

电子节能灯与电子镇流器的原理和制造

陈传虞 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子节能灯与电子镇流器的原理和制造/陈传虞编著. —北京:人民邮电出版社,2004.9
ISBN 7-115-12337-3

I. 电... II. 陈... III. ①节能—灯—理论②节能灯—生产工艺③镇流器—理论④镇流器—生产工艺 IV. ①TM923.3②TM923.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 064596 号

内 容 提 要

本书系统讲述了电子节能灯与电子镇流器的工作原理、元件参数选择、电子镇流器的功率因数校正原理及所用的集成电路等,其内容涵盖了电子节能灯和电子镇流器生产中所涉及的相关知识。此外,本书还介绍了 3C 认证及 UL 认证所必须准备的文档资料及应注意事项。

本书既有理论分析,又有实践经验,适合于从事电子节能灯与电子镇流器生产和开发的电子工程技术人员参考应用,亦可供大专院校电光源专业的教师和学生阅读。

电子节能灯与电子镇流器的原理和制造

- ◆ 编 著 陈传虞
责任编辑 张伟 赵桂珍
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress. com. cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线:010—67129264
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京 印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本:787×1092 1/16
印张:20.75
字数:499 千字 2004 年 8 月第 1 版
印数:1—5000 册 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12337-3/TN • 0000

定价:27.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010) 67129223

前 言

自我国在 20 世纪 80 年代末 90 年代初研制并生产电子镇流器和电子节能灯以来，这一新兴的绿色照明产业，已经得到长足发展，目前我国已成为世界上照明电器产品生产规模最大的国家，产量居世界首位。遗憾的是，长期以来能系统讲清电子镇流器和电子节能灯的工作原理、元件参数的选择以及它们的制造工艺，并对工厂生产起到指导作用的书籍尚不多见。尽管多年来国内有不少杂志刊物发表了许多这方面的文章，在各地历年召开的照明会议上也有不少论文宣读，有的已汇编成册。但整体说来，这些材料均过于零散，论述也不够系统；至于在工厂生产中所遇到的一些疑难问题，更少有人涉及，更少有人从理论上加以阐述并提出中肯的解决办法。

本人不揣浅陋，根据自己在工厂多年来的生产实践，编写成本书。本书不仅介绍了电子节能灯和电子镇流器工作原理，还结合生产实际总结出一些有用的经验。全书共分十一章，主要包括以下几个方面的内容。

1. 介绍了有关气体放电、荧光灯管（单端及双端）的光电特性、色度学以及荧光灯管的光电参数测试的知识。这是因为在照明行业工作的电子线路工程师对这方面的知识知之不多，所以特辟专章加以介绍，以便他们在设计电子节能灯和镇流器时，能把握灯管的特性，使镇流器输出和灯管之间做到良好的匹配，最大限度地提高整灯的可靠性，并充分发挥荧光灯管的光效。

2. 对电子节能灯和镇流器中所用的元器件和材料如电阻、电容、磁性材料、保险丝、印制电路板、二极管及三极管等元器件，在使用时应如何选择，提出了一些指导性意见；另有一些内容，则属于手册性资料，为技术人员在生产中随时查看提供方便。

3. 仔细地分析了低功率因数电子节能灯常用的半桥逆变电路及其变异形式，讲清各个元器件的作用，对灯功率、功率因数、电流谐波失真 THD 与灯管参数（管电流及管电压）、电感及启动电容等之间关系做了详细地数学推导，其结论能很好地说明生产中遇到的一些物理现象。

同时书中还根据大量生产中的经验，对节能灯的可靠性提出了用实验方法加以判别的准则，这些方法对指导生产均有一定的实用及参考价值。

4. 对各种有源功率因数控制器集成电路做了仔细的整理、分析、比较和归纳工作，对电路性能参数与元件之间的定量关系做了严格的数学推导，对集成电路的工作原理做了详细的阐述，并介绍了使用这类器件的实践经验。这些知识对于使用、特别是初次接触这类器件的工程技术人员来说是大有裨益的。随着这类器件价格的降低以及对镇流器的性能要求日益提高，在电子节能灯和镇流器中使用这类器件必将成为生产主流。因此，熟悉这类器件，并能驾轻就熟地使用这类器件是一种必然的发展趋势。

5. 书中另有一章专门介绍了一些电子镇流器控制用的集成电路，它们的功能强而所需外接的元器件不多，从而为组装紧凑型自镇流荧光灯和高性能电子镇流器（可调光、丰富的保护功能）以及智能化的照明系统提供了很大的方便。

6. 对生产过程中所涉及的许多方面问题：如元器件的检测和筛选，老产品的改进和新产品的开发过程控制，产品安全的国内和国际认证等等，均有专章加以介绍。

近年来企业为提高本身的知名度、增加产品在国际市场上的竞争力，以打入特定的市场，均致力于对产品进行必要的国际认证（UL CUL TUV FCC EMC 等）。另外，随着我国加入 WTO，与国际贸易接轨，从 2003 年 8 月 1 日起，按照世贸组织“统一认证标志”的原则，我国依法对 19 类 132 种产品（其中包括照明电器）进行强制性认证制度，规定只有通过 3C 认证、加贴 CCC 标志的产品方可出口、出厂销售和在经营服务场所使用。

根据多年来为不同公司不同产品所做的一些认证工作，本书中做了一些总结，指出申请认证所必须准备的文档资料，哪些与安全有关的重要的原辅材料应提供认证证书复印件，以及在样品制作时元件材料的选用、电路参数、制作工艺等方面应注意的事项等，相信这些资料对许多工厂都是十分有用的。

本书在 2002 年底完成初稿以后，得知我国对光源的相关标准进行了较多修订，并将在 2002 年底或 2003 年初进行公布，因此在 2003 年中又根据新颁国家标准对部分内容进行了较多的改写，以便使书中的相关内容和提法能与新颁标准相衔接。

王冰清同志参与了部分书稿的整理工作，在书稿成书过程中，她为我查阅资料，筛选出有用的内容，给了我许多帮助。本书在搜集资料 and 提供集成电路样件中得到李亚熊、郭润祥等工程师的热心帮助和支持。在此，谨对以上诸同志表示我深深的敬意和由衷的感谢。

由于本人理论水平有限，在多年工作中，前后所涉及的产品种类不多，接触面不够广泛，实践经验受到一定的限制，编写中又缺乏现成的类似书籍可资参考，加之书稿是在工作间隙中挤出零碎时间抽空写出，时间比较仓促。因此，书中肯定有很多不妥和谬误之处。所以敢于面世，无非希望能为中小企业的从业人员提供一点有用的参考资料，如能引起大家互相切磋，达到抛砖引玉共同提高的目的，那将是本人最感快乐的一件幸事。在这里，诚恳希望国内同行及相关科技工作者不吝指教，对其中谬误和不足，直率地给予批评指正，本人将不胜感激并乐于加以改正。

编著者

目 录

第一章 概论	1
第一节 我国照明行业的发展概况	1
一、电光源产品产量快速增加	1
二、工艺技术和生产设备水平明显提高	1
三、照明产品生产的标准体系进一步健全和完善	1
四、照明器具出口势头强劲	2
第二节 电子镇流器的优点	2
一、电子镇流器的组成	2
二、电子镇流器的优点	3
第三节 电子节能灯和电子镇流器中一些常用术语	4
第二章 荧光灯管的特性	7
第一节 荧光灯的结构及其工作原理	7
一、荧光灯的结构	7
二、荧光灯中所用的荧光粉	8
第二节 荧光灯的制造工艺	10
第三节 气体放电原理	12
一、气体放电的伏安特性	13
二、荧光灯的伏安特性	14
三、电感镇流器的工作原理	14
四、用电子镇流器驱动荧光灯管	15
第四节 单端荧光灯	16
一、单端荧光灯的型号	16
二、荧光灯管的主要参数	17
第五节 双端荧光灯	19
一、双端荧光灯的种类	19
二、双端荧光灯的型号	20
三、灯的外形及灯头型号	20
四、灯的外形尺寸及其电参数	20
第六节 自镇流器荧光灯的主要参数	22
一、型号的编写规则	22
二、自镇流器荧光灯的光效要求	23
三、标准中对自镇流荧光灯其它参数的要求	23
四、欧洲共同体对自镇流荧光灯的光通要求	25
五、美国能源之星对紧凑型荧光灯性能要求	26

第七节 色度学的基本知识	27
一、色度学的基本知识	27
二、RGB 表色系统	28
三、XYZ 表色系统	29
四、UVW 表色系统	32
五、光源的色表、显色性和色温	32
第八节 照度计算	34
第三章 紧凑型荧光灯及电子镇流器的基本电路	37
第一节 概述	37
第二节 半桥逆变电路	38
一、半桥逆变电路的工作原理	39
二、电容 C_4 的续流作用	40
三、稳态下半桥逆变电路工作频率的近似计算	41
四、影响镇流器工作频率的一些因素	44
第三节 半桥逆变电路的其它形式	44
一、半桥逆变电路变异形式之一	44
二、半桥逆变电路变异形式之二	45
三、半桥逆变电路变异形式之三	46
第四节 低功率因数自镇流荧光灯可靠性的判别依据	46
一、用杭州远方仪器公司的 HB-3A 测量节能灯的输入/输出特性	47
二、在恒温箱中进行老炼试验，并按表 3-2 的内容记录灯的功率及振荡频率	48
三、开关试验	49
第五节 回扫式逆变电路	49
一、电路的工作原理	49
二、电路的元件参数	51
第六节 推挽式逆变电路	51
第七节 自振荡集成电路及其应用	52
一、用磁环变压器的半桥逆变电路的缺点	52
二、集成电路驱动芯片	52
三、高压自振荡驱动集成电路 IR2153	53
第八节 高压自振荡驱动集成电路 L6569	60
一、L6569 的方框图	60
二、用 L6569 组成一体化节能灯或电子镇流器	61
第九节 紧凑型荧光灯专用集成电路 UBA2024	62
一、UBA2024 的方框图	62
二、UBA2024 的功能说明	63
三、应用举例	66
第四章 电子镇流器及节能灯中常用的无源器件及材料	67
第一节 电阻（结构、标称值及参数）	67

一、电阻的结构	67
二、电阻的性能参数	68
第二节 电容器（分类、参数、各种电容器简介）	72
一、电容器的分类	72
二、电容器的主要性能参数	73
三、电容器性能参数的表示方法	74
四、各类薄膜电容器性能的比较及其应用场合	75
五、电磁干扰抑制电容器（安规电容器）	76
六、电解电容器	77
第三节 磁性元件（锰锌铁氧体、性能参数及材料选用）	80
一、锰锌铁氧体（ M_NZ_N Ferrite）及其性能参数	80
二、电子镇流器中磁性材料的选用	87
第四节 保险丝（结构、参数及选用）	89
一、保险丝的形状及熔体结构	90
二、保险丝的性能参数	91
第五节 电磁线（类型、参数、线规）	96
一、电磁线的种类	96
二、导线的线规	98
三、趋肤效应对线径选择的影响	103
第六节 印制电路板	103
一、有关印制电路板的一些术语	103
二、常规的 PCB 基板材料	104
三、印制电路板板图的设计	106
四、印制电路板成品的检验	107
第五章 电子节能灯及镇流器中所用的二极管及三极管	110
第一节 半导体二极管的特性和参数	110
一、二极管的伏安特性	110
二、整流二极管的主要参数	111
第二节 二极管的动态开关特性	113
一、二极管从正向导通到反向截止的反向恢复时间	113
二、反向恢复时间的产生原因——电荷存储效应	114
第三节 双极型三极管的开关特性	115
一、三极管的三个工作区域	116
二、双极型三极管的开关时间	116
三、如何减小开关参数的影响	117
第四节 双极型三极管的开关损耗	119
一、三极管的功率损耗计算	119
二、减小三极管开关损耗的措施	120
第五节 双极型三极管的安全工作区	121

一、功率三极管的安全工作区	121
二、二次击穿 (S/B) 现象	122
第六节 半桥逆变电路中双极型三极管的工作状态与管子的选择	124
一、功率放大器的图解分析	124
二、双极型三极管的选择	126
第七节 高频高增益的双极型器件	127
第八节 MOS 场效应功率开关管	129
一、MOS 场效应管的特性曲线	130
二、MOS 场效应管与 BJT (双极型器件) 特性比较	131
三、MOS 场效应管的驱动	131
四、MOS 场效应管的安全工作区	132
第六章 电子节能灯及镇流器的输入特性及减小输入电流谐波的方法	134
第一节 电子节能灯及镇流器输入电流的谐波	134
第二节 电子节能灯及镇流器输入电流的谐波含量及其表示方法	135
一、输入电流谐波含量的表示方法	135
二、电流谐波的危害	136
第三节 电子节能灯及镇流器的线路功率因数	137
一、线性系统的功率因数	137
二、非线性负载的功率因数	138
第四节 功率因数的无源校正	140
第五节 逐流电路	141
第六节 双向自供辅助电源式 (双泵电路) PFC 电路	143
第七节 感性负载电流谐波抑制电路	144
第八节 高频泵电路	146
第九节 用分立组件的有源谐波抑制电路	148
一、电路的工作原理	149
二、有源谐波抑制电路的改进电路	150
三、用半桥驱动集成电路 IR2153 组成的 PFC 电路	151
第七章 电子镇流器的有源功率因数校正电路	153
第一节 有源功率因数校正 (APFC) 的工作原理	153
一、有源功率因数校正电路的基本类型	153
二、有源功率因数校正电路的工作原理	154
三、APFC 电路中开关频率 f_{sw} 表达式	156
四、APFC 控制器的相关波形	157
第二节 峰值电流控制 APFC 控制器集成电路 KA7526	158
一、KA7526 集成电路的特点	158
二、集成电路的内部结构框图及各引脚功能	159
三、KA7526 的工作说明	160
四、应用电路举例	163

第三节 峰值电流控制 APFC 控制器 L6560/L6561	165
一、L6560/L6561 的结构框图	165
二、用 L6560/L6561 组成的 APFC 电路	166
三、APFC 电路参数计算	168
四、用 L6561 组装 $2 \times 20\text{W}$ 、 $2 \times 40\text{W}$ 一拖二电子镇流器	171
第四节 其它有代表性的峰值电流控制 APFC 控制器	173
一、MC33262/MC34262 功率因数校正控制器	173
二、MC33368 功率因数校正控制器	179
三、FAN7527 功率因数校正控制器	183
四、峰值电流控制 APFC 电路设计公式	185
第五节 固定导通时间零电流开关 (ZCS) 升压式 APFC 控制器	186
一、固定开通时间零电流开关 APFC 控制器的工作原理	186
二、固定开通时间零电流开关 APFC 控制器集成电路举例	187
第六节 固定开关频率平均电流型 APFC 控制器	192
一、电路的组成及其工作原理	193
二、固定频率平均电流型 APFC 集成电路 UC3817/18, UC2817/18, UC1817/18	193
第七节 固定频率平均电流型 APFC 控制器 ML4821、ML4822	199
一、平均电流型 APFC 电路 ML4821	199
二、ML4822 (FAN4822)	204
第八章 荧光灯的启动要求及预热启动	209
第一节 荧光灯的启动要求	209
第二节 荧光灯的预热启动	210
一、日光灯的启动	210
二、荧光灯采用 PTC 电阻的预热启动	210
第三节 PTC 热敏电阻	211
一、PTC 热敏电阻的特性	211
二、PTC 热敏电阻的参数	211
第四节 荧光灯用 PTC 热敏电阻的预热启动	212
一、由 PTC 热敏电阻组成的灯丝预热电路	212
二、PTC 热敏电阻在灯丝预热电路中的正确选用	213
第五节 荧光灯的无功耗预热启动	214
一、将 PTC 与触发二极管串联	214
二、将 PTC 与压敏电阻相串联	215
三、通过继电器将 PTC 关断	215
四、用调频法预热启动	216
第九章 电子镇流器的保护电路	217
第一节 过流保护	217
第二节 过压保护及压敏电阻的选用	218
一、压敏电阻的特性	218

二、压敏电阻对过电压的保护原理	219
三、压敏电阻的参数	220
四、压敏电阻的命名方法	221
五、压敏电阻在电子镇流器中的应用	222
第三节 电子镇流器的异常保护	222
一、异常状态	223
二、异常状态保护电路	223
三、采用可恢复的过流保护元件——聚合物开关 Polyswitch	226
第十章 电子镇流器控制器集成电路	229
第一节 概述	229
第二节 全集成的镇流器控制器 IR 2157、IR 2159	230
一、IR 2157 的结构框图及主要特征	230
二、IR 2157 的功能说明及电路的工作原理	232
三、IR 2157 应用举例	242
四、IR 2159 的功能及其应用电路	242
第三节 高压自振荡镇流器驱动集成电路 UBA 2021	244
一、UBA 2021 的方框图	244
二、用 UBA 2021 组成紧凑型荧光灯	245
三、UBA 2014	251
四、UBA 2070	252
第四节 高压紧凑型荧光灯及直管荧光灯 (CFL/TL) 镇流器驱动集成电路 L6567、L6574	255
一、L6567 集成电路的结构框图及主要特点	255
二、具有预热及调光功能的镇流器控制及驱动器 L6574	256
第五节 仙童公司的镇流器驱动集成电路 KA 7541 及 KA 7543	262
一、电子镇流器控制器 KA 7541	262
二、具有反馈调光功能的镇流器控制器 KA 7543	268
第六节 半桥控制器及驱动器 MC33157	275
一、MC33157 的特点	275
二、各引脚名称及功能说明	276
三、电路各部分的功能说明	277
四、MC33157 具体应用	283
第七节 电子调光镇流器控制器 ML4833、ML4835	286
一、电子调光镇流器控制器 ML4833	286
二、电子调光镇流器控制器 ML4835	293
第十一章 电子镇流器和电子节能灯的流水线生产及产品的安全认证	295
第一节 元器件的检验与筛选	295
一、二极管	295
二、电解电容器	295
三、薄膜电容器	296

四、电阻	296
五、开关三极管	296
六、磁性材料	297
七、节能灯的塑料外壳	297
第二节 电子镇流器和电子节能灯的流水线生产	298
一、电子镇流器和电子节能灯的流水线生产	298
二、在波峰焊接时应注意的事项	298
三、对补焊中焊接质量的要求	299
四、测试、老化及检验中应注意的事项	299
第三节 电子镇流器新产品的研发过程控制	300
一、开发项目的来源	300
二、新产品试制的四个阶段	300
三、产品开发人员的奖励办法	303
第四节 有关电子镇流器和电子节能灯的国家标准	303
第五节 电子镇流器和电子节能灯的安全认证	304
一、有关安全认证的要求	304
二、我国的 3C 认证以及如何申请 3C 认证	305
第六节 关于电子镇流器和电子节能灯的电磁兼容问题	306
一、电子镇流器和电子节能灯的电磁干扰源	306
二、如何减小电子镇流器中的传导干扰	308
三、在工厂条件下如何判断 EMC 滤波器的滤波效果	310
第七节 电子节能灯的 UL 安全认证	311
一、如何选择认证机构	312
二、如何申请认证	312
三、工厂审查	317
四、跟进服务	317

第六章 电子节能灯及镇流器的输入特性及减小输入电流谐波的方法

本章介绍了电子镇流器输入电流谐波产生的原因、电流谐波失真的表示方法和所产生的危害。此外，还讨论了为减小输入电流谐波失真在电路设计上所采取的一些措施，比较了它们的优缺点。

第一节 电子节能灯及镇流器输入电流的谐波

电子镇流器和开关电源一样，都是将输入交流电源直接加到由非线性二极管所组成的桥式整流电路（或倍压电路）进行整流，再通过大容量的电解电容器滤波，变为平滑的直流电压，供给逆变电路。由于二极管的单向导电性和电解电容存储电荷的作用，只有当输入电压超过电容器上的电压时，二极管才会得到正偏而导通；如果输入电压瞬时值低于电解电容器上的电压，此时二极管将截止，而由电解电容器提供电荷向负载放电，不再由输入电源支取电流。当负载电流较小时，电解电容器上电压下降不多，只在输入电压正弦波峰值附近很短的一段时间内，才有电流流入电容器，这个电流是一个尖脉冲，如图 6-1 所示。

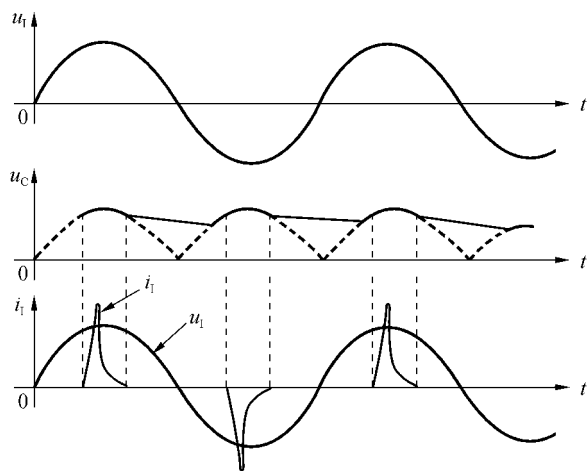


图 6-1 电解电容器上电压及输入电流波形

图 6-2 是用杭州远方仪器公司的 HB-3A 对一种 3U 20W 低功率因数的节能灯所测出的输入特性。由图可知，电流的峰值为 0.836A，而有效值为 0.196A，电流持续时间很短，只

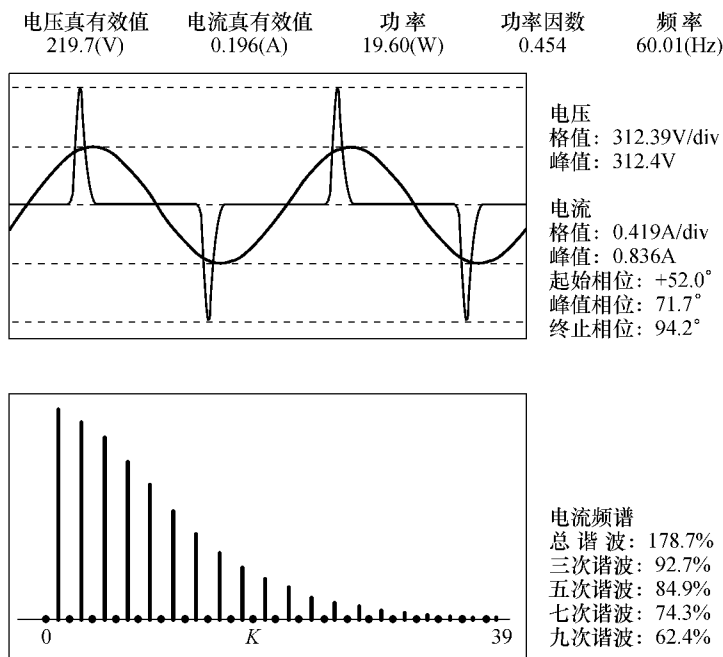


图 6-2 用 HB-3A 实测的节能灯输入特性示例

有 $\frac{94.2^\circ - 52^\circ}{180^\circ} \times 10\text{ms} = 2.33\text{ms}$, 约占 1/10 周期, 是一个很窄的脉冲, 因而该电流波形谐波含量是很丰富的。正如仪器所分析的, 总谐波有效值与基波有效值之比为 $178.7\% = 1.78$, 大量谐波的存在, 无疑对电网将产生不良影响。

在同一功率下, 如所用的电容器的容量愈大, 则输入电流的脉冲宽度愈窄, 电流的持续时间愈短; 反之, 电容量愈小, 输入电流的脉冲愈宽, 电流的持续时间愈长。这是因为在电容量小时, 电容器放电厉害, 将放电到较低电压, 从而需在较长时间内充电加以补充, 所以输入电流波形才会变宽。

在下面几节中将研究这样一些问题: 这种非正弦输入电流波形是如何加以描述的, 它对电网有什么危害, 在国家标准中做了怎样的限定, 以及在电路设计上应当采取何种措施加以校正和补救。

第二节 电子节能灯及镇流器输入电流的谐波含量及其表示方法

这里先研究输入电流谐波含量的表示方法, 然后讨论它的危害。

一、输入电流谐波含量的表示方法

对图 6-1 所示的输入电流波形, 按电工学原理, 可以分解为许多正弦波的叠加和, 其中包含基波、二次谐波、三次谐波……。各次谐波的频率为基波的整数倍, 并分别有不同的相位 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 ……

一般说来，如果不采取功率因数校正电路，电子节能灯及电子镇流器都是低功率因数的，输入电流中基波分量只占其中一小部分，而二次谐波及其以上的各个谐波含量却十分丰富，它们的总有效值甚至比基波的有效值还要大，例如在前面所举的实例中，二者之比为1.78：1。

为了说明谐波含量的多少，我们引入电流总谐波失真 THD_I （Total Harmonic Distortion of Current）这个参数，其定义为

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \cdots + I_n^2}}{I_1} 100\% \tag{6-1}$$

式中 I_1 为基波分量的有效值。

$I_2、I_3\cdots\cdots I_n$ 分别为 2 次、3 次 $\cdots\cdots n$ 次等各次谐波电流的有效值。

低功率因数电子镇流器或电子节能灯的 THD_I 一般都很大，超过 120% 甚至达到 160%~180%。过去对小功率的低功率因数节能灯的 THD_I 这一参数并不提出定量要求，近年来随着对节能灯电路认识的深入，考虑到谐波失真对电网的污染，分别对小功率（功率小于或等于 25W）及大功率（功率大于 25W）的灯的谐波含量做了不同的要求和限制。

二、电流谐波的危害

我国原来的标准《普通照明用自镇流荧光灯性能要求 GB/T17263-1998》及《管形荧光灯用交流电子镇流器性能要求 GB/T15144-94 》完全等同于 IEC929：1990。对应于以后出台的 IEC 标准 IEC61000-3-2：1995，我国的新标准为 GB17625.1-1998。在旧标准 GB/T17263-1998 及 GB/T15144-94 中对电子节能灯和电子镇流器的谐波含量要求，等同地采用了 IEC929：1990 中照明电器大于 25W 的谐波考核部分，而把小于或等于 25W 的谐波考核要求给删除了，从而不分功率大小，一味片面地强调了对谐波的考核要求。结果，对于小功率灯的电流谐波含量限定值来说，片面地做了过于苛刻的要求，而牺牲了对灯电流波峰比的要求，使后者大大超出了规定值的要求；对大功率灯来说，又不适当地降低了对谐波含量限定值的要求。这里，为了说明新旧标准的差别，不妨用列表形式，对两者加以比较，如表 6-1 所示。

表 6-1 新旧标准中对谐波含量限量的要求

谐波次数		2	3	5	7	9	11~39
标 准		%	%	%	%	%	%
GB/T15144-94	H 标志	5	37λ	/	/	/	/
IEC929：1990	L 标志	5	30λ	7	4	3	2
大于 25W		2	30λ	10	7	5	3
GB17265.1-1998	小于或等于 25W	/	86	61	输入电流应在 60°或之前开始导通，在 65°或之前达到最后一个峰值，并在 90°之前不停止导通，基波电压在 0°时过零点		
IEC（61000-3-2）：1995							

从表 6-1 可以看出，新标准对于大于 25W 的节能灯，除了二次谐波外，其余 3、5、7、9、11~39 各奇次谐波的要求均低于 GB/T15144-94（IEC929：1990）中 L 级的要求，而又明显高于 H 级的要求。

为什么要做这样的修改呢？这是因为经过 10 多年使用节能灯以后，人们对这类电器所产生的谐波给电网带来的影响，已经有了清楚而又全面的认识。我们知道，电子镇流器及电子节能灯输入电流的 2 次、3 次……各次谐波对于供电电网会造成污染，特别是在大面积集中密集使用节能灯时，这种污染将十分严重。其中偶次谐波是非镜像对称波形，它使供电回路电流正负半周不对称，尤以含量较大的二次谐波的影响最为明显，它的直流成分使电网中电力变压器的铁心产生局部磁化，损耗增大，严重时会使烧毁变压器，危及电力运行的安全。新标准中对二次谐波的考核要求由原来的 5% 加严到 2%，正是基于这一原因。

在三相四线制供电系统中三次谐波及与三次呈整数倍的高次谐波，则会使电网的相电流无法在中线中相互抵消，结果使中线电流加大，这将会造成中线超负荷运行，中线过载发热。由于我国电力系统中中线较细（比相线还细），中线超负荷运行则容易引起火灾。另一方面，中线电流过大，还会引起三相电压不平衡，其中一相电压很高，严重时会使该相电路中的电器烧毁。

但是，对这个问题也不要谈虎色变，因为在分散使用电子节能灯的情况下，居民家庭中还有许多其它电器设备，它们的用电量远远超过几支或十几只节能灯的用电量，因而对总电量所起的影响是微乎其微的。有报刊报导，瑞典 NOTEK 在斯德哥尔摩近郊进行试验，在 17 户居民家庭中使用了 106 只节能灯，测量表明电网电压波形的畸变并不严重。我国在上海市一个居民小区进行的试验也表明：每户居民都使用了不少节能灯，它们对电网的影响也并不大，所造成的污染基本上是很小的。

第三节 电子节能灯及镇流器的线路功率因数

对线路的功率因数（Power Factor）的讨论，我们不妨从电工学中提到的线性系统的功率因数谈起。

一、线性系统的功率因数

在日常生活中我们所接触的一些家用电器既有像白炽灯泡、电炉、电烙铁、电熨斗这类纯电阻负载的电器装置，也有像电风扇、空调、电冰箱、抽油烟机这类既有电阻又有电抗的阻抗负载的设施。它们共同的特点是供电系统的电压和这些电器设备的输入电流都是同一频率的正弦波，惟一不同的是输入电流和输入电压间相位差可能为 0，也可能不为 0，两者间可以同相（电阻负载），也可以不同相（电抗负载）。

对于白炽灯这类纯电阻性负载，电流和加在输入端的电压是同相位的。设输入电压为纯粹正弦波，有效值为 V_1 ，频率为 ω ，则输入电压 u_1 可表示为

$$u_1(t) = \sqrt{2}V_1 \sin \omega t$$

而输入电流 i_1 为

$$i_1 = \frac{u_1(t)}{R} = \sqrt{2}I_1 \sin \omega t$$

送入负载的功率

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T i_1(t) u_1(t) dt = 2V_1 I_1 \int_0^T \sin^2 \omega t dt / T \\ &= V_1 I_1 \end{aligned} \tag{6-2}$$

对于像电冰箱、空调这一类既有电阻又有电抗的负载，输入电流和输入电压是不同相的。两者间存在相位差 φ_1

$$u_1 = \sqrt{2}V_1 \sin \omega t$$

$$i_1 = \frac{\sqrt{2}I_1}{\sqrt{R^2 + X^2}} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

如为感性负载，则 φ_1 为负值，电流滞后于电压；如为容性负载，则 φ_1 为正值，电流超前于电压。送到负载的平均功率为

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T u_1(t) i_1(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{2}V_1 \sin \omega t \cdot \sqrt{2}I_1 \sin(\omega t + \varphi_1) dt \\ &= \frac{2}{T} V_1 I_1 \int_0^T (\sin^2 \omega t \cos \varphi_1 + \sin \omega t \cos \omega t \sin \varphi_1) dt \\ &= V_1 I_1 \cos \varphi_1 \end{aligned}$$

在电工学中，定义 $S = V_1 I_1$ 为视在功率，并定义

$$\lambda = PF = \frac{P}{S} = \cos \varphi_1 \quad (6-3)$$

为线路的功率因数。

推广到电阻性负载， $\varphi_1 = 0$ ， $\cos \varphi = 1$ ， $\lambda = 1$ ，即电阻负载的功率因数为 1。

在阻抗性负载中，由于电抗的存在，交流电源需要提供较大的电流才能在负载上得到一定的功率。在一个正弦周期中的一段时间内有一部分能量先储存在电抗中，以后在另一段时间内这部分能量又从电抗反馈到电源。这一部分能量并不消耗在负载里，故称为无功功率。所以这种有电抗的负载实际消耗的功率并不大。但功率因数愈小，输入电流增加的愈多，例如 $\lambda = 0.5$ ，则电流要增加一倍。电流的增大，必然加大电网在线路上的损耗，同时还降低了电力变压器的利用率。因此，电力公司要求使用这类大功率负载的用户，必需采取补救措施，设法减小电流与电压间的相位差，提高电路的功率因数。

二、非线性负载的功率因数

前已提及，采用电子镇流器和电子节能灯这类负载，输入电流已不再是同电源电压一样的纯粹正弦波，而是一个非正弦的尖脉冲，一般这个电流可以表示为含有基波及各次谐波之和。

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}I_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$$

其中，基波电流有效值为 I_1 ，相位为 φ_1 ，频率为 ω ； n 次谐波的有效值为 I_n ，相位为 φ_n ，频率为 $n\omega$ 。输入电流的总有效值为

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \cdots + I_n^2} \\ &= I_1 \sqrt{1 + \frac{I_2^2 + I_3^2 + \cdots + I_n^2}{I_1^2}} \\ &= I_1 \sqrt{1 + THD_1^2} \end{aligned} \quad (6-4)$$

在这种情况下，视在功率变为

$$S = V_1 I = V_1 I_1 \sqrt{1 + THD_1^2}$$

(6-5)

电流的谐波失真愈大，即 THD_1 愈大，视在功率 S 亦愈大。

电路的功率因数 λ (PF)

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{V_1 I_1 \cos \varphi_1}{V_1 I_1 \sqrt{1 + THD_1^2}} = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + THD_1^2}}$$

(6-6)

电流谐波失真 (THD_1) 愈大，则功率因数 λ 愈小，反之亦然。这就是说，两者是互相关联的，已知功率因数 λ 值，可以求得 THD_1 值。由式 (6-6) 知

$$THD_1 = \sqrt{\frac{\cos^2 \varphi_1}{\lambda^2} - 1}$$

(6-7)

应当指出，基波电流 I_1 与输入电压 $u_1(t)$ 之间的相位差 φ_1 并不是一个固定不变的值，跟电子节能灯和电子镇流器电路的具体形式、所用的电解电容器的容量、节能灯的功率大小有关。在低功率因数节能灯中， φ_1 值的范围大致在 $15^\circ \sim 30^\circ$ ，它基本上等于输入电流峰值的相位与电压峰值的相位之差值。例如，在图 6-2 中， $\varphi_1 \approx 90^\circ - 71.1^\circ \approx 18^\circ$ 。

一般，在电路形式一定（例如图 3-2 的半桥逆变电路）、元器件参数一定并且灯输出的功率小而电解电容器容量较大时，电解电容器充电的持续时间较短，充电电流基本上只出现在电压峰值附近的一小段时间内，所以 φ_1 值较小。反之，则 φ_1 较大。

例 6-1 表 6-2 中给出的是用 HB-3A 测试的一组电子节能灯的资料，以及根据功率因数 λ 计算出的 THD_1 。我们发现计算出来的 THD_1 值与实测的 THD_1 值是十分接近的，这说明公式 (6-7) 比较准确地反映出这类电路中 λ 与 THD_1 相互依赖关系。

表 6-2 THD₁的实测值与计算值之比较								
用 HB-3A 实测值							用公式 (6-7) 计算 THD ₁	
型号	电压	电流	功率	功率因数	THD ₁	φ ₁	cos φ ₁	THD ₁
2U7W 4.7μF	230V	0.072A	7.7W	0.47	175%	17°	0.956	177%
2U9W 4.7μF	220V	0.078A	8.5W	0.497	161%	17°	0.956	164%
3U20W 10μF	220V	0.173A	19.0W	0.497	153%	26°	0.937	159%
3U15W 10μFx2	120V	0.183A	13.1W	0.603	97.4%	32°	0.848	99%
3U20W 22μFx2	120V	0.314A	18.9W	0.508	143%	26°	0.898	144%
S18W 22μFx2	120V	0.30A	18.0W	0.500	146%	26°	0.898	149%
S23W 22μFx2	120V	0.356A	23.5W	0.55	120%	29°	0.874	123%
S26W 22μFx2	120V	0.354A	24.6W	0.572	115%	31°	0.866	112%

以上测试说明：在低功率因数节能灯中，功率因数 λ 愈低，则电流谐波失真愈大，对电网的污染愈厉害。其次，公式 (6-7) 所反映的 λ 与 THD_1 之间关系与实际测试结果是吻合的。这样，可以通过此公式由功率因数来大致估算 THD_1 值。许多制造电子节能灯的厂家，