

21 世纪电子电气工程师系列

电机电器

双色

(日) 正田英介 主编
吉永 淳 编著

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

电机电器

〔日〕 正田英介 主编 吉永 淳 编著
冯 浩 译



图字:01-2000-4329 号

Original Japanese edition

Arute 21 Denki Kiki

by Kiyoshi Yoshinaga Tsunefuke et al.

Copyright © 1997 by Kiyoshi Yoshinaga

Published by Ohmsha, Ltd.

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

Copyright © 2001

All rights reserved.

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

アルテ21

電気機器

吉永 淳 オーム社 1997

图书在版编目(CIP)数据

电机电器/[日]吉永 淳编著;冯浩译. -北京:科学出版社,2001

(21世纪电子电气工程师系列/[日]正田英介主编)

ISBN 7-03-009301-1

I. 电… II. ①吉… ②冯… III. ①电力系统-基本知识②电动机-基本知识

IV. ①TM7②TM32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 16090 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 各地新华书店经售

2001 年 6 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2001 年 6 月第一次印刷 印张: 64/8

印数: 1—5 000 字数: 194 000

定 价: 19.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

主编的话

当今,电子设备已广泛应用于国民经济的各个领域。为了用好这些电子设备,科技人员必须掌握电子技术方面的有关知识。目前,电子技术的应用领域也在迅速扩展,人材需求量很大的状况一直没有改变。因此对电子工程专业的毕业生有必要从应用的角度进行二次培训,也有必要为非电专业的技术工作者学习电气电子技术的基础知识创造更多的机会。

为了适应这一形势的需要,组织编写了“21 世纪电子电气工程师系列”丛书,目的是要编写一套全面系统介绍电子电气专业基础知识的,既适用于企业技术人员培训,也适于非电专业技术人员阅读的新型教科书。丛书编委都是在日本有名的电子电气企业中长期从事职工教育培训的专家,丛书结构及各册内容均由编委会讨论决定。

本套丛书的特点首先表现在教材内容紧密联系实际。通过产品和技术模型说明基础知识与产品、系统的关系,通过具体产品的结构和系统中所发生的现象说明其工作原理或理论。另外,本丛书的所有执笔者均为在相应企业中长期从事实际技术工作或从事职工教育工作的专家,所以,具有丰富的实际经验,书中的举例和例题都是他们多年工作经验的结晶。

此外,在电子技术的专业教学中,由于所涉及内容非常广泛,所以以往在对教学内容细化的同时常常忽略了对基础内容的充分消化。本丛书充分注意到了这一问题,从现象入手说明原理,从而保证了基础知识易学易懂,教材内容紧密联系实际。本丛书还可用于大专院校的专业课教学。

由于受产业全球化和社会环境的影响,21 世纪的工程学科必将会发生巨大的变化。读者通过对本套丛书的学习,可以对新时代的电子技术知识有较系统的了解,并在各种领域的产品和系统的革新中充分发挥自己的聪明才智。

东京理科大学教授,工学博士

正田英介

21 世纪电子电气工程师系列

编辑委员会

主 编 正田英介(东京大学)

编 委 楠本一幸(株式会社东芝)
岛田 弥(三菱电机株式会社)
高木正藏(东芝综合人材开发株式会社)
常深信彦(株式会社日立制作所 日立京滨工业专科学院)
丹羽信昭(东京电力株式会社 东电学园)
春木 弘(富士电机株式会社)
吉冈芳夫(株式会社日立制作所)
吉永 淳(福井工业大学 前三菱电机株式会社)

执 笔 渡部洋司(株式会社东芝)
棚山正树(三菱电机株式会社)
滨田充弘(株式会社日立制作所 日立茨城工业专科学院)
吉永 淳(福井工业大学 前三菱电机株式会社)
奥山吉彦(株式会社富士电机综合研究所)
大西和夫(日本伺服株式会社)
萩野弘司(日本伺服株式会社)
山下庆次郎(株式会社东芝)
中山宜长(株式会社东芝)
篠原裕文(株式会社东芝)

前 言

在我们的日常生活中,电能已被广泛使用。为了电能的产生和分配、为了有效利用电能,并把电能充分应用于我们日常生活中就需要用电器设备。从这种意义上,可以说世上的电器大小不一、品种多样。

本书主要介绍从发电到供电各环节中所用的主要电器,以及把电能转换成机械能的电动机,并介绍近年随着电子产品的普及而大量使用的小型电动机及最新发展起来的各种电池。掌握这些电机电器的基本知识,是深入理解电机电器工作原理的重要一步。

本书第1章“电力系统与保护”主要介绍电力系统的构成与运行,以及为了实现安全、高效供电所采取的控制技术与保护技术;第2、3、4、5章分别介绍了将水能、热能、原子能转换成电能的“发电机”,进行电压、电流变换的“变压器”,以及电力系统的调相设备、电网中用的“电力系统常用设备”,输配电系统中起开关、保护作用的“开关保护装置”。将分别介绍这些电机电器的原理、结构、特性等基本技术以及运行原理。

第6章“交通、产业中的电动机”,主要介绍电动机使用的概况,直流电动机、感应电动机的原理、结构、特性,以及应用广泛的调速系统、逆变器驱动的基本特点。第7章“电子产品、日用家电中的电动机”,介绍现在世界上日产量达到数百万台的各种小型电动机,在介绍其结构与特性、特征的同时,还介绍了在计算机等电子产品、VTR、CD等AV产品、OA产品、家电设备及汽车中,使用这些小型电机的条件及实际使用中的有关技术。

第8章主要介绍作为电子设备电源的一次电池,在今后将起重要作用的电动汽车及储能用二次电池,作为独立电源、发电及废热供暖系统中应用的燃料电池,作为绿色独立电源的太阳能电池等的相关基础知识。

担任本书各章节编写是:第1章 渡部洋司,第2章 棚山正树,第3、4章 滨田充弘,第5章 吉永 淳,第6章 奥山吉彦,第7章 大西和夫、萩野弘司,第8章 山下庆次郎、中山宜长、篠原裕文。

因为本书各章节互相独立,读者可根据需要有选择地学习有关章节。

特别对于希望学习电器基本知识与使用方法的读者,本书正好能发挥作用。

最后,在本书出版之际,对于主编东京大学正田英介教授及各位编委,以及欧姆社(OHMSHA)有关人士给予的支持表示衷心的感谢。

吉永 淳

目 录

第 1 章 电力系统与保护

1.1	电力系统的构成与运行	1
1.1.1	从发电到用电	1
1.1.2	电力系统的基本构成	2
1.1.3	日本的输电电压与系统连接	3
1.1.4	电力系统的特征	5
1.1.5	电力系统设备	6
1.1.6	电力系统的运行	7
1.2	电压与功率因数	9
1.2.1	负载对系统电压的影响	9
1.2.2	系统电压的控制	9
1.3	异常运行	10
1.4	系统故障与保护	11
1.4.1	电力系统的故障现象	11
1.4.2	系统故障时的电压与电流	12
1.5	保护继电器	14
1.5.1	保护继电器	14
1.5.2	主保护与后备保护	16
1.5.3	保护连动	18
1.5.4	继电器的保护方式	18
1.5.5	数字继电器	20
	练习题	22

第 2 章 发电机

2.1	发电原理	23
-----	------	----

2.1.1	交流电动势的产生原理	23
2.1.2	同步发电机	24
2.1.3	同步发电机的基本结构	24
2.1.4	频率与转速、极数的关系	24
2.1.5	三相同步发电机的接线	24
2.1.6	同步发电机电压的求法	25
2.2	同步发电机的结构	26
2.2.1	水轮发电机的结构	26
2.2.2	水轮发电机的通风系统与冷却	28
2.2.3	汽轮发电机的结构	29
2.2.4	汽轮发电机的通风系统与冷却	30
2.3	同步发电机的特性与运行	32
2.3.1	同步发电机的特性曲线与铭牌	32
2.3.2	同步发电机的矢量图	34
2.3.3	同步发电机的输出特性与运行范围	34
2.3.4	短路比	35
2.3.5	同步发电机的电抗与时间常数	36
2.3.6	短路现象	36
2.3.7	其他运行时的各种现象	37
2.4	同步发电机的励磁方式	38
2.4.1	励磁机的作用	38
2.4.2	励磁方式	38
2.4.3	励磁装置的特性	40
2.4.4	自动电压调整装置的作用与组成	42
2.5	同步发电机的附属装置	42
2.5.1	氢气、密封油控制装置的作用与组成	42
2.5.2	定子冷却水装置的作用与组成	43
2.6	其他发电机、同步调相机	43
2.6.1	感应发电机的工作原理	43
2.6.2	同步调相机的作用与工作原理	43
2.7	发展中的同步发电机的新技术	45

2.7.1 面向水力发电厂的调速发电机	45
2.7.2 超导发电机	46
练习题	47

第3章 变压器

3.1 变压器的工作原理	51
3.1.1 变压器	51
3.1.2 理想变压器	51
3.1.3 实际变压器	54
3.2 变压器的结构	56
3.2.1 变压器的分类	56
3.2.2 铁芯的结构	57
3.2.3 绕组的结构	58
3.2.4 冷却方式	59
3.3 变压器的特性	60
3.3.1 等效电路与矢量图	60
3.3.2 电压变化率	62
3.3.3 等效电路参数的求法	62
3.3.4 损耗及效率	64
3.4 变压器的接线方式与运行	65
3.4.1 变压器的极性	65
3.4.2 变压器的接线方式	65
3.4.3 变压器的并联运行条件	66
3.5 特殊变压器	67
3.5.1 起动变压器	67
3.5.2 整流变压器	67
3.5.3 车载变压器	67
3.5.4 接地变压器	67
3.6 电压调整的目的	69
3.6.1 电压调整的目的与变压器抽头的关系	69

3.6.2	负载时的电压调整方式	69
3.6.3	负载时抽头切换方式与结构	69
练 习 题		70

第4章 电力系统常用电器

4.1	电容器的构造与用途	71
4.1.1	电容器的种类与基本特性	71
4.1.2	电容器的结构	73
4.1.3	电容器的特性	74
4.1.4	电力电容器的用途	75
4.2	电抗器的结构与用途	79
4.2.1	电抗器的分类	79
4.2.2	电抗器的结构与特性	79
4.2.3	主要种类的电抗器的用途与结构	81
4.3	电线、电缆	82
4.3.1	裸 线	82
4.3.2	电磁线	83
4.3.3	绝缘线	83
4.3.4	电力电缆	84
练 习 题		85

第5章 开关保护装置

5.1	开关保护装置的动作原理与种类	87
5.1.1	各种开关电器	87
5.1.2	断路器的作用	88
5.2	交流断路器与隔离开关	89
5.2.1	电流切断过程	89
5.2.2	电流切断时的过渡过程	89
5.2.3	断路器的类型选择	90

5.2.4	断路器的操作(驱动)	93
5.2.5	断路器必要的性能	94
5.2.6	隔离开关	95
5.3	避雷器	96
5.3.1	过电压与产生原因	96
5.3.2	怎样抑制过电压	96
5.3.3	氧化锌元件避雷器的结构	97
5.3.4	避雷器的各种使用方法	98
5.4	开关装置	99
5.4.1	气体绝缘开关装置的结构	99
5.4.2	气体绝缘开关装置的特点	100
5.4.3	其他开关装置	101
5.5	供配电设备中的开关电器	102
5.5.1	供配电设备的组成	102
5.5.2	供配电设备中的开关电器	103
5.5.3	配电线用断路器(MCCB)	104
练习 题		107

第 6 章 交通、产业中的电动机

6.1	电动机及其使用	109
6.2	直流电动机	111
6.2.1	直流电动机的工作原理	112
6.2.2	直流电动机的励磁方式与其特性关系	114
6.2.3	电枢反应与换向	115
6.3	感应电动机	117
6.3.1	感应电动机的工作原理	117
6.3.2	感应电动机的种类与结构	122
6.3.3	感应电动机的特性与用途	126
6.4	交流调速	129
6.4.1	PWM 逆变器的工作原理	129

6.4.2	用 PWM 逆变电源驱动的笼型感应电动机	132
6.4.3	用 PWM 逆变电源驱动同步电动机	134
6.4.4	逆变电源驱动时的注意事项	135
6.5	直线电动机	136
	练习题	138

第 7 章 电子器械、日用家电中的电动机

7.1	电子器械中使用的电动机	139
7.1.1	用于计算机外围设备的电动机	139
7.1.2	用于办公设备的电动机	140
7.1.3	用于 AV 设备的电动机	142
7.2	日常生活中使用的电动机	143
7.2.1	用于家电的电动机	143
7.2.2	汽车用电磁机构	145
7.3	有刷永磁直流电动机	147
7.3.1	永磁直流电动机的特性	147
7.3.2	各种结构直流电动机的特征与用途	148
7.4	无刷直流电动机	149
7.4.1	无刷直流电动机的工作原理	149
7.4.2	无刷直流电动机的种类与特征	151
7.4.3	单相无刷直流电动机	153
7.5	步进电动机	154
7.5.1	步进电动机的工作原理	154
7.5.2	永磁步进电动机的结构	156
7.5.3	步进电动机的特性	157
7.6	单相感应电动机	159
7.6.1	单相感应电动机的工作原理	159
7.6.2	电容电动机	159
7.6.3	其他单相感应电动机	161

7.7	单相交流整流子电动机	161
7.8	直线执行机构	163
7.8.1	LDM 的工作原理	164
7.8.2	VCM	165
7.8.3	LDM 的应用	165
7.9	汽车用交流发电机	166
	练习题	167

第 8 章 电 池

8.1	电 池	169
8.1.1	化学电池的发电原理	169
8.1.2	一次、二次电池	170
8.2	燃料电池	179
8.2.1	什么是燃料电池	179
8.2.2	燃料电池的种类与燃料改质	179
8.2.3	燃料电池本体的基本结构	180
8.2.4	燃料电池发电系统	181
8.3	太阳能电池	184
8.3.1	太阳能电池的工作原理	184
8.3.2	太阳能电池的特性	185
8.3.3	太阳能电池的种类与制造方法	188
	练习题	190

练习题解答	191
参考文献	197

第 1 章 电力系统与保护

电能是我们日常生活中不可缺少的重要能源。把发电厂的电能高品质地传输到工厂、铁路、大楼、家庭等用户时,电力系统发挥着重要的作用。本章将概要介绍电力系统的构成、主要电器及其功能,以及电力系统为实现高品质输配电所采用的控制方法与保护措施。

1.1 电力系统的构成与运行

1.1.1 从发电到用电

电力系统是由发电厂的发电设备、用户的用电设备,以及把电能从发电厂传输到用户的输配电网所构成。图 1.1 是电力系统的简单描述。发电部分是由发电厂以及相关的成套设备所组成,其作用是把水能、石油、煤炭、

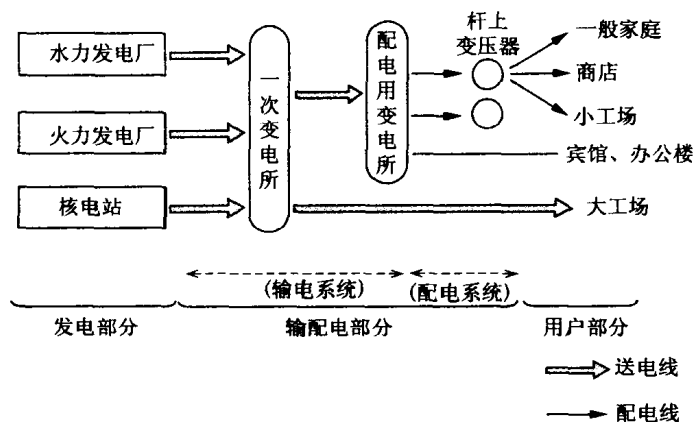


图 1.1 电力系统的概念

LNG、原子能等能源的能量转换成电能。输配电设备是由输电系统(从发电厂到变配电所)与配电系统(从配电变电所到用户)所组成。变电所把发电厂的电能转换成适当的电压分配给下一级用户,一次变电所把超高压等很高的电压变换成 66kV,配电变电所则进一步降到 6 kV 送到所需用户,负荷大的企业也有从一次变电所直接进行高压输电。

实际的电力系统由图 1.1 所示的各部分组成,为保证系统正常运行,系统还具有相当于神经系统的监视、控制设备以及保护设备和通信设备等,以确保电力系统的安全运行。

1.1.2 电力系统的基本构成

图 1.2 是具有代表性的电力系统模型。

如图 1.2 所示,A、B、C 是大容量的火力发电厂或核电站,承担着向电力系统所有负荷供电的任务。与此相对应,区域火力发电厂 E 是负责向区域附近的本地用户供电的发电厂。500kV 输电线或 275 kV 输电线称为**联络输电线**,把超高压变电所与大容量发电厂联接起来,传输着大量的电能。然后,由一次变电所放射状的输电线以 154 kV 或 66 kV 的电压把电能传输到用户。

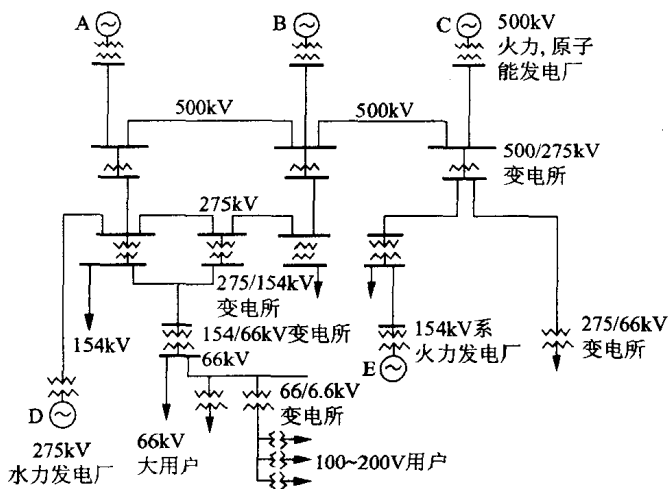


图 1.2 电力系统的构成

大容量发电厂由于场地的制约,往往远离大城市,所以,在日本联络输电线具有长距离、大容量的倾向。在这些重要设备中,一旦发生故障就会对整个电力系统产生严重的影响,所以,采取输电线的双回路进线或变电所母线多重化等对策以提高供电的可靠性。

从变电所到用户有各种供电电压等级。工厂或大楼等一般从变电所直接以 66 kV 或 22kV 供电,而对于一般家庭,则从配电变电所经 6 kV 配电线由柱上变压器变换成 200 V 或 100 V 进行供电。

● 1.1.3 日本的输电电压与系统连接

日本使用的输电电压如表 1.1 所示。

现在的最高输电电压是 500 kV,但东京电力公司的外环系统建造了按 UHV(100 kV)标准设计的铁塔,目前,先从 500 kV 开始运行。275kV 与 220 kV 电压在同一地区不并用,在主干线电压采用 154 kV 的地区高一档电压等级选用 275 kV,在主干线电压采用 110 kV 的地区作为高一档电压等级采用 220 kV 或者 187 kV。

表 1.1 日本的输电电压

公司名	超高压/kV		一次系统/kV	二次系统/kV		
北海道电力公司	—	275	187	110	—	— 66 — 22
东北电力公司	500	275	—	154	—	77 66 — 33 22
东京电力公司	500	275	—	154	—	— 66 — 22
中部电力公司	500	275	—	154	—	77 — — 44 33 22
北陆电力公司	500	275	—	154	—	77 66 — — 22
关西电力公司	500	275	—	154	—	77 66 — — 33 22
中国电力公司	500	—	220	—	110	— 66 — — 33 —
四国电力公司	500	—	187	—	110	— 66 — — — 22
九州电力公司	500	—	220	—	110	— 66 — — 33 —
冲绳电力公司				132	—	— 66 — — — 13.8
电源开发公司	500	275	220 187	154	110	77 66 — — —

对于中性点接地方式,187 kV 以上系统为使电器的绝缘容易设计而采用直接接地方式;除 154 kV 以下的配电系统,为把系统设计成小电流接地方式而采取的高阻抗接地系统,配电系统一般选用不接地系统。