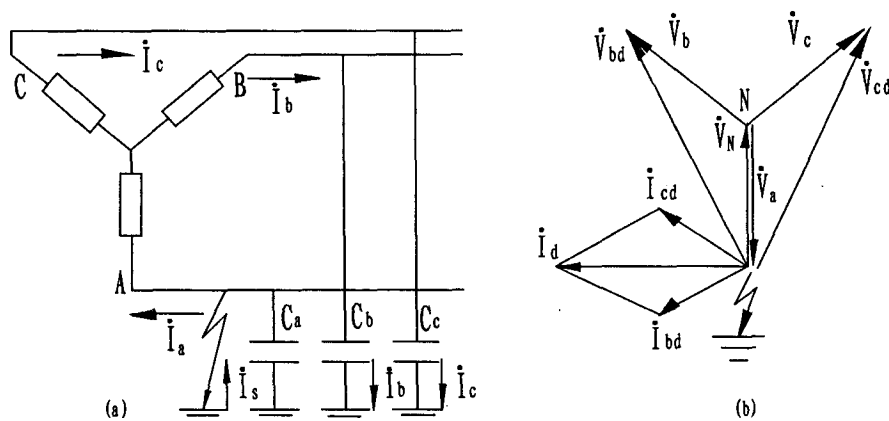


图 1-5 中性点不接地系统
(a) 等值电路 (b) 相量图

1.5 电力系统中性点的接地方式

1. 中性点不接地系统

电力系统的中性点指星形联结的变压器或发电机的中性点。中性点不接地系统的等值电路和相量图如图 1-5 所示。在正常运行时， $\dot{U}_N = 0$ 。

当 A 相接地短路时

$$\dot{V}_{ad} = 0$$

$$\dot{V}_N = -\dot{V}_a$$

$$\dot{V}_{bd} = \dot{V}_N + \dot{V}_b = -\dot{V}_a + \dot{V}_b$$

$$\dot{V}_{cd} = \dot{V}_N + \dot{V}_c = -\dot{V}_a + \dot{V}_c$$

$$\dot{V}_{bd} = \dot{V}_{cd} = \sqrt{3}\dot{V}_a$$

由图 1-5 可见, 短路点接地电流有效值为

$$I_d = \sqrt{3}\sqrt{3}V_p / X_C = 3V_p \omega C_0 \quad (1-10)$$

式中 V_p ——相电压; C_0 ——每相对地电容。

所以, 单相接地短路时线间电压不变, 受电器工作不受影响, 系统可以继续供电。一般允许运行时间不超过 2 小时。

2. 中性点经消弧线圈接地系统

根据设计和运行经验, 对 3kV 到 60kV 的网络, 单相接地电流超过下列数值时, 中性点应装设消弧线圈:

3kV-6kV 网络	30A
10kV 网络	20A
35V-60kV 网络	10A

系统正常运行时, 消弧线圈不起作用, 当系统发生单相接地时, 消弧线圈电流与接地点电容电流相互抵消、补偿, 可以使接地点电流很小, 甚至为零。根据消弧线圈的电感电流对接地电容电流补偿程度的不同, 我们把这种补偿方式分为三种:

(1) 全补偿: $I_L = I_d$; (2) 欠补偿: $I_L < I_d$; (3) 过补偿: $I_L > I_d$ 。

3. 中性点直接接地系统

4. 各种接地方式的比较及应用范围

大电流接地(中性点直接接地)系统和小电流接地(中性点不接地和中性点经消弧线圈接地)系统比较, 有以下优、缺点:

优点: (1) 电力系统的绝缘水平, 大电流接地系统按相电压考虑, 而小电流接地系统需要按线电压考虑; (2) 大电流接地系统单相接地短路电流大, 继电保护简单、可靠, 不易扩大事故, 而小电流接地系统接地保护尚不完满, 延长了故障的消除时间; (3) 大电流接地系统便于发展。

缺点: (1) 大电流接地系统的供电可靠性低于小电流接地系统; (2) 大电流接地系统的电力线与通讯线之间必须保持一定的距离, 而小电流接地系统则无此问题; (3) 大电流接地系统单相接地短路电流很大, 有的系统如不采取措施, 会引起系统电压剧烈下降, 可能导致系统稳定的破坏, 而小电流接地系统

则无此问题。

在我国实际的电力系统中，不同中性点接地方式的应用范围大致如下：

3-10kV，一般多采用中性点不接地方式；

35-60kV，一般多采用中性点经消弧线圈接地方式；

110kV，一般多采用中性点不接地方式；

220kV，一般多采用中性点不接地方式。

1.6 电力线路的结构

电力线路按结构型式分架空输电线路和地下电缆线路两种。

例题与习题部分

1-1 动力系统、电力系统和电力网有什么区别？

1-2 电力工业的特点是什么？

1-3 对电力系统的基本要求是什么？大型电力系统有何优越性？

1-4 电力系统的地理结线图和电气结线图有什么区别？

1-5 电力系统有哪些结线方式？各自有何优点？

1-6 我国电力网有哪些标准电压等级？确定标准电压等级时主要考虑哪些因素？

1-7 当输送功率较大（输送距离不变）应采取何种措施？

[答]

在输送距离和输送电压等级一定的条件下，输送功率愈大，线路上的电能损耗就愈大，所以，在输送距离不变而输送功率较大时，可以采取适当提高输送电压等级来降低线路上的电能损耗。

1-8 电力系统中性点运行方式有几种？各自适用于何种情况？

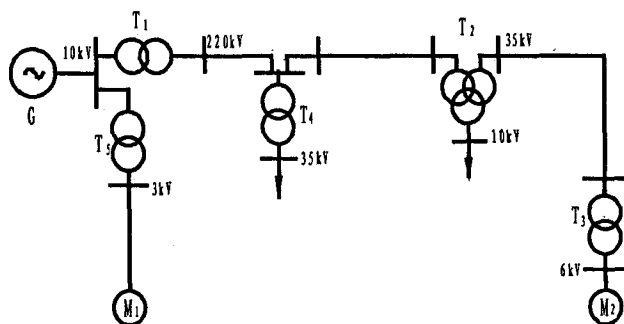


图 1-6

1-9 什么是欠补偿和过补偿？

1-10 试标出图 1-6 中发电机、电压器、电动机的额定电压。

[参考答案]

G: 10.5kV, T_1 : 10.5/242kV, T_2 : 220/38.5/11kV, T_3 : 3.5/66kV, T_4 : 220/38.5kV, T_5 : 10.5/33kV, M_1 : 3kV, M_2 : 6kV。

1-11 什么是综合用电负荷？

1-12 什么是负荷曲线？它们是如何分类的？

1-13 电路图如图 1-7 所示，证明单相接地电流为 $\dot{I}_a = j3V_a\omega C$ 。

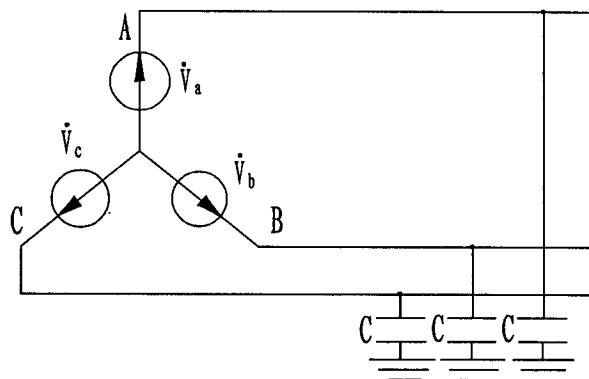


图1-7

1-14 最大负荷利用小时数 $T_{\max}$ 的意义是什么？

1-15 请根据自己的理解，谈谈电力系统可靠、优质、经济运行的意义。

第二章 电力系统计算基础

理 论 部 分

2.1 电力线路的参数及等值电路

1. 架空输电线路的参数

(1) 电阻 单位长度有色金属导线的直流电阻为

$$r_1 = \frac{\rho}{S} \Omega / km \quad (2-1)$$

式中: ρ ——导线电阻率 ($\Omega mm^2 / km$); S ——导线载流部分标称截面积 (mm^2)。

电力系统计算中使用的电阻率比铜、铝材料的直流电阻率略大, 铜用 $18.8 \Omega mm^2 / km$, 铝用 $31.5 \Omega mm^2 / km$ 。在实际应用中, 导线的电阻通常可以从产品目录或手册中查得。上式算得或手册中查得的电阻值, 都是 $20^\circ C$ 时的电阻值。当线路实际运行温度异于 $20^\circ C$ 而为 $t^\circ C$ 时, 用下式进行修正

$$r_t = r_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \quad (2-2)$$

式中: r_t 、 r_{20} —— $t^\circ C$ 、 $20^\circ C$ 时的电阻; α ——电阻的温度系数; 对于铜质导线,

$\alpha = 0.00382(1/^\circ C)$, 对于铝质导线, $\alpha = 0.0036(1/^\circ C)$ 。

(2) 电抗 输电线路相应的电感产生其电抗。

a. 单导线

$$x_1 = 0.1445 \lg \frac{D_{eq}}{r} + 0.0157 \mu_r \Omega / km \quad (2-3)$$

式中: r ——导线的半径 (mm 或 cm); μ_r ——导线材料的相对导磁系数, 对于铜和铝 $\mu_r = 1$; D_{eq} ——三相导线几何均距, 单位与 r 相同。

近似计算时, $35kV$ 及以上线路可取 $x_1 = 0.4 \Omega / km$, $6-10kV$ 及以上线路可取