

文章编号: 1671-251X(2010)03-0061-03

基于混合调制的同步发电机交流励磁电源研究

高雅利¹, 薛亚宾¹, 辛伊波^{1,2}

(1. 洛阳理工学院电气工程与自动化系, 河南 洛阳 471023; 2. 华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

摘要: 同步发电机交流励磁技术可提高发电机的进相能力, 是无功补偿最有效的方法之一。文章提出了一种基于混合调制的同步发电机交流励磁电源的设计方案, 分析了同步发电机交流励磁系统的组成及工作原理, 介绍了混合调制方式的控制原理, 并给出了该励磁电源控制电路关键参数的选择和计算方法。实验结果验证了该方案的正确性和有效性。

关键词: 同步发电机; 交流励磁; 励磁电源; 混合调制

中图分类号: TM311.42 **文献标识码:** A

Research of AC Excitation Power Supply of Synchronous Generator Based on Hybrid Modulation

GAO Yali¹, XUE Yabin¹, XIN Yibo^{1,2}

(1. Dept. of Electrical Engineering and Automation of Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471023, China. 2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: AC excitation technology of synchronous generator can improve capability of leading phase of generator, and it is one of the most effective methods of reactive power compensation. The paper proposed a design scheme of AC excitation power supply of synchronous generator based on hybrid modulation, analyzed composition and working principle of AC excitation system of synchronous generator, introduced control principle of hybrid modulation mode and gave selection and calculation method of key parameters of control circuit of the excitation power supply. The experiment result proved correctness and effectiveness of the scheme.

Key words: synchronous generator, AC excitation, excitation power supply, hybrid modulation

0 引言

同步发电机的大量应用为工业生产提供了能源, 随之而来的是发电机组的励磁控制方式成为影响电力系统稳定性的主要因素之一。人们曾试图用传统的励磁控制方式改善电力系统的运行, 但是限于同步发电机的结构特点, 在维持电力系统稳定运行方面效果并不理想。当电力系统产生大扰动时, 可能导致同步发电机系统解列, 激发并扩大事故范围^[1]。电力系统运行过程中, 如果输电线路传输功

率小于额定功率时, 将产生多余的无功功率, 导致线路损耗增加, 严重时造成发电机无法并网运行。传统的解决方法是采用静止无功补偿装置、并联电抗器、同步调相机等。但是上述措施均有弊端。同步发电机交流励磁技术可提高发电机的进相能力, 是无功补偿最有效的方法之一。因此, 笔者利用交流励磁技术解决上述问题, 设计了一种基于混合调制的同步发电机交流励磁电源。

1 同步发电机励磁技术

传统的同步发电机在转子上的励磁绕组为直流绕组, 同步旋转磁场频率仅由转子的速度决定, 当发电机并网后, 定子电压频率固定, 因此, 转速也就固定了。在交流励磁发电机中, 发电机的转子绕组为两相或两相对称交流励磁绕组, 同步转速等于转子

收稿日期: 2009-11-02

基金项目: 河南省教育厅科技攻关项目(2005430004)

作者简介: 高雅利(1976-), 女, 河南偃师人, 讲师, 在读硕士研究生, 主要从事电力电子技术、电机拖动等方面的教学与科研工作。

E-mail: xinyibo@lit.edu.cn

实际转速加上交流励磁产生的旋转磁场的转速。在发电机中形成的同步旋转磁场感应出同步频率的感应电势,从定子侧看,该感应电势与直流励磁的转子以同步转速旋转时形成的同步旋转磁场是等效的。交流励磁同步发电机与同步发电机一样,有独立的励磁绕组,可以从电网吸收容性无功功率,也可以向电网提供滞后的无功功率^[2]。

1.1 交流励磁

传统的同步发电机直流励磁的可调量只有 1 个,即励磁电流的幅值。交流励磁发电机可调量要求有 3 个:励磁电流的幅值、励磁频率、相位。基于该特点,交流励磁发电机在变速恒频发电、提高电力系统稳定性和扩大发电机进相能力等方面有着良好的应用前景。

为了获得启动时的最大启动转矩,发电机需要特定频率的交流励磁电源,并且要求励磁电源频率、电压幅值能跟随发电机转速的变化。笔者设计的单相交流励磁电源具有以下特点:可调频、可调输出电压、输出为 SPWM 波、可改变输出极性。图 1 为该电源的主电路,其中 L_o 、 R_o 为同步发电机的电感和内阻, L 为输入电抗器。由于 $\omega L \gg R_o$,可将同步发电机看作感性负载。

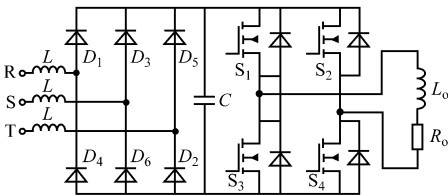


图 1 单相交流励磁电源的主电路

1.2 混合调制方式

为使逆变波形适应同步发电机的要求,确定准确的输出波形尤为重要,有 2 种控制方式可产生 SPWM 控制信号^[3]: (1) 双极性控制,输出的是极性交变的电压脉冲。工作时, S_1 、 S_4 和 S_2 、 S_3 分别同时通断,开关损耗较大。为防止同一桥臂 2 个开关在通断转换过程中发生电源直通现象,在控制电路中必须加逻辑延时电路,保证同一桥臂通断转换的 2 个开关先关断后导通。(2) 单极性控制,输出在正半周之内为正的电压脉冲,而无负电压脉冲。工作时,一个桥臂的 2 个开关接受脉宽调制,通断互补,另一个桥臂的 2 个开关一个导通,另一个截止。单极性控制的开关损耗略小于双极性控制,但存在输入直流电源直通的危险。2 种控制方式均表现为控制复杂、动态性不好^[3]。

本文提出的混合调制方式原理:在正弦波的正

半周触发 S_1 和 S_4 ,负半周封锁 S_1 和 S_4 ;在正弦波的负半周触发 S_2 和 S_3 ,正半周封锁 S_2 和 S_3 。此时逆变电源输出的电压波形与单极性控制波形相似,但是开关管的开关次数仅为单极性控制的 1/2,开关损耗大为降低。表 1 为混合调制方式下开关管工作状态,其中 U_d 为逆变电路输入电压, U_{AB} 为输出电压。

表 1 混合调制方式下开关管工作状态

$0 \leq t \leq t_{on}$	负载电压	$t_{on} \leq t \leq T$	负载电压
S_1 、 S_4 导通, S_2 、 S_3 截止	$U_{AB} = +U_d$	S_4 导通, D_2 续流, S_1 、 S_3 截止, S_2 不通	$U_{AB} = 0$
S_3 导通, D_1 续流, S_2 、 S_4 截止, S_1 不通	$U_{AB} = 0$	S_1 、 S_4 截止, S_2 、 S_3 导通	$U_{AB} = -U_d$

从表 1 可看出,在混合调制方式下,一组开关管工作,另一组开关管截止,工作的一组开关管中有一个始终导通,一个在调制,开关管无频繁的交替导通,同双极性性、单极性控制方式相比开关损耗减小一半,可靠性有所提高,并有利于实现直流电源的并联;输出电压基波幅值比双极性控制输出电压基波幅值要高,谐波含量与双极性控制相当,且控制灵活,可任意改变输出电压特性。混合调制方式的相关波形如图 2 所示。

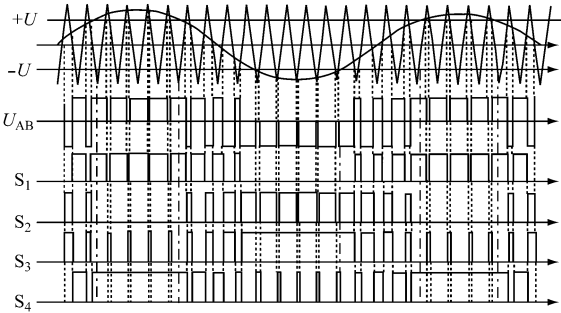


图 2 混合调制方式的相关波形

2 控制电路

该电源的控制部分为合成波形生成电路,所需的正弦波、三角波由 ICL8038 芯片生成,ICL8038 最大的优点是温度变化时所产生的频率漂移极小,输出的三角波线性度为 0.1%,正弦波失真度低于 1%,工作稳定,外部元件少^[4]。图 3 为由 ICL8038 产生的正弦波和三角波的电路,该电路产生的波形稳定、精度高、调节方便,输出频率 ω 为 3 Hz~3 kHz,满足设计要求。

2.1 外围元件的选用

输出信号的频率由外部时间电阻 R_A 和 R_B 确定,当 $R_A = R_B$ 时,输出频率为

$$f = \frac{0.33}{RC} \tag{1}$$

信号波形也由 R_A 与 R_B 共同调整。 R_A 控制三角波以及正弦波的上升状态, 设上升时间为 t_1 , 当确定了电容 C 之后, 则 t_1 为

$$t_1 = \frac{R_A \times C}{0.66} \tag{2}$$

设下降时间为 t_2 , 则有:

$$t_2 = \frac{R_A R_B C}{0.66(2R_A - R_B)} \tag{3}$$

当 $R_A = R_B$ 时, 占空比为 50%

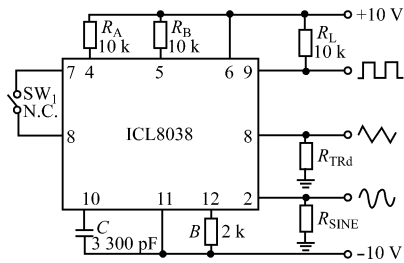


图3 由 ICL8038 产生的正弦波和三角波的电路

2.2 合成波形生成电路

图4为合成波形生成电路。正弦波和三角波信号来自 ICL8038, 电压 U 可决定输出信号峰值, 输出的控制信号分别驱动 4 只开关管 $S_1 \sim S_4$ 。

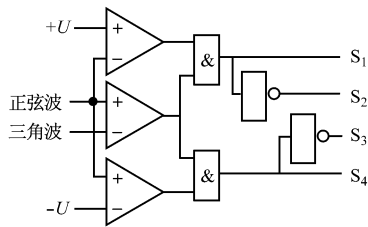


图4 合成波形生成电路

2.3 放大驱动部分

为驱动母线电压为 500 V 的全桥逆变电源, 选用 M57962L 芯片。M57962L 驱动电流大、速度快, 内部具有退饱和检测和保护环节, 当发生过电流故障时能快速响应关断 IGBT, 并向外部电路发出故障信号^[5]。图5为 M57962L 的外围电路, 输出的正驱动电压均为 +15 V, 负驱动电压为 -10 V。其中 U_i 为输入信号; 8 脚为高电平时封锁输出信号; C 为储能电容, 在 S 管开通时可提供能量, 在 S 管关断时可储存能量; D_1 为自举二极管, 选用耐压为 1 kV 的快恢复耐高压二极管 FR1590。

3 实验分析

笔者将设计的基于混合调制的同步发电机交流

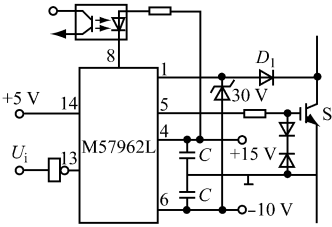
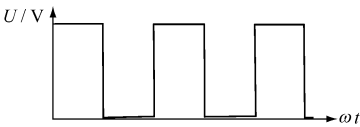
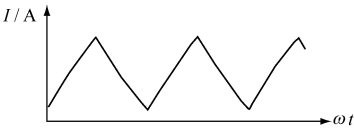


图5 M57962L 的外围电路

励磁电源运用在同步发电机的励磁实验中。样机为一台输出功率为 2.1 kW 的同步发电机, 实验参数: 输入直流电压为 150 V, 三角波(载波)频率为 5 kHz, 正弦波(基波)频率为 20 Hz, 同步发电机的电感为 0.13 H, 内阻为 5.4 Ω。图6为该电源输出波形。



(a) 输出电压波形



(b) 输出电流波形

图6 基于混合调制的同步发电机交流励磁电源实验输出波形

从图6可看出, 该电源输出电流波形近似为正弦波形, 响应时间短, 运行效果良好, 增强了同步发电机的稳定性。

4 结语

本文介绍的基于混合调制的同步发电机交流励磁电源, 输出近似为正弦波形, 具有结构简单、控制灵活、控制精度高、响应时间短等优点, 增强了同步发电机的稳定性, 具有良好的实用价值。

参考文献:

[1] 陈伯时. 交流调速系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
[2] 肖荣祥. 交流励磁发电机稳态运行分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
[3] 刘其辉. 交流励磁变速恒频双馈型异步发电机的稳态功率关系[J]. 电工技术学报, 2006, 21(2): 39-44.
[4] 陈殿玉. OTA-C 压控振荡器的分析与设计[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2004(3): 21-24.
[5] 石磊, 刘栋. 交流逆变器中 IGBT 的驱动与保护[J]. 电气开关, 2007(6): 34-35.