

单级高功率因数调光式荧光灯电子镇流器设计

作者:未知 | 来源:互联网

摘要: 提出了一种调光式荧光灯电子镇流器的设计方法。基于该方法设计了一种能调光的高功率因数的电子镇流器。采用荧光灯 PSPICE 模型做仿真验证, 结果表明方案和参数设计合理, 调光性能优良。

关键词: 调光; 电子镇流器; 功率因数校正

1 引言

近年来, 高频荧光灯电子镇流器以其高效、体积小、重量轻、无频闪、灯寿命长等优点而逐渐为人们所接受。

我国对电子镇流器的研究和发展是在上世纪 80 年代末到 90 年代初。在初期, 很多厂家为了节约成本, 选用的拓扑结构较简单, 性能指标往往无法达到国家标准, 而且极易损坏, 这无疑给电子镇流器的普及造成了更多障碍。目前, 一些人直接套用国外先进的电路拓扑, 致使设计方法纷繁复杂, 甚至有些根本不适用于在 220V/50Hz 电网下工作。随着节能问题越来越受到关注, 高性能的荧光灯电子镇流器需要增加调光功能, 在不必要满功率输出的场合, 降低输出功率, 不仅节能, 延长灯的使用寿命, 而且还能起到变换视觉效果的目的。因此, 研究出高性能、更贴近灯特性、且功能齐全的电子镇流器迫在眉睫。

2 设计要点

2.1 概述

调光功能实际上是指具有调节灯上的输出功率的功能。当照明装置并不需要满功率输出时, 研究表明, 应用调光系统可节能 50%。

在传统的无调光系统镇流器设计中, 由于灯在高频下且稳定工作时, 输出功率也恒定, 可以近似认为灯是定常电阻。当电网电压波动, 或由于其它原因使灯电流、灯电压发生变化, 即灯电压、灯电流 RMS 值及灯功率发生改变时, 只要通过闭环控制就可以使灯稳定地工作在额定值附近, 灯电阻就不会发生很大的变化。然而, 在调光工作模式下设计变得复杂了, 如果仍然把灯等效成纯阻性负载, 会产生相当大的偏差, 因为在不同的调光等级, 荧光灯所表现出的负阻特性是不同的。因此设计调光式电子镇流器不能用简单的电阻负载来等效灯。

近年来，由于采用计算机辅助设计使电力电子装置设计过程大大简化，并且可以得到更多的电路工作信息。常用的仿真软件有 PSPICE、MATLAB 等等，而在电力电子装置的设计中以使用 PSPICE 居多。因此，建立荧光灯的 PSPICE 模型成为迫切需要解决的问题。

2.2 荧光灯的建模

荧光灯的建模主要有两种方法，一种是物理建模，它是基于灯的物理放电现象，然而这种建模方法都要涉及较复杂的方程式和很多变量，不适合电路仿真；另一种是采用曲线拟和的方法，它是利用灯的 V-I 特性曲线建模，根据实验结果用含有待定系数的曲线方程去近似，其中，有的用立方曲线方程，还有用指数曲线方程、抛物线曲线方程、甚至用线性方程去拟和。

PSPICE 模型可以是静态模型也可以是动态模型。静态模型需计算出在不同工作点时灯所表现的阻抗值，再进行分布仿真，通常这类模型建立起来比较简单，但应用十分不便。动态模型需要在工作点变化时，把此时灯所呈现出来的阻抗值直接反映出来，包括它的启动过程，这样的模型通常称之为调光模型，这种模型非常适用于调光式电子镇流器的设计。图 1 是一个荧光灯 PSPICE 动态模型[1]。它是基于指数曲线拟和而成的，此模型是针对 32W-T8 灯建立的。

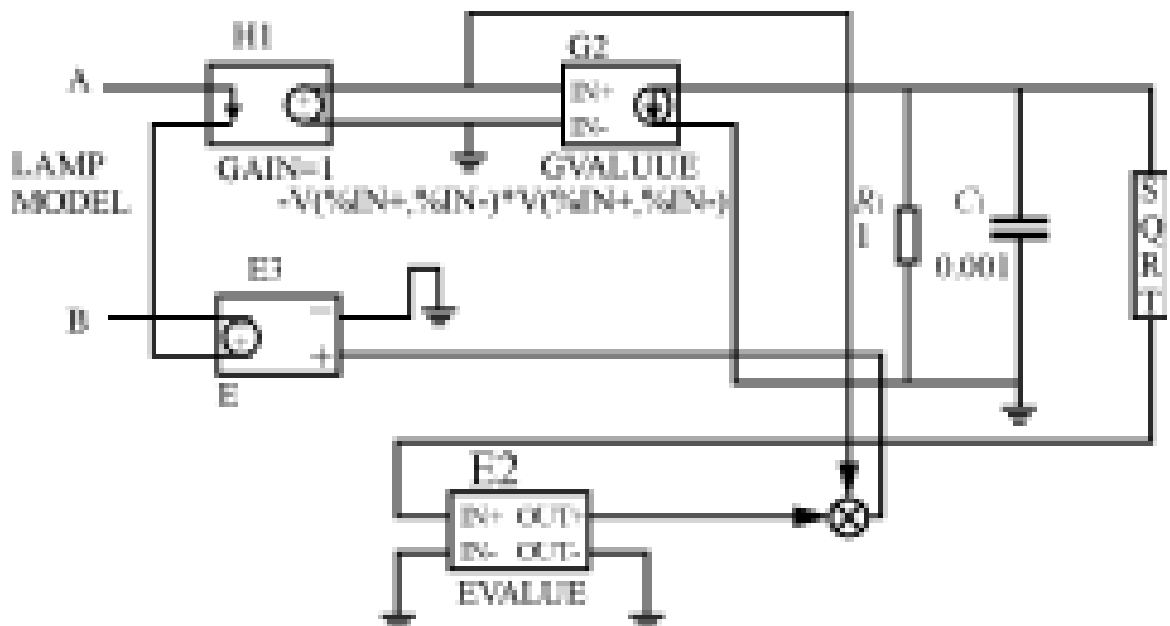


图 1 荧光灯 PSPICE 模型

2.3 调光方式

调光是指调节传递到灯上的能量,从而改变灯功率。一个调光控制系统中一般通过控制四个参量达到调光目的，即

- 1) 调频
- 2) 调节占空比
- 3) 调节直流母线电压
- 4) 调节谐振阻抗值[2]。

频率控制指的是改变开关频率 f_s ，使工作频率远离谐振网络的自然谐振频率而减少灯功率，此时保持占空比 D 恒定不变。占空比调制是指在 f_s 恒定的情况下，改变开关的导通时间，导通时间的减少使传递到灯上的能量减少从而使灯上的功率减少。占空比调制范围是从 0 变化到 0.5，因此，限制了调光范围。调节直流母线电压指的是改变直流母线电压的幅值，同时保持 f_s 和 D 不变，这种控制方式只能用于双级拓扑结构中。阻抗控制是指改变谐振网络的 L_s 、 C_r 的参数值，这种控制方式实现起来较复杂。其中，采用调频方式的电路结构较简单，且容易控制，因此，实际应用最多。但它却有着在整个调光范围内，不易实现软开关；在轻载时，器件应力很大；且硬开通和硬关断使电磁骚扰问题严重等缺点。为了扩大调光范围，则需扩大频率变化范围，而频率范围又受电磁元件、门极驱动电路所限制，灯电流近似与逆变器频率成反比，因此设计电感等电磁元件时要考虑这方面的影响。

2. 4 模型的验证

图 2 使用一个简单电路验证一下灯模型，拓扑仅由一个 CLASS-D 逆变器构成。参数为 $L_s=1.56\text{mH}$ ， $C_r=5.6\text{nF}$ ， $f_s=45\text{kHz}$ ， $D=0.45$ 。

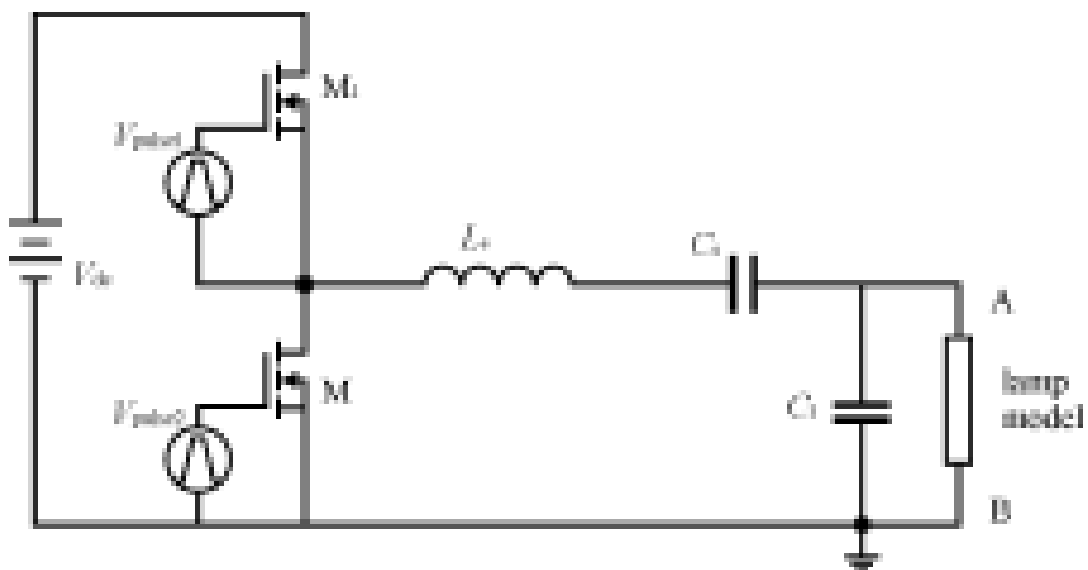
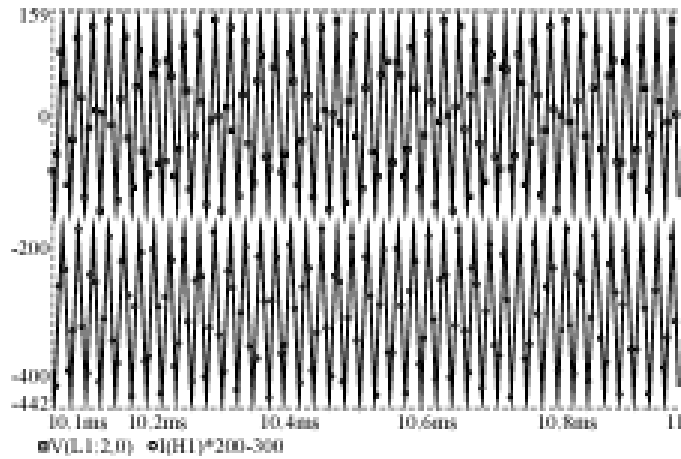
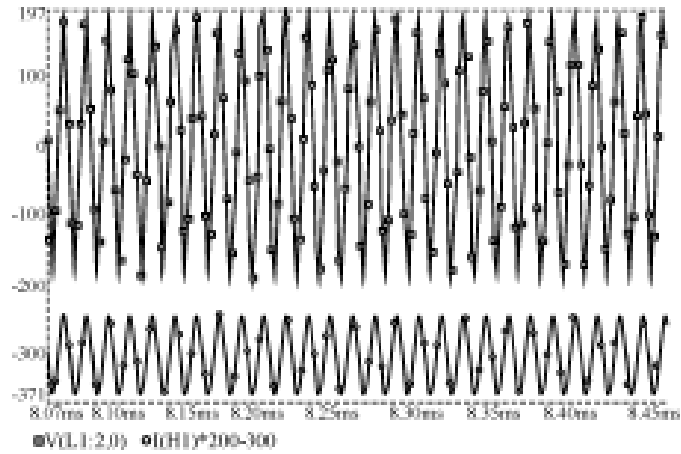


图 2 CLASS D 型逆变器电路拓扑

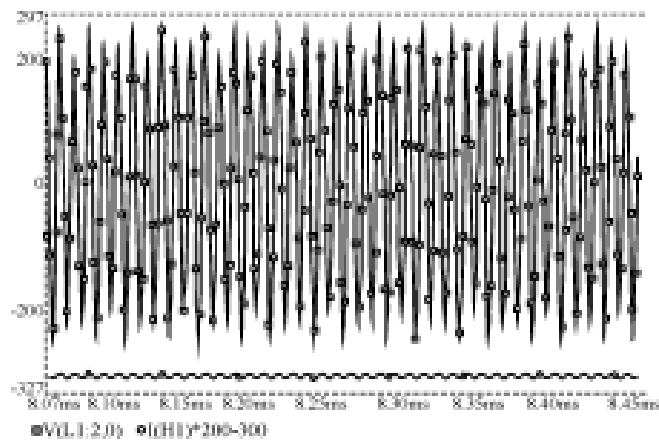
从图 3 中可以看出，在整个调光范围内灯电压几乎不变，灯电流随着频率的增加而逐渐降低。当 f_s 接近 75kHz 时，灯电流急剧下降，继续增大频率，灯将会熄灭。由此说明此模型能够很好地反映灯特性。



(a) $f=45\text{kHz}, D=0.45$



(b) $f=70\text{kHz}, D=0.45$



(c) $f=75\text{kHz}, D=0.45$

图 3 不同频率下灯电压、灯电流仿真波形

3 设计与验证

3.1 主电路拓扑

主电路拓扑结构如图 4 所示。

电子镇流器的主电路由 PFC 电路和谐振电路两部分组成。考虑到两级结构的成本过高,因此将两级中的功率开关管共用变成单级结构。图 4 所示主电路拓扑就是将 Buck-Boost 型 PFC 电路与并联负载串联谐振电路合成在一起,灯模型采用前面所提到的模型。

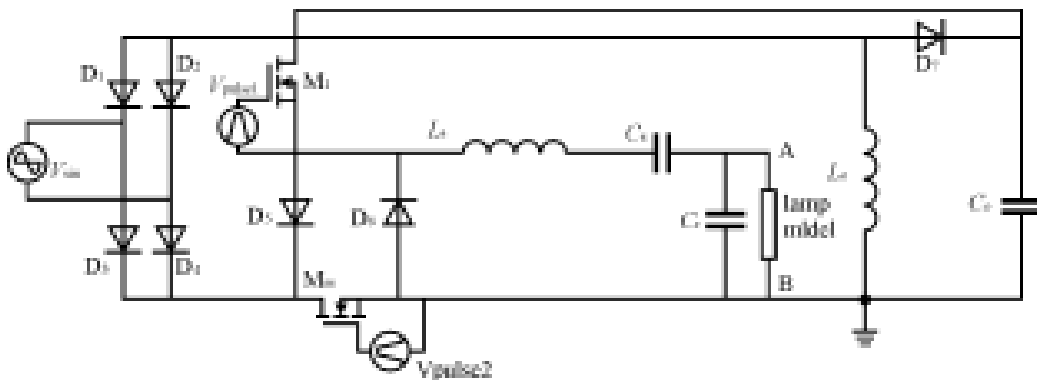


图 4 调光式荧光灯电子镇流器主电路拓扑

3.2 理论设计

对于上述拓扑,功率因数校正级电感 L_o 是和频率有关的量,那么调光时,随着频率的升高,电感电流可能要连续,这样会影响功率因数校正的效果,灯上电压、电流也会发生畸变,从而限制了调光范围。因此,它的参数选择至关重要[3]。首先,由于电感电流工作于 DCM 状态,电感电流的峰值 $i_{in}(peak)(t)$ 正比于线电压,所以它在半个工频周期 ($T/2$) 内为

$$i_{in}(peak)(t) = \frac{V_{in}(t)}{L_o} \quad (1)$$

$$(0 \leq t \leq \frac{T}{2})$$

式中: V_I 为电网电压的幅值;

$\omega(=2\pi/T)$ 为电网电压的角频率;

f_s 为开关频率,它大大高于电网电压频率;

D 为开关的占空比。

而电感电流的平均值 $i_{in(m)}(t)$ 为

$$i_{in(m)}(t) = \frac{i_{L(m)}(t)D}{2} = \frac{D^2 V_{in}(t)}{2L_s f} \quad (2)$$

从上式可以看出电感电流的峰值是呈正弦变化的，因此能实现功率因数校正。假设 Buck-Boost 变换器的效率是 100%，功率因数是“1”，一个工频周期内输入功率因数校正级的平均功率为 P_i 为

$$P_i = \frac{\int_0^T V_{in}(t) i_{L(m)}(t) dt}{T} = \frac{V_1^2 D^2 \int_0^T i_{in}^2(t) dt}{2TL_s f} = \frac{V_1^2 D^2}{4L_s f} \quad (3)$$

式 (3) 表明输入功率 P_i 在 L_o 恒定的情况下可以通过改变占空比和频率来控制，如果输入功率等于灯驱动级的功率，电压 V_{co} 能够保持恒定。相反，如果输入功率大于灯吸收的功率，则 V_{co} 将无限制地增长，造成器件损坏。

所以，应尽量使两者相等，而输出到灯上的功率 P_o 为

$$P_o = \frac{V_o^2}{R_{lamp}} \quad (4)$$

式中： V_o 为灯管两端电压；

R_{lamp} 为灯管等效电阻。

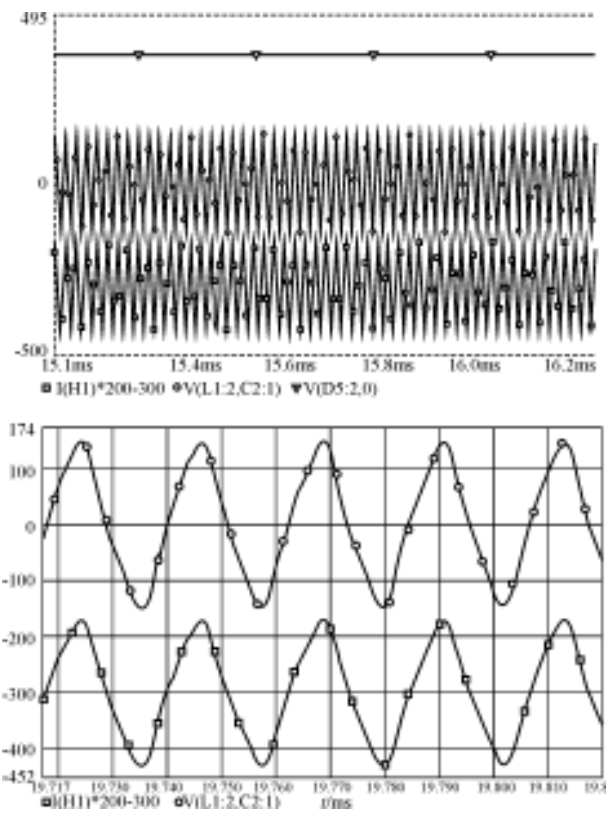
为了保证电感电流工作在 DCM 状态，占空比 D 必须满足以下条件

$$\frac{V_{co}}{V_{co} + V_1} > D \quad (5)$$

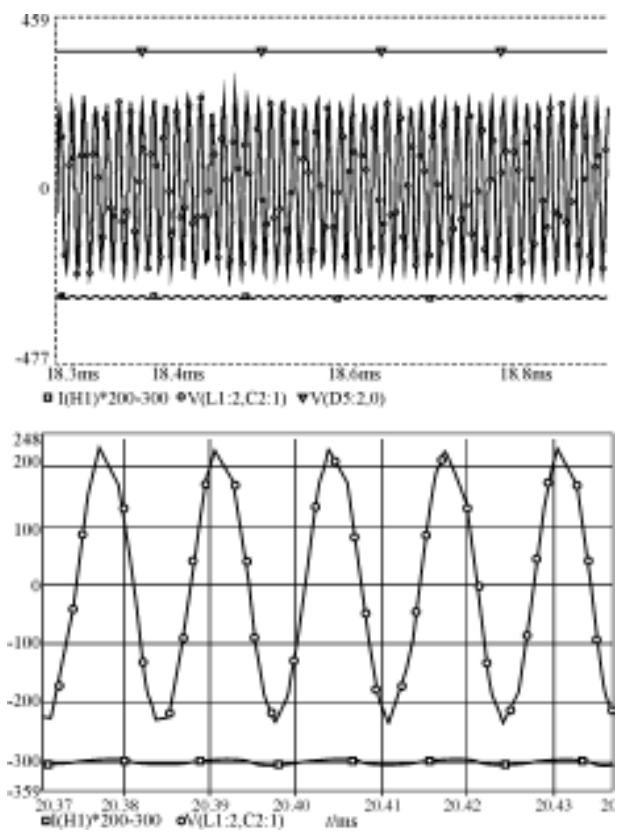
$$L_o = \frac{V_1^2 D_1^2}{4P_{of1} f_{sf1}} \quad (6)$$

式中： P_{of1} ， D_1 ， f_{sf1} 分别表示满载时输出功率，占空比和开关频率。保证了整个调光范围内电感电流断续，即功率因数始终为“1”。

选择开关频率 f_s 为 45kHz，为了给 DCM 工作状态留一个裕量，选择 $D=0.45$ 。功率因数校正极电感 $L_o=3.37mH$ 。并联负载串联谐振网络参数采用基波近似法得到，参数如下： $C_s=1\mu F$ ， $L_s=1.41mH$ ， $C_r=5.6nF$ ，模型依然采用前面提及的灯模型。调频调光时直流母线电压、灯电压、灯电流波形如图 5 所示。



(a) $f=45\text{kHz}, D=0.45$



(b) $f=75\text{kHz}, D=0.45$

图 5 提出的单级电子镇流器不同频率下直流母线电压、灯电压、灯电流仿真波形

由图 5 的仿真波形可以看出,所提出的电路拓扑及参数能够达到设计要求。当频率从 45kHz 提高到 75kHz 时,灯功率可以从 140% (46W) 下降到 1% (0.29W)。因此,设计的电路调光范围很宽,调光范围是一项非常重要的性能指标。

调光电子镇流器的频率与功率之间的关系如图 6 所示。当 $f_s=75\text{kHz}$ 时输入电流依然能够跟随输入电压,达到功率因数为“1”。其波形如图 7 所示。

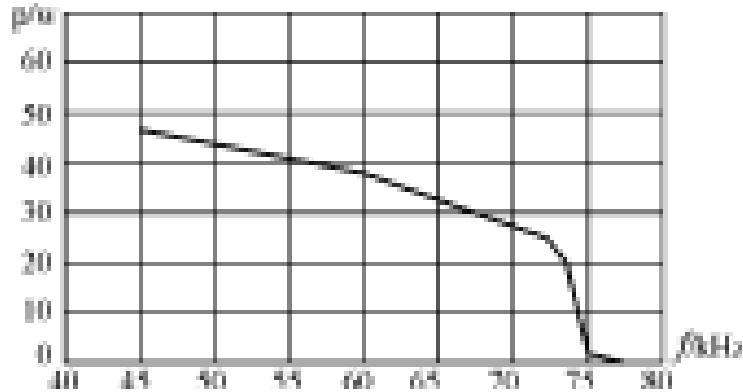


图 6 32W 荧光灯调频法调光曲线

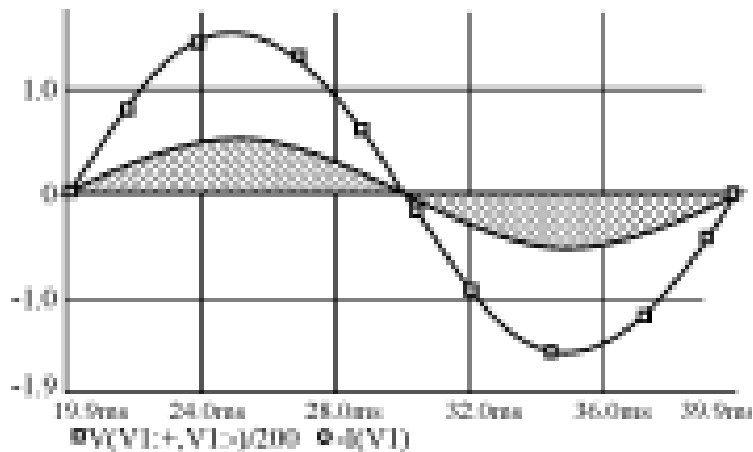


图 7 输入电压电流波形

4 结语

应用荧光灯 PSPICE 动态模型可以方便地设计出一个可调光的电子镇流器,设计者可以采用更少的假设做更深入的研究。对所选拓扑其调光范围可达到满功率的 1%,调光范围较宽,其功率因数达到“1”,波峰因数在整个调光范围内始终小于 1.7。