

矩阵变换器两种四步换流策略的对比研究^{*}

冯高明 何艳杰

(河南理工大学 电气工程与自动化学院 焦作 454000)

摘要: 矩阵变换器自诞生以来,其换流策略的研究很多,基于电流方向检测与电压方向检测的四步换流策略都得到广泛的研究和应用。一些研究人员对四步换流的具体过程以及输出波形进行了一定的分析,而很少对它们的难易程度、输出波形的可靠性和波形质量做进一步对比分析。在深入分析换流策略的基础上,结合双向开关对四步换流策略作详细的介绍,在保证换流的可靠性、改善波形质量的基础上,通过 MATLAB 仿真方法验证了结论的正确性和有效性,并分析比较了两种四步换流方式的优缺点。

关键词: 矩阵变换器;四步换流策略;双向开关;仿真

中图分类号: TN624 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470

Study on four-step commutation strategy for matrix converters

Feng Gaoming He Yanjie

(School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Since the beginning of the matrix converter, the commutation strategy research on it is a lot. Based on the direction of current detection and voltage direction of four-step commutation strategy have been extensive research and application. Some researchers have analyzed the four steps in flow process and the output waveform, But few of them, to the difficulty, the reliability of the output waveform and waveform quality for further analysis and comparison. Based on the deep analysis of the commutation strategy and combined two-way switch, this paper presents a detailed introduction to the four step commutation strategy. On the basis of ensuring the reliability of the flow changing and improving the quality of waveform, the correctness and effectiveness of the conclusion are verified by the MATLAB simulation method, and the advantages and disadvantages of two types of four-step commutation modes are analyzed and compared.

Keywords: matrix converter; four-step commutation strategy; two way switch; simulation

0 引言

自 20 世纪 70 年代以来,国外对矩阵变换器的研究较早于国内,而矩阵变换器作为一类高性能的、通用的、复杂的环保型变换器^[1],在电力电子变换器中占有着非常重要的位置,其主要特点如下:1)无需以电感或电容作为直接储能环节而结构紧凑,动态响应迅速,可靠性高,能够实现四象限运行;2)输入输出正弦特性较理想,输入功率因数可自由调节且接近于 1;3)利用双向开关可使能量具有双向流动性^[2-6]。由于其突出的特点,对矩阵变换器技术的研究也获得大量的优秀成果,同时也出现一些新型的变换器形式^[7-8],如等效交-直-交 PWM 变换器、多电平矩阵变换器、矩阵变换器级联多重化技术等工业上的推广应用,使矩阵变换器更加备受青睐。

矩阵变换器的优越性能的实现与换流策略的选取有着密切关系。换流策略的选取不当,会使输入输出波形畸变,进而其安全性和可靠性将难以实现。国内外研究者对换流策略的研究主要集中在基于电流检测和基于电压检测的四步换流策略上。文献[9-10]中,通过对矩阵变换器各种换流策略进行综述,分析矩阵变换器的研究动向,并未对矩阵变换器的四步换流做详细的设计和对比分析。文献[11]采用一些方法,例如,调整窄脉冲、改变换流顺序等,来对矩阵变换器的基于电压检测的四步换流策略进行优化研究。文献[12]通过对矩阵变换器的基于电流检测的四步换流作分析,以及利用 MATLAB 仿真来得到输出电压与电流的波形情况。

为了更好地对两种四步换流策略在难易程度、输出波形的可靠性和波形质量做进一步的分析与对比。本文在深

收稿日期:2016-12

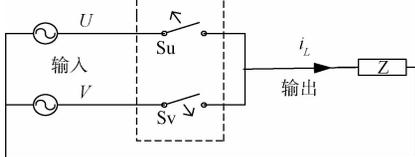
* 基金项目:国家自然科学基金(U1404612)项目资助

入分析四步换流策略的基础上,结合双向开关对四步换流策略作详细的介绍,并设计四步换流仿真模型,然后进行MATLAB仿真。该设计既验证和比较了四步换流的正确性与优缺点又简单易行,同时对如何正确合理选取两种四步换流,进行电动机的变频变压调速具有一定的指导意义。

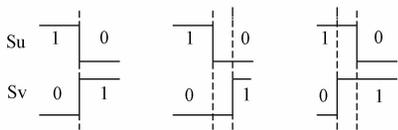
1 矩阵变换器的四步换流策略

换流控制方法是矩阵式变换器的关键技术之一。由于电流的自然续流在矩阵变换器中不存在,致使开关器件的换流与之前的交-直-交型PWM变频器相比,就显得复杂的多。而矩阵变换器在换流的过程中必须遵守两个原则:1)输入端电压源不能因为短路造成过流,要求矩阵变换器的任意输入端中间两相不能短路;2)输入端感性负载不能因为短路产生过电压,要求矩阵变换器的任意输入相不能断路,以维持电压源和电流源的特性。

在利用相邻的两个双向开关进行矩阵变换器的一相输出换流时,将会出现3种情况,如图1所示。而在实际中,难以保证每个双向开关中的两个可控器件动作的同步性,则会出现与图1(b) (“1”表示开通,“0”表示关断)不同的图1(c)、(d)图,而造成短路故障或是断路故障。因此要确保矩阵变换器的安全工作,双向开关之间需要利用四步换流策略进行换流。而四步换流根据采集信息的不同,分为基于输出电流方向检测和基于输入电压方向检测两类。



(a) 双向开关换流 $S_u \rightarrow S_v$



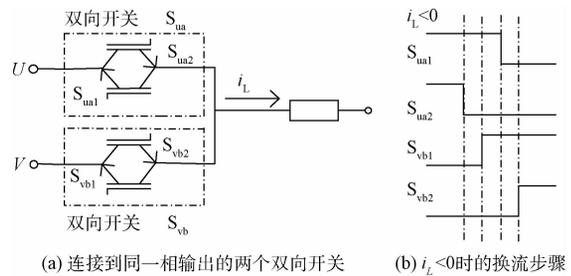
(b) 理想情况 (c) 死区情况 (d) 重叠情况

图1 矩阵变换器双向开关换流

1.1 基于输出电流方向检测的四步换流策略

以RB-IGBT构成的双向开关为例对四步换流策略的步骤进行分析。由于电流方向有时为负,以 i_L 为负($i_L < 0$)为例,此时电流从负载流向变换器同时将双向开关 S_{ua} 换流至 S_{vb} 。1)为使 U 和 V 不通过 S_{vb1} 和 S_{ua2} 形成短路,先关断 S_{ua2} ;2)开通 S_{vb1} ,假如 $V > U$,此时负载电流仍流过 S_{ua1} ,否则负载电流将立刻由 S_{ua1} 转移到 S_{vb1} ;3)关断,此时刻电流已经转移到 S_{vb1} ;第4)开通 S_{vb2} 。当输出电流方向为正时,可采用同样的方法进行换流动作分析。

矩阵变换器在利用此方法进行换流过程中,在大部分时间内,其都能够正常工作,而在输出电流过零点附近时,



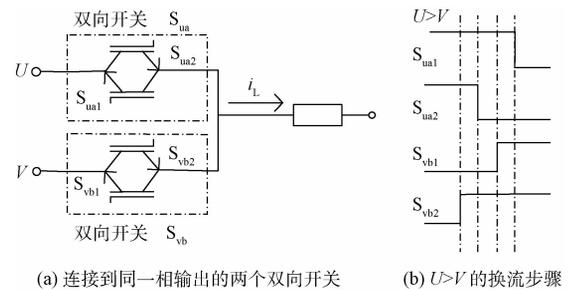
(a) 连接到同一相输出的两个双向开关 (b) $i_L < 0$ 时的换流步骤

图2 基于输出电流方向的双向开关四步换流策略

由于检测电流方向的不准确不及时而导致换流的误动作,这就使输出的波形产生了不必要的畸变。如果在电流过零点附近需要换流,可放弃此方法,而采用检测输入电压方向的换流方法,可使换流在这个区域内无畸变的产生。这表明检测电压方向的换流方法较检测电流方向的换流方法可靠,产生的波形质量也比较高。

1.2 基于输入电压方向检测的四步换流策略

基于输入电压检测的四步换流策略如图3所示。



(a) 连接到同一相输出的两个双向开关 (b) $U > V$ 的换流步骤

图3 基于输入电压的双向开关四步换流策略

该换流方法是首先已知输入侧各相电压的大小,在图3(a)中,同样以A相的输出电流进行从双向开关 S_{ua} 换流至 S_{vb} 为例,详细分析基于电压检测的四步换流的工作原理。换流时假设 $U > V$ 且两个双向开关 S_{ua1} 和 S_{ua2} 都已经导通,而 S_{vb1} 和 S_{vb2} 处于关断状态。1)输出电流方向无法确定,故不能关断 S_{ua1} 或 S_{ua2} ,此时 $U > V$,利用驱动脉冲使 S_{vb2} 导通而不会造成电压源短路;2)由于 S_{ua1} 和 S_{vb2} 处于导通状态,此时可关断 S_{ua2} ;3)利用驱动脉冲使 S_{vb1} 导通;4)关断 S_{ua1} 。当 $U < V$ 时,可采用同样的分析方法进行换流动作分析。值得注意的是由于电压检测元件具有延时性和检测信号的不准确性,为了防止感性负载短路故障和电压源短路,应禁止换流操作或者采用其他的改进方法进行换流。

2 仿真模型的设计

由于三相-三相矩阵变换器的工作原理与两相-单相矩阵变换器的原理一致。为了研究方便,本文采用两相-单相矩阵变换器并结合以上的四步换流策略建立仿真模型,如图4所示。

其中,两相输入电压 U 、 V 的峰值为220V,电压频率为

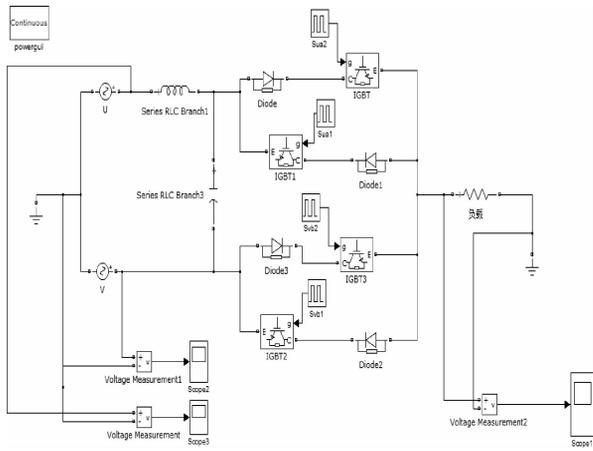


图 4 系统仿真模型图

50 Hz 且 V 滞后 U 120° , 4 个 IGBT 的开通断由 4 个相应的脉冲波形进行控制, 并且其脉冲频率与电压频率一致。在输入端加入 LC 滤波器^[13-15], 以消除由开关动作产生的高频谐波, 来得到更好的负载电压波形。

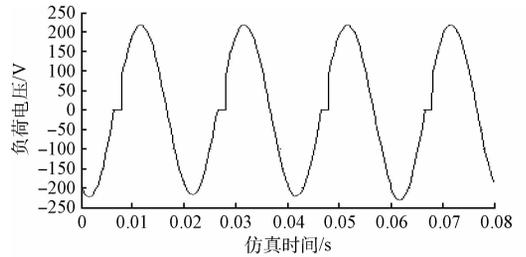
3 实验结果与分析

利用 Simulink 构建图 4 的模型并进行基于输出电流方向检测和输入电压方向检测的四步换流仿真, 仿真结果如图 5 所示。

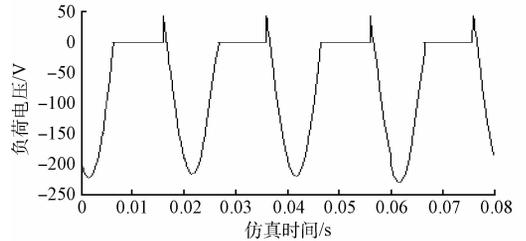
图 5 给出不同四步换流情况时负载两端电压波形, 其中图 5(a)和图 5(b)是根据输出电流方向检测的四步换流得到的负载两端电压波形, 而图 5(c)与 5(d)是依据输入电压方向检测的四步换流得到的负载两端电压波形。在进行实际的仿真实验过程中, 控制 4 个脉冲波形的难易程度大致一样, 但是从仿真得出的输出负载两端电压波形可以看出, 电压方向检测的四步换流得到的波形畸变率较小, 波形质量较好, 波形较理想。另外在采用此换流方法时, 如果能够适当的缩短开关换流时间、采用合适的采样频率以及调制策略等方法, 将得到更加优质可靠的波形, 保证系统更加安全可靠运行。

4 结 论

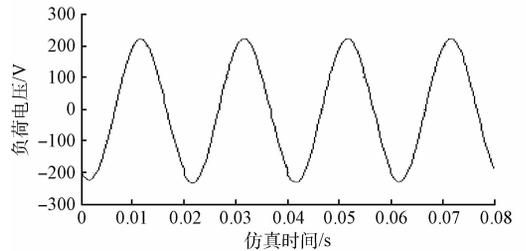
矩阵变换器在现代工业和家庭用处较为广泛。首先分析介绍了矩阵变换器, 然后在矩阵变换器的换流方式上详细叙述分析了两种四步换流策略—基于输出流方向检测和基于输入电压方向检测。采用 MATLAB/Simulink 进行仿真, 既验证了两种四步换流的正确性, 同时得出两者在实现的难易程度上较一致, 但是后者得到的波形质量比前者较理想可靠, 在后者上做一些相应的改进较前者容易, 而且得出的波形也更加理想, 这对今后如何恰当选用矩阵变换器的四步换流进行有关的电动机变频变压调速研究具有一定的指导借鉴价值。



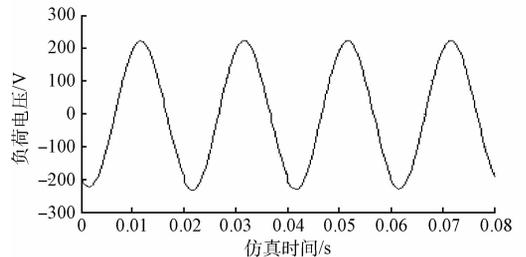
(a) 采用当基于输出电流方向为正时的四步换流负载两端电压波形



(b) 采用当基于输出电流方向为负时的四步换流负载两端电压波形



(c) 采用当基于输入电压 $U > V$ 时的四步换流负载两端电压波形



(d) 采用当基于输入电压 $U < V$ 时的四步换流负载两端电压波形

图 5 采用不同四步换流情况时负载两端电压波形

参 考 文 献

- [1] 张小平, 唐水平, 周兰, 张铸. Buck-Boost 矩阵变换器的复合控制策略[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(6): 931-936.
- [2] 陈杰, 王金梅, 崔剑, 等. 基于间接矢量调制矩阵变换器建模仿真研究[J]. 电测与仪表, 2015, 52(17): 6-11.
- [3] 魏萍, 危梁. 电压瞬时跌落时矩阵变换器控制策略优化[J]. 电测与仪表, 2015, 52(13): 16-19.
- [4] 黄伟, 程启明, 郭凯, 等. 两种矩阵变换器的调制策略比较仿真研究[J]. 电测与仪表, 2016, 53(3): 38-44.
- [5] 肖儿良, 陈朱杰, 莫康, 等. 基于 TSMC 永磁方波电机转矩脉动抑制的研究[J]. 电子测量技术, 2016, 39(5): 27-30, 35.