

单端反激式变换器变压器工作状态分析*

姜忠山 史贤俊 周绍磊

(海军航空工程学院自控系, 山东烟台 264001)

摘要 本文对单端反激式功率变换器变压器的工作状态进行了详尽的分析,指出了变压器工作方式对变换器性能的影响,解释了气隙的加入可以防止磁心饱和,但不能降低饱和磁感应强度的原因。

关键词 变压器;磁感应强度;磁场强度;气隙

中图分类号 TM401+.1

Working Conduction Analysis of Tranfor Mer in Single - Ended Flyback Conuerter

Jiang Zhongshan Shi Xianjun Zhou Shaolei

(Naval Aeronautical Engineering Academy, Department of Automatic Control)

Abstract The working condition analysis of transformer in single - ended flyback converter is this paper. And then, this paper indicates the transformer working station have a great influence on the performance of the converter, and explain the reason of the air gap can resolve the saturation of the transformer, but can not reduce the saturated magnetization.

Key words transformer; magnetization; magnetic field intensity; air gap

单极性开关电源变换器即激励是一个单向方波脉冲电压,单端正激式和单端反激式变换器既属此类。开关变压器工作时磁心中磁通沿着交流磁滞回线的第一象限部分上下移动,变压器磁心受单方向励磁,磁感应强度从最大值 B_m 到剩磁 B_r 之间变化,如图 1 所示。

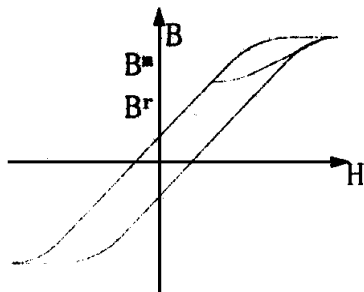


图 1 单极性励磁

单端反激式开关电源一般有两种工作方式:

- 1) “完全能量转换(电感电流不连续)方式”: 在储能周期 t_{on} 中,变压器储存的所有能量在反激周期 t_{off} 中都转换到输出端。
- 2) “不完全能量转换(电感电流连续)方式”: 储存在变压器中的一部分能量在 t_{on} 末保留到下一个 t_{on} 周期的开始。

1 能量的转换过程

T 导通期间,进行电能的储存,由等效电路可知 D 处于截止,此时可以把变压器看作一个电感,如图 2 所示。

在此期间 $I_L = I_P$,原边电流 I_P 的变化由 $di_P/dt = U_s/L_P$ 决定, I_P 线性增加,磁感应强度将从 B_r 增加到工作峰值 B_w 。

* 本文收到日期:1999 - 07 - 06

在图 3 中当 T 关断,初级电流必定为零,D 导通,感应电流将出现在副边,通过负载续流,进行能量释放。工作于完全能量转换方式时, t_{off} 总是大于 t_{on} , 因此在反激期间,磁感应强度将从 B_w 下降到 B_r ,副边电流将以一定速率衰减,此速率由副边电压和副边电感决定,即: $di_s/dt = U_s'/L_s$

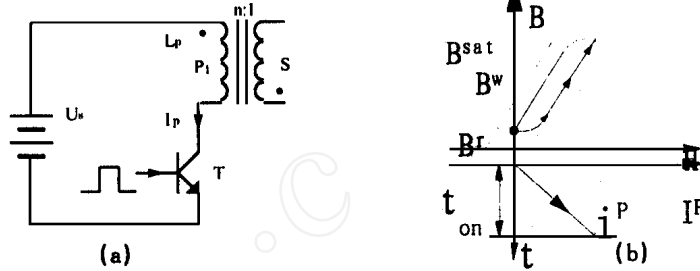


图 2 a. 能量储存阶段的等效电路; b. 能量储存阶段原边电流波形与磁化情况

采用不完全能量传递方式,由于出现了直流分量,为避免磁心饱和和需加气隙,见图 4。气隙的加入,使磁化曲线向 H 轴倾斜,磁滞回线与 B 轴包围的面积增加,从而使变压器传递的能量增加。在传递一定能量的要求下,可以把 B 的取值设计的小一些,以减少磁滞损耗,利于提高工作频率,进一步减小原副边中的纹电流。

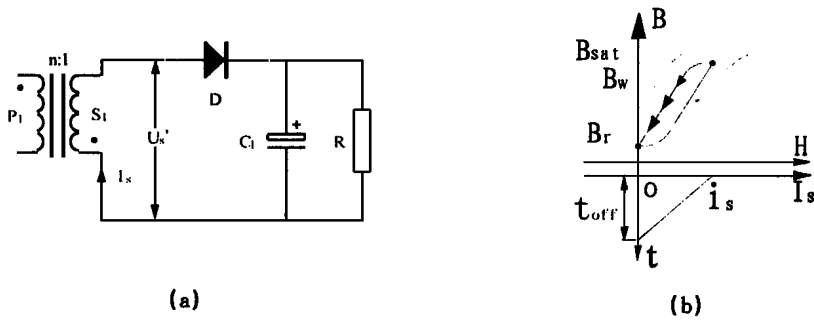


图 3 a. 能量传递期副边等效电路; b. 在反激期间副边电流与磁化情况

2 磁心参数与气隙的作用

气隙的加入可使磁滞回线向 H 轴倾斜,其斜率随着气隙的大小而变化,但有无气隙并不影响饱和磁感应强度的大小。在有气隙时,磁强强度 H 明显增大,剩余磁感应强度 B_r 明显减小,这些变化,对反激变换器来说都是非常有利的。如图 5 所示。

由于反激变换器的磁心只工作在第一象限,磁心在交流或直流作用下的磁滞回线与气隙关系如图 6 所示

2.1 在交流电流下气隙的作用

在开关 T 导通期间所外加的电压比例于 B - H 平面,垂直于 B_{ac} 的振幅,对应于横轴有 H_{ac} 的变化。在有气隙时, B - H 特性斜率减小,曲线向横轴靠拢,在 B_{ac} 不变的情况下, H_{ac} 将大大增加,这相当于有效地减小磁心的有效磁导率和减少原边绕组的匝数,但不能改变交变磁通量或改变磁心的交流性能。

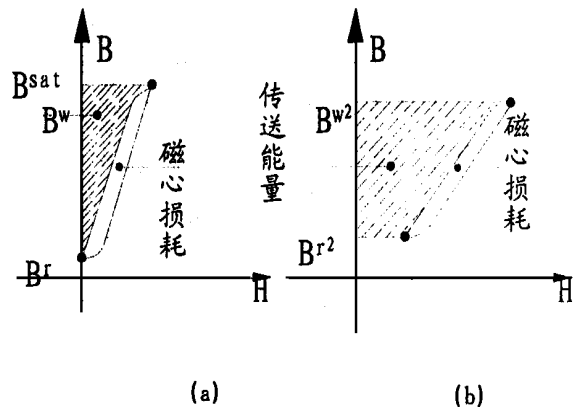


图 4 a. 当磁心气隙很小时磁化曲线及传递的能量
b. 当磁心气隙较大时磁化曲线及传递的能量

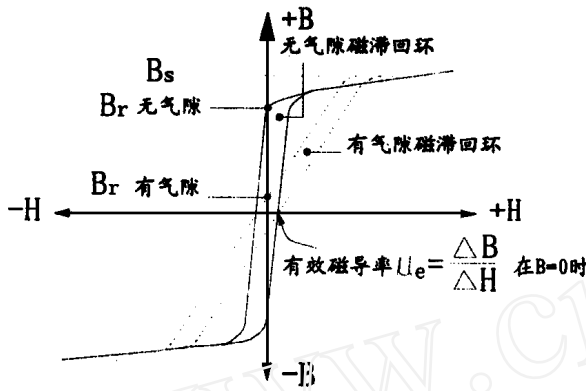


图5 有气隙(实线)和没有气隙(虚线)时铁氧体变压器磁滞回环

B_{ac} 对应了 H_{ac} 的范围,气隙大, H_{ac} 就大。必须有足够的线圈匝数和磁心面积来平衡外加的伏秒值;必须有足够的磁心气隙来防止饱和状态并平衡直流分量。

3 变压器中的电感值

由于在 T 截止期间,变压器绕组中储存的能量向负载释放,因此变压器初级绕组电感值不同将直接影响放电时常数,并且对电路中的电压、电流波形都有很大的影响,图 7 给出了电感为不同值时的电流电压波形。从图中可以看出,电感越小,充电时常数越小,峰值电流越大。这不仅使开关管的开关应力增大,而且造成输出电压纹波增大,当电感过小时会造成负载电流不连续的间断波形。

开关管 T 导通时,在变压器初级电感中储存的能量,在开关管截止结束(下一周期导通开始)时释放完毕,此时变压器初级绕组所具有的电感值称为变压器的临界电感,其计算公式为:

$$L_{min} = \left[\frac{U_p \cdot n U_S}{U_P + n U_S} \right]^2 \cdot \frac{T}{2 P_0} \times 10^{-6}$$

当初级电感 L_p 大于临界电感 L_{min} 时,变换器处于“不完全能量转换”方式,此时峰值电流小,纹波小。但电感过大,会造成变压器体积增大,漏电感上升和成本升高。

变压器原边绕组的电感值影响变压器的工作方式,但并不是变压器设计的重要参数。通常只

2.2 在直流电流下气隙的作用

在变压器绕组中的直流成分可在 B - H 回环的水平轴上产生一直流磁力 H_{dc} (H_{dc} 与直流安匝数成正比),对于一个确定的副边电流负载, H_{dc} 的值是不确定的。在没有饱和的条件下,带有气隙磁心可加上更大的 H 值(直流电流),由图 6 可知, H 的更大值已足以使没有气隙的磁心达到饱和。因此,有大直流电流时,气隙对防止磁心饱和是有效的。

总之,外加的伏秒值、匝数和磁心面积决定了 B 轴上的 B_{ac} ;直流的平均电流值、匝数和磁路的长度决定了 H 轴上的 H_{dc} 值的位置。

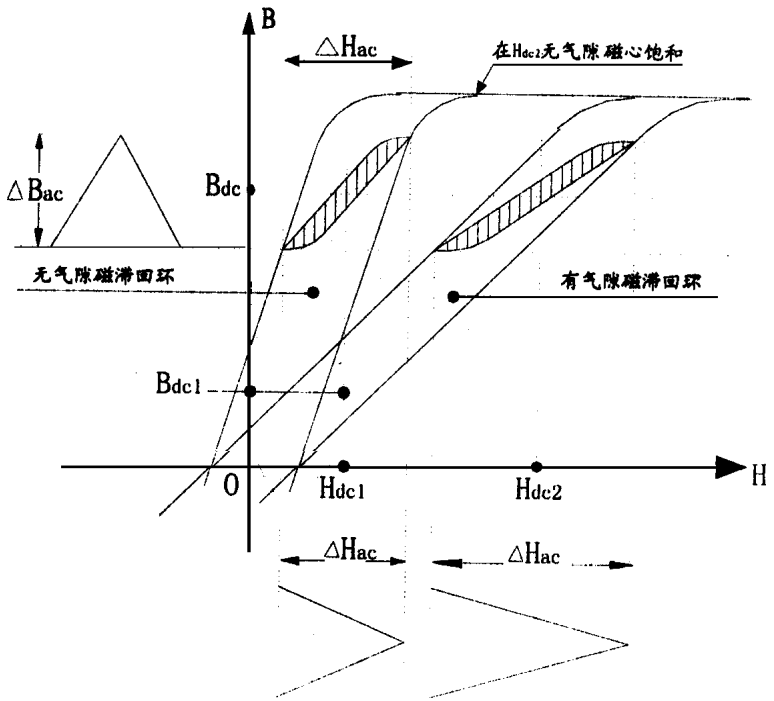


图6 有大小气隙时单端反激变换器铁氧体磁心第一象限磁滞回环

在设计后期才考虑它的大小。

4 结束语

当变换器输入电压在一个较大范围内变化,或负载电流在较大范围内变化时,变换器必然会跨越完全能量传递和不完全能量传递两种工作方式,因而要求在两种工作方式下都能稳定工作。但要求同一个电路在两种方式下都能稳定工作,在设计上是非常困难的。

从实际应用情况来看,选择“不完全能量传递”方式,对于电路的实现和性能的保证都是比较简单的。该方式由于产生了直流量,因而必须在磁心中加入气隙以防止饱和,但气隙的加入只能增大磁场强度和降低剩余磁感应强度,并不能使饱和磁感应强度降低。

变压器是开关变换器中必备的元器件。由于其涉及的参数太多,如电压、电流、频率、温度、能量、电感值、变比、漏电感、磁材料参数、铜损、铁损等;各种参数不同额定值的组合,使磁性材料的规格极其繁多,厂家为用户备好现货是不可能的。所以变压器不象电子元件可以有现成的成品选择,大多数情况下需要自行设计或提供参数委托设计加工。而变压器性能的好坏,不仅影响其本身的发热和效率等,还会影响到开关电源的技术性能和可靠性。因此,正确掌握变压器的工作状态就具有重要的意义。

参 考 资 料

- 1 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计. 北京:电子工业出版社,1998
- 2 电子变压器专业委员会. 电子变压器设计手册. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1998
- 3 叶惠贞,杨兴州. 开关稳压电源. 北京:国防工业出版社,1990

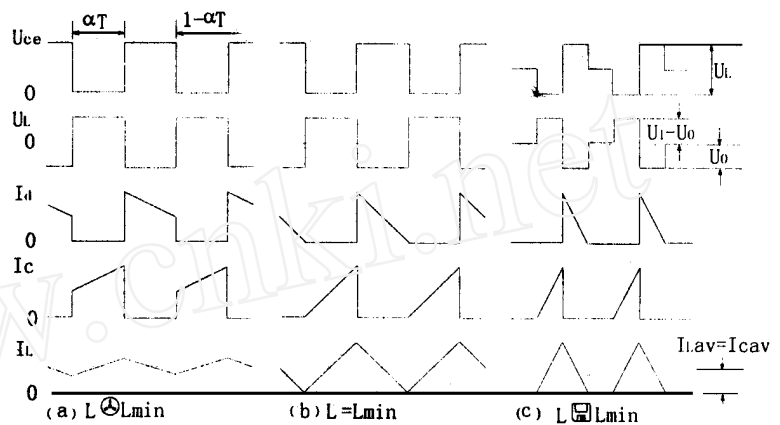


图 7 电感量对电压、电流波形的影响