

文章编号: 1005-0523(2006)05-0094-04

基于 Simulink 的单相矩阵变换器的研究

王建华, 高海生

(华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:介绍了矩阵变换器(MC)的优点,在此基础上分析单相矩阵变换器的工作原理、拓扑结构及推导过程,并基于 Simulink 进行仿真研究.以此来证明这种变换器的优点.通过仿真结果,发现这种交-交变换器具有输出频率连续可调、输出电压波形存在畸变,但在一定范围内连续可调、输入输出电流较接近正弦波等优点,发展前景大,值得进一步研究.

关键词:矩阵式变换器;功率因数;双向功率流动;建模与仿真

中图分类号: TM406

文献标识码: A

1 前言

在当前,现代电力电子技术、微电子技术以及电动机控制技术的进步使得交流调速用变频传动技术得到了巨大发展,加强了交流传动在电力传动领域中的主导地位,因此变压变频电源—PWM 变频器成为炙手可热的电子产品.这种变频器的主电路几乎都是“交—直—交”变换.在赢得可观效益的同时,这种变频器也带来了谐波污染、功率因数低、直流滤波电容寿命有限等不良影响.在这种情况下,从事电力电子技术研究和开发的人们开始探讨各种新的变频电源,矩阵变换器就应用而生了,这种变频器具有以下几个优点:1)无中间直流环节,结构紧凑,体积小,效率高,便于实现模块化 2)无需较大的滤波电容,动态响应快;3)能够实现能量双向流动,便于电动机实现四象限运行;4)控制自由度大,输出电压幅值和频率范围连续可调;5)输入功率因数可控,带任何负载时都能

使功率因数为 1.0;6)输出电压和输入电流的低次谐波含量较小.这些是现有变频器不能完全企及的.矩阵变换器从输入输出来看是一种“交—交”变换器,省去了中间直流环节,但它同现在的“周波变换器”的原理和电路完全不同.本文将对单相矩阵变换器建模并进行动态仿真分析,来说明这种交—交变换器的特点.

2 单相矩阵变换器(MC)的工作原理

单相—单相矩阵式变换电源的电路拓扑结构如图 1 所示.图中 $S_{11} \sim S_{22}$ 为图 2 所示的 4 只双向开关,由两只 IGBT 与二极管反并联构成.双向开关又称四象限开关,能流过双向电流,阻断双向电压.图 1 所示双向开关为矩阵式变换器中最常用的一种形式.通过一组开关函数将输入的工频交流电转换成输出电压和频率可调的单相交流电.

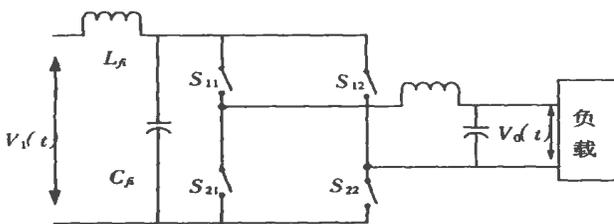


图 1 单相矩阵变换器的拓扑结构

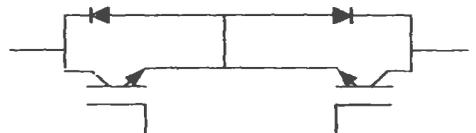


图 2 双向开关

收稿日期: 2006-06-10

作者简介: 王建华(1980-), 女, 山东烟台人, 华东交通大学在读硕士研究生, 研究方向: 电力电子与电力传动.

设输入电压为: $v_i(t) = \sqrt{2}V_i \sin(\omega_i t)$ (1)

期望输出电压基波为: $V_0(t) = \sqrt{2}V_0 \sin(\omega_0 t - \varphi_0)$ (2)

由矩阵式变换原理,得: $v_0(t) = M(t) \cdot V_i(t)$ (3)

其中,变换矩阵 $M(t) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix}$ (4)

$M(t)$ 中的每一个元素代表主回路中相应的四象限开关的占空比函数,则:

$$\begin{bmatrix} v_{0+}(t) \\ v_{0-}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$v_0(t) = v_{0+}(t) - v_{0-}(t) = (m_1 - m_2)v_i(t) \quad (6)$$

这种电压变换的实质是:在单个开关周期中,期望输出电压为占空比不同的两段正负电源电压脉冲的平均值.对于感性负载,开关换向时必须满足两个条件:输出相不能短路,输入相不能开路.对于单相-单相矩阵式电源变换,在每一时刻,开关组每一行、列有且仅有一个双向开关导通,因此,双向开关的占空比应满足:

$$\sum_{n=1}^2 m_{nk} = 1 \quad (0 \leq m_{nk} \leq 1) \quad (7)$$

这种变换有三种模式:

$$V_0(t) = \begin{cases} v_i(t) & s_{11}, s_{22} \text{通} & \text{模式 1} \\ -v_i(t) & s_{12}, s_{21} \text{通} & \text{模式 2} \\ 0 & s_{11}, s_{12} \text{或 } s_{21}, s_{22} \text{通} & \text{模式 3} \end{cases} \quad (8)$$

设计时只选用模式 1 和 2,不选用模式 3,是因为在这时段输出电压为 0,不影响计算结果,则一个

开关周期内输出电压的平均值为:

$$v_{0,\omega}^k = (m_1^k - m_2^k)v_i^k(t) \quad (9)$$

可以看出单相矩阵变换器具有以下特性:

1) 根据占空比的定义, $0 \leq m_{ij} \leq 1$, 则 $\sqrt{2}V_0 \leq \sqrt{2}V_i$

2) 由于 $M(t)$ 为不连续函数,输入电压经过单相矩阵斩波,输出波形不仅包括基波还包括高次谐波.

由于开关频率远远大于输入电压频率,则输出电压基频应满足:

$$\sqrt{2}V_0 \sin(\omega_0 t - \varphi_0) = (m_1 - m_2)\sqrt{2}V_i \sin(\omega_i t) \quad (10)$$

式(10)中 φ_0 为输出电压相位角.联立式(7)和式(10),解得

$$\begin{cases} m_1 = m_{11} = m_{22} = \frac{1}{2} \left(1 + q \frac{\sin(\omega_0 t - \varphi_0)}{\sin(\omega_i t)} \right) \\ m_2 = m_{12} = m_{21} = \frac{1}{2} \left(1 - q \frac{\sin(\omega_0 t - \varphi_0)}{\sin(\omega_i t)} \right) \end{cases} \quad (11)$$

其中: $0 \leq m_{ij} \leq 1$, $i, j = 1, 2$, $q = \frac{V_0}{V_i}$ 为电压传输比.

3 基于 simulink 的单相 MC 的建模与仿真

采用 MATLAB/simulink 仿真软件从传递函数角度去反映单相矩阵变换器的解析特性见图 3 所示.

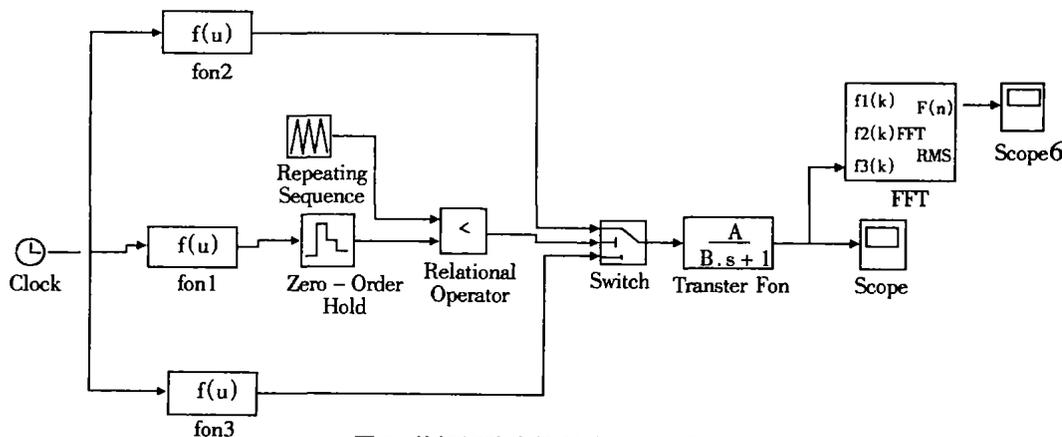


图 3 单相矩阵变换器的数学模型

其中 Fcn1 是式 11 中表达式的函数模块,它作用是运算出调制函数瞬时值.Fcn2、Fcn3 分别产生相位相差的频率为 50Hz 幅值为 311 正弦信号,它们

与 Switch1 配合,等效于单相矩阵中模式 1 和模式 2 时段的两种开关组合的工作状态.Fcn1、Fcn2 和 Fcn3 三者同用一个 Clock 模块,以保证实时运算和

输入的不同步.

将 Fcn1 实时计算出的占空比 m_1 数值值经同步采样保持器环节采样保持, 并和三角波信号发生器输出一起, 通过 Relational operator 环节的调制, 变换成 Switch1 的切换控制信号. Switch1 的输出等效为一个斩波周期内开关矩阵的正向/反向脉冲输出, 仿真模型中最后的 Transfer fcn 反映了单相矩阵变换

器的滤波环节和感性负载.

4 单相矩阵变换器的仿真结果

这里给出了采用 Matlab/Simulink 的 311 V、50 Hz 输入时, 30 Hz 输出的各点波形, 如图 4 所示.

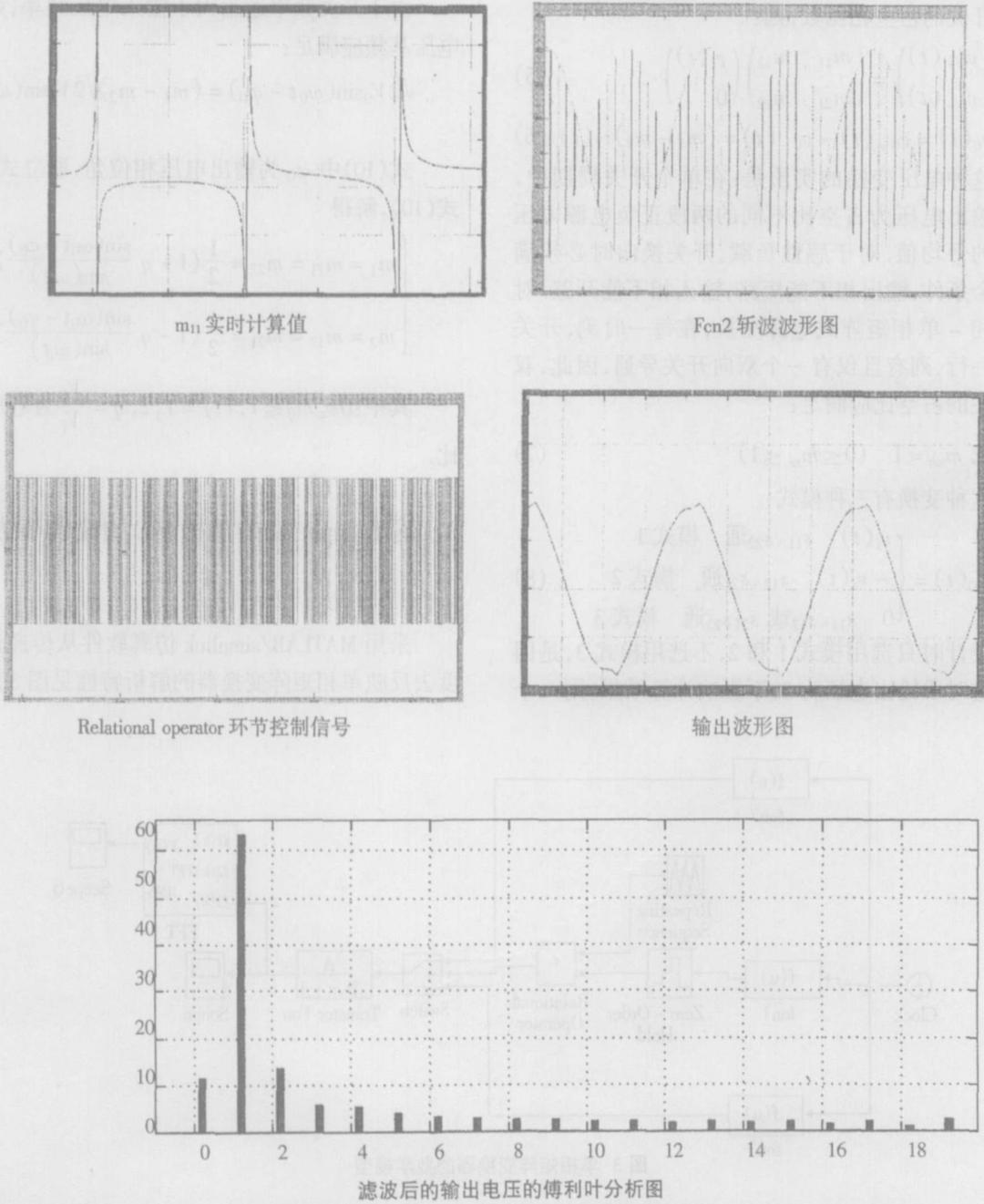


图 4 输入 311V 50Hz, 输出 30Hz 时各点的波形图

仿真的 m_{11} 瞬时波形图,其瞬时值超出约束条件,出现 $m_1 > 1$ 和 $m_1 < 0$ 就会出现畸变;对于输出电压基波幅值不但与 q 值有关,且与输出频率有关,但输出频率低于输入频率时,基波幅值基本不变,而输出高于输入频率时,输出基波幅值随频率而明显下降,见表所示:

表 1 输出电压幅值与 q 和频率之间的关系

频率(Hz)	输出电压(V) $q=0.3$	输出电压(V) $q=0.5$
10	75.6	122.1
15	76.5	122.0
25	76.6	122.0
35	76.8	123.6
50	81.8	135.2
55	72.4	118.1
70	65.4	111.4
90	63.2	108.0
110	62.0	102.1

5 结论

基于矩阵式单相-单相直接变换的变换器,拓

扑结构简单.理论上,一定范围内的输出电压、整个范围内的输出频率连续可调,能够完全传递电源电压的有效值.这种交-交变换器的控制方式和拓扑结构与传统周波变换器有本质不同,它在具有本身不产生谐波污染的同时,又能够对电网进行无功补偿能力,其总体性能高于其它变换器.在日益关注可持续发展问题,大力推行电力环保、绿色电源的今天,研究与开发这种变换器就特别具有现实意义,发展前景良好.

参考文献:

- [1] 陈伯时. 矩阵变换器:技术评述[J]. 电力电子, 2003. 1
- [2] 孟庆宗. 交-交矩阵变换器[J]. 电力电子, 2003. 1
- [3] 万衡. 单相矩阵式变换器的研究与应用[D]. 华东理工大学. 2001. (10): 22-24
- [4] 陆治国. 电源的计算机仿真技术[M]. 北京: 科学出版社 2001
- [5] 洪乃刚. 电力电子可电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [6] 林辉. 电力电子技术[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2002.

Research of Single-phase Matrix Converter Based on Simulink

WANG Jian-hua, GAO Hai-sheng

(School of Electronical and Electrical Engineering East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The merits of matrix converter is presented in this paper. The principal topology and the process of deduction of single-phase MC are analysed. The simulation results based on Simulink are also given, which testify this converter merits. Through simulink results, it is shown that this AC-AC converter has good features such as unlimited output frequency, variable voltage in an limited range, in despite of output voltage wave being aberrance, input and output electrical current approach sine wave etc, the developing foreground is wide and it is deserved to further research.

Key words: matrix converter; power factor; bi-directional power flow; modeling and simulate