

大功率相移 SVM 整流器的研究

余勇¹ 张兴²

(1. 合肥阳光电源有限公司, 安徽省 合肥 230088;

2. 合肥工业大学, 安徽省 合肥 230009)

Research of high-power phase-shift multi-converter based on DSP

Yu Yong¹ Zhangxing²

(1. Sungrow Power Supply Co., Ltd, Hefei 230088, Anhui Province, China;

2. HeFei University of Technology, Hefei 230009, Anhui Province, China)

摘要: 本文在分析了大功率相移 SVM 整流器基本工作原理的基础上, 提出了简单的 d-q 坐标控制方案。分析了并联环流特性, 并给出了相应的均流电抗器设计方法。工程实验验证了系统方案的可靠性和控制系统的有效性。

关键词: 大功率; 相移; 整流器

ABSTRACT: This paper presents a control scheme of simple d-q coordinates based on the basic operating principle of phase-shifted multi-converter system. The circulating current feature of the parallel converter is analyzed and the design method of circulating current reactor is presented. The experiment shows reliability of the scheme and validity of the control system.

KEY WORDS: High-power; phase-shifted PWM; converter

1 引言

随着世界能源危机的日益严重以及公众对于改善生态环境要求的日益高涨, 能源行业更多的注意力集中在可再生能源的开发与利用上。风能作为一种清洁的可再生能源, 具有分布范围广、能量蕴藏量大和可利用率高等特点, 长期以来受到人们的关注。目前, 风力发电正朝着更大的单机容量发展, 兆瓦级机组在国外已经投入大规模商业运行, 5 兆瓦以上机组也已开始试运行。因此, 采用并联的方式来实现风力发电系统并网整流器的扩容成为必然的选择。

本文以 2MW 全功率永磁同步发电机并网整流器为例, 讨论 4 组 500KW 相移 SVM 整流器的并联运行。

2 并联主电路结构及控制

整流器并联扩容的具体方式有功率器件直接并联、功率器件通过均流电抗器并联和整流器单元级并联。但不论采用那种并联方式, 在考虑系统整体运行效果的同时, 应能够保证一定的均流效果。同时, 就大功率并网整流器而言, 注入电网的电流谐波大小是一项重要指标, 受到人们的广泛关注。目前, 在小功率的并网整流器中, 由于开关器件能够工作在较高的开关频率, 因此普通 PWM 技术被

广泛地运用。然而, 就兆瓦级并网整流器而言, 目前的大功率 IGBT 为了满足低损耗要求, 开关频率一般限制在 3KHz 以下, 不能单纯依靠 PWM 的方法实现低谐波。因此, 整流器多重化方法已被用于整流器容量的扩大和谐波的抑制, 其中相移 SVM 技术较为新颖^[1~4]。

电压型 PWM 整流器直流侧相当于受控电流源, 而交流侧相当于受控电压源, 因此在并联系统中, 多个电压型整流器直流侧可直接并联, 而交流侧则通过均流电感相并联, 如图 1 所示。

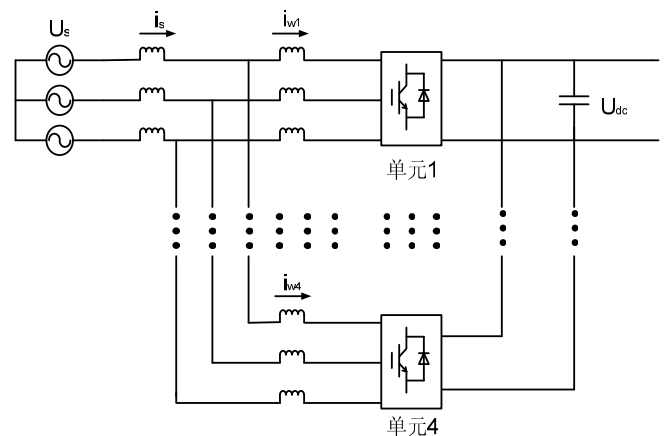


图 1 2MW 并网整流器

在该电路拓扑结构中, 四组 500KW 整流器交流侧输出通过均流电抗器 L_x 相连接, 再通过并网电抗器 L_s 实现系统与电网相连, 容量扩充至 2MW。各整流器模块之间不需要相移变压器, 因此较为经

各整流器的输出功率，使得各整流器所承担的负载不均衡；而后者不对系统的功率分配产生影响，其抑制效果将完全取决于输出电抗器参数设计、功率器件开关频率以及各电压型整流器 PWM 控制方式。

设各整流器环流抑制电感值 L_x ，定义 $i_{kx}(k=1,2,\dots,n)$ 为并联整流器间环流，其值为各整流器输入电流与整流器平均输入电流之差，可得：

$$\sum_{k=1}^n i_{kx} = 0 \quad (4)$$

设相移整流器并联端电压 U_{ac} ，各整流器交流侧输出电压 $U_{ack}(k=1,2,\dots,n)$ ，则

$$i_{jx} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{ack} - nU_{acj}}{nL_x s} \quad (5)$$

$$U_{ac} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{ack} - iL_x s}{n} \quad (6)$$

在环流电抗器设计中，可以将 U_{ack} 等效为占空比 50%、周期 T_k 的方波电压，原因是在一个载波开关周期内各 U_{ack} 的平均值几乎完全相等，则依据相移 SPWM 技术原理即可得：

$$\sum_{k=1}^n U_{ack} = U_{ac1} (1 + e^{-\tau} + \dots + e^{-(n-1)\tau}) = 0 \quad (7)$$

式中： $\tau = T_k / n$ ，相移间隔时间

(5) 式可改写为：

$$i_{xj} = -\frac{n-1}{n} * \frac{U_{ac1} e^{-(j-1)\tau}}{L_x s} \quad (8)$$

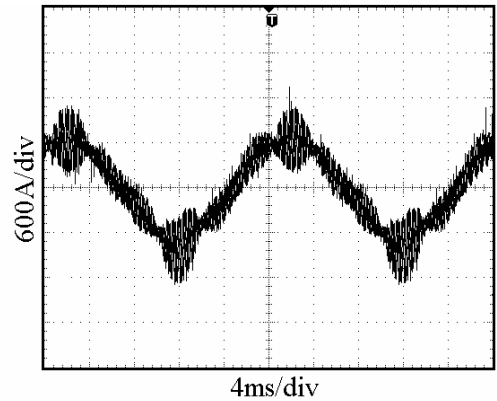
取 U_{acj} 的峰值为直流侧电压 U_{dc} ，最大环流指

标 $i_{x\max}$ ，根据 (8) 式就可以得出环流电抗器感值的大小：

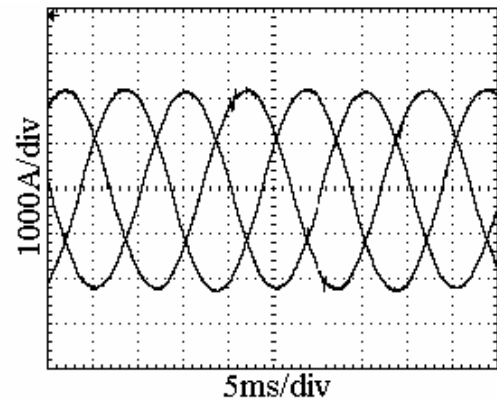
$$L_x \geq \frac{U_{dc} T_k}{2i_{x\max}} \quad (9)$$

4 试验及结论

以 DSP 为核心控制器，配合 FPGA 实现四组 500KW 整流器的并联相移 SVM 控制。主电路参数为 $U_{dc}=1150V$ ，单组开关频率 2KHz，均流电抗器 $L_x=0.3mH$ ，系统总并网电抗器 $L_s=0.05mH$ ，电网电压 690V。系统运行与额定 2MW，试验结果见图 3。



(a) 各组整流器输出电流



(b) 2MW 系统并网电流

图 3 试验波形

从图 3 (a) 中可以看出，各单元整流器电流中的纹波含量较大且频率较低，包含了大量的开关频率及其倍频次谐波，由于相移 SVM 的作用，可以看出四组整流器见明显的开关时刻的依次错位。而并联以后总的输出电流，如图 3 (b) 所示，纹波含量很小，充分体现了相移 SVM 的效果，的确提高了等效开关频率。

相移 SVM 技术是大功率并网整流器，特别是可再生新能源并网整流器简便且有效的控制技术，能够在实现并网容量扩大的同时，改善并网电流波形，实现真正的绿色能源转换。

参考文献

- [1] Boom R.W, Peterson H.A. Superconductive storage for power system [J]. IEEE Trans. Magn,1972,8:701~703
- [2] Rogers J.D.Schermer R.I. 30MJ superconducting magnetic energy storage system for electric utility transmission on stabilization [C]. Proceedings of IEEE, 1983,71(9):285~291
- [3] Zhang Z, Ooi B.T. Multi-modular current-source SPWM converters for superconducting a magnetic energy storage system [J]. IEEE Trans. PE, 1993;8(3):250~256
- [4] Imaie K, Sato H, Ogino K, Arakawa H. Multiple parallel current source PWM converters for a 20MW SMES system [C]. Japan Industry Application Society Conference, 1994:85~90
- [5] 余勇, 张兴, 季建强, 等. 大功率电流型多重化变频电源系统控制与分析[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(12): 24-28.
- [6] 王立乔, 王长永, 张仲超(Wang Liqiao, Wang Changyong, Zhang Zhongchao). 组合整流器相移 SVM 技术的研究(Study of the multi-modular Phase-shifted SVM converters) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems),2002,9:36~40

余勇 男 1977 年 9 月生 博士 主要研究方向为电力电子变流器控制等

邮编: 230009

地址: 安徽省合肥市高新区天湖路 2 号 合肥阳光电源有限公司

电话: 0551-5327820 13965132630

传真: 0551-5327800

Email: yuy@sps.com.cn