

# 荧光灯电子调光镇流器的设计与实现\*

上海大学自动化系

高艳霞

香港理工大学电机工程系

Dr. SUTANTO

上海大学自动化系

朱平平

**【摘要】** 本文论述了一种用于荧光灯的电子镇流器的设计方法。在分析了荧光灯固有特性的基础上,对一种适用于荧光灯特性的谐振电路作了静态分析。并以2个18W荧光灯串联为例进行了参数设计,并选用镇流器控制专用芯片ML4835实现了该电路。最后给出了令人满意的实验结果。

**【关键词】** 谐振电路 调光电子镇流器

## 一、引言

电子镇流器相对传统的电磁式镇流器有许多优点,其市场占有率正逐年上升。工作在大于30kHz的高频的电子镇流器,具有许多工频镇流器没有的优点,荧光灯的光输出量可提高10%—20%<sup>[1]</sup>,而且现在的电子镇流器大多带有功率因数校正功能,使功率因数大大提高,减少了对电网的污染。此外,高频电子镇流器还具有改善起动性能,可以瞬时起动,迅速发亮,同时消除了使用工频镇流器时由于周期性电流过零而引起的频闪现象,高频镇流器运行无噪声,还具有调光功能。由于采用分段的起动方式,使灯管使用寿命大大增加。电子镇流器重量也大大减轻。

高频电子镇流器通常由EMI滤波,功率因数校正,高频DC/AC逆变器及控制电路所组成,系统原理框图如图1所示。

设计电子镇流器的关键是选择逆变器的类型及输出网络的结构,按照灯管的特性来确定电路参数。本文根据日光灯的固有特性选择了Class-D电压开关谐振逆变器,并对该谐振逆变器进行了稳态分析,选择

了谐振电路的参数。为了延长日光灯的使用寿命,采用三段频率起动法:(1)上电后,逆变器工作在预热频率;(2)在灯丝得到充分预热后,逆变器工作在起动频率,使灯管两端的电压增加,灯管起动;(3)当控制器检测到灯管电流后,逆变器转入运行频率工作,输出所要求的电压,使灯管达到所要求的亮度。

## 二、荧光灯的固有特性及调光原理

荧光灯是气体放电灯管。它是利用管内低压汞蒸气,在放电过程中汞原子被电离时射出的紫外线激发内壁上的荧光粉而发出可见光。当气体放电时就象一个负温度系数的电阻。在功率较大时,灯管中的气体电离得比较充分,灯管电阻较小。由于荧光灯管热时间常数是毫秒级的,传统的工频镇流器每周期都有二次电流过零点,此刻灯管几乎不发光,因此,荧光灯工作时将有二倍电源频率的闪烁现象。而高频镇流器,电流过零的时间间隔较短,以30kHz为例仅16.7 $\mu$ s,在这样短的时间内,灯管内的气体没有充分的时间电离及重新结合,所以克服了频闪的现象。

荧光灯在高频工作时,可通过调节灯管自身的电阻来调节其两端电压。灯管的V—I特性一般取决于灯管的尺寸而与工作频率关系不大。图2给出了18W荧光的V—I特性。从此特性可以明显地看到灯管的负阻特性。电流

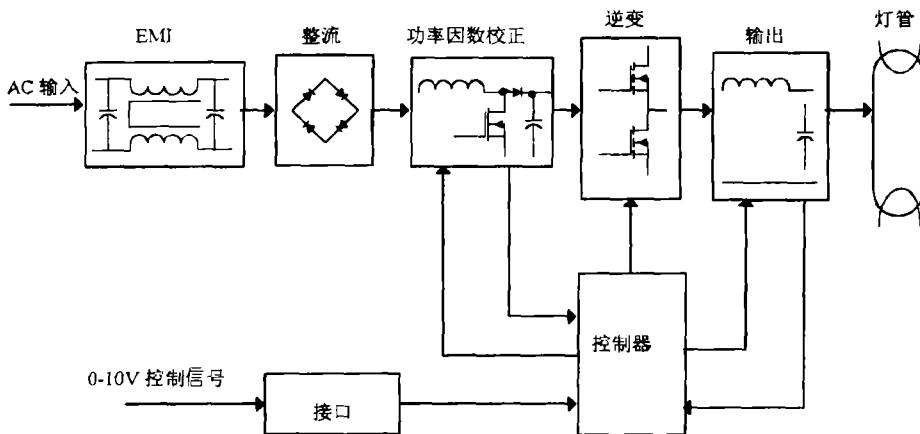


图1 电子镇流器原理框图

\*本课题受香港理工大学资助。

小时,电压较高,此时功率较小,灯管较暗。而随着电流的增加,电压有所减少,功率较大,灯管较亮。只有在灯管在极小功率时,有一段正阻特性,这时灯管极暗。

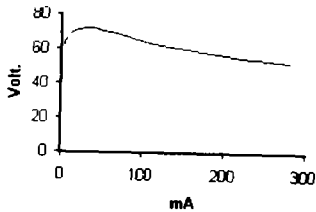


图2 18W灯管V-I特性

### 三、Class-D 电压开关谐振逆变器稳态分析

图3所示为Class-D电压开关谐振逆变器原理图,它能满足荧光灯的负阻特性的要求,在负载增加时电压减少,电流增大,反之亦然。

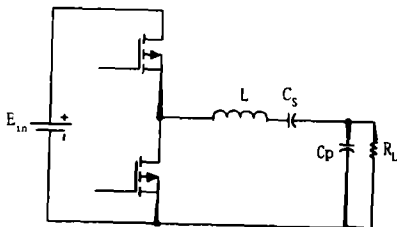


图3 Class-D 谐振逆变器原理图

图中  $C_s$  为隔直电容,  $C_p$  为谐振电容,  $L$  为谐振电感,  $R_L$  为灯管等效电阻。在 MOSFET 开关期间,加在 MOSFET 上的电压等于直流母线电压的  $E_{in}$ 。  $E_{in}$  一般是工频单相电源整流输出电压或再经功率因数校正后的电压,一般为 310V~400V。宜选用低压低导通电阻的 MOSFET,降低了损耗提高了效率。谐振网络的输入电压是幅值为  $E_{in}$ , 占空比为 50% 的方波。高频运行时,  $C_s$  仅起隔直作用,可以认为短路,这样图3可以简化成图4。

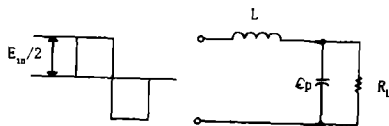


图4 简化原理图

高频运行时,灯管就象一个纯电阻,其电流电压同相位。而  $L$ - $C_p$  网络形成一个低通滤波器,方波中的高频分量基本上被滤掉<sup>[2]</sup>,所以可以采用基波近似法来分析。

将幅值为  $E_{in}/2$ , 正负半波对称, 50% 占空比的方波进行傅氏变换,可得到基波分量有效值为式(1)

$$U_{in} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E_{in} \quad (1)$$

《电气自动化》2000年第6期

图4中的谐振电路可以用下述参数来描述  
无阻尼谐振角频率为:

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC_p} \quad (2)$$

$$\text{特征阻抗为: } Z_0 = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C_p} = \sqrt{L/C_p} \quad (3)$$

品质因数如(4)式所示:

$$Q_L = R_L/Z_0 \quad (4)$$

该谐振电路的输入阻抗为:

$$Z = j\omega L + \frac{R_L \frac{1}{j\omega C_p}}{R_L + \frac{1}{j\omega C_p}} \\ = \frac{R_L [1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2 + \frac{1}{jQ_L} (\frac{\omega}{\omega_0})]}{1 + jQ_L (\frac{\omega}{\omega_0})} = |Z| e^{j\phi} \quad (5)$$

$$\phi = \text{tg}^{-1} \{ Q_L (\frac{\omega}{\omega_0}) [(\frac{\omega}{\omega_0})^2 + \frac{1}{Q_L^2} - 1] \} \quad (6)$$

$\phi=0$ , 可得此电路的谐振角频率,如式(7)所示。

$$\omega_r = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{Q_L^2}} \quad (7)$$

当  $Q_L < 1$  时,谐振频率不存在,在任何情况下,该电路均呈感性。当  $Q_L > 1$  时,  $\omega_r$  随  $Q_L$  的增加而增加。当工作频率  $f > f_r$  时,电路呈感性,电流滞后电压,这时功率管 MOSFET 可以在零电压下关断,减少了开关损耗。当工作频率  $f < f_r$  时,电路呈容性,负载电流超前电压,这时会出现较大的开关电流,开关损耗增加。一般总希望工作在感性一边,即  $f > f_r$ 。

在输入电压  $U_{in} = \frac{2E_{in}}{\pi} \sin \omega t = U_{im} \sin \omega t$  作用下,流过负载  $R_L$  中的电流幅值为式(8)。  $U_{im}$  为输入电压基波分量幅值。

$$I_{Lm} = \frac{U_{im}}{Z_0} \frac{1}{\sqrt{Q_L^2 [1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2]^2 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}} \quad (8)$$

$$\text{在 } f = f_0 \text{ 时, } I_{Lm} = \frac{U_{im}}{Z_0} = \frac{2E_{in}}{\pi Z_0} = \frac{2E_{in}}{\pi \omega_0 L} = \frac{2E_{in}}{\pi} \frac{1}{\omega C_p} \quad (9)$$

由(9)式可见,  $I_{Lm}$  在  $f = f_0$  时与  $R_L$  无关。这说明这种线路能够对电流起限制作用。

加在负载  $R_L$  两端的电压幅值为式(10)。

$$U_{Lm} = \frac{U_{im}}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2]^2 + [\frac{1}{Q_L} (\frac{\omega}{\omega_0})]^2}} \quad (10)$$

图5给出了负载电压幅值与谐振电路输入基波电压幅值之比  $U_{Lm}/U_{im}$  随  $\omega/\omega_0$  变化的关系曲线。

当负载电阻变化时,相当于  $Q_L$  变化。  $Q_L$  增加,

输出电压升高,当负载电阻减小时,  $Q_L$  变小,若使工作频率减小,可得到一定的输出电压,  $R_L$  增加,使工作频率也增加,这时可使输出电压稍

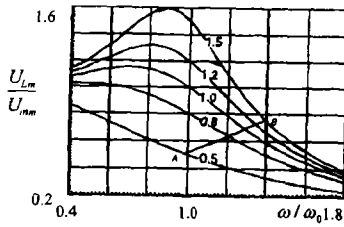


图5  $U_{Lm}/U_{inm}$ 与 $\frac{\omega}{\omega_0}$ 的关系

有提高,适当地控制工作频率,可工作在不同的工作点,这种特性可满足调光的要求。当荧光灯由亮到暗调光时,也就是工作点从A移动到B。

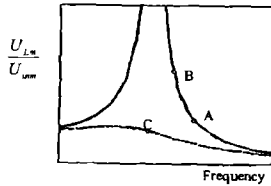


图6 三段频率特性

在  $f = f_0$  时,灯管二端电压有效值为式(11)。

$$U_L = U_{in} * Q_L = \sqrt{2}E_{in} * Q_L / \pi \quad (11)$$

在静态分析的基础上,可以进行设计了。

#### 四、设计举例

在预热及起动阶段,灯管近于开路,  $Q_L$  很高,所以应根据所需预热及起动电压选择合适的工作频率。灯管起动后,  $R_L$  减小。一般希望满功率时既要保证电路的感性,同时又不致使电感  $L$  太大。实际上只要工作频率满足  $f > f_0$ , 电路即为感性。而在满功率时  $Q_L$  较小,  $f_r$  与  $f_0$  之间有一定频段,且  $f_r < f_0$ 。若  $f \geq f_0$ , 就能保证电路的感性性质。为设计方便,可选满功率时工作频率  $f = f_0$ 。一般预热、起动及运行三者频率之间的关系为:  $f_{preheat} > f_{start} > f_{run}$ 。这时的  $f_{run}$  为满功率时的工作频率。当调光时,功率比满功率小,这时工作频率会升高,一般三段频率关系如图6所示,图中, A 点为预热工作点, B 点为起动工作点, C 点为满功率工作点。

本文以二个 18W 灯管串联为例进行设计。已知 18W 灯管参数如下: 满功率时  $I_L = 0.29A$ ,  $U_L = 53V$ ,  $U_{start} < 500V$ , 选  $U_{start} = 380V$ ,  $U_{preheat} < 220V$ , 选  $U_{preheat} = 130V$ 。220 伏 50Hz 工频电源经整流及 BOOST 电路功率因数校正后,逆变器输入电压为 380V。这样根据式(1)得谐振网络输入电压的有效值  $U_m = 171V$ 。

在满功率运行时,二个灯管总电阻  $R_L = 2 * \frac{U_L}{I_L} =$

$366\Omega$ 。为设计方便,设满功率运行频率  $f = f_0$ , 并取  $f_0 = 40kHz$ 。根据式(11)可得  $Q_L = \frac{U_L * \pi}{\sqrt{2}E_{in}} = 0.62$ 。由式(4)可得  $L = 2.3mH$ ,  $C_p = 6.8nF$ 。在选定了  $C_p$ 、 $L$  后,根据式(10)可以计算热频率及起动频率。在预热及起动时,灯管相当于开路,即  $R_L = \infty$ , 这样式(10)就为式(12)。

$$U_L = \frac{\sqrt{2}E_{in}}{\pi \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2}} = \frac{\sqrt{2}E_{in}}{\pm \pi \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]} \quad (12)$$

分别将  $U_{start} = 380V * 2$ ,  $U_{preheat} = 130V * 2$  代入(12)式中,可分别得到各有二个频率满足(12)式。其中一个  $f > f_0$ , 另一个  $f < f_0$ 。为满足电路为感性开关器件实现零电压关断的要求,分别选择满足  $f > f_0$  的预热频率及起动频率。选择  $f_{preheat} = 51.5kHz$ ,  $f_{start} = 44.3kHz$ 。

调光时工作频率的计算: 如输出功率为满功率 50%,  $R_L = 467\Omega * 2$ ,  $U_L = 63V * 2$ , 可方便地根据式(1)算出  $f = 53.5kHz$ 。当输出功率为满功率的 10% 时,可计算得  $f = 57.8kHz$ 。

在设计出镇流器主要参数后,要考虑该镇流器的实现。文中采用最新镇流器控制芯片 ML4835<sup>[3]</sup> 来控制。ML4835 是 20 芯芯片。具有功率因数校正及镇流器控制的功能。并能够根据设定亮度及灯管电流的大小,调整工作频率来满足所要求的输出光。这种控制芯片还可通过不同外围参数如电阻电容的选择,实现三段频率式控制及反复起动功能。在预热及起动后,若检测不到灯管电流,则自动封锁所有输出,使线路停止工作。过一段时间(可自行选定)后,再次预热及起动灯管。这样对灯管损坏等情况可起到有效的保护作用,根据要求预设时间选为 0.5s, 起动失败或灯管损坏(检测不到起动电流)时的重新启动时间间隔为 5s, 并根据上述选定的频率,可选定 ML4835 的一些参数。 $R_T = 16.3K\Omega$ ,  $C_T = 1.5nF$ ,  $R_{T2} = 91.7K\Omega$ ,  $R_{set} = 20K\Omega$ ,  $R_x = 330k\Omega$ ,  $C_x = 15\mu F$ 。

#### 五、实验结果

用 ML4835 为控制芯片,研制了用于二只 18W 灯管的电子调光镇流器。图 7 给出了不同功率时灯管的电流和电压波形。由波形可见,电流电压均有较好的正弦度,且电流波峰系数仅为 1.3, 远远满足小于 1.7 的要求。图 8 给出了逆变器输出电流电压波形,电流滞后于电压,可以实现 MOSFET 的零电压关断,图 9

《电气自动化》2000 年第 6 期

给出了灯管, 启动及运行波形。

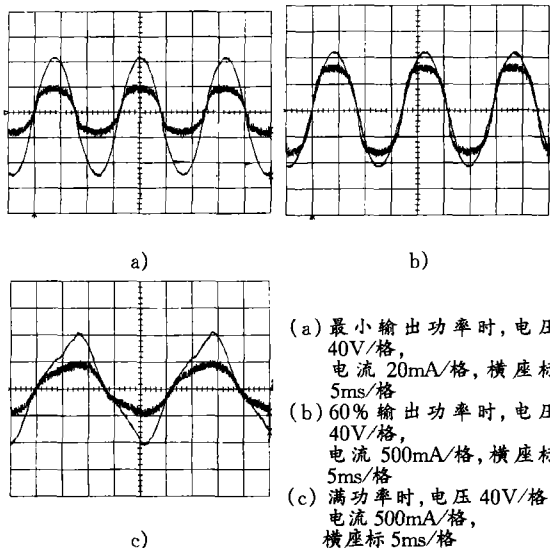


图7 不同输出功率时灯管电压电流波形  
(细线是电压波形粗线电流波形)

## 六、结论

本文选择了 CLASS-D 谐振逆变器作为镇流器的  
主电路, 对 2 个 18W 灯管串联作了参数计算和设计。  
用 ML4835 实现了该线路。所设计镇流器运行可靠,

(上接第 42 页)

$$\text{结果值} = \frac{V_1 - V_3}{V_2 - V_3} = \frac{(V_i + V_{os})G_b - V_{os}G_b}{(V_{ref} + V_{os})G_b - V_{os}G_b} = \frac{V_i}{V_{ref}} \dots$$

本文中  $V_{ref} = 1.0V$ , 则计算出的结果值  $= V_i$ , 可见  
最后的结果完全消除了零漂  $V_{os}$  和增益  $G$  的影响, 解  
决了零漂校正和增益变化对放大电路的影响。只要选  
择高精度的 AD 转换器和高精度的基准源 ( $V_{ref}$ ), 就可  
以使数据采集系统达到很高的精度。

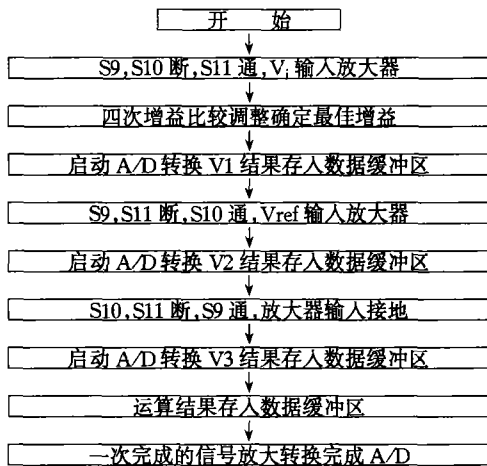


图5 放大电路完成一次信号放大及 AD 转换工作流程图  
《电气自动化》2000 年第 6 期

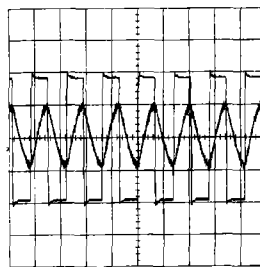


图8 逆变器输出电压, 电流  
波形 电压 100V/格, 电流  
500mA/格, 时间 10μs/格

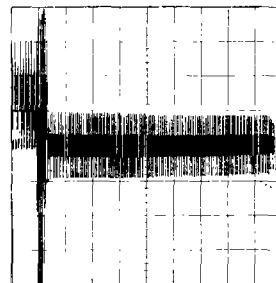


图9 灯管预热, 启动  
及运行时电压波形  
电压 100V/格, 时间 0.5s/格

调光范围可达 1:15。文中给出了实验结果, 实验表明,  
这种设计方法可行。

## 参考文献

- [1] Mariank. Kazimierzczuk and Wojciech Szaraniec "Electronic Ballast for Fluorescent Lamps", IEEE Trans on Power electronics, Vol. 8 No. 4, Oct. 1993. PP368-395.
- [2] U. Mader "Steady State Analysis of a Voltage-Fed Inverter with Second-Order Network and Fluorescent Lamp Load" Proceeding of 11<sup>th</sup> Applied Power electronics conf. San Jose CA 1996.
- [3] Micro Linear "Compact Fluorescent Electronic Dimming Ballast Controller" Dec. 1998.
- [4] 许善光等. 一种新型电子镇流器的研制. 中国照明电器, 1999(2).

## 四 单片机控制放大电路工作过程

整个放大电路的工作过程是以单片机为核心控制  
完成的, 完成一次对信号放大过程可用下面图 5 的流  
程框图来表示。

## 五 结论

本文介绍的数据采集系统, 具有自动选择最佳零  
漂校正和自动定标的功能, 使测量精度提高, 增大采集  
信号的动态范围, 不需要设置量程变换开关。充分利  
用 80C552 单片机的输入输出能力, 使数据采集系统智  
能化。

## 参考文献

- [1] 王玉等编著. 集成检测电路原理与设计. 兵器出版社, 1996. 2.
- [2] [美] R. F. 格拉夫. 电子电路百科全书. 科学出版社, 1992.
- [3] 黄晨武. 最新集成电路应用大全, 北京希望电脑出版社, 1991, 10.
- [4] 李朝青. 单片机原理及接口技术. 北京航空航天大学出版社, 1994, 2.
- [5] 张友德编. 飞利浦 80C51 系列单片机原理与应用技术手册. 北京航空航天大学出版社, 1992, 2.