

荧光灯镇流器能效问题探讨

王 建¹, 李锦宇²

(1. 浙江省电子信息产品检验所, 浙江 杭州 310007; 2. 莱茵技术(上海)有限公司, 上海 201100)

摘要:针对荧光灯镇流器在照明电器中的广泛应用以及总用电量中所占比重较高的现状,介绍了我国、欧盟、美国等国家荧光灯镇流器能效现状、检验标准及法律法规,从荧光灯镇流器的结构、内部元器件等方面深入分析了荧光灯镇流器产生不必要的能源损耗和降低荧光灯寿命的主要原因,提出了提高荧光灯镇流器能源效率所涉及的设计、制造等方面的具体措施和荧光灯镇流器的发展趋势。研究表明,荧光灯镇流器的节能是一项系统工程,要从整个照明系统综合考虑其节能效果。

关键词:荧光灯镇流器;法律法规;能效

中图分类号: TM461

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)09-1117-07

Discussion on energy efficiency of ballasts for fluorescent lamps

WANG Jian¹, LI Jin-yu²

(1. Zhejiang Provincial Testing Institute of Electronic Products, Hangzhou 310007, China;

2. TÜV Rheinland (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201100, China)

Abstract: Aiming at wide application of ballasts for fluorescent lamps in lighting electrical appliance and the high proportion in total power consumption, the energy efficiency, test standard, laws and regulations of ballasts for fluorescent lamps of European Union, United States and China were introduced, from the structure and internal electronic devices, the main causes of the unnecessary energy loss of ballasts for fluorescent lamps were analyzed and the life of fluorescent lamps was reduced, the technical innovation concerning design and manufacture of high efficient ballasts for fluorescent lamps were proposed, the development trend of ballasts for fluorescent lamps was discussed. The results indicate that ballasts for fluorescent lamps' energy saving is a systematic project, so the effect of energy saving measures should be considered from the perspective of whole lighting system.

Key words: ballasts for fluorescent lamps; laws and regulations; energy efficiency

0 引 言

荧光灯具有光效高、显色好、照明效果理想的特点,广泛应用于家庭、商店、学校、宾馆、办公大楼等室内照明,荧光灯镇流器是一种用于启动并使一支或几支管形荧光灯工作的装置,与荧光灯配套使用,主要分为电感镇流器和电子镇流器两种,目前,紧凑型荧光灯几乎都采用电子镇流器,直管型荧光灯电感镇流器和电子镇流器的产量基本上各占 50%。


目前,我国照明电器的用电量占总用电量的 10%~13%,而据美国等发达国家统计,照明电器的用电量占总用电量的 20%左右,因此,随着人民生活水平的

提高,照明电器的用电量将进一步提升。而我国一直是电力、资源消耗大国,GDP 的增长持续依靠资源巨大消耗的方式并不可取,也不现实,因此,提高荧光灯镇流器的能效水平,降低荧光灯镇流器资源利用率,对于绿色照明和低碳经济都有着重大意义。同时,各国对于荧光灯镇流器的能效问题都高度重视,有相关的政策和法律予以保障。

本研究主要对荧光灯镇流器能效问题进行了探讨。

1 我国荧光灯镇流器的能效现状

在我国,荧光灯镇流器属于中国强制性认证(3C 认证)管理目录,在国内销售的产品必须首先通过 3C

认证,同时,对于荧光灯镇流器还有节能认证,不过该认证目前还只是属于自愿性认证,通过与否由企业自行决定而不具有行政强制力。荧光灯镇流器按结构可分为内装式、整体式、独立式,目前通过 3C 认证的大部分都为内装式,带有“”符号的即为独立式,而现在很常见的安装在原 T8 36 W 灯具上的 T5 28 W 转换支架即为整体式。电感镇流器最常见的是用于燃点 T8 18 W、T8 36 W 直管荧光灯用镇流器,电子镇流器最常见的是用于燃点 T8 18 W、T8 36 W、T5 28 W 直管荧光灯、T5 22 W 环形荧光灯用镇流器。

我国照明电器能效标准的研究始于 20 世纪 90 年代,组织制定能效标准主要是为实施《节约能源法》中所规定的高耗能产品淘汰制度、节能产品认证制度提供技术支持。第一个照明电器能效标准就是荧光灯镇流器的能效标准——GB 17896 - 1999《管形荧光灯镇流器能效限定值及节能评价》,该强制性标准于 1999 年 11 月 1 日正式批准和发布。该标准对荧光灯镇流器采用能效因子(BEF)表征,见下式:

$$BEF = \frac{\mu}{p} \times 100 \quad (1)$$

式中: μ —镇流器的流明系数值, p —线路功率。

该标准同时规定了能效限定值和节能评价两个要求,对于低于能效限定值的产品可视为高耗能产品,明令禁止生产,对于达到节能评价的产品应积极鼓励生产^[1]。对于达到节能评价的产品,还需同时满足电流谐波和无线电骚扰的标准要求,才视其为节能产品。不过该标准仅仅规定了对 18 W、20 W、22 W、30 W、32 W、36 W、40 W 这几种双端荧光灯用的荧光灯镇流器,对于 20 世纪 90 年代才出现的 T5 荧光灯用镇流器并未做出规定,对于结构小巧的单端荧光灯用镇流器也未做出规定。

2008 年 12 月 30 日,国家质量监督检验检疫总局发布了 GB/T 14044-2008《管形荧光灯用镇流器 性能要求》,2009 年 10 月 15 日发布了 GB/T 15144-2009《管形荧光灯用交流电子镇流器 性能要求》,这两个标准依据欧洲 CELMA 指令增加了对能效的要求。GB/T 14044-2008 将电感镇流器分为 3 个等级 B1、B2、C,规定能效最低应达到 C 级。GB/T 15144-2009 分为 3 个等级 A1、A2、A3,电子镇流器最低应达到 A3,减少损耗后电子镇流器最低应达到 A2,调光电子镇流器应达到 A1。两个标准均采用镇流器—灯电路输入总功率的方法得出测量值,电感镇流器的能效等级公式:

$$P_{\text{tot.ref}} = P_{\text{tot.means}} \left(\frac{P_{\text{Lref.means}}}{P_{\text{Lmeans}}} \times 0.95 \right) - (P_{\text{Lref.means}} - P_{\text{Lnom}})$$

(2)

电子镇流器的能效等级公式:

$$P_{\text{tot.ref}} = P_{\text{tot.means}} \times \left(\frac{P_{\text{Lnom}}}{P_{\text{Lref.means}}} \right) \times \left(\frac{\text{Light}_{\text{ref}}}{\text{Light}_{\text{test}}} \right) \quad (3)$$

式中: $P_{\text{tot.ref}}$ —修正到可等同的标准条件下的试验镇流器-灯电路的输入总功率, $P_{\text{tot.means}}$ —输入到试验镇流器-灯电路的测得的输入总功率, P_{Lnom} —根据灯资料活页的相应的标准灯的额定功率, $P_{\text{Lref.means}}$ —带基准镇流器的电路中测量的灯功率, P_{Lmeans} —带试验镇流器的电路中测量的灯功率, $\text{Light}_{\text{ref}}$ —由光电探测仪测量的连接到基准镇流器的标准灯的光输出, $\text{Light}_{\text{test}}$ —由光电探测仪测量的连接到试验镇流器的标准灯的光输出^[2-4]。

与 GB 17896-1999 相比,上述两个标准对能效等级的计算更为科学,要求也更高,标准中适用范围也大大提高,从 GB 17896-1999 中仅仅适用于工频荧光灯镇流器扩大到适用于高频荧光灯镇流器,适用灯管的型号也从以前的 7 种扩大到适用于高频、工频的 50 余种灯管用镇流器。美中不足的是,上述两个标准是推荐性的,生产企业使用与否由其自行决定,没有强制力。

2 国外荧光灯镇流器的能效现状

2.1 欧盟

在欧盟能源政策中,能源效率是最根本的要素。欧盟委员会估算,推行荧光灯镇流器的能效要求相比不采取相应措施每年可以实现节电数十亿千瓦时。基于这个原因,欧盟在 2000 年 9 月发布了《荧光灯镇流器能效要求指令》(2000/55/EC),规定了荧光灯镇流器产品在两个阶段的最高耗电水平、适用范围和 CE 标识符合性等方面的内容。指令涉及的产品必须符合规定的最低能效要求,否则不能在欧盟各成员国内生产和销售。2005 年 7 月,欧盟发布了《为设置用能产品的生态设计要求建立框架指令》2005/32/EC(简称“EuP 指令”),它为住宅、第三产业和工业部门中所有的与能源相关产品制定生态设计要求建立了一个框架,考虑了产品在整个生命循环周期对资源能量的消耗和对环境的影响^[5]。2009 年 3 月欧盟发布了基于 EuP 指令而制定的《执行无集成式镇流器荧光灯、高强度气体放电灯以及使上述灯工作的镇流器和灯具的生态设计要求》,并废止欧洲议会和理事会第 2000/55/EC 号指令的第 245/2009 号(EC)欧盟委员会法令。第 245/2009 号法令中对荧光灯镇流器的能率和产品

信息作出了要求,并且分3个阶段进行实施。该条例规定了荧光灯镇流器的能效系数(EEI)等级,非可调光荧光灯镇流器分为A2 BAT, A2, A3, B1, B2共5类,可调光荧光灯镇流器分为A1 BAT和A1两类,对灯在正常工作条件下没有发光时镇流器的功耗亦作出了限制^[6]。

2.2 美国

美国通过法规强制淘汰低端能效产品,通过自愿性认证推广高端能效产品。美国有关照明节能的规定比较复杂,照明产品能效标准是由州政府以法规形式颁布并要求强制执行。根据法律要求,美国能源部负责组织制定用能产品的能效标准。2005年8月,美国新颁布的《2005年能源政策法案》(EPACT2005)包含了15种消费类产品、特定工业设备的能源限制标准,其中包含了对荧光灯镇流器的能效标准和细节规范。根据《2005年能源政策法案》的要求,2009年7月1日后生产的荧光灯镇流器,2009年10月1日后由生产商销售的荧光灯镇流器,还有2010年7月1日后由光源生产商装配于光源中的荧光灯镇流器的能效因子(BEF)都必须符合其能源法案的要求,其能效因子的计算公式与GB 17896-1999中采用的公式相同。并且,规定荧光灯镇流器的功率因数不得低于0.90,这等于宣布电感镇流器退出市场^[7]。另外,《美国能源政策和节约法案下的特定家用产品和其他产品的能源消耗和水消耗资讯描述的法规》(16 CFR 305)中还对荧光灯镇流器的标签和包装的标识作出了规定。

此外,美国能源部和环保署共同推进了一项节能环保措施——“能源之星”计划,它是一个民间自愿性产品认证。它的目的是通过提供加贴“能源之星”标志,方便消费者和商业组织易于辨别和选购高能效产品。荧光灯镇流器也是“能源之星”项目覆盖的产品之一,其适用于《家用灯具照明的规范要求》第4.2版。不过“能源之星”只对室内使用的照明产品(即光源加镇流器)的能效提出要求,而未对荧光灯镇流器单独提出能效要求。

3 荧光灯镇流器提高能源效率的措施

众所周知,荧光灯镇流器需要和荧光灯配套使用,因此,提高荧光灯镇流器的效率应该从降低荧光灯镇流器的自身损耗和延长荧光灯的寿命两方面考虑。此外,在提高荧光灯镇流器的自身能效的同时,通过改进荧光灯电子镇流器的设计,为荧光灯电子镇流器增加调光功能,在不需要荧光灯电子镇流器满功率输出的

场合,降低输出功率,在自然光较强的时候,将灯光调暗直至关闭,同样可以起到节能和延长荧光灯寿命的效果。

3.1 电感镇流器

典型的电感镇流器电路一般由电感镇流器、启动器、荧光灯3部分组成,电感镇流器相当于一个串联在荧光灯和启动器上的电阻,与荧光灯电子镇流器相比,其自身功率损耗比较大。以典型的T8、36W直管荧光灯为例,采用普通电感镇流器燃点荧光灯其自身损耗大约为8W,而采用荧光灯电子镇流器燃点其自身损耗一般不超过4W,可见其能源浪费还是比较大的。

传统的电感镇流器通常用E形硅钢片,迭制成铁芯并于其上套以绕制成的漆包线包而成。由于E形硅钢片工作时在铁片的平面上磁力线排布不均,外圈疏,内圈密,90°内转角处密度最高,而周边的4个外转角处磁力线密度较小。E形硅钢片受到本身机械性能的限制,磁通密度不可能做得很高,因此为了减少E形硅钢片的涡流损耗,往往将硅钢片厚度做得很薄,硅钢片层间加以绝缘,这样使铁芯的占空系数上升,设计时需增大铁芯的截面积来补偿,每匝漆包线周长也相应增加,无疑在增加硅钢片和漆包线的材料损耗外,电感镇流器体积和重量均增加,此外,还增大了电感镇流器自身的铜损和铁损,即增大了自身的功率损耗。目前新出现了环型节能型电感镇流器,它包括环形铁芯和沿环形铁芯缠绕的绕组,所需绕组分段沿环形铁芯均布,相邻两段绕组首尾相连接。环形铁芯由两个半圆环形硅钢片迭片组构成,两迭片组间卡接连接。由于绕组采用分段方式沿环形铁芯均布,即缠绕完所需的层数后再依次缠绕下一段绕组,使得绕组的层与层间以及绕组的段与段间的电压压差降低,可有效避免由于电压波动造成的绕组击穿损坏现象,同时还可有效降低磁损。由于漏磁间隙固定,镇流器无噪声,工作性能稳定,又可使荧光灯寿命延长。与荧光灯电子镇流器和传统电感镇流器比较,节能效果显著,使用寿命延长。同样以T8、36W直管荧光灯为例,节能型电感镇流器其自身损耗大约为5W,接近荧光灯电子镇流器的自身损耗。

综上所述,传统电感镇流器由于其在性能和能效上的诸多劣势,已经不能满足目前的照明需求,我国GB 50034-2004《建筑照明设计标准》中也明确规定直管形荧光灯应配用电子镇流器或节能型电感镇流器,因此,传统电感镇流器将逐步淘汰,节能型电感镇流器还能继续生存下去。

3.2 荧光灯电子镇流器

一个典型的高性能荧光灯交流电子镇流器由输入 EMI 滤波器、整流滤波电路、功率因数校正电路、DC-AC 逆变器电路、输出网络组成,为荧光灯提供启动前的灯阴极预热、可靠启动的高电压、大小合适且稳定的工作电流,并且能有效地抑制输入电流谐波、提高线路的功率因数、降低灯电流的波峰系数。另外,在电子镇流器中增加模拟或数字调光电路,甚至通过计算机对荧光灯照明系统远程控制,实现对荧光灯的调光,还具有显著的节能效果。从设计和应用角度考虑其节能措施,主要有以下几个方面。

3.2.1 拓扑结构

DC-AC 逆变器电路是荧光灯电子镇流器的核心,其拓扑结构是系统总体效率的主要影响因素。拓扑结构的选择,主要考虑成本、功耗、尺寸、开关频率、效率等几个方面,在荧光灯电子镇流器中,主要有以下几种 DC-AC 逆变器电路:半桥逆变器电路、全桥逆变器电路、反激式逆变器电路、推挽式逆变器电路^[8]。反激式逆变器电路结构比较简单,但是其效率较低,故一般应用于低压直流供电的小功率荧光灯电子镇流器中,采用交流电供电的荧光灯电子镇流器中极少采用。推挽式逆变器电路其输出电压特性比较好,工作效率也很高,但是其两个开关器件所承受的电压要比峰值交流电源电压高很多,一般是其两倍以上,因此推挽式逆变器电路很少在 220 V 供电的场合使用,比较适合在日本、美国等 110 V 供电的国家使用。全桥逆变器电路,其输出功率较高,从效率角度考虑,应该是优先考虑的,与半桥逆变器电路相比,其开关电流仅仅是半桥的一半,意味着损耗也更小。但全桥逆变器电路拓扑比较复杂,需使用 4 个开关器件,成本较高,在荧光灯电子镇流器中较少采用,在 HID 电子镇流器中得到了较广泛的应用。半桥逆变器电路相对于全桥逆变器电路而言,电路简单,相对于推挽式逆变器电路而言,开关器件所承受的电压要低得多,而且其电路的效率也比较高,因此,我国和欧洲采用 220 V 或 220 V 以上供电的国家在荧光灯电子镇流器中普遍采用半桥逆变器电路拓扑。

3.2.2 开关损耗

荧光灯电子镇流器逆变电路的开关频率与效率直接相关。如果开关频率低的话,开关电源变压器和电感等磁性元件需要存储能量的时间就很长,并且体积也较大。但是,体积大的磁性元件,损耗也越大,效率就降低,因此,需要提高频率。但是,随着开关频率的上升,磁性元件损耗也同时上升,频率越高损耗越大。

就开关元件而言,损耗与频率也成正比,造成开关损耗的原因是由于开关的杂散电容和非零的开关时间等非理想因素引起的,这就需要尺寸更大的开关元件。由于上述的两个原因,荧光灯电子镇流器的开关频率一般为 20 kHz ~ 60 kHz,最大不超过 100 kHz。

要减小开关损耗,有多种解决方法。在双极型功率晶体管中,开关损耗主要包括导通损耗和关断损耗两部分。导通损耗主要由流过晶体管的寄生电容和电感器绕组上的电流造成。关断损耗是由晶体管的关断动态过程决定的。为了减小晶体管的开关损耗,可以通过优化基极驱动电路的方法加以改进,在半桥逆变器电路中,基极驱动电路既不能产生过驱动,也不能出现欠驱动。晶体管被过驱动,在基极上会产生过多的功率耗散,同时,晶体管易出现深饱和,从而延长退出饱和的时间,增加了开关功耗。若驱动不足,在导通期间集电极与发射极之间的电压 V_{CE} 会过大,增加晶体管的导通损耗。基极驱动电流的前沿要陡,宜采用具有电流源特性的基极驱动电路,并且应将晶体管维持在浅饱和状态,这样有利于晶体管的关断。关断时,施加反向基极电流能缩短存储时间和关断时间,从而减小关断损耗。在关断的最后阶段突然增加反向基极电流,可明显减少晶体管的关断损耗^[9]。同样地,正确地选用二极管、合理地布线、增加逆变器辅助电路,也可以减少晶体管的开关损耗。

场效应管具有开关损耗小、驱动电路简单的特点,因此,在电子镇流器半桥控制/驱动器集成电路中几乎全部都是为驱动场效应管而设计的。

3.2.3 启动方式

荧光灯有两种启动方式:预热启动和非预热启动。非预热启动方式不需要对灯电极加热,它利用高开路电压产生电极场发射直接将灯触发启动,该方式仅用于瞬时启动荧光灯,如冷阴极荧光灯。目前用途最广泛的荧光灯都属于预热启动型。预热启动就是灯电极先被加热到电子发射温度后灯才能被触发启动。对预热启动型荧光灯,在启动之前若对灯丝不进行预热,直接在灯管两端施加高开路电压,并同时施加灯阴极电流,阴极发射材料将远未达到热电子发射温度,而高压又不可能在非常短的时间内将灯管击穿而使其导通,致使灯先要经过辉光放电再过渡到弧光放电。在辉光放电阶段,阴极发射材料将严重溅射,使灯丝周围的管壁内表面出现早期发黑,导致荧光灯的使用寿命缩短^[10-11]。

灯丝预热一般有两种方法:采用控制阴极电流的方法和采用控制阴极电压的方法。采用控制阴极电流

的方法对灯阴极进行预热时,阴极达到发射状态所需要的时间通常为0.4 s,在0.4 s之内可以施加较大的灯丝有效电流而又不损坏灯阴极,0.4 s之后,此电流逐渐减小。典型的电流型预热电路有:采用频率可编程设计的专用集成电路的变频电流型预热电路、采用自振荡半桥驱动器集成电路的变频电流型预热电路、采用PTC热敏电阻的电流型预热电路,其中采用PTC热敏电阻的电流型预热电路在简易荧光灯电子镇流器中使用最为普遍。在国外高档荧光灯电子镇流器中普遍采用变频电流预热型电路,大大提高了灯管的寿命,从而大大减少了灯管的更换,间接减少了汞的污染。采用控制电压的方法对灯阴极预热时,也要求预热时间不低于0.4 s。采用这种方法对阴极进行预热,当低电阻阴极上的电压超过3 V,高电阻阴极上的电压超过6 V,但不应超过10 V,并且施加电压的时间大于或者等于0.4 s时,即可达到阴极发射温度。在达到阴极热电子发射之前,如果灯的开路电压低于可进行冷启动的值,则允许同时施加阴极预热电压和灯电压。灯丝变压器伺服预热电路是典型的电压型预热电路,这种电路通过一个场效应管的导通和关断来完成灯阴极的预热,非常适合集成电路控制,预热良好,能效也较高。

目前国外为了降低荧光灯镇流器的功耗,采取切断输出端灯丝电流,即“cutoff”技术,比较典型的应用对象为德国欧司朗公司,主要方法是采用电子开关技术,当灯启动时,给灯丝提供合适的预热电流,在荧光灯管呈弧光放电后,电子开关电路自动切断灯丝加热电流,从而降低荧光灯镇流器功耗,故提高荧光灯镇流器效率,此类荧光灯镇流器的能效可以做到A2以上。

3.2.4 功率因数校正、降低电流波峰系数

荧光灯电子镇流器采用功率因数校正电路以后,其线路功率因数可以从原来的0.5~0.6提高到大于0.99,同时降低电流谐波失真^[12]。这将大大提高交流电源的利用率,减小电力输送线的电流,降低输送线路的功率损耗,节约电能,提高荧光灯电子镇流器的功率因数势在必行。同时,根据热电子发射理论,灯阴极热点温度对阴极电子发射材料的蒸发速率十分敏感,阴极热点温度越高,蒸发速率越快。然而阴极热点温度是由通过灯丝的阴极电流决定的,当灯电流波峰系数越大时,通过灯丝的波峰系数也越大,则阴极热点温度就越高。而过高的阴极热点温度将导致电子发射材料蒸发过快,从而导致阴极发射能力下降,灯管两端过早发黑,加速了灯阴极的老化,降低了灯管寿命。因此,控制荧光灯电子镇流器灯电流的波峰系数,对于提高

灯管寿命有着十分重要的影响,我国国家推荐性标准要求其不得大于1.7。无源功率因数在解决功率因数的同时,功率因数、电流波峰系数、电流谐波失真等参数之间相互制约,需统筹考虑。有源功率因数校正电路在将功率因数提升至接近1的水平的时候,可以很好地解决波峰系数过高的问题,同时还实现了低电流谐波失真。

通过在荧光灯电子镇流器中增加有源功率因数校正电路可以将功率因数提升至接近1的水平,并且可以很好地解决波峰系数过高的问题,同时还实现了低电流谐波失真。荧光灯电子镇流器中的有源功率因数校正电路的拓扑结构均采用升压型变换器,按升压电感电流的传导方式分类,有源功率因数校正可以分为不连续导电模式(DCM)、连续导电模式(CCM)和临界导电模式(CRM)3种类型^[13],其中CRM模式的有源功率因数变换器电路比较简单,成本相对较低,适用于低于100 W的场合,在荧光灯电子镇流器中被广泛应用。有源功率因数校正需使用专用控制集成电路芯片,在系统中需要单独组成一组电路,虽然功率因子、电流波峰系数、谐波含量远远优于国家标准的要求,但是成本也相对较高,适合高端荧光灯电子镇流器中采用,目前,在荧光灯电子镇流器中广泛使用的还是无源功率因数校正电路。无源功率因数校正电路由电感器、电容器及二极管等无源元件组成,常见的无源功率因数校正电路有填谷式、高频回馈式、高频电流填谷式。无源功率因数校正电路设计时需面对波峰系数和电流谐波之间的矛盾问题,波峰系数减小了,电流谐波就增大了,反之,电流谐波减小了,波峰系数就增大了^[14-15],为了符合不得大于1.7的国家标准要求,往往将设计标准定义在1.68左右,勉强符合国家标准要求。其次,为了符合国家标准要求,往往在电路中并联一个大容量、高耐压的电解电容起滤波作用,增加了能耗,降低了能效指数。由于无源功率因数校正电路比较简单,成本较低,特别适合用于25 W以下的紧凑型荧光灯电子镇流器电路中,同样也适合用于低成本直管荧光灯电子镇流器电路中。随着安全、电磁兼容、能效等一系列问题越来越被社会所认同,无源功率因数校正将逐步减少,有源功率因数校正会得到广泛应用。

3.3 与能效有关的元器件的选择

3.3.1 快速恢复二极管

普通整流二极管在正向偏置跃变为反向偏置时,并不是立刻截止,而是由正向电流变为很大的反向电流,这一电流维持一定的时间后才慢慢变小,这段时间被称为反向恢复时间,一般需要0.5 μs以上,作为开

关使用的话其功耗较大。为了减小恢复时间、降低功耗,研究者在芯片上形成一些复合中心,使 PN 结两边的存储电荷很快复合而消失,这种反向恢复时间较短的二极管就称为快速恢复二极管。在荧光灯电子镇流器中,功率因数校正电路中的升压二极管、使用双极型功率晶体管和功率场效应管的逆变器电路,以及一些半桥驱动器电路中,都必须使用快速恢复二极管。从功耗的角度选择,快速恢复二极管的反向恢复时间越小越好,但荧光灯电子镇流器的工作频率一般不超过 100 kHz,因此反向恢复时间小于 500 ns 即可。

3.3.2 磁损和铜损

在荧光灯电子镇流器中,电感器和变压器的损耗主要由两部分组成:磁损和铜损,其中磁芯的损耗也由两个因素造成:磁滞损耗和涡流损耗。磁滞损耗主要与材料的本身、工作频率、磁通密度有关,要降低磁滞损耗,必须要降低剩磁和矫顽力,在成本允许的情况下,选用低损耗的材料也是一种好的方法,例如选用非晶态金属合金磁芯,可使损耗减少 70%。涡流损耗是指磁体内存在的涡流使磁芯发热造成能量的损耗,一般可表示为:

$$P = K_e \times d^2 \times B_m \times f^2 / \rho \quad (4)$$

式中: d —涡流环路直径, B_m —磁通密度, ρ —电阻率, f —频率, K_e —常数。

从式(4)可知,涡流损耗不仅与频率和磁通密度有关,而且还决定于产品的几何形状及内部的电阻率 ρ ,其中电阻率 ρ 的影响不容忽视。电阻率随频率的升高而降低,从而导致在高频条件下涡流损耗的增加^[16]。并且,磁芯材料的损耗还随温度变化而变化,因此,荧光灯电子镇流器中的驱动变压器、高频扼流圈、功率因数校正电路中的升压电感器中的磁芯,其功率损耗最好具有负的温度系数,使其在正常工作温度下,材料的功耗随温度升高而降低。

铜损是电流通过线圈而产生的损耗,通过线圈的电流越大,铜损也越大,电感器和变压器的电阻越大,铜损也越大。因此,减小铜损就要加粗铜线,减少铜线长度。并且要权衡铜损和磁损,使两者之和最小,但不能使电感器和变压器进入饱和状态,以及发生铜线温度过高导致的绝缘降低的短路故障,这两种情况都会使线圈烧毁。

3.4 荧光灯电子镇流器的调光功能

为了提高荧光灯电子镇流器的能效,人们除了降低荧光灯电子镇流器自身功耗以外,为荧光灯电子镇流器增加可调光功能,也是提高整个照明系统能源效率的重要措施之一。在不需满功率输出的场合,降

低输出功率,既可以节能,又可以延长荧光灯的使用寿命。

调光的实质就是调节光输出,传统非调光电子镇流器通过闭环控制使输出功率基本稳定,灯电阻不会发生很多的变化,而可调光电子镇流器在调光模式下,灯管呈现的电子特性是不同的,需要一个可控的调光控制输入端,并采用适当的方法检测灯电压、灯电流和灯功率,利用反馈电路来调节所需的灯亮度。

荧光灯电子镇流器的调光方法主要有以下几种:脉冲宽度调制(PWM)调光法、脉冲调频调光法、改变半桥逆变器供电电压调光法、脉冲调相调光法、可控硅相控调光法。电感镇流器可以通过改变串联电感值的方法实现调光,即在电感镇流器的前端串联电感线圈的断开和接通,或者串联一个可控硅,改变其导通角的方法来实现。荧光灯电子镇流器按照调光使用的控制方法又可以分为模拟调光和数字调光,按照控制范围大小的实现方法可以分为现场总线控制和计算机网络调光控制两大类。我国国家标准 GB/T 15144-2009 对可调光电子镇流器的控制接口列举了 3 种控制方法:用脉冲宽度调制(PWM)进行控制、用直流电压进行控制(即模拟调光)、用数字信号进行控制。

脉冲宽度调制(PWM)调光法是利用调节高频逆变器中功率开关管的脉冲占空比,实现灯输出功率的调节目,半桥逆变器的最大占空比为 0.5,以确保半桥逆变器中两个功率开关管之间的导通有一个死时间,以免两个功率开关管由于共同导通而损坏。UC3871、FAN7310、L6574 均为采用脉冲宽度调制(PWM)控制方式进行调光的荧光灯电子镇流器控制集成电路。

采用直流电压进行调光控制,一般为不超过 10 V 的可调直流电压,控制器的调光控制信号为模拟信号,其调光控制信号通常采用电位器或调光控制接口电路产生。采用电位器产生调光控制信号的电路非常简单,在控制端口和地之间串联一个电阻和一个电位器即可。而采用调光控制接口电路进行调光控制,结构相对复杂一些,其代表性的集成电路比较多,三星、IR、飞利浦等知名企业均有模拟调光电子镇流器控制器集成电路产品。将若干个荧光灯电子镇流器并联在一起,可以集中控制,与数字调光系统相比,直流模拟调光系统中的每个电子镇流器不能寻址,荧光灯电路的工作状态无法反馈到控制端,存在系统连接复杂、传输距离远时控制信号质量变差等诸多弊端。

采用数字信号进行控制,就是使荧光灯电子镇流器的调光控制输入信号为数字信号,与模拟调光电子

镇流器相比,数字调光电子镇流器的成本较高,但是其性能优异、功能强大。数字调光电子镇流器通常有一个微控制器,利用这个微控制器可以实现荧光灯电子镇流器与计算机之间的控制数据的传送和接收,以完成存储荧光灯电子镇流器的地址信息、接收用户指令、设定调光基准电平、接收来自荧光灯电子镇流器的控制信息、接收荧光灯电子镇流器的工作状态等功能。在数字调光电子镇流器的基础上,飞利浦、欧司朗、ECC 起草了荧光灯照明荧光灯电子镇流器标准通信协议—数字可寻址照明接口 (DALI), IEC60929 和我国国家标准 GB/T 15144-2009 均引用了该协议。DALI 是一种开放式的系统结构标准,每个 DALI 控制系统可连接 64 个 DALI 镇流器或由 16 组地址组成的 DALI 数控镇流器。每个 DALI 控制系统的控制距离可达 300 m,最大驱动电流为 250 mA,线路压降为 2 V,一个 DALI 控制接口可以控制一座中等规模的建筑物照明。典型的数字调光系统由数控可调光电子镇流器、微控制单元和调光控制网络等组成。DALI 照明控制系统开放性好、易于安装,调光控制范围为实现 1% ~ 100%,并分 256 级,DALI 智能调光控制系统可节能 60%,具有良好的发展前景^[17-18]。

4 结束语

荧光灯镇流器广泛应用于照明电器中,贪图价格便宜而浪费电能的现象比较普遍,世界各国对能效的重视程度正逐步提高,制定了相应的能效标准和节能法律法规。我国荧光灯镇流器的生产企业应密切跟踪国内外荧光灯镇流器产品的能效标准和相关法律法规的最新变化,加大产品开发力度,调整产品技术结构,尽量提高产品的节能水平,降低其能耗,从而提高自身产品自身的竞争力,以便在市场中占有一席之地。另外,政府部门也应该制定对节能产品的鼓励政策,增强企业生产节能产品的积极性,如对通过节能认证的产品,政府给予适当的补偿,以吸引更多的企业重视节能产品的生产。

参考文献 (References):

- [1] 国家质量技术监督局. GB 17896-1999 管形荧光灯镇流器能效限定值及节能评价价值[S]. 北京:中国标准出版社, 2000.
- [2] 国家质量技术监督检验检疫总局, 国家标准化委员会. GB/T15144-2009 管形荧光灯用交流电子镇流器性能要求[S]. 北京:中国标准出版社, 2010.
- [3] 国家质量技术监督检验检疫总局, 国家标准化委员会. GB/T14044-2008 管形荧光灯用镇流器性能要求[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [4] European Committee for Electrotechnical Standardization. EN 50294: 1998 Measurement Method of Total Input Power of Ballast-lamp Circuits[S]. London: British Standards Institution, 1998.
- [5] 黄冠胜. 欧盟能效政策法规实用指南[M]. 北京:中国标准出版社, 2010.
- [6] European Union. COMMISSION REGULATION (EU) No 347/2010 of 21 April 2010 amending Commission Regulation (EC) No 245/2009 as regards the ecodesign requirements for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps [S]. Official Journal of the European Union, 2010.
- [7] 周举文. 美国用能产品能效技术法规实用指南[M]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [8] GULDER H. Principles of electronic ballasts for fluorescent lamps-an overview [C]// 30th Annual IEEE PESC 99, Charleston: [s. n.], 1999: 19-25.
- [9] 丁学文. 怎样减小功率晶体管的开关损耗[J]. 电力电子技术, 1990(1): 8-12.
- [10] 陈永真, 李锦. 高频电子镇流器设计与制作详解[M]. 北京:中国电力出版社, 2010.
- [11] 路秋生. 电子镇流器的设计与调光控制[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [12] ADRAGNA C. STMicroelectronics Application Note: L6561, Enhanced Transition Mode Power Factor Corrector[M]. Italy: STMicroelectronics Group of Companies, 2003.
- [13] 毛兴武, 祝大同. 新型电子镇流器电路原理与设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007.
- [14] 孙绍伍, 王永超. 波峰系数对灯寿命影响的实验研究[J]. 物理实验, 2002, 22(12): 35-37.
- [15] 孙志东. 波峰系数与电流波形的关系[J]. 中国照明电器, 2004(4): 19-24.
- [16] 李海华, 冯则坤, 何华辉. 开关电源用 MnZn 铁氧体磁损耗研究[J]. 仪表技术与传感器, 2001(4): 10-12.
- [17] SEERDEN P. Philips Semiconductors Application Note: P87LPC760 based DALI slave [M]. USA: Philips Electronics, 2003.
- [18] VERLAG R P. Digital Addressable Lighting Interface Activity Group Manual [M]. Frankfurt: DALI AG (Digital Addressable Lighting Interface Activity Group) of ZVEI, Division Luminaires, 2001. [编辑:张翔]