

基于瞬时功率流向法判定 PWM 变流器 瞬时工作状态的研究

肖强晖, 周万传

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412008)

摘要: 针对 PWM 变流器实时工作状态, 提出了一种基于瞬时功率流向法判定 PWM 变流器每一时刻工作状态的原理与方法, 以单相 PWM 整流及逆变状态为例, 详述了其判定方法, 揭示了此方法的应用意义。

关键词: 整流; 逆变; PWM; 瞬时功率流向

中图分类号: TM461; TM92

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)04-0061-03

Research on Determining the PWM Converter Based on the Instantaneous Power Direction under Instantaneous Working State

Xiao Qianghui, Zhou Wanchuan

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: Aiming at the real-time working state of PWM converter, a principle and method based on the instantaneous power direction to determine every working state seconds is presented. Taking the single-phase PWM rectifier and inverter state as examples, it showed the method has application significance after describing its judgment method.

Key words: rectifier; inverter; pulse-width modulation (PWM); instantaneous power direction

在可逆的 PWM 变流装置中, 电路的拓扑结构多种多样, 分析其工作的过程非常繁杂, 给变流装置每一时刻工作状态的实时检测和控制带来了一定的困难。然而, 在电力电子系统或装置的分析与实时控制中, 瞬时功率的流向是与变流器的瞬时工作状态密切相关的, 即在整流变换过程中, 其瞬时功率的流向是从交流侧流向直流侧; 在逆变过程中, 其瞬时功率是从直流侧流向交流侧的^[1,2]。为了给现代电力电子系统或装置的瞬时工作状态的检测、故障诊断与实时控制提供一个清晰而明确的理论基础, 本文提出了一种基于瞬时功率的流向来判定 PWM 变流器瞬时工作状态的原理与方法。

1 基本原理

对于一个电力电子变换装置而言, 假设交流电源侧等效电压源为 U_s , 直流电源侧电压源为 U_d , 其负载和电源的内阻一起等效为 Z 。以交流侧为参考方向, 采用发电机惯例, 用交流电源侧实时发出和吸收的功率来判定 PWM 变流器的瞬时工作状态。其中, 交流电源侧电压为 u , 输出电流为 i 。

1) 当交流侧发出的瞬时功率 $p=ui>0$ 时, 交流电源侧发出功率, 变流器实时工作在整流状态。分为 2 种情况:

① $u>0, i>0$, 交流电源侧工作在正半轴 (第一象限), 其等效原理如图 1 中 a) 所示;

收稿日期: 2008-06-30

作者简介: 肖强晖 (1969-), 男, 湖南湘乡人, 湖南工业大学研究员级高级工程师, 博士, 主要从事现代电力电子技术及系统, 电力系统分析与控制等方面的研究。

② $u < 0, i < 0$, 交流电源侧工作在负半轴 (第三象限), 其等效原理如图 1 中 b) 所示。

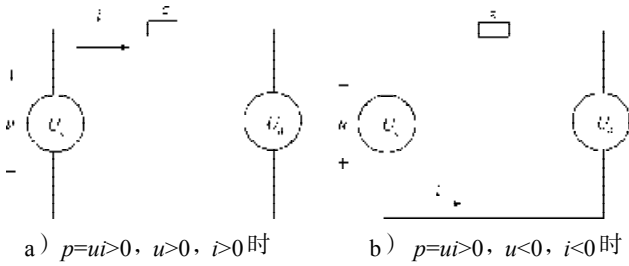


图 1 整流状态等效原理图

Fig. 1 The equivalent principle diagram of rectifier status

2) 当 $p=ui < 0$ 时, 交流电源侧吸收功率, 变流器实时工作在逆变状态。也分 2 种情况:

① $u > 0, i < 0$, 交流电源侧工作在正半轴 (第四象限), 其等效原理如图 2 中 a) 所示;

② $u < 0, i > 0$, 交流电源侧工作在负半轴 (第二象限), 其等效原理如图 2 中 b) 所示。

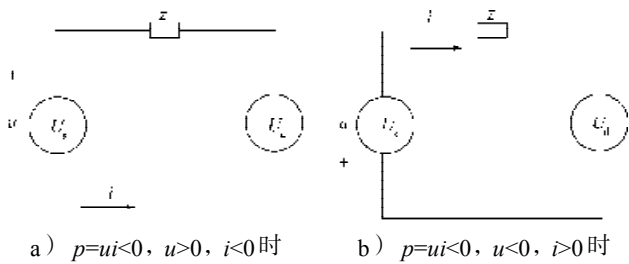


图 2 逆变状态等效原理图

Fig. 2 The equivalent principle diagram of inverter status

下面以单相 PWM 变流器为例, 采用上述瞬时功率流向法的原理与方法, 分析和判断单相 PWM 变流器的实时工作状态。

2 实时整流工作状态的判定

1) 变流器的交流电源侧某一时刻工作在正半轴 (第一象限) 时 (如图 3 所示, 其中 *LOAD* 可以是无源负载, 也可以是电瓶、电机等有源负载。以下电路相同), $Q_1、Q_4$ 不工作, 处于截止状态; $Q_2、Q_3$ 工作, 可以工作在导通或截止状态^[3,4]。这时, 工作过程可分 2 种情况。

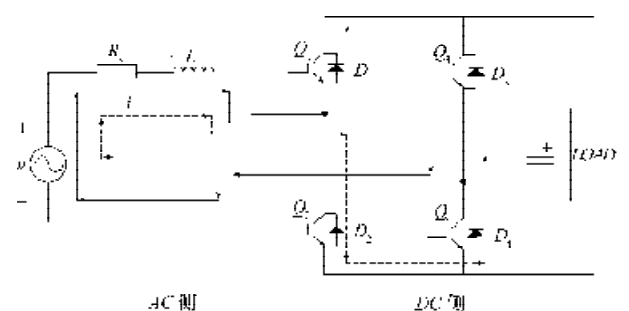


图 3 整流的储能状态

Fig. 3 The energy storage state of rectifier

① 当 $Q_2、Q_3$ 闭合时, 如图 3 所示, 瞬时功率流的方向有 2 条路径, 即实线和虚线 2 条回路。此时 $u > 0, i > 0, p > 0$, 电感的极性是左正右负。

② 当 $Q_2、Q_3$ 断开时, 如图 4 所示, 瞬时功率流方向只有 1 条路径, 此时 $u > 0, i > 0, p > 0$, 电感的极性是左负右正。

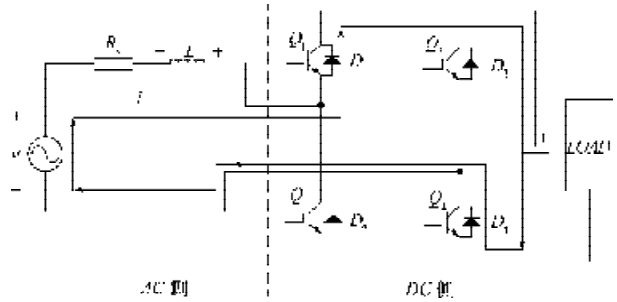


图 4 整流的释放功率状态

Fig. 4 The energy release state of rectifier

如果忽略二极管和功率开关管 IGBT 上的导通压降, 则等效图如图 5 所示。

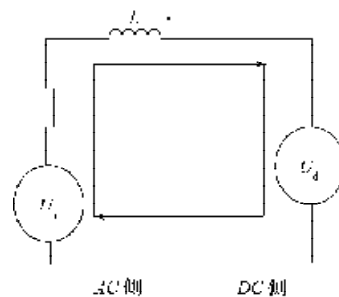


图 5 整流的正半轴等效图

Fig. 5 The positive-axle equivalent diagram of rectifier

显而易见, 此状态下变流器的瞬时功率是流向直流侧, 是一个升压斩波过程。只有在 Q_2 和 Q_3 管关闭时才有瞬时功率输出到负载。由 $Q_2、D_1、L_s$ 和 $Q_3、D_4、L_s$ 分别组成 2 个升压斩波 (Boost) 电路。以第 1 个 Boost 电路为例, 其工作过程为: 当 Q_2 导通时, 交流侧电源 U_s 通过 $Q_2、D_4$ 向 L_s 中储能; 当 Q_2 关断时, L_s 中储存的功率通过 $D_1、D_4$ 向直流侧电容充电。

2) 变流器的交流电源侧某一时刻工作在负半轴 (第三象限) 时, $Q_2、Q_3$ 不工作, 处于截止的状态; $Q_1、Q_4$ 工作, 可以工作在导通或截止状态。所以, 这时候也可以分 2 种情形, 其工作过程同交流电源实时工作在正半轴 (第一象限) 时相类似 (分析过程略)。由 $Q_1、D_2、L_s$ 和 $Q_4、D_3、L_s$ 分别组成 2 个 Boost 电路, 忽略二极管和功率开关管 IGBT 上的导通压降, 则等效图如图 6 所示。

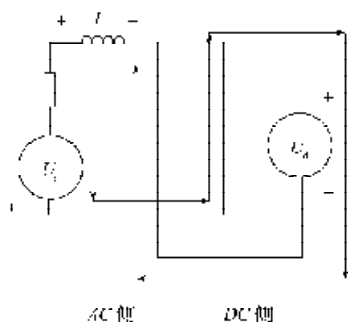


图6 整流的负半轴等效图

Fig. 6 The negative-axis equivalent diagram of rectifier

由图6可以看出, 瞬时功率还是由交流侧流向直流侧, 也是一个升压斩波过程。只有在 Q_1 和 Q_4 管关闭时才有瞬时功率输出到负载。

以上分析结果与前述原理相一致, 即PWM变流器实时工作在整流状态时, 交流电源侧发出瞬时功率到直流侧。当 $u>0, i>0, p>0$ 时, 交流电源侧实时工作在正半轴(第一象限); 当 $u<0, i<0, p>0$ 时, 交流电源侧实时工作在负半轴(第三象限)。

3 实时逆变工作状态的判定

1) 交流电源某一时刻工作在正半轴(第四象限)时(如图7所示), $Q_2、Q_3$ 不工作, 处于截止状态, $Q_1、Q_4$ 工作, 可以工作在导通或截止状态。这时工作过程可分2种情况。

①当 $Q_1、Q_4$ 闭合时, 瞬时功率流方向如图7所示, 此时电感的极性是左负右正。此时, $u>0, i<0, p<0$ 。

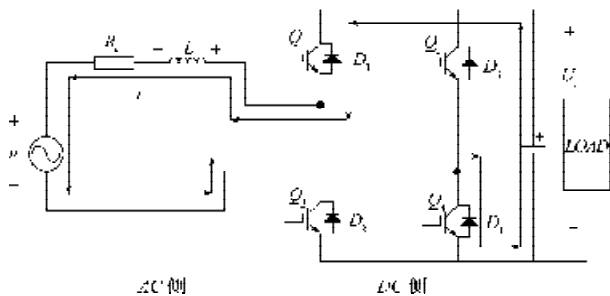


图7 逆变的储能状态

Fig. 7 The energy storage state of inverter

②当 $Q_1、Q_4$ 断开时, 瞬时功率流方向如图8所示, 此时电感的极性是左正右负。此时, $u>0, i<0, p<0$ 。

从上述分析看出, 此状态下变流器的瞬时功率是流向交流侧, 是一个降压斩波过程。即由 $Q_1、Q_4、D_2、D_3$ 共同组成一个降压斩波Buck电路。当 $Q_1、Q_4$ 导通时, 直流侧通过 $Q_1、Q_4$ 向电感 L_s 和电源 U_s 提供电能; 当 $Q_1、Q_4$ 关断时, 电感 L_s 中的功率通过 $D_2、D_3$ 向电源释放。

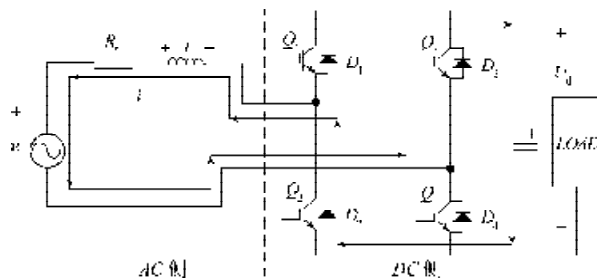


图8 逆变的释放功率状态

Fig. 8 The energy release state of inverter

2) 交流电源某一时刻工作在负半轴(第二象限)时, $Q_1、Q_4$ 不工作, 处于截止状态; $Q_2、Q_3$ 工作, 工作在导通或截止状态。所以这时也可分2种情形, 其工作过程同交流侧工作在正半轴(第四象限)时类似(分析过程略)。由 $Q_2、Q_3、D_1、D_4$ 共同组成一个降压斩波(Buck)电路。

以上分析结果与前述原理相一致, 即PWM变流器实时工作在逆变状态时, 直流电源侧发出瞬时功率到交流侧。即当 $u>0, i<0, p<0$ 时, 交流电源侧实时工作在正半轴(第四象限); 当 $u<0, i>0, p>0$ 时, 交流电源侧实时工作在负半轴(第二象限)。

4 结论

本文提出的基于瞬时功率流向法来判定PWM变流器瞬时工作状态的原理与方法, 只需在PWM变流器的交流侧实时检测电压和电流的方向, 由此判断瞬时功率的流向, 即可以判断出该时刻变流器是工作在整流状态, 还是工作在逆变状态, 为分析和判定PWM变流器瞬时工作状态提供了一种简单、直观而且易行的方法。该判定方法为现代电力电子系统或装置的瞬时工作状态的实时检测、故障诊断与实时控制提供了清晰而明确的理论基础, 具有一定的实践价值。

参考文献:

- [1] 贾正春, 马志源. 电力电子学[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 邱关源. 电路[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [3] 汤才刚, 朱红涛, 李莉, 等. 基于PWM的逆变电路分析[J]. 现代电子技术, 2008, 21(1): 159-163.
- [4] 陈坚. 电力电子学——电力电子变换和控制技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版, 2004.
- [5] 黄海宏, 王海欣, 张毅, 等. PWM整流电路的原理分析[J]. 电气电子教学学报, 2007, 29(4): 29-30.

(责任编辑: 张亦静)