

一种新型的 BOOST 电路

李明仕 武汉玉星电子有限责任公司 (430074)

摘要: 本文阐述了大升压比的 BOOST 电路的原理,它利用中间抽头来实现大升压比,无损吸收电路实现了零电流开通、零电压关断,减小开关损耗和电磁干扰,提高了变换器的效率。

叙 词: 中间抽头 升压比 无损吸收

1 引言

在目前的升压电路中,最常用的是 BOOST 电路,BOOST 电路具有结构简单、可靠、效率高等优点。但常规 BOOST 电路还存在一些缺点:(1)开通期间,续流二极管的反向恢复电流造成开关管通过浪涌电流,导致开通损耗并成为 di/dt EMI 源。(2)关断期间由于电路电感作用造成很高的电压尖峰,导致关断损耗并形成 dv/dt EMI 源。(3)电压升压比不能太大,在输出电压较高时,开关管承受很高的电压。常规的 BOOST 电路造成电路损耗大,电磁干扰严重,可靠性低,而且随着开关频率的升高,此现象更为严重。为此,必须在电路中解决这个问题,最简便的方法是加接 RC 缓冲电路,但 RC 缓冲电路不能根本解决电路的开关损耗。以上这三大缺点都影响了 BOOST 电路的进一步应用。本文提出一种新的 BOOST 电路,较好的解决了这些问题。

2 常规 BOOST 电路工作原理

图 1 为常规 BOOST 电路

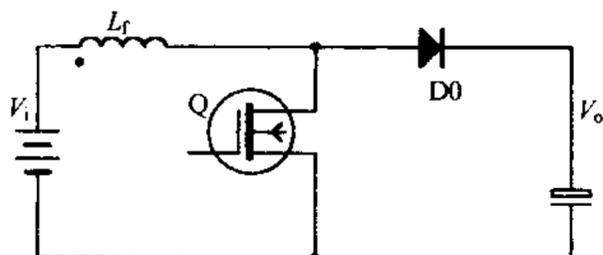


图 1 常规 BOOST 电路

稳态工作时,电感电流的增量 $\Delta I_{L(+)}$ 等于它在 Q 截止期间的减小量 $\Delta I_{L(-)}$

$$\Delta I_{L(+)} = V_i / L_r \cdot T_{on} = \Delta I_{L(-)} = (V_o - V_i) / L_r \cdot T_{off}$$

则电压升压比:

$$M = V_o / V_i = 1 / (1 - D_1) = 1 / D_2 \quad (1)$$

其中 D_1 为导通时占空比, D_2 为截止占空比。

由(1)可知在连续工作模式中电压升压比与关断占空比成反比,当关断占空比小于 0.2 之后, M 迅速增加。实验证明: M 的增大在一段 D_1 中是有限度的,在 D_1 继续增加时 M 反而会下降,究其原因,式(1)是在理想情况下推得的,当考虑电感的寄生电阻 R_L 和电容的寄生电阻 RC 时,电压升压比:

$$M = 1 / D_2 \cdot D_2^2 R / R' \quad \text{式中 } D_2^2 R / R' \text{ 为修正因子}$$

$$R' = R_L + (R_L // R_c) D_2 + R^2 D_2^2 / (R_L + R_c) \quad R \text{ 为负载电阻}$$

在 $R_L = R_c = 0.01R$ 时,占空比 $D_1 = 0.88$ 时 M 的最大值为 4.7,当 $D_1 > 0.88$ 时 M 值反而下降,也就是说在电流连续工作模式下,电压最大升压比为 4.7,为了电路稳定则 D_1 必须限定在 0.88 以下^[1]。开关管 Q 的最高电压 $V_Q \geq V_o = V_i / (1 - D)$,由于漏感的存在 Q 的承受电压要比 V_o 高很多。

3 带中间抽头的 BOOST 电路

3.1 在图 2 中提出了一种改进方案

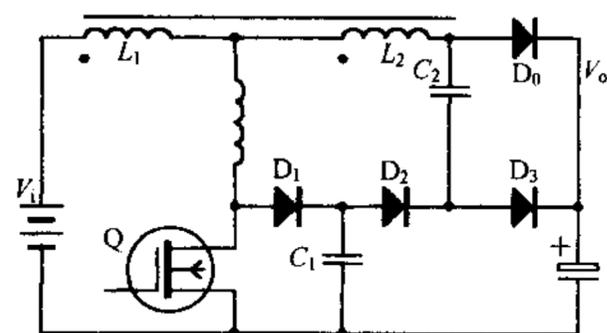


图 2 带中间抽头的 BOOST 电路

图中原 L_r 改为带中间抽头的电感, L_2 与 L_1 的匝比为 n,

$$\text{当 } Q \text{ 导通时 } L_1 \text{ 的电流增量 } \Delta I_{L(+)} = (V_i / L_1) \cdot T_{on} \quad (2)$$

当 Q 关断时 L_1 的电流减小量

$$\Delta I_{L(-)} = (V_i / L_1) \cdot (T_s - T_{on}) \quad (3)$$

由(2)、(3)式有: $V_{L1} = V_i D / (1 - D)$

则 $V_{L2} = n V_{L1} = n V_i D / (1 - D)$

$$\begin{aligned} V_o &= V_i + V_{L1} + V_{L2} \\ &= V_i + V_i D / (1 - D) + n V_i D / (1 - D) \\ &= V_i (1 + nD) / (1 - D) \end{aligned}$$

电压升压比:

$$M = V_o / V_i = (1 + nD) / (1 - D) \quad (4)$$

由(4)式可知,在输入输出电压相等时,带中间抽头的 BOOST 电路占空比较常规 BOOST 电路要小得多。开关管 Q 的最高电压 $V_Q = V_i / (1 - D)$ 要比输出电压低。

例如在 40V - 60V 输入, 320V 输出电路中,常规 BOOST 电路一级很难实现,开关管 Q 的最高耐压要选 500V 的功率管。而在新的 BOOST 的电路中,当 $n = 8, V_i = 40$ 时,由(4)式有

$$D = (M - 1) / (n + M)$$

$D_{MAX} = 0.44$, $V_{QMAX} = V_{IMAX} / (1 - D_{MAX}) = 107V$, 由此开关管可选用耐压 150V 的功率管。

在图 2 中采用了无损吸收缓冲网络, 该网络采用了一组无源元件, 也无吸收电阻, 提高了电源的变换效率, 相对于其它有源软开关电路降低了生产成本, 简化了电路结构, 它降低了开关管损耗, 提高了电路的稳定性, 增强了可靠性。

下面简要分析无损吸收电路的工作原理:

先把电路作如下等效, 图 3 中 L_{d1} 为 L_1 的漏感, L_{d2} 为 L_2 的漏感。

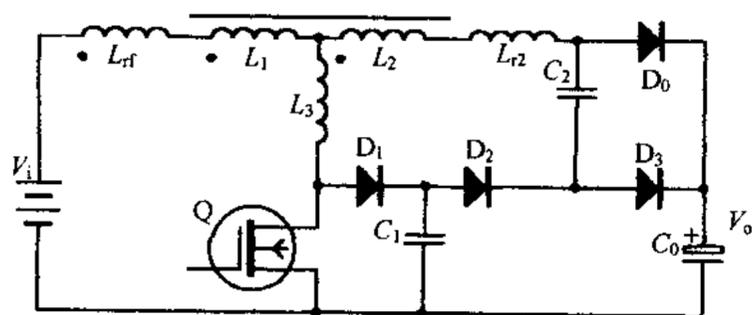


图 3 无损吸收中间抽头 BOOST 电路

1) Q 开通时, $I_Q = I_i - I_o = 0$, 由于漏感和 L_3 的作用, Q 中的电流从零开始增加, Q 实现零电流开通, 导通损耗小。

2) 当电流 I_o 减小时, D_0 的反向恢复电流 I_0 的变化率受到 L_r 的限制, 反向恢复电流 di/dt 小, 减小了电磁干扰。

3) Q 开通时, 电容 C_1 通过 D_2 、 C_2 、 L_{r2} 、 L_2 、Q 放电, C_1 上的电压 V_{C1} 下降, 当 V_{C1} 下降到零时, C_1 中的能量完成转换到 L_{r2} 和 C_2 中。

4) 当 Q 关断时, I_Q 通过 D_1 继续流向 C_1 , 由于 C_1 的电压不能突变, Q 实现零电压关断, 关断损耗小。二极管 D_1 、 D_2 使 V_{C1} 的电压最终箝位于输出电压 V_o 。

3.2 实验结果

为了验证带中间抽头的 BOOST 电路工作可靠性, 采用此方案为用户制作了一台 1KW 的样机, 所用的主要数据为:

输出直流电压: 330V

输出电容 $C_o = 680UF$

开关频率: 80kHz

功率管: FQA90N15

升压电感的匝数比: $N_1 : N_2 = 8 : 64$

效率曲线[图 4]

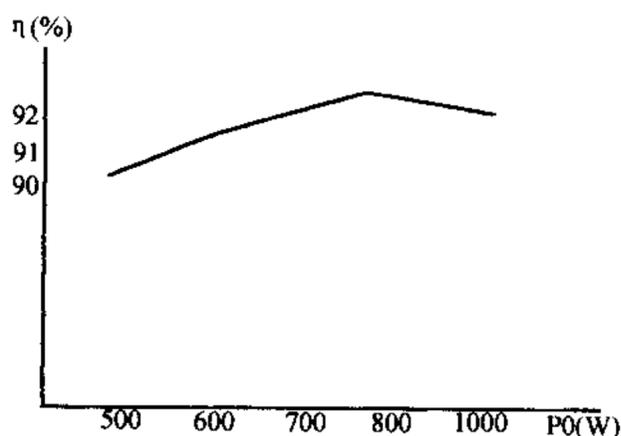


图 4 样机电源效率曲线

4 结论

由以上的分析可以看出, 带中间抽头的 BOOST 电路在占空比变化不大的情况下能获得较大的电压变比, 可以用耐压较低的开关管来获得较高输出电压, 降低生产成本, 同时由于 L_2 的存在, 大大减小了二极管 D_0 的反向恢复电流, 减小电磁干扰。开关管 Q 实现了零电流导通和零电压截止, 减小了开关损耗。该变换器适合输入电压不太高的场合, 例如用于 UPS 的前级实现升压功能。本文所提方案已经申请国家专利。

本方案还可用于其它非隔离的变换电路。

参考文献

[1] 张占松, 蔡宣三, 《开关电源的原理和设计》电子工业出版社 1998 年第一版

作者简介

李明仕, 男, 1970 年出生, 现为武汉五星电子有限责任公司总工程师, 主要从事中、小功率 AC/DC、DC/DC 开关稳压电源、恒流源的研制, 以及特种电源的研制。

(上接第 46 页)

[10] N. K. Poon, C. P. Liu and M. H. Pong, "A low cost DC-DC stepping inductance voltage regulator with fast transient loading response", in Proc. IEEE APEC, 2001, pp. 268-272

[11] Switching Power magazine by Ridley Engineering, Inc., "Out of Silver Box", on the site of <http://www.switchingpowermagazine.com/articles.asp>

[12] P. L. Wong, F. C. Lee, P. Xu and Kaiwei Yao, "Critical Inductance

in Voltage Regulator Modules", in Proc. IEEE APEC 2002, pp. 203-209

作者简介

梁小国, 男, 1975 年 5 月生, 硕士生。现就读于南京航空航天大学航电力电子与电力传动专业, 研究方向为小功率低压大电流 DC-DC 变换器。

危建, 男, 1975 年 10 月生, 硕士生。现就读于安徽工业大学电力电子与电力传动专业, 研究方向为小功率低压大电流 DC-DC 变换器。