

电子镇流器原理与制作

毛兴武 祝大卫 编著

人民邮电出版社

前 言

在 20 世纪 70 年代末,荧光灯用交流电子镇流器开始崭露头角,被人们认为是照明电器发展史上的一项重大技术创新。进入 90 年代后,各种气体放电灯用电子镇流器及各种新型电光源在世界范围内不断涌现,形成被称为“绿色照明”的新兴产业。

发达国家研究开发电子镇流器的都是实力雄厚的一些著名公司。我国在 1985 年后,一些小型企业尤其是乡镇企业和一些电子技术爱好者,对其产生了兴趣。——在 80 年代,我国的大中企业、科研机构及大专院校对电子镇流器这一照明电器产品进行研究、开发和生产的为数极少。因此,与发达国家比较,国产电子镇流器的技术起点比较低。

80 年代末和 90 年代初,IEC928、GB15143《管形荧光灯用交流电子镇流器一般要求和安全要求》及 IEC929、GB/T15144《管形荧光灯用交流电子镇流器的性能要求》等技术标准相继颁布与实施,才使人们开始认识到电子镇流器并非是一种低技术含量的普通小家电产品。当众多的中高级工程技术人员真正投入到该产品的研究开发时,所遇到的一系列技术难点是他们所始料不及的。设计和制作能把荧光灯点亮的电子镇流器并不困难。但是,若要求其性能可以满足国家标准的规定并且具有比较高的可靠性和足够长的使用寿命,在价格上又能被用户所接受,至今仍然是尚未完全解决的课题。

电子镇流器与变频调速器和开关电源等电子产品有相似之处。电子镇流器涉及高频变换、零电压开关(ZVS)和零电流开关(ZCS)、LC 串联或并联谐振、谐波滤波与功率因数校正(PFC)、电磁干扰(EMI)抑制、信号传感与信号采集和处理、PWM 控制或频率调制(FM)以及电力电子等各个技术

领域。电子镇流器输入电源电流波形畸变与分析、电流谐波含量与线路功率因数之间的关系、谐波滤波及功率因数校正等相关理论,都是现行的教科书中未曾阐述和分析过的。电子镇流器的有源功率因数校正(APFC)技术是 80 年代出现的一门新兴技术,它与电力系统长期沿用的功率因数补偿方案毫无相同之处。直到 90 年代初,我国才开始引进 APFC 技术。从电路复杂程度上看,采用简单电路结构的电子镇流器是无法与开关电源相提并论的。但是,对于 40W 以上荧光灯和大功率高压钠灯、金卤灯等所用的高性能电子镇流器,其电路结构并不比开关电源简单,制作难度甚至比开关电源还要大。关于电子镇流器的综合参数测量问题,则更是高科技领域中研究的一个课题。

精通电子技术的人大多对各种气体放电灯知之甚少;而电光源行业的工程技术人员往往又不大熟悉电子技术。在 90 年代,尽管国内有关报刊陆续发表了一些关于电子镇流器电路、原理分析和检修等方面的一些文章,但就其内容而言,比较琐碎,缺乏系统性,同时也未能反映出当今世界电子镇流器研究的最新成果和发展动向,不能满足广大读者的需要。其中有少数文章,还出现了一些与 GB15143 和 GB/T15144 等产品标准不相符的错误观点,使读者受到误导。

为适应广大读者的需要,我们在国内同行一些专家和人民邮电出版社电子图书编辑部的大力支持下,编写了本书。由于在编写过程中,没有现成的同类书籍可以参考,加上编写时间比较仓促,难免有不妥甚至错误之处,敬请广大读者批评指正。

在本书编写过程中,得到北京大学申世璋教授的支持和指导,在此表示感谢。

编著者

目 录

第一章 电子镇流器概述	1
第一节 荧光灯交流电子镇流器的产生	1
第二节 交流电子镇流器的组成及其优点	2
一、交流电子镇流器的组成	2
二、交流电子镇流器的优点	4
第三节 电子镇流器的发展	6
第四节 荧光灯用电子镇流器标准及其型号命名方法	8
一、荧光灯交流电子镇流器标准	8
二、荧光灯电子镇流器型号命名方法	10
第五节 电子镇流器常用术语	11
第二章 荧光灯的特性及其对电子镇流器的基本要求	15
第一节 荧光灯的构造及其特性	15
一、荧光灯的结构组成及其型号命名方法	15
二、荧光灯的主要特性	18
第二节 荧光灯工作原理及其主要参数	20
一、荧光灯工作原理	20
二、荧光灯的主要参数	21
第三节 荧光灯对电子镇流器的基本要求	27

第三章 输入与整流滤波电路	29
第一节 电磁干扰(EMI)滤波器	29
第二节 输入保护元件	33
一、NTC 热敏电阻	33
二、输入瞬变电压保护元件	36
第三节 整流滤波电路	38
一、桥式整流电容滤波电路	38
二、倍压整流滤波电路	40
第四章 电子镇流器逆变器电路的基本类型	42
第一节 回扫式逆变器电路	42
第二节 推挽式逆变器电路	46
一、电压馈电推挽式逆变器电路	47
二、电流馈电推挽式逆变器电路	48
第三节 半桥式逆变器电路	50
一、电压馈电半桥式逆变器电路	51
二、电流馈电半桥式逆变器电路	59
第四节 自振荡 IC 驱动的半桥式逆变器电路	62
一、由 NE555 时基电路组成的它激式半桥逆变器电路	63
二、由自振荡 IC 直接驱动的 MOSFET 半桥逆变器电路	64
第五节 全桥式逆变器电路	74
第五章 逆变器中功率开关晶体管	77
第一节 双极型晶体管的开关特性	77

一、晶体管的三个工作区域	78
二、晶体管的开关时间	79
三、外电路对晶体管开关速度的影响	81
四、在开关运用时晶体管的功耗	82
第二节 双极型开关晶体管的基极驱动电路	83
一、典型的基极驱动电路	83
二、几种常见的加速电路	85
三、双极型开关晶体管的抗饱和电路	86
第三节 双极型晶体管的二次击穿和安全	
工作区	89
一、二次击穿现象	89
二、晶体管安全工作区	90
第四节 开关晶体管的保护	93
第五节 功率开关 MOSFET	96
一、MOSFET 的主要特点	96
二、功率 MOSFET 的驱动电路	98
三、功率 MOSFET 的保护电路	100
第六节 绝缘栅双极晶体管(IGBT)	102
一、IGBT 的主要特征	102
二、在电子镇流器中作为开关使用的 IGBT	103
第七节 联栅晶体管(GAT)	108
一、GAT 的内部结构及其主要特点	108
二、电子镇流器用 GAT 代表性产品 2SG 系列	110
第八节 双极模式静电感应晶体管(BSIT)	113
第六章 电子镇流器的电流谐波与线路功率因数	
.....	117
第一节 电子镇流器的输入电流谐波	118

一、输入电流的波形畸变	118
二、波形与谐波含量的关系	118
三、电流谐波的危害及其限量规定	119
第二节 电子镇流器的线路功率因数	121
一、线路功率因数的定义	121
二、不同情况下的线路功率因数	122
三、线路功率因数与电流谐波之间的关系	126
四、提高线路功率因数的意义	129
五、关于电子镇流器线路功率因数的测试	130
第七章 电子镇流器的无源功率因数校正(PPFC)	
电路	134
第一节 两种典型的无源功率因数校正(PPFC)	
电路	136
一、无源谐波滤波逐流电路	136
二、高频能量反馈式无源谐波滤波电路	140
第二节 改进型的无源功率因数校正(PPFC)	
电路	144
一、改进型高频能量反馈式 PPFC 电路	144
二、带高频反馈环路的改进型逐流电路	148
第三节 新型无源谐波滤波电路	149
一、感性负载电流谐波抑制电路	149
二、双向自供辅助电源式 PPFC 电路	151
三、高频泵式 PPFC 电路	152
第四节 关于 PPFC 电路的设计考虑	152
第八章 电子镇流器的有源功率因数校正(APFC)	
技术	157
第一节 概述	157

一、APFC 的基本类型	157
二、APFC 预调整器基本原理	159
三、APFC 技术的发展	160
第二节 断续模式不定频率峰值电流控制	
APFC 升压变换器	162
一、基本功能与原理	162
二、代表性 APFC 控制器 IC 及其应用	169
第三节 固定开通时间零电流开关(ZCS)	
升压式 APFC 预调整器	189
一、基本控制电路及特点	189
二、APFC 控制器 IC 及其应用电路	192
第四节 固定频率平均电流型控制 APFC	
升压变换器	196
一、电路组成及其特点	196
二、固定频率平均电流型 APFC 控制器	
UC1854/UC2854/UC3854 及其典型应用	199
三、其它几种代表性 APFC 控制器简介	204
第五节 零电压开关(ZVS)平均电流型 APFC	
电路	206
一、ZVS 平均电流型 APFC 控制器 ML4822	206
二、ZVS 平均电流型 APFC 升压电路	208
第六节 回扫式 APFC 控制器及其应用	213
一、ML4813 回扫式 APFC 控制器	213
二、ML4813 典型应用电路	215
第七节 其它 IC 控制与驱动的 APFC 电路	221
一、用 TOPSwitch 开关作为控制器的 APFC 电路	222
二、利用自振荡半桥驱动器 IC 设计的 APFC 电路	226

第九章 荧光灯的启动及其预热启动电路	228
第一节 荧光灯启动的技术要求	228
一、荧光灯的启动方式	228
二、荧光灯启动的技术要求	230
第二节 荧光灯阴极预热启动电路	232
一、PTC 热敏电阻组成的预热启动电路	233
二、利用频率调制(FM)技术实现预热启动	240
第十章 电子镇流器的保护电路	245
第一节 电子镇流器的异常状态	245
第二节 异常状态保护电路	247
一、峰值检测型保护电路	247
二、幅值与相位检测式异常状态保护电路	250
第三节 限流保护	252
一、浪涌电流抑制	252
二、过电流保护电路	254
第四节 过电压保护(OVP)	257
第五节 过热保护	259
第十一章 高强度放电(HID)灯电子镇流器	263
第一节 高强度放电(HID)灯	263
一、HID 灯的结构及其特点	263
二、HID 灯的启动特性	266
第二节 HID 灯对电子镇流器的要求	268
第三节 HID 灯电子镇流器	269
一、HID 灯电子镇流器的组成	269

二、高频变换器电路	270
三、保护电路	273
四、声共振的抑制	274
五、启动电路	277
六、HID 灯控制器 UCC3305 简介	280
七、70W 高压钠(HPS)灯电子镇流器实际电路	283
第十二章 霓虹灯电子变压器	287
第一节 霓虹灯及其对电子变压器的要求	287
一、霓虹灯的结构及其工作原理	287
二、霓虹灯漏磁式变压器	289
三、霓虹灯电子变压器	290
四、霓虹灯的控制装置	292
第二节 霓虹灯电子变压器电路	294
一、自激式霓虹灯电子变压器电路	294
二、它激式霓虹灯电子变压器电路	299
三、制作工艺要求	301
第十三章 电子镇流器控制器 IC 及其应用电路 ...	303
第一节 TFA3351 电子镇流器控制器	304
第二节 ATT2161/ATT2162 电子镇流器控制器	308
一、ATT2161 低端镇流器控制器	309
二、ATT2162 高端镇流器控制器	311
三、ATT2161 与 ATT2162 组成的电子镇流器电路	313
第三节 KA7522/KA7522D 电子镇流器控制器 ...	315
一、KA7522/KA7522D 内部结构及其引脚功能	315

二、KA7522/KA7522D 的主要电气参数及其特点	316
三、用 KA7522D 作为控制器的 32W 双管荧光灯 电子镇流器电路	318
第四节 TDA4814/TDA4816G 电子镇流器控制器	322
第五节 L6574 电子镇流器控制器	328
一、L6574 的内部结构及其特征	328
二、L6574 的典型应用电路	333
第六节 NE5565 电子镇流器控制器	336
一、NE5565 的内部结构及其主要特征	336
二、NE5565 的功能及其工作原理	339
第七节 MI4830 电子镇流器控制器	344
一、MI4830 的封装型式、内部结构及其引脚功能	344
二、MI4830 的主要特征	347
三、MI4830 镇流器控制器的典型应用	351
第八节 KA7531/KA7531D 电子镇流器控制器	354
第九节 利用其他用途的 IC 作为电子镇流器 控制器	361
一、TDA4918 开关电源 IC 控制和驱动的 36V/400W 卤钨灯电路	361
二、用压控振荡器设计可调光电子镇流器	366
第十四章 电子镇流器设计实例	370
第一节 普通荧光灯电子镇流器的设计	370
一、主要技术要求和电路选择	370
二、设计程序和方法	372
第二节 断续传导模式不定频率 APFC	

升压式预调整器的设计·····	384
一、升压电感器的设计·····	386
二、乘法器及电流传感比较器外接元件的选取·····	390
三、误差放大器外接元件的选择·····	391
四、电源电路及电感电流检测元件的选取·····	392
五、半导体器件的选择·····	395
六、输入与输出电容器的选择·····	395
第三节 固定开通时间 ZCS 升压式 APFC	
预调整器的设计·····	397
一、升压电感器设计·····	399
二、电流传感电阻的选取·····	406
三、启动电路元件的选取·····	406
四、编程开通时间元件的选取·····	407
五、误差放大器元件的选择·····	408
六、输入和输出电容器的选择·····	408
第四节 APFC 预调整器升压电感器设计实例·····	410
第五节 电子镇流器用磁性元件的选择考虑·····	423
一、磁性元件的主要特性·····	425
二、磁性元件的选择考虑·····	430
第六节 电子镇流器用功率开关晶体管的选用	
指南·····	435
一、双极型功率开关晶体管的选用·····	436
二、功率开关 MOSFET 的选用·····	442
第七节 电子镇流器用电容器的选择·····	444
一、铝电解电容器的选择·····	445
二、灯启动用电容器的选择·····	448
三、EMI 滤波用电容器的选择·····	449

第八节 电子镇流器印制板线路的设计考虑	449
第十五章 电子镇流器的组装与调试	455
第一节 元器件的检验与筛选	455
一、元器件的检验	455
二、元器件的老化筛选	457
三、小批量装机试用,进行认定试验	458
第二节 电子元器件的焊接	459
第三节 电子镇流器的调试	461
第四节 电子镇流器的安装	468
第五节 电子镇流器主要参数及其测量仪器	471
一、电子镇流器的主要参数及其技术要求	471
二、电子镇流器参数测量仪器	473
第十六章 电子镇流器的检修	475
第一节 电子镇流器检修基本方法	476
一、外观检查法	476
二、万用表测量法	477
三、替代法	479
第二节 电子镇流器检修实例	480

第一章

电子镇流器概述

第一节 荧光灯交流电子镇流器的产生

自从 1879 年美国爱迪生发明第一盏实用白炽灯,迄今已有 100 余年的历史。继白炽灯之后,又出现了荧光灯、荧光高压汞灯、高压及低压钠灯、金属卤化物灯、自镇流荧光灯、无极感应灯和硫灯等新型电光源。从白炽灯发展到 1938 年问世的荧光灯,是照明电光源的一个飞跃。荧光灯俗称日光灯,在目前仍然是工业及家庭应用最广泛的照明器具之一。

在荧光灯问世后的 40 余年间,人们一直采用电感式镇流器并配之启辉器作为稳流和启动附件。电感镇流器的优点是可靠性较高,使用寿命较长。但这种镇流器体积和重量大而且自身功耗大,有噪音,会使荧光灯产生频闪。早在 50 年代,有人就针对电感镇流器存在的一些弊端,开始了对其改进的研究,并提出了采用电子镇流器的设想。1963 年, Roddam 在《晶体管变流器与换能器》一书中,首次发表了荧光灯交流电子镇流器具体电

路,并进行了详细的分析和讨论。只是由于当时没有可供选择的功率开关晶体管,Roddam 的设计方案并未得到实施。

我国的一些无线电爱好者从 60 年代中期开始,对于电池供电的日光灯电路进行了研究和实验。利用单只晶体管或由两只晶体管组成的复合管振荡器,将直流电源逆变为高频交流电源,并通过变压器升压,点燃一个 3~6W 的荧光灯。其中的升压变压器大多采用旧电子管收音机的电源变压器,有的则利用有线广播线间变压器或电铃变压器。这几种变压器都有两个或两个以上的次级绕组,在实际使用时将初级与次级颠倒,以成为升压变压器。尽管人们当时设计这种由 6V 直流电源供电的 DC/AC 变换器点燃小功率荧光灯并无多少实用价值,但就其设计思路来说,与后来推出的高频电子镇流器大体相同。

在 20 世纪 70 年代出现了世界性的能源危机,导致许多公司致力于新型节能电光源及荧光灯交流电子镇流器的研究。半导体技术日新月异的飞速发展,各种作为开关使用的高反压功率器件不断出现,为交流电子镇流器的开发提供了前提条件。70 年代末,荷兰飞利浦等公司率先研制成功了荧光灯交流电子镇流器,这是照明电器发展史上的一项重大创新。我国对高频电子镇流器的研究始于 80 年代中期,自 1986 年后,该产品陆续推向市场。

第二节 交流电子镇流器的组成及其优点

一、交流电子镇流器的组成

交流电子镇流器是将工频(50/60Hz)交流电变换为较高频

率的交流电,并能使一个或几个荧光灯正常启动和稳定工作的变换器。交流电子镇流器的核心就是高频变换电路。交流电子镇流器的基本功能方框图如图 1-1 所示。

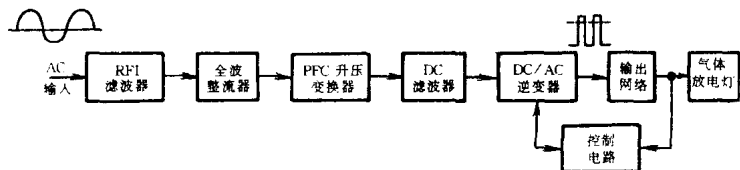


图 1-1 电子镇流器组成方框图

在图 1-1 中,工频(50/60Hz)市电电压在整流之前,首先经过射频干扰(RFI)滤波器滤波。RFI 滤波器一般由电感(L)和电容(C)元件组成,用来阻止镇流器产生的高次谐波反馈到输入交流电网,以抑制对电网的污染和对电子设备的干扰,同时也可以防止来自电网的干扰侵入到电子镇流器。

对于高品质的电子镇流器,在其全桥整流器与大容量的滤波电解电容器之间,往往要设置一级功率因数校正(PFC)升压型变换电路。其作用就是获得低电流谐波畸变,实现高功率因数。DC/AC 逆变器的功能是将直流电压变换成高频电压。高频变换部分的核心是功率开关元件。可作为开关使用的晶体管有双极型功率管、金属—氧化物—半导体场效应晶体管(MOSFET)、静电感应晶体管(SIT)和绝缘栅双极型晶体管(IGBT)等。逆变电路的开关频率一般为 20~50kHz,输出波形取决于电路结构的选择。DC/AC 逆变电路主要有半桥式逆变电路和推挽式逆变电路两种型式。高频电子镇流器的输出级电路通常采用 LC 串联谐振网络。灯的启动必须通过 LC 电路发生串联谐振,利用启动电容两端产生的高压脉冲将灯引燃。在灯启动之后,电感元件对灯起限流作用。由于电子镇流器开关频率达几十千

赫兹,故电感器只需很小体积即可胜任。

为使电子镇流器安全可靠地工作,还要设计辅助电路。有的从镇流器输出到 DC/AC 逆变电路引入反馈网络,通过控制电路以保证与高频产生器频率同步化。目前比较流行的异常状态保护电路,是将电子镇流器的输出信号采样,一旦出现灯开路或灯不能启动等异常状态,则通过控制电路使振荡器停振,关断高频变换器输出,从而实现保护功能。

二、交流电子镇流器的优点

与长期使用的电感式(亦称电磁式)镇流器比较,电子镇流器具有如下突出优点:

1. 节电效果显著。电子镇流器的节电特征主要表现在以下三个方面:

(1) 增加光输出,提高灯光效。事实上,影响荧光灯光效的许多因素是由设计者和制造者决定的,用户无法控制。但荧光灯的发光效率受供电频率的影响,而该因素是可以控制的。对一些荧光灯的研究发现,荧光灯交流供电频率从 50Hz 增加到 20kHz 以上时,灯光效一般可提高 10%。在输入功率不变的前提下,荧光灯光效(η)随频率(f)变化曲线如图 1-2 所示。很显然,对于同样的光输出,采用电子镇流器取代电感镇流器后,输入功率可以减小。

(2) 自身功耗低。各种气体放电灯电感镇流器功耗一般约为灯功率的 20%。40W 荧光灯电感镇流器一般为 8W,只要不大于 9W 即可符合产品标准要求。而这种灯用的电子镇流器功耗可低至 4W 以下。对于双管 58W、1500mm 飞利浦出品的节能型荧光灯,当采用电感镇流器时,则需要 2 只,每只镇流器功耗达 13W,两只则为 26W。但若采用电子镇流器,只需要一个则可