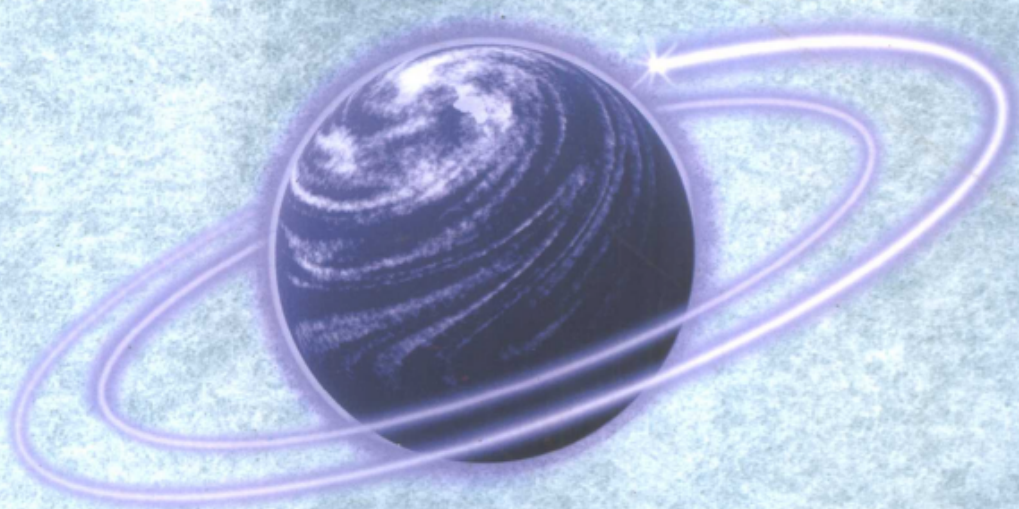




新世纪教改系列教材

电力电子技术

郭世明 黄念慈 主编



西南交通大学出版社

责任编辑 张华敏
封面设计 肖 勤



新世纪教改系列教材

- 工程概论
- 电力电子技术(电气类)
- 电路分析(电子、电气类)
- 微机原理及应用(电子、电气类)
- 微机检测与故障诊断技术(电子、电气类)

ISBN 7-81057-631-3



9 787810 576314 >

ISBN 7-81057-631-3/TM-290

定价: 27.00元

新世纪教改系列教材

电力电子技术

郭世明 黄念慈 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书主要论述电力电子技术的基础理论、应用技术以及电力变换电路的结构、参数计算和分析方法。内容包括:电力电子器件、相控整流电路、有源逆变电路、直流斩波电路、交流调压电路、无源逆变电路、开关电源电路、门(栅)极控制电路等。全书的内容编排以适合教学为主要目标,重点介绍电力电子技术的基本物理概念和分析方法,并适当体现电力电子技术的新内容。

本书为高等院校新世纪教改教材,适用于自动化专业、电气工程及其自动化专业以及其他相关电类专业的本科生,也可供电类工程技术人员及研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术 / 郭世明, 黄念慈主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2002.8
ISBN 7-81057-631-3

I. 电... II. 郭... III. 电力电子学—高等学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 008641 号

电力电子技术

郭世明 黄念慈 主编

*

出版人 宋绍南

责任编辑 张华敏

封面设计 肖勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行科电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787 mm × 960 mm 1/16 印张: 19.875

字数: 342 千字 印数: 1—3000 册

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-631-3/TM · 290

定价: 27.00 元

前 言

电力电子技术的应用已深入到工农业经济建设、交通运输、空间技术、国防现代化、医疗、环保和亿万人们日常生活的各个领域。一些技术先进的国家,经过电力电子技术处理的电能已达到总电能的一半或更多。由于进入 21 世纪后电力电子技术的应用更加广泛,因此对电力电子技术的掌握显得更为重要。

我们根据电力电子技术的发展,并结合教改成果编写了这本教材。编写这本教材的宗旨是,首先满足教学需要,其次是反映电力电子技术的一些新内容。根据这个宗旨,在内容的编排上,重点论述电力电子技术的基本内容(如相控整流、直流斩波、无源逆变等)、基本概念和分析方法。为了取得好的教学效果,除了每章附有习题外,还在每章增加了例题。

全书共分 8 章。第 1 章介绍电力电子器件的特性和参数;第 2 章介绍相控变流器。包括整流电路和有源逆变电路;第 3 章、第 4 章分别介绍直流斩波电路和交流调压电路;第 5 章介绍无源逆变电路;第 6 章、第 7 章分别介绍电力电子器件的门(栅)极控制电路和整流电路中主电路的参数选择;第 8 章介绍开关电源的原理。

本书由西南交通大学郭世明、四川大学黄念慈担任主编。绪论、第 3 章、第 6 章由郭世明编写;第 1 章、第 4 章由张代润编写;第 2 章由赵利华编写;第 5 章由郭小舟编写;第 7 章、第 8 章由黄念慈编写。全书由郭世明统稿。

由于作者水平所限,书中肯定有不妥甚至错误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2002 年 8 月

目 录

绪 论	1
-----------	---

1 电力电子器件的原理与特性

1.1 电力电子器件概述	7
1.1.1 电力电子器件的发展概况	7
1.1.2 电力电子器件的分类	7
1.2 功率二极管	9
1.2.1 功率二极管的工作原理	9
1.2.2 功率二极管的基本特性	10
1.2.3 功率二极管的主要参数	12
1.2.4 功率二极管的主要类型	13
1.3 晶闸管	13
1.3.1 晶闸管的结构与工作原理	14
1.3.2 晶闸管的特性	18
1.3.3 晶闸管的主要参数	21
1.3.4 晶闸管的主要类型	26
1.4 门极可关断晶闸管	27
1.4.1 门极可关断晶闸管的工作原理	27
1.4.2 门极可关断晶闸管的开通、关断过程和特性	30
1.4.3 门极可关断晶闸管的主要参数	31
1.5 功率场效应管	33
1.5.1 功率场效应管的工作原理	33
1.5.2 功率场效应管的特性	34
1.5.3 功率场效应管的安全工作区	36
1.5.4 功率场效应管的主要参数	37
1.6 绝缘栅双极型晶体管	37
1.6.1 绝缘栅双极型晶体管的工作原理	38
1.6.2 绝缘栅双极型晶体管的基本特性	39
1.6.3 绝缘栅双极型晶体管的擎住效应和安全工作区	40

1.6.4 IGBT 的主要参数	41
1.7 新型电力电子器件简介	41
习 题	43

2 相控整流电路

2.1 整流电路的概念	44
2.1.1 什么是整流电路	44
2.1.2 整流电路的分类	44
2.2 单相可控整流电路	45
2.2.1 单相半波可控整流电路	45
2.2.2 单相桥式全控整流电路	53
2.2.3 单相桥式半控整流电路	60
2.2.4 单相全波可控整流电路	65
2.3 三相可控整流电路	67
2.3.1 三相半波可控整流电路	67
2.3.2 三相桥式全控整流电路	75
2.3.3 三相桥式半控整流电路	82
2.4 整流变压器漏抗对整流电路的影响	86
2.4.1 换相期间的整流输出电压	86
2.4.2 换相压降 ΔU_d 的计算	88
2.4.3 换相重叠角 γ 的计算	88
2.4.4 可控整流电路的外特性	90
2.5 整流电路的有源逆变工作状态	91
2.5.1 逆变的概念	91
2.5.2 有源逆变产生的条件	93
2.5.3 三相有源逆变电路	94
2.5.4 逆变失败的原因及最小逆变角的限制	99
2.5.5 有源逆变的应用	102
2.6 整流电路的谐波和功率因数	106
2.6.1 整流电路的谐波分析	106
2.6.2 整流电路的功率因数	110
2.7 晶闸管直流电动机系统	111
2.7.1 整流状态下电动机的机械特性	112
2.7.2 逆变状态下电动机的机械特性	115

2.8 电力公害及改善措施	116
2.8.1 电力公害	116
2.8.2 网侧电流谐波的抑制技术	117
2.8.3 提高功率因数的方法	118
习 题	121
3 直流斩波器	
3.1 直流斩波器的工作原理及控制方式	124
3.1.1 工作原理	124
3.1.2 控制方式	127
3.2 直流斩波器基本电路	129
3.2.1 降压斩波器	129
3.2.2 升压斩波器	130
3.2.3 第二象限斩波器	131
3.2.4 多象限斩波器	131
3.3 采用全控型电力电子器件的斩波电路	134
3.3.1 可关断晶闸管 (GTO) 斩波器	134
3.3.2 GTR 斩波器	135
3.3.3 缓冲电路中元件参数的确定	138
3.4 采用半控型电力电子器件的斩波电路	140
3.4.1 斩波器的换流电路	140
3.4.2 电压换流型斩波器	141
3.4.3 电流换流型斩波器	145
3.5 直流斩波器的电路分析	149
3.5.1 降压斩波器	149
3.5.2 再生斩波器	153
3.6 多相多重斩波电路	154
习 题	156
4 交流调压电路和相控交—交变频电路	
4.1 单相交流调压电路	158
4.1.1 电阻负载	158
4.1.2 感性负载	160
4.2 三相交流调压电路	163

4.2.1 三相交流调压器正常工作的基本条件	164
4.2.2 电阻负载	164
4.2.3 感性负载	165
4.3 相控交—交变频电路概述	166
4.3.1 四象限变换装置	166
4.3.2 无环流型相控交—交变频电路	167
4.3.3 有环流型直接变频电路	168
4.3.4 相控交—交变频电路的特点	169
4.4 单相相控交—交变频电路	169
4.4.1 基本工作原理	169
4.4.2 整流工作状态与逆变工作状态	171
4.5 三相相控交—交变频电路	172
习 题	173
5 无源逆变电路	
5.1 无源逆变电路的原理	174
5.1.1 直—交逆变电路的基本原理	174
5.1.2 电压型逆变电路与电流型逆变电路	175
5.1.3 矩形波逆变电路与脉宽调制逆变电路	176
5.2 单相电压型逆变电路	177
5.2.1 单相半桥逆变电路	177
5.2.2 单相桥式逆变电路	179
5.2.3 单相桥式逆变电路输出电压的控制	181
5.2.4 带中心抽头变压器的逆变电路	183
5.3 三相电压型逆变电路	184
5.3.1 三相电压型逆变电路的结构与工作原理	184
5.3.2 三相电压型逆变电路的输出电压的控制	187
5.4 电流型逆变电路	188
5.4.1 电流型逆变电路的原理	188
5.4.2 单相并联谐振逆变电路	189
5.4.3 三相电流型逆变电路	191
5.5 逆变电路的多重化和三电平逆变电路	193
5.5.1 低次谐波的消除	194
5.5.2 多重化移相调压	196

5.5.3 三电平逆变电路	196
5.6 脉冲宽度调制	199
5.6.1 正弦脉宽调制的基本原理	200
5.6.2 正弦脉宽调制的实现	200
5.7 电压型脉宽调制逆变电路的控制	208
5.7.1 单相半桥 PWM 逆变电路的控制	208
5.7.2 单相桥式 PWM 逆变电路的控制	211
5.7.3 三相桥式 SPWM 逆变电路的控制	214
5.7.4 桥臂互锁时间对 PWM 逆变器特性的影响	218
5.8 其他的脉宽调制方法	219
5.8.1 PWM 的改进	219
5.8.2 电流跟踪 PWM	221
5.8.3 磁链跟踪 (磁通轨迹) 脉宽调制	222
习 题	225
6 电力电子器件的门 (栅) 极控制电路	
6.1 晶闸管门极触发电路	227
6.1.1 晶闸管对触发电路的要求	227
6.1.2 晶体管移相触发电路	228
6.1.3 其他环节	233
6.2 可关断晶闸管 (GTO) 的门控电路	240
6.2.1 对 GTO 门控电路的要求	240
6.2.2 GTO 门控电路的种类	240
6.3 GTR 的基极驱动电路	243
6.3.1 GTR 对基极驱动电路的要求	243
6.3.2 GTR 驱动电路的组成和实例	244
6.3.3 GTR 驱动模块 UAA4002	246
6.4 功率 MOSFET 的栅极驱动电路	247
6.4.1 功率 MOSFET 对栅极驱动电路的要求	247
6.4.2 功率 MOSFET 的栅极驱动电路	248
6.5 IGBT 的栅控电路	250
6.5.1 对 IGBT 栅控电路的要求	250
6.5.2 用于 IGBT 栅极驱动的厚膜集成电路	251
习 题	257

7 相控整流主电路参数的计算和设计

7.1 整流变压器参数的计算	259
7.1.1 二次侧相电压	259
7.1.2 二次侧相电流 I_2 和一次侧相电流 I_1	263
7.1.3 二次容量 S_2 、一次容量 S_1 和平均计算容量 S (视在容量) ...	263
7.2 整流元件的选择	264
7.2.1 整流元件的额定电压 U_N (断态重复峰值电压)	264
7.2.2 整流元件的额定电流 $I_{T(av)}$ (通态平均电流)	265
7.3 晶闸管的串联与并联	265
7.3.1 晶闸管的串联	266
7.3.2 晶闸管的并联	268
7.3.3 成组串联和成组并联	270
7.4 电抗器参数的计算	270
7.4.1 限制输出电流脉动的电感量 L_m	271
7.4.2 维持输出电流连续时电抗器的临界电感量 L_l 的计算	272
7.4.3 电动机电感量 L_D 和变压器漏电感 L_B 的影响	272
习 题	274

8 开关电源

8.1 开关电源的基本原理	276
8.2 单端反激型直流稳压电源	278
8.2.1 单端反激型变换器的工作原理	279
8.2.2 电流控制型 PWM 控制集成电路 UC3842	284
8.2.3 单端反激型直流稳压电源实例	286
8.2.4 变压器的设计	287
8.3 全桥式大功率开关电源	290
8.3.1 全桥式变换器的主回路拓扑结构和工作原理	290
8.3.2 双路输出的 PWM 控制集成电路 UC3525	293
8.3.3 实用的全桥式大功率开关电源	296
8.3.4 桥式变换器高频变压器的设计	300
8.4 开关电源技术的发展现状	304
习 题	305

参考文献	307
------------	-----

绪 论

1. 什么是电力电子技术

电力电子技术是一种应用半导体器件进行电能变换的技术，是一种通过半导体器件把“粗电”加工成“精电”的技术。

电力电子技术是弱电和强电之间的接口，是弱电控制强电的技术，它与电气技术、电子技术、控制技术、控制理论等学科有着密切的联系。

不同负载对电源有着不同的要求，而从电网获得的交流电和从蓄电池获得的直流电往往不能满足要求，这就需要电能的变换。电能变换的类型可分为：交流变直流、直流变交流、直流变直流和交流变交流。交流变直流称为整流，直流变交流称为逆变。直流变直流是指将一种直流电压变为另一种直流电压，可用直流斩波电路实现。交流变交流可以是电压的变换，称为交流电压控制，也可以是频率或相数的变换。

电力电子技术是 20 世纪后半叶诞生和发展的一门崭新的技术。可以预见，在 21 世纪，电力电子技术仍将以迅猛的速度发展。电力电子技术将和计算机技术共同成为未来科学技术的两大支柱。

2. 电力电子技术的发展轨迹

自 20 世纪 50 年代末开始，在应用需求的推动下，电力电子技术沿着“整流器→逆变器→变频器”的轨迹成功地发展起来。

(1) 整流器时代

大功率的工业用电是靠工频交流发电机提供的，但是，大约 20% 的电能是以直流形式消耗的，其中最典型的是电解（铜、铝、镍等有色金属和氯碱等化工原料都离不开大功率直流电解）、牵引（电力机车、电传动的内燃机车、地铁机车、城市无轨电车等）和直传动（轧钢、造纸、铝材轧制等）三大领域。因此，能高效率地把工频交流电转换为直流电的大功率整流器应运而生，20 世纪 60 年代～70 年代，大功率硅整流管和硅晶闸管的开发得到广泛应用。

(2) 逆变器时代

20 世纪 70 年代出现了世界范围内的“能源危机”。交流电机变频调速具有显著节能效果。其中, 关键的技术在于“交—直—交”变换中的“直—交”变换, 即把直流电逆变为 0~100 Hz 左右的交流电。于是, 20 世纪 70 年代~80 年代, 能胜任这种情况的大功率逆变用晶闸管、功率晶体管 (GTR) 和可关断晶闸管 (GTO) 得到大力发展和应用。类似的应用还有高压直流输电 (HVDC), 静止式无功功率动态补偿等。于是, 电力电子技术既可完成整流, 又可实现逆变。但是, 它们的工作领域还是限于较低的频率。

(3) 变频器时代

20 世纪 80 年代, 大规模、超大规模集成电路 (VLSI) 得到突飞猛进的发展, 这对功率半导体器件提供了很好的借鉴, 即把其成熟的微细加工技术和高电压大电流设计制造方法有机地结合起来, 促使 20 世纪 80 年代后期和 20 世纪 90 年代初期生产出一批功率场控器件, 其中, 尤以绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 和功率 MOS 场效应管 (Power MOSFET) 为代表的功率 MOSFET 家族器件得到急速发展。这一代器件的发展不仅为交流电机调速提供了较高的频率, 使其性能更加完善可靠, 而且开辟了使功率电子技术向高频化进军的现实道路。用电设备的高频化和高频设备的固态化, 带来了高效、节能、节材, 并为实现小型轻量化、机电一体化、智能化提供了重要的技术基础。

当前, 作为节能、节材、自动化、智能化、机电一体化的基础, 电力电子技术正在实现: 硬件结构的模块化、控制系统的数字化、产品性能的绿色化。使其更加可靠、成熟、经济、实用, 使新一代电力电子产品的技术含量大大提高。

3. 电力电子技术的应用

电力电子技术的应用范围十分广泛。它不仅用于一般工业, 也广泛用于交通运输、电力系统、通信系统、计算机系统、新能源系统等, 在照明、空调等家用电器及其他领域中也有着广泛的应用。

① 直传动。由于直流电动机具有良好的调速性能, 因此在工业电气传动系统及牵引调速系统中得到了广泛应用。

② 交流传动。近年来, 由于电力电子变频技术的迅速发展, 使得交流调速性能可与直流电动机相媲美, 交流调速技术大量应用并占据主导地位。大至数千千瓦的各种轧钢机, 小到几百瓦的数控机床的伺服电动机, 均采用交流调速技术。

③ 电解、电镀等电化学工业用直流电源。

④ 冶金工业中广泛应用的中频感应加热电源、淬火电源及直流电弧炉电源。

⑤ 高压直流输电。直流输电在长距离、大容量输电时有很大的优势，其送电端的整流阀和受电端的逆变阀都采用晶闸管变流装置。

⑥ 电力系统中的无功补偿和谐波抑制。过去的无功补偿装置主要有晶闸管控制电抗器和晶闸管投切电容器等。近年来出现的静止无功发生器和有源电力滤波器等具有更为优越的无功功率和谐波补偿的性能。

⑦ 电子装置用电源。各种电子装置一般都需要不同电压等级的直流电源供电，现在这种电源已采用高频开关电源。

⑧ 家用电器。照明领域的“节能灯”和变频空调器等是家用电器中应用电力电子技术的典型例子。

4. 电力电子技术应用的新领域

电力电子新技术的发展，反过来又促进了一系列新应用领域的不断开拓。

(1) 电动汽车

出于环境保护和节能的需要，也是鉴于石油资源逐步减少近于枯竭，电动汽车在国际上的研究开发日益深化，虽然远未达到成熟定型，但趋势已经肯定。以燃料电池提供能源，以永磁无刷电机为原动机的动力牵引系统可能是一种比较有前途的方案。于是，在燃料电池与永磁无刷电机之间，既有一个功率变换使二者匹配的问题，更有一个使后者实现精密调速的问题。这两个问题都是属于电力电子的范畴，一个是电源变换，一个是运动控制。

(2) 超导电感储能

发电机发出的交流电是一种无法储存的能源。从电能消费来讲，白天和晚上有峰谷之别。晚上的发电得不到利用，反而危及到电网的稳定安全。美国弗吉尼亚电力电子中心，正在开发超导电感储能系统。随着超导技术的开发使用，把大量电能以直流大电流储于超导电感中，晚上储入，白天送出使用，这一进一出也是电力电子技术的课题。据认为，超导储能是效率最高的方案，因为在超导状态下，线圈的导电电阻为零，故没有能量消耗。

(3) 大功率风机、水泵、压缩机变频调速

美国的一些研究所和制造商正在开发和生产一种供 3 kV ~ 8 kV、几百到几千千瓦交流电动机变频调速用的 IGBT 变频器。它把输入隔离变压器做成特

殊的分段绕组结构,采用 1 200 V ~ 1 700 V 耐压的 IGBT 制成多电平、多单元级连接线,利用软件实现近于无谐波的工作模式,在国际上推广已数百套,取得良好的技术经济效益。在大功率变频器中,实现了高效率用电和高品质用电相结合,既高效节电,又解决了对电网的冲击和污染,是很有前途的产品。

(4) 柔性交流输电 (FAXTS)

通过电力电子装置实现对电力系统中的电能的控制和调节。

5. 电力电子技术的发展趋势

(1) 高频化

理论分析和实践经验表明,电气产品的体积重量随其供电频率的平方根成反比地减小。所以当我们把频率从工频 50 Hz 提高到 20 kHz,提高 400 倍的话,用电设备的体积大体上降至工频设计的 5% ~ 10%。这正是开关电源新技术得以实现功率变频而带来明显效益的基本原因。逆变或整流焊机也好,通讯电源用的开关式整流器也好,都是基于这一原理。那么,依同样原理对传统“整流行业”的电镀、电解、电加工、充电、浮充电、电力合闸用等各种直流电源类整机加以类似的改造,使之得以更新换代为“开关变换类”电源,其主要材料可以节约 90% 或更高,还可节电 30% 或更多。由于电力电子器件工作上限频率的逐步提高,促使许多原来采用电子管的传统高频设备固态化,带来显著节能、节水、节约材料的经济效益,更可体现技术含量的价值。

(2) 模块化

模块化有两方面的含义,其一是指功率器件的模块化,其二是指电源单元的模块化。我们常见的器件模块,含有一单元、二单元、…、六单元直至七单元,包括开关器件和与之反并联的续流二极管,实质上都属于“标准”功率模块。近年,有些公司把开关器件的功率保护电路也装到功率模块中去,构成了“智能化”功率模块 (IPM),这缩小了整机的体积,方便了整机设计和制造。为了进一步提高系统的可靠性,有些制造商开发了“用户专用”功率模块 (ASPM),它把一台整机的几乎所有硬件都以芯片的形式安装到一个模块中,使元器件之间不再有传统的引线连接,这样的模块经过严格、合理的热、电、机械方面的设计,达到优化完美的境地。它类似于微电子中的用户专用集成电路 (ASIC)。只要把控制软件写入该模块中的微处理器芯片,再把整个模块固定在相应的型材散热器上,就构成了一台新型的开关电源装置。由此可知,

模块化的目的不仅在于使用方便, 缩小整机体积, 更重要的是取消传统连线, 把寄生参数降到最小, 从而把器件承受的电应力降至最低, 提高系统的可靠性。另外, 大功率的开关电源, 由于器件容量的限制和增加冗余、提高可靠性方面的考虑, 一般采用多个独立的模块单元并联工作, 采用均流技术, 所有模块共同分担负载电流, 一旦其中某个模块失效, 其他模块再平均分担负载电流。这样, 不但提高了功率容量, 在有限的器件容量的情况下满足了大电流输出的要求, 而且通过增加相对整个系统来说功率很小的冗余电源模块, 极大地提高了系统可靠性, 即使万一出现单模块故障, 也不会影响系统的正常工作, 而且为修复提供充分的时间。

(3) 数字化

在传统电力电子技术中, 控制部分是按模拟信号来设计和工作的。在 20 世纪 60、70 年代, 电力电子技术完全是建立在模拟电路基础上的。如今数字式信号、数字电路显得越来越重要, 数字信号处理技术日臻完善和成熟, 显示出越来越多的优点: 便于计算机处理的控制, 避免模拟信号的传递畸变失真, 减小杂散信号的干扰(提高抗干扰能力), 便于软件调试和遥感遥测遥控, 也便于自诊断、容错等技术的值入。

(4) 绿色化

“绿色化”来源于“没有污染”的意思, 未受污染的食品被称为绿色食品, 未被污染的环境被称为绿色环境。绿色照明、绿色电器则有两层意义: 首先是显著节电, 这意味着发电容量的节约, 而发电是造成环境污染的重要原因, 所以节电就可以减少对环境的污染; 仅这还不够, 这些电器还应满足不对(或少对)电网产生污染, 国际电工委员会(IEC)对此制定了一系列标准, 如 IEC555、IEC917、IEC1000 等。事实上, 许多功率电子节电设备, 往往会变成对电网的污染源, 向电网注入严重的高次谐波电流, 使总功率因数(包括基波位移无功, 特别是谐波的畸变无功)下降, 使电网电压耦合许多毛刺尖峰, 甚至出现缺角和畸变。20 世纪末, 各种有源滤波器和有源补偿方案的诞生, 有了多种修正功率因素的方法。这些为 21 世纪批量生产各种绿色开关电源产品奠定了基础。

6. 电力电子技术课程的基本要求

① 了解电力电子技术的发展概况、动态、应用领域和与有关课程的基本关系。

② 了解与熟悉以 SCR 为代表的半控型器件和以 GTO 及 IGBT 为代表的

全控型器件的工作机理、电气特性和主要参数。

③ 熟悉与掌握单相、三相整流电路和有源逆变电路的原理、电路结构、电气性能,并能进行初步设计。

④ 熟悉与掌握直流斩波、交流调压、无源逆变电路的原理、电路结构、电气性能,并能进行初步设计。

⑤ 熟悉与掌握开关电源电路的原理、电路结构、电气性能,并能进行初步设计。

⑥ 了解主要电力电子器件(如 SCR、GTO、IGBT)的门(栅)极控制要求和门(栅)极驱动模块的基本性能。

⑦ 对整流电路、斩波电路、逆变电路、开关电源电路等具有一定的科学实验能力。

⑧ 学习这门课程的时候,重在物理概念的理解,在掌握其概念和本质的前提下,学会分析、计算、实验和初步设计。