

一种新型多电平静止无功发生器研究

常鹏飞¹,徐星星²,王宝安²,何泽家³

(1. 国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司,江苏南京 210003;

2. 东南大学电气工程学院,江苏南京 210096;3. 江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103)

摘要:提出了一种新型多电平静止无功发生器的拓扑结构,采用共用直流电容的两组逆变器,实现无功、谐波和三相不平衡综合补偿。分析了这种新型多电平静止无功发生器的基本结构和补偿原理,设计了装置的控制系統,完成了硬件系統主电路和控制电路的设计,采用以 DSP+FPGA 为核心的控制系统。介绍了系統软件部分的设计,包括主程序、定时器中断子程序和 FPGA 模块三部分。通过仿真和实验证明了文中提出的新型多电平静止无功发生器补偿无功功率效果良好,且直流电容电压稳定。

关键词:多电平静止无功发生器;无功补偿;共用直流电容;移相载波 PWM 技术

中图分类号:TM76

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2011)06-0052-05

目前,电网中的使用电力电子技术的装置所占比重越来越大,给电网带来了谐波污染、系统功率因数低、电压波动和闪变等电能质量问题。静止无功发生器(SVG)作为柔性交流输电技术中的重要技术之一,具有良好的补偿效果和先进的控制性能,成为无功补偿装置的研究重点^[1-4]。多电平结构的 SVG 由于输出功率大、输出谐波小,在高电压大容量场合得到广泛应用。多电平 SVG 主电路拓扑结构中,最为典型的有二极管箝位型、飞跨电容型和级联型。二极管箝位型多电平逆变器电容均压较困难^[5,6];飞跨电容型多电平逆变器应用于高压系统时,电容体积大,成本高,封装困难;级联型多电平结构中,每个 H 桥单元需要一个独立的直流电源,随着电平数的提高,需要的直流电源数量较多,控制较复杂。

本文提出了一种新型多电平静止无功发生器拓扑结构,只需要一个直流电容,避免了电容电压不平衡问题;采用移相载波 PWM 控制策略,降低了输出波形的谐波含量;共用直流电容,适合于电气化铁路三相不平衡补偿。

1 结构与工作原理

一种新型多电平静止无功发生器^[7-9]的结构示意如图 1 所示。该装置由两组背靠背结构的电压型逆变器构成,其中一组逆变器经变压器并联到电网 A 相、B 相间,另一组逆变器经变压器并联到电网 C 相、B 相间。这种结构中每组逆变器都采用级联多电平技术,均由 4 个单相 H 桥串联而成,通过载波移相 PWM 技术使每个 H 桥产生一定相位差的方波电压,经多绕组变压器形成多电平输出,使输出电压接近于正弦波。其中所有级联的 H 桥单元都共用一个直流电容,因此直流电压控制与传统级联型 SVG 相比较简单,无需均衡电容电压,且降低了系統成本和复杂性;单相 H 桥的结构如图 2 所示。

多绕组变压器的原边绕组 1 个,副边绕组 4 个。在理想情况下,当变比为 1,且副边绕组电压相等时,4 个 H 桥单元的输出电流之和即为变压器原边输出电流。该结构利用中间直流电容实现了有功功率的双向流动,因此抑制三相不平衡的能力较仅作

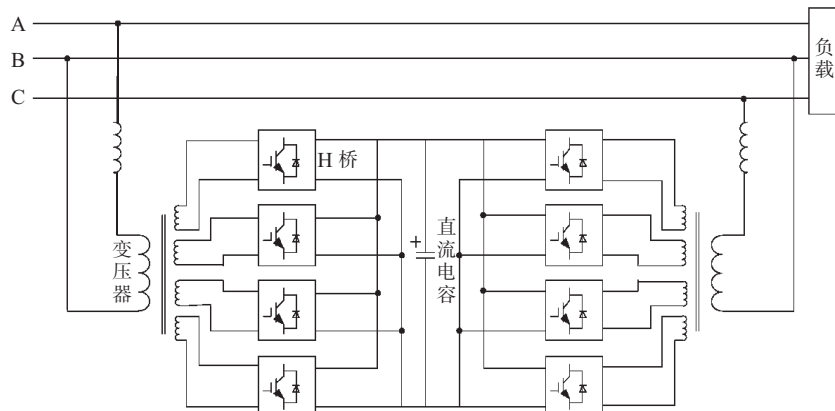


图 1 新型多电平静止无功发生器结构图

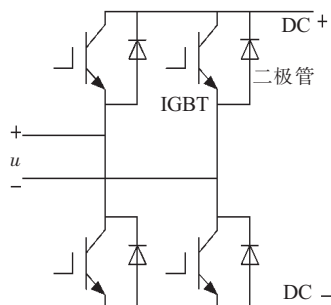


图2 单相H桥结构图

为无功补偿的SVG强,尤其适用于电气化铁路牵引站的三相不平衡治理。

2 控制系统设计

2.1 硬件设计

控制系统硬件设计主要包括主电路设计和控制电路设计^[10]。系统硬件结构框图如图3所示。

2.1.1 主电路

主电路由逆变器、直流侧电容和并网电抗器构成,根据控制芯片发出的PWM脉冲信号控制功率开关器件的通断,从而产生符合控制要求的补偿电流。并网电抗器用来减小逆变器产生的高次谐波,增强补偿电流的跟踪能力。

2.1.2 控制电路

控制电路产生控制功率开关器件通断的信号。主要由信号检测调理电路、DSP+FPGA控制电路以及驱动电路组成。

(1) 信号检测调理电路:采用电流互感器和电压互感器检测系统中的电流、电压,并转换为DSP芯片可以处理的信号。

(2) DSP+FPGA控制电路:由于主电路需要32

路控制脉冲输出,因此采用以DSP+FPGA为核心的控制电路,利用FPGA I/O引脚多的特点,构造多路PWM产生器。在DSP控制器中进行采样和运算,生成补偿指令电流,FPGA根据DSP发出的调制信号,采用移相载波PWM技术产生PWM脉冲信号。

(3) 驱动电路:用于放大FPGA输出的PWM信号,控制主电路中各个开关器件的通断。

2.2 软件设计

系统软件设计包括主程序设计、定时器中断子程序设计和FPGA模块设计。

2.2.1 主程序设计

主程序流程如图4所示。主程序负责对系统进行初始化。主要包括I/O口配置寄存器初始化、中断矢量表初始化、AD转换及数据采集单元寄存器初始化和系统变量初始化等。当初始化操作完成后,进入空闲状态,等待中断的发生。

2.2.2 定时器中断子程序设计

定时器中断子程序流程如图5所示。进入中断后,首先对数据进行A/D转换,从结果寄存器中读取转换结果,并判断直流侧电压是否达到了给定值。然后将直流侧电压 U_{dc} 和参考电压 U_{dc}^* 作比较,经PI调节器,得到控制信号 i_q ,再根据三相负载电流 i_q 以及dq0算法计算出指令电流。比较指令电流和实际产生的补偿电流,经比例控制器后得到调制信号。

2.2.3 FPGA模块的设计

FPGA模块的程序流程如图6所示。FPGA一方面根据DSP发送的数据对功率单元进行控制,如图6(a)所示;另一方面接收功率单元上传的故障信息和系统状态,进行译码后通过数据总线发送给DSP,如图6(b)所示。

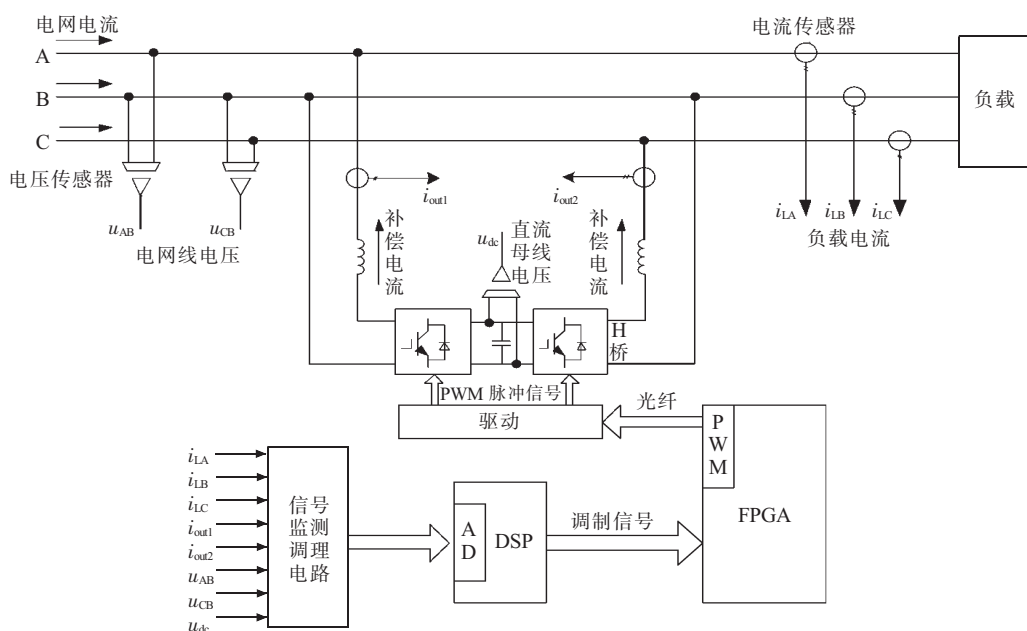


图3 系统硬件结构框图

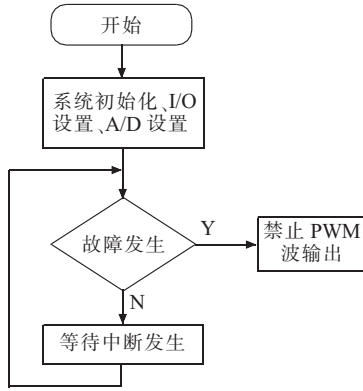


图 4 主程序流程图

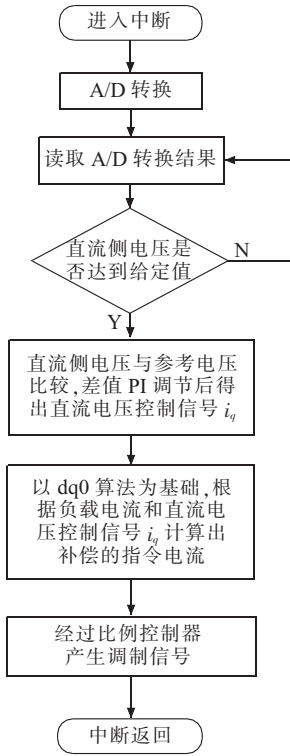
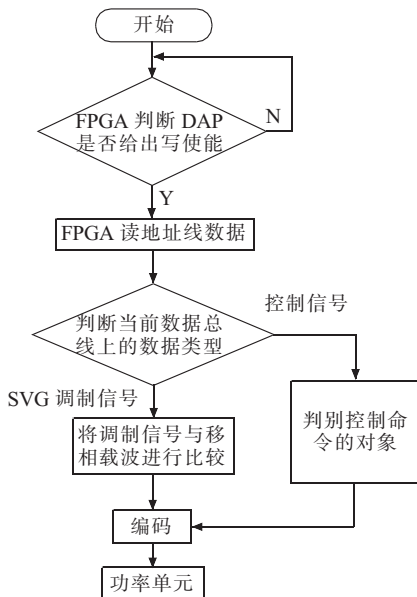


图 5 定时器中断子程序流程图



(b)故障信息和系统状态传送流程图

图 6 FPGA 模块流程图

3 仿真研究

为了验证新型多电平 SVG 的补偿性能, 采用 PSIM 进行仿真研究。系统仿真参数设置如下: 三相电网电压 380 V/50 Hz, 直流母线电压 $U_{dc}=800$ V, 直流电容 $C=100$ mF, 交流侧并网电感取 4 mH。负载为阻感负载, $L=28$ mH, $R=1$ Ω 。

直流侧电容电压波形如图 7 所示。由图可以看出, 电容电压稳定在给定值, 波动很小。

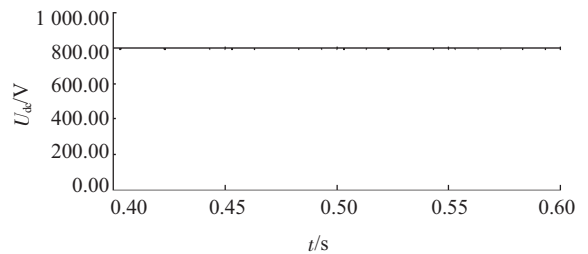


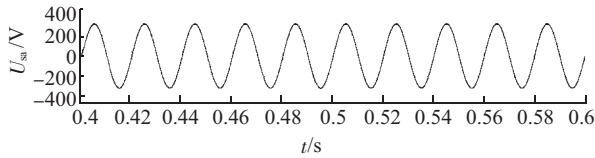
图 7 直流电容电压波形

补偿前 a 相系统电压和电流波形如图 8 所示。补偿后 a 相系统电压和电流波形如图 9 所示。比较 2 个图可以看出, 补偿后电网电压和电流相位一致, 可见, SVG 装置能够很好地补偿感性无功。

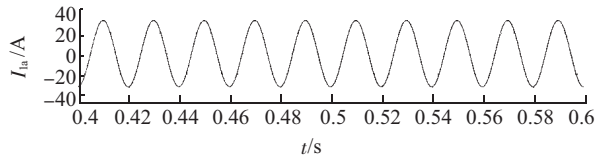
4 实验结果

为验证新型多电平 SVG 补偿无功的能力, 进行了无功补偿实验。实验时单相交流电压有效值为 38 V, 直流电容电压为 120 V, 负载为纯电感, $L=28$ mH。a 相补偿后系统电压电流波形如图 10 所示。补偿后电容电压波形如图 11 所示。

(a)PWM 脉冲产生流程图

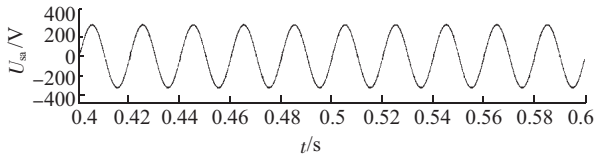


(a)电压波形

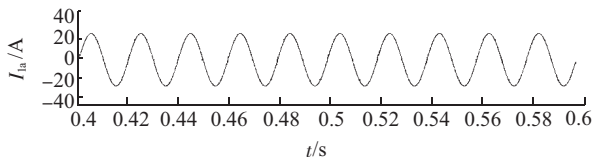


(b)电流波形

图8 补偿前系统电压和电流波形

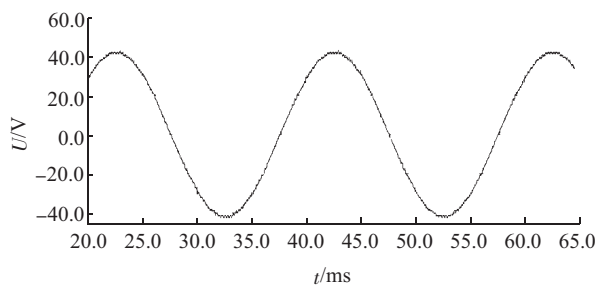


(a)电压波形

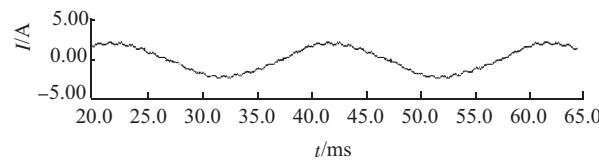


(b)电流波形

图9 补偿后系统电压和电流波形(仿真)



(a)电压波形



(b)电流波形

图10 补偿后系统电压和电流波形(实验)

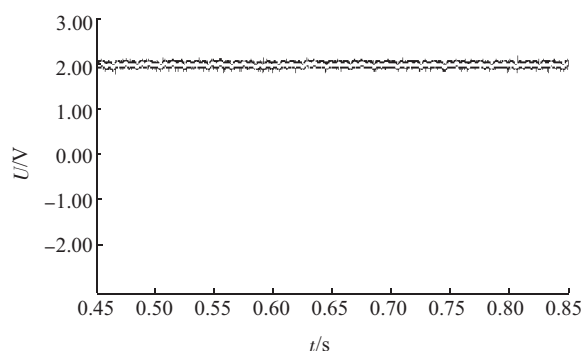


图11 补偿后直流电容电压波形

可见,补偿后系统电压电流相位一致,补偿效果较好,并且直流电容电压稳定。

5 结束语

本文提出了一种新型多电平静止无功发生器主电路拓扑结构,分析了该装置的工作原理和控制系统的的设计。为了验证该新型 SVG 补偿无功功率的效果,分别从仿真和实验两个角度进行研究,结果均表明该新型 SVG 拓扑结构的正确性和控制系统的有效性。相较于传统级联型结构而言,该新型 SVG 仅需一个直流电容,降低装置占地面积,节约装置的成本,且直流稳压控制简单。此外,其采用载波移相 PWM 控制方法,多绕组变压器副边绕组无需错开相位,即可实现多电平输出,改善输出波形,减小输出谐波含量。

参考文献:

- [1] 沈斐,刘文华,王仲鸿. ± 20 Mvar 静止无功发生器(ASVG)的研制[J]. 国际电力,2000,07(2): 31-35.
- [2] 翁利民,舒立平. 静止无功发生器(SVG)简介[J]. 供用电,2001,18(1): 16-18.
- [3] 徐益民,刘岫岭,姜志成. STATCOM 原理及控制方法研究[J]. 煤矿机械,2006,27(8): 56-58.
- [4] EDWARDS C W, MATTERN K E, NANNERY P R, et al. Advanced Static Var Generator Employing GTO Thyristors [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1988, 03(4): 1622-1627.
- [5] 季翼鹏,姚文贤,谢川. 基于 DSTATCOM 应用的多电平变换器拓扑研究进展综述[J]. 科技信息,2008(36): 58-60, 38.
- [6] 王广柱. 二极管箝位式多电平逆变器直流侧电容电压不平衡机理的研究[J]. 中国电机工程学报,2002,22(12): 111-117.
- [7] SENINI S T, WOLFS P J. Novel Topology for Correction of Unbalanced Load in Single Phase Electric Traction Systems [J]. IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference, Cairns, Australia, 2002: 1208-1212.
- [8] 吴传平,罗安,徐先勇,等. 采用 V/v 变压器的高速铁路牵引供电系统负序和谐波综合补偿方法[J]. 中国电机工程学报,2010,30(16): 111-117.
- [9] 周春晓,高云峰,沈斐,等. 两相型 SVG 在电铁电能质量治理中的应用研究[J]. 电气化铁道,2008(1): 6-9.
- [10] 李付亮,周有庆,吴涛,等. 基于瞬时无功理论的先进静止无功发生器的研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(1): 75-78, 124.

作者简介:

常鹏飞(1980-),男,湖北京山人,工程师,研究方向为电力电子在电力系统中的应用;

徐星星(1987-),女,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为电能质量;

王宝安(1978-),男,江苏扬州人,讲师,研究方向为电能质量;

何泽家(1979-),男,湖北红安人,工程师,研究方向为电力系统自动化。

Research on a New Multilevel SVG

CHANG Peng-fei¹, XU Xing-xing², WANG Bao-an², HE Ze-jia³

(1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China; 2. Southeast University, Nanjing 210096, China; 3. Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Multilevel SVG has been researched and used widely because of its lower output harmonics and high power capability. A new topology of multilevel SVG is presented in this paper. The new topology achieves comprehensive compensation of reactive power, harmonics and three phase imbalance using two inverters with common DC capacitor. The structure and compensation principles of the new multilevel SVG are analyzed. And the main circuit and control circuit of hardware are designed using DSP and FPGA as the core of the system hardware. The design of software is introduced, including main program, the timer interrupt subprogram and FPGA module. Lastly, results of simulation and experimental verify that the proposed system has good effect in reactive power compensation and the voltage of DC capacitor is stable.

Key words: multilevel SVG (static var generation); reactive power compensation; common DC capacitor; carrier phase-shifted PWM technique

(上接第 51 页)

Field Detection and Influencing Factors Analysis on Transformer Error

XU Min-rui

(Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: In view of current and voltage transformer's field error detection work, this paper introduces detection conditions of transformers, and puts forward error detection circuit and wiring method for current and voltage transformer. Besides, the main influencing factors of transformer's field error detection are analyzed in detail. The results process method of transformers' field error detection is also pointed out. Proposals and measures for transformer's field error detection are put forward, which have reference value for transformer's field error detection work.

Key words: current transformer; voltage transformer; field detection; metering error

输变电设备状态检修

近年来,随着江苏电网的快速发展,输变电设备大量增加,装备和监控水平不断提高,设备的技术性能和可靠性得到了质的飞跃。而与之对应,电网企业原来长期延用的定期维修制度,越来越显现出不合理性。

定期维修需要越来越多的人力和物力,同时也造成了大量健康设备过检修,造成设备重复停电或不必要停电,严重影响供电可靠性的提高。为此,江苏省电力公司(以下简称公司)积极研究与设备相适应的检修策略,以进一步提高检修管理水平,提高检修效益和设备可靠性。

输变电设备状态检修是对原来的设备检测及维修周期进行调整,以电气设备预防性试验、日常运行维护监视、检修情况、设备正常寿命周期为主,以红外检测、带电测试等在线监测技术为辅,制定合理的检修试验计划,并及时落实各项反事故措施。状态检修完全符合“应修必修、修必修好”的检修原则,与“周期性检修”相比,对设备是否“应修”、“何时应修”及“修什么”的判别更为科学,更加符合实事求是的原则,其实施为有效提高设备可靠性、降低设备维护成本提供了有力保障。经过一段时间的探索,江苏省电力公司输变电设备状态检修进入全面发展阶段。

公司制订颁发了《江苏省电力公司输变电设备状态检修管理办法》;编制了《油浸式变压器(电抗器)状态检修导则》、《电力线路状态检修导则》、《继电保护设备状态检修导则》等多个输变电设备的状态检修导则;制订了《江苏省电力公司在线监测设备技术标准》;建立了全省在线监测设备的数据综合平台,通过与生产 MIS 系统、绝缘监督系统等的数据的交互,实现了数据综合的专家系统分析。

公司大力推广设备红外检测、在线监测、带电测试等各种不停电测试技术,完成了全省 110 kV 及以上输变电设备的状态评估,全面推进输变电设备状态检修工作。