

基于 TOPSwitch-GX 反激式变换器的高频变压器的设计

邱云兰

(福建电力职业技术学院 福建 泉州 362000)

摘要:随着电力电子技术的发展,开关电源的应用越来越广泛。反激式变换器以其设计简单,体积小等优势,广泛应用于小功率场合。其中,高频变压器承担了传递功率、隔离等作用,是设计中极为关键的一环。介绍 TOPSwitch-GX 系列芯片的工作原理,并以一个基于它的单输出反激式变换器为例,详细阐述了高频变压器设计的原理和步骤,对设计实践有很好的指导意义。

关键词: TOPSwitch-GX;反激式变换器;高频变压器;开关电源

中图分类号: TM433

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2009)21-179-03

Design of High-frequency Transformer of Flyback Converter Based on TOPSwitch-GX

QIU Yunlan

(Fujian Electric Vocational and Technical College, Quanzhou, 362000, China)

Abstract: With the development of power electronics technology, switching power supply are used more and more widely. The flyback converter with advantages of easily designed and small volume widely applies to low-power occasions. The high-frequency transformer which is very important in the design takes the role of power transmission and isolation. The working principle of TOPSwitch-GX Family is introduced, and a single output fly-back converter based on it is taken for example to expound the principle and steps of high-frequency transformer design, which are good guides for practice.

Keywords: TOPSwitch-GX; Fly-back converter; high-frequency transformer; switching power supply

0 引言

随着电力电子技术的发展,开关电源以其效率高,体积小等特点逐渐取代了传统的线性稳压电源。开关电源的转换器分为正激、反激、推挽、全桥和半桥五种带变压隔离器的基本类型^[1,2]。其中,在中小功率场合,反激式 DC/DC 变换器应用非常广泛,如便携式电脑电源、POS 机电源等^[3]。它具有如下几个特点:

(1) 设计简单方便,不像正激式变换器需要磁能复位回路。

(2) 有变压器电气隔离,可利用变比实现升降压,实现多路输出,以适应功率小、电压电流等级多的使用场合^[4]。

TOPSwitch-GX 系列是由美国电源集成公司生产的离线 PWM 开关芯片,它设计先进、功能完善,可设计输出 250 W 以下的单路或多路输出开关电源,典型应用于反激式变换器的设计中。它单片集成了功率场效应管以及完整的 PWM 控制电路,外围电路简单,使用非常灵活,设计的电源具有低成本、高效率、小尺寸的

特点。

在外围电路的设计中,高频变压器的设计是非常重要的一环。本文将以该系列芯片的应用为例,详细介绍反激式变换器中高频变压器设计的原理和一般步骤。

1 TOPSwitch-GX 的引脚介绍

图 1 所示是基于 TOPSwitch-GX 的反激式变换器框图。TOPSwitch-GX 芯片共有 6 个引脚,其中 D 和 S 引脚分别连接片内功率场效应管的漏极和源极。

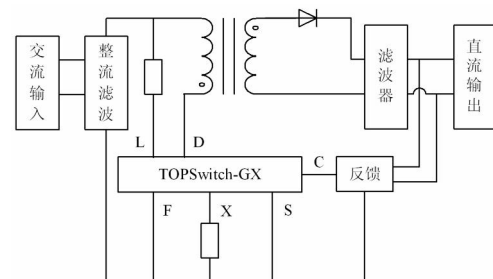


图 1 基于 TOPSwitch-GX 的反激式变换器框图

L 为线监测引脚,使用时必须串联电阻至输入直流电源正极。改变串联电阻的大小,可自由匹配欠电压门槛值、过电压门槛值。设计变压器时,可根据串联电阻

上流过的最小电流,查芯片手册中的曲线图,确定其工作的最大占空比。当 L 引脚与 S 引脚短接时,该管脚所有功能都被禁用。

F 为开关频率选择引脚。当它与 S 引脚连接时,开关工作在 132 kHz;而与 C 引脚连接时,开关工作在 66 kHz,这样也就确定了高频变压器的工作频率。

X 引脚用于调节外电流极限、远程开关和同步。与 L 引脚类似,当它与 S 引脚短接时,将禁用该管脚所有功能。

输出端电压信号经过采样、转化,形成反馈电流输入芯片的控制引脚 C,再由芯片内部加工后,改变驱动功率场效应管的 PWM 信号,实现电流反馈控制,稳压输出。

在设计高频变压器时,必须充分考虑到 TOPSwitch-GX 工作频率等参数以及外围元件取值,这样才能使整个开关电源更为稳定、高效地运行。

2 高频变压器设计的步骤

2.1 选择磁心材料与形状

常用于高频磁心材料有铁粉磁心、铁氧体磁心和非晶-微晶合金。对于高频变压器而言,一般选择高磁导率、高饱和磁感强度、低剩磁感强度、高电阻率的磁心材料。磁导率高,线圈通过不大的励磁电流就能获得较高的磁感应强度。饱和磁感强度大,剩余磁感强度小,使得高频变压器工作磁感强度有较大的取值范围,相对减小了磁心体积。电阻率高,涡流小,磁心铁耗小^[1,5]。

在没有特殊要求的情况下,通常选择铁氧体材料可以满足设计需要。大部分适用于高频变压器磁心的材料(如 TDK 的 PC 系列),居里温度都在 200 以上,可以满足绝大部分工作温度的要求^[6,7]。因此,选择磁心主要考虑材料的初始磁导率,饱和、剩余磁感强度,电阻率以及预计工作温度下的磁心损耗,之后考虑材料的机械特性、密度等^[8]。西门子、日本的 TDK 以及国产的新康达都有各自的磁心系列,可以查阅手册获取具体参数信息。

磁心的形状有 EE, EI, PQ, POT 等多种。为了降低漏感量,减小绕组间的分布电容,应选择高瘦型的磁心(如 EE, EI),并尽量减少绕线的层数。当然,还要综合考虑设计产品的几何尺寸要求和应用环境^[9]。

2.2 利用 AP 法确定磁心尺寸

所谓的 AP 法就是求出磁心窗口面积 A_w 和磁心有效截面积 A_e 的乘积 AP,根据 AP 值,查表找出所需磁性材料的编号^[1]。

根据法拉第电磁感应定律:

$$U = N \frac{d\Phi}{dt}$$

式中: U 为电磁感应电压; N 为线圈匝数; $\frac{d\Phi}{dt}$ 为磁通随时间的变化率。

若磁感应强度为 B , 则:

$$= BA_e$$

由于磁心有效截面积 A_e 不变, 于是:

$$U = NA_e \frac{dB}{dt}$$

设工作在电流连续模式,则在开关管导通和截止时,原边绕组和副边绕组分别满足下列关系:

$$U_p = N_p A_e \frac{B_{on}}{t_{on}} = \frac{N_p A_e B_{on} f_s}{D} \quad (1)$$

$$U_s = N_s A_e \frac{B_{off}}{t_{off}} = \frac{N_s A_e B_{off} f_s}{1 - D} \quad (2)$$

式中: U_p, U_s 分别为原、副边绕组的直流电压; N_p, N_s 分别为原、副边绕组匝数; B_{on}, B_{off} 分别是开关管导通和截止时变化的磁通密度; f_s 为变压器工作频率; D 为占空比。整理得:

$$A_e = \frac{U_p D}{B_{on} f_s N_p} = \frac{U_s (1 - D)}{B_{off} f_s N_s} \quad (3)$$

磁心窗口面积 A_w 可用式(4)表示:

$$A_w = \frac{1}{K_w} \left(N_p \frac{I_p}{J} + N_s \frac{I_s}{J} \right) \quad (4)$$

式中: K_w 为窗口使用系数; J 为电流密度; I_p, I_s 分别为原、副边绕组电流。

将式(3)与式(4)相乘:

$$AP = A_e A_w = \frac{1}{K_w f_s J} \left[\frac{U_p I_p D}{B_{on}} + \frac{U_s I_s (1 - D)}{B_{off}} \right]$$

由于 B_{on}, B_{off} 在平均磁化曲线上近似相等,可以用磁心工作磁通密度 B 表示, 这样:

$$AP = \frac{U_p I_p D + U_s I_s (1 - D)}{K_w f_s B J}$$

式中: $U_p I_p$ 和 $U_s I_s$ 近似为变换器的输入、输出功率,则上式可改写为:

$$AP = \frac{D + (1 - D)}{K_w f_s B J} P_o \quad (5)$$

式中: P_o 为输出功率; η 为预设变换器效率。

根据算得的 AP 值,从产品手册中选择尺寸略大于该值磁心的型号。

2.3 计算原、副边绕组匝数

由式(1)可知,变压器原边绕组匝数 N_p 为:

$$N_p = \frac{U_p D}{B f_s A_e} \quad (6)$$

同理,副边绕组匝数 N_s 为:

$$N_s = \frac{U_s(1-D)}{Bf_sA_c} \quad (7)$$

这里 U_s 要计及二极管导通电压和副边绕组压降。

2.4 气隙长度的计算

虽然磁心材料的 $B-H$ 曲线斜率随着气隙大小变化,但带与不带气隙磁心饱和磁感应强度是相同的。当有气隙时, $B-H$ 的特征斜率减小,曲线向横轴靠拢。可以减少剩余磁感应强度 B_r 并增加变压器工作范围。当反激式变换器工作在电流连续方式下,将会产生很大的直流分量,气隙可以有效地防止磁心饱和。

气隙长度可以表示为^[1]:

$$l_g = \frac{\mu_0 N_p^2 A_c}{L_p} \quad (8)$$

式中: μ_0 是真空磁导率; L_p 是原边绕组的电感值,它由式(9)计算^[10]:

$$L_p = \frac{\left(\frac{1}{K_{rp}} - \frac{1}{2} \right) U_{pmin}^2 D_{max}^2}{P_o f_s} \quad (9)$$

式中: K_{rp} 为原边电流纹波与电流峰值的比值; U_{pmin} 为输入直流电压最小值; D_{max} 为最大占空比。

2.5 确定导线规格

先确定原边绕组的纹波电流:

$$I_{pr} = \frac{U_{pmin} D_{max}}{f_s L_p} \quad (10)$$

则原边电流有效值为:

$$I_{prms} = I_{pr} \sqrt{D_{max} \left(\frac{1}{3} - K_{rp} + \frac{1}{K_{rp}^2} \right)} \quad (11)$$

副边电流有效值可近似表示为:

$$I_{srms} \triangleq \frac{I_o}{1 - D_{max}} \quad (12)$$

式中: I_o 为设计输出电流值。

最后根据面积公式可分别得出计算线径:

$$D_w = 1.13 \sqrt{\frac{I_{rms}}{J}}$$

副边可根据设计要求的电流代入式(12)算出电流有效值,进而求得线径。

根据计算线径,可查 AWG 导线规格表来选定变压器绕组线径。

3 基于 TOPSwitch-GX 的单输出反激变换器的高频变压器设计实例

3.1 变换器设计要求

输入电压:220 V $\pm 10\%$;输出功率:36 V $\times 2$ A;预计转换效率:80%。

3.2 芯片选型及基本参数的计算

根据设计要求,可以计算出变换器的输出功率 $P_o =$

36 $\times 2 = 72$ W,输入功率 $P_i = 72/0.8 = 90$ W,因此选择输出功率为 85 W 的 TOP245 Y。将 F 和 S 管脚连接,设定工作频率 $f_s = 132$ kHz。输入交流电经过滤波整流,最大直流输入电压不超过最大交流电压有效值的 1.4 倍,则 $U_{pmax} = 220 \times 1.1 \times 1.4 = 339$ V;最小直流输入电压不小于最小交流电压有效值的 1.3 倍,那么 $U_{pmin} = 220 \times 0.9 \times 1.3 = 257$ V。L 与输入直流正极间接 2 M Ω 电阻,根据芯片手册以及最大占空比下降曲线,可知最小电压对应的最大占空比 $D_{max} = 57\%$ 。设计采用光耦反馈,反馈绕组电压为 12 V,设工作电流为 0.2 A。

3.3 高频变压器的设计

3.3.1 选择磁心型号

考虑工作频率、剩磁以及初始磁导率等因素,选择 PC40 材料,查得饱和磁感强度为 0.39 T,工作磁通密度取该值的 50%, $B = 0.195$ T。取 $D = D_{max}$, $K_w = 0.4$, $J = 4$ A/mm² 代入式(5),得到 $AP = 0.1997$ cm⁴。查 TDK 磁心规格表选取 EI28, $AP = 0.6005$ cm⁴, $A_c = 86.00$ mm², $A_w = 69.83$ mm²。

3.3.2 确定原副边匝数

将最小输入直流电压和最大占空比代入式(6),调整后原边匝数 $N_p = 66$ 。考虑二极管导通电压和绕组压降,设副边输出端口 1 的绕组电压 $U_s = 24 + 1.3 = 25.3$ V。根据式(7),算得副边绕组匝数 $N_s = 5$ 。同理,反馈绕组电压 $U_f = 12 + 0.7 = 12.7$ V,采用式(7),可得反馈绕组匝数 $N_f = 2$ 。

3.3.3 计算气隙长度

设 $K_{rp} = 0.8$,根据式(9)可以得到原边电感 $L_p = 1.355$ mH。再将电感值代入式(8)可得气隙长度 $l_g = 0.35$ mm。

3.3.4 确定导线规格

首先由式(10)可以得到原边纹波电流 $I_{pr} = 0.819$ A,仍取 $K_{rp} = 0.8$,代入式(11)可得原边绕组电流有效值 $I_{prms} = 0.647$ A。取电流密度 $J = 4$ A/mm²,根据面积公式可得原边绕组计算线径 $D_{wp} = 0.454$ mm,故查表选择 AWG25。

最后由式(12)算出副边电流有效值 $I_{srms} = 4.65$ A,副边绕组计算线径 $D_{ws} = 1.219$,选择 AWG16;反馈绕组有效值 $I_{frms} = 0.47$ A,反馈绕组计算线径 $D_{wf} = 0.385$ mm,选择 AWG27。

4 结 语

介绍的设计方法既适用于单路输出,也适用于多路输出,能很好地适应输入电压高且波动范围大的要求,设计的高频变压器满足开关电源的电性能要求,电源的稳定性和可靠性高。

(下转第 185 页)

用,高端驱动输出能预知为低(设计工艺时,把复位支路的漏极上拉电阻 R_{D2} 做得比置位支路的漏极上拉电阻 R_{D1} 大 30 左右;芯片内部集成监测 V_s 负压的传感电路,一旦负压超过规定值就复位高端 RS 触发器,使高端驱动输出为低^[10])。三菱公司基于自身芯片也从版图级和工艺级提出了十种抗闭锁措施^[11]。相信各种有效措施在新一代 HVIC 中的应用会大大提高功率驱动电路的可靠性和系统整体性能。

参 考 文 献

- [1] 方健,李肇基,张正璠,等. 电荷泵高端浮动自举式 H 桥功率驱动电路[J]. 微电子学,2000,30(3):162-165.
- [2] 艾俊华,何杞鑫,方绍华. 半桥驱动器中高压电平位移电路的研究[J]. 电力电子技术,2005,39(1):109-111.
- [3] 乔明,方健,李肇基,等. 1 200 V 功率 MOS 栅驱动集成电路的设计[J]. 微电子学,2004,34(2):138-141.
- [4] Fairchild. Design and Application Guide of Bootstrap Circuit for High Voltage Gate-Drive IC [EB/OL]. <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-6076.pdf>,2008.

作者简介 王友军 男,1965 年出生,贵州都匀人,硕士,副教授。从事信号与系统专业基础教学和科研工作。

(上接第 181 页)

参 考 文 献

- [1] 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 孙海峰,蒋红梅,崔玲玲. 单端反激电路中高频变压器的设计[J]. 开关电源技术,2007(10):66-68.
- [3] 沙占友,葛家怡,武瑞红. 单片开关电源高频变压器的设计要点[J]. 电源技术应用,2003(6):266-268.
- [4] 李希茜. 高频变压器的设计[J]. 现代电子技术,2001,24(9):7-8.
- [5] 胡君臣. 高频变压器的设计与制作[J]. 电气开关,2005(1):

作者简介 邱云兰 女,1965 年出生,福建福清人,副教授。研究方向为自动化与电工技术应用。

- [5] Vjay M. Resistor in Series with Bootstrap Diode for Monolithic Gate Driver Device[P]. US-P:5969964,1999.
- [6] International Rectifier. New 1 200 V Integrated Circuit Changes the Way 3-phase Motor Driver Inverters are Designed [EB/OL]. <http://www.irf.com/technical-info/whitepaper/cic1200v.pdf>,2008.
- [7] David C T. Reset Dominant Level-shift Circuit for Noise Immunity[P]. US-P:5514981,1996.
- [8] Byoung C C. Inverter Circuit having Switching Device with Gate Driven by High-voltage Integrated Circuit [P]. US-P:7095639,2006.
- [9] Ajit D. High Voltage drives which Avoid V_s Failure Modes [P]. US-P:5801557,1998.
- [10] Marco G. Negative N-epi Biasing Sensing and High Side Gate Driver Output Spurious Turn-on Prevention due to N-epi p-sub Diode Conduction during N-epi Negative Transient Voltage[P]. US-P:2009000260,2009.
- [11] Hatade. Semiconductor Device Capable of Avoiding Latch-up Breakdown Resulting from Negative Variation of Floating Offset Voltage[P]. US-P:20080265334,2008.

8-13.

- [6] 李智华,罗恒廉,许尉滇. 高频变压器绕组交流电阻和漏感的一维模型[J]. 电工电能新技术,2005(4):55-59.
- [7] 黎健荣. 开关电源中的高频变压器设计[J]. 机械与电子,2007(29):89-101.
- [8] 李智华,罗恒廉,张青春,等. 绕组交叉换位对高频变压器参数影响的分析[J]. 高电压技术,2008(11):2453-2458.
- [9] 陈保国,庞志锋,李向荣. 开关电源高频变压器的设计[J]. 河北工业科技,1999(2):10-13.
- [10] 胡江毅. 反激变换器的应用研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2003.

写入速度 90 MB/s 雷克沙推 600X 高速闪存卡

继威刚发布读取速度在 80 MB/s 的 533X CF 卡后,雷克沙日前也推出了速度更快的 Professional 600X CF 闪存卡,读取速度上和威刚的新品持平,但 90 MB/s 的写入速度要高出 533X 不少,同样是面向专业摄影师和摄影发烧友们,对速度要求较高的数码单反相机来说是个不错的选择。

Professional 600X 支持 UDMA 6 数据传输模式,分为 8 GB,16 GB 和 32 GB 三种。与之一起推

出的还有 ExpressCard CompactFlash 读卡器,同时支持 UDMA 和非 UDMA 传输 CF 闪存卡,最大传输速度近 133 MB/s。

雷克沙为 Professional 600X 提供终生质保服务,并捆绑 Image Rescue 4 图像恢复软件销售。8 GB 和 16 GB 版本将在近日上市,售价分别为 200 美元、300 美元,32 GB 版要等到 2009 年 11 月份才会上市,售价尚未披露。(摘自《驱动之家》)