

移相全桥变换器寄生振荡的抑制方法研究

皮之军¹, 吴晓男¹, 杨增胜²

(1. 海军航空工程学院控制工程系, 山东烟台, 264001; 2. 92840 部队, 山东胶南, 266405)

摘要: 移相全桥变换器是中大功率直流/直流变换场合的一种理想拓扑, 但在其输出整流桥上会产生寄生振荡, 二极管上存在很高的尖峰电压。这将带来电路损耗并影响整流桥的使用寿命, 因此应该想办法抑制。文中分析了寄生振荡产生的原因, 介绍了几种可行的抑制方法, 并进行了比较研究和实验验证。

关键词: 移相全桥变换器; 寄生振荡; 抑制方法

中图分类号: TN 712

文献标识码: A

0 引言

移相全桥零电压开关变换器利用变压器的漏感(或原边串联电感)和功率管的寄生电容(或外接电容)来实现零电压开关, 同时又实现了 PWM 控制^[1]。该变换器电路结构简单, 控制电路容易实现, 是中大功率直流/直流变换场合的一种理想拓扑。^[2]

但移相全桥变换器输出整流二极管不是工作在软开关状态, 存在反向恢复过程。在输出整流二极管反向恢复时, 由于变压器的漏感(或附加的谐振电感)和整流二极管的结电容以及变压器的绕组电容之间发生高频谐振, 整流桥产生寄生振荡, 二极管上存在很高的尖峰电压。这将带来电路损耗, 同时也影响整流桥的使用寿命。因此, 应采用有效的缓冲电路来抑制寄生振荡, 消除整流二极管上的尖峰电压。

1 整流桥寄生振荡的产生

大功率的移相全桥 ZVS 变换器输出整流电路一般有两种: 一种是 4 个整流二极管构成的全桥整流方式, 另一种是 2 个整流二极管构成的双半波整流方式, 即全波整流方式, 分别如图 1a)、b) 所示。当输出电压比较高、输出电流比较小时, 一般采用全桥整流方式; 当输出电压比较低、输出电流比较大时, 为了减小整流桥的通态损耗, 提高变换器的效率, 一般选用全波整流方式。^[3-5]

不管采用上述哪种整流方式, 移相全桥变换器

输出整流二极管都不是工作在软开关状态, 存在反向恢复过程。在输出整流二极管反向恢复时, 变压器的漏感(或附加的谐振电感)和整流二极管的结电容以及变压器的绕组电容之间会发生高频谐振, 从而使整流桥上产生寄生振荡, 二极管上存在很高的尖峰电压。

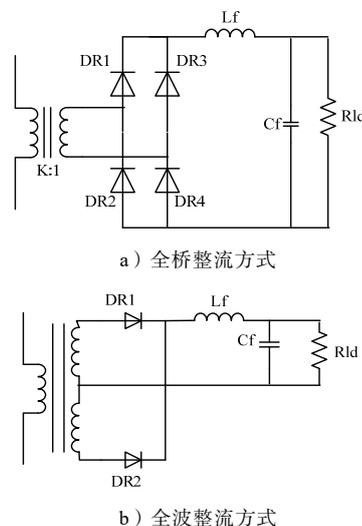


图 1 输出整流电路的两种拓扑

以全桥整流方式为例, 整流桥换流的等效电路如图 2 所示。当副边电压为零时, 在全桥整流器中 4 只二极管全部导通, 输出滤波电感电流处于自然续流状态。而当副边电压变化为高电压 V_{in}/K (K 是变压器变比) 时, 整流桥中有 2 只二极管要关断, 另 2 只继续导通。这时候, 变压器的漏感或附加的谐振电感就开始和关断的整流二极管的电容谐振。

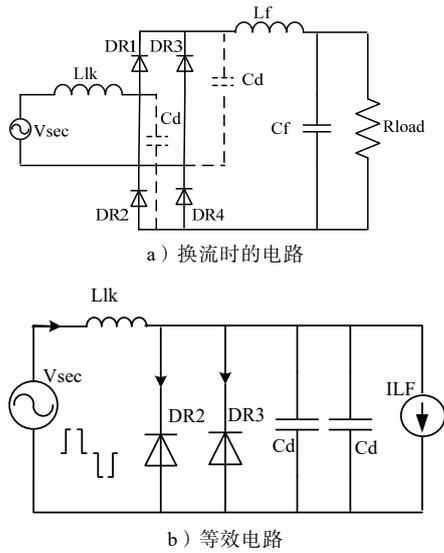


图 2 整流桥换流等效电路

从图 2 中可以看出，副边漏感上电流 I_{Llk} 是负载电流 I_{Lf} 和即将关断的二极管反向恢复电流之和，其最大值为：

$$I_{Llk} = I_{Lf} + \frac{V_{in}/K}{\sqrt{L_{lk}/2C_d}}$$

其中， C_d 为整流二极管结电容（假设 4 个二极管的结电容大小相同）。分析可知，即使采用快恢复二极管，其两端依然会承受至少两倍的尖峰电压 $2V_{in}/K$ 。

整流桥寄生振荡的存在将带来额外的电路损耗，且由于尖峰电压的存在而提高对整流二极管的耐压要求，同时也影响整流桥的使用寿命。因此，必须加以抑制，这就需要采用有效的缓冲电路。

2 寄生振荡的几种抑制方法比较

关于抑制整流桥寄生振荡的缓冲电路，文献当中提出了多种方式^[6-8]，归纳起来主要有 RC 缓冲电路、RCD 缓冲电路、主动箝位缓冲电路、第三个绕组加二极管箝位缓冲电路和原边加二极管箝位缓冲电路等 5 种。前 4 种方式分别如图 3a)~d) 所示。

在图 3a) 中，增加一个由 R_s 和 C_s 组成的串联支路分别并联在 4 个整流管的两端。当电流从原来导通的二极管中换到将要导通的二极管中时，被关断的二极管上的并联 RC 支路起到箝位作用；而当二极管再次导通时，RC 支路上的电容 C_s 的电荷将被放掉，所有的能量 $\frac{1}{2}C_sV_{sec}^2$ 都释放在电阻 R_s 上。

因此，这种吸收网络是有损耗的，相当于把整流二

极管的关断损耗转移到了 RC 缓冲电路上，因而不利于提高变换器的效率。

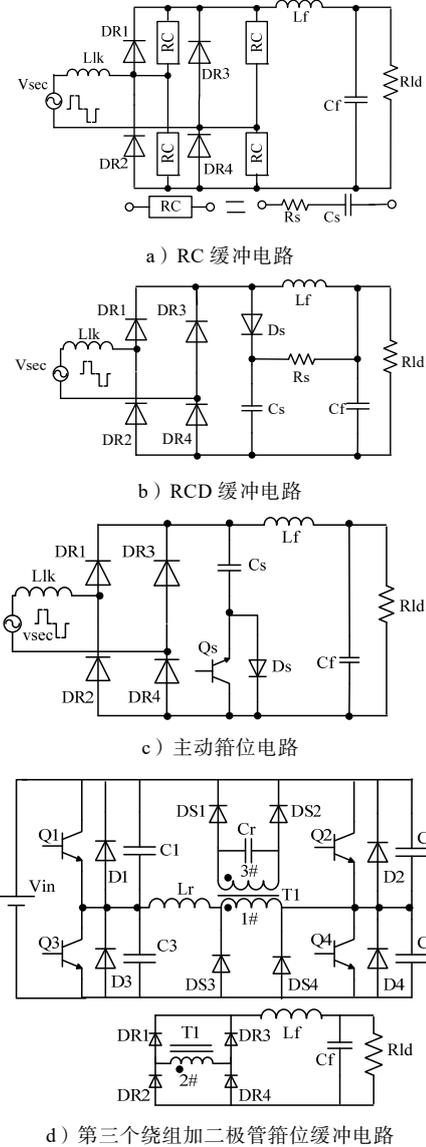


图 3 几种抑制整流桥振荡的缓冲电路形式

图 3b) 是一种改进的缓冲电路，由箝位二极管 D_s 、回馈电阻 R_s 和较大容量的箝位电容 C_s 组成。这种缓冲电路能够将整流桥上的电压箝位在一个适当的数值上，这个电压介于 V_{in}/K 和 $2V_{in}/K$ 之间，因而使得尖峰电压有所减小，振荡得到一定程度的抑制。与图 3a) 所示 RC 缓冲电路相比，吸收电路虽然仍有损耗，但已减小。

图 3c) 中是一种主动箝位电路，它由箝位开关管 Q_s 、箝位二极管 D_s 和较大容量的箝位电容 C_s 组成。这种缓冲电路也可以将整流桥上的电压箝位在一个适当的数值，这个电压比 V_{in}/K 略高一些。由