

基于 Saber 的交流励磁发电机励磁电源仿真研究

赵淑娟¹, 贺晓蓉², 贺娟², 肖刚³

(1. 重庆工业职业技术学院自动化系, 重庆 400040; 2. 重庆工学院电子信息与自动化学院, 重庆 400050;
3. 德阳电业局, 四川 德阳 618000)

摘要: 根据交流励磁发电机系统对励磁变频器功率双向流动及输入和输出电流谐波的要求, 提出采用矩阵式交-交变频器作为励磁电源。在 Saber 仿真软件平台下, 分别以矩阵式交-交变频器、交-直-交、交-交变频器作为励磁电源对交流励磁发电机系统进行研究, 仿真了三种变频器供电时发电机定、转子电流和感应电势及变频器输入电流波形, 并作相应的谐波分析。证实了矩阵式变频器输入功率因数高, 输入电流波形正弦性好, 对电网的谐波污染较小, 将可能成为交流励磁发电机理想的励磁电源。所作的研究工作, 为交流励磁发电机的励磁系统工程设计提供了一定的理论参考依据。

关键词: 交流励磁发电机; 矩阵式交-交变频器; Saber 仿真

Simulation study of exciter of AC excitation generator based on Saber

ZHAO Shu-juan¹, HE Xiao-rong², HE Juan², XIAO Gang³

(1. Department of Automation, Chongqing Industry Polytechnic College, Chongqing 400050, China; 2. College of Electronic Information & Automation, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China;
3. Deyang Electric Power Bureau, Deyang 618000, China)

Abstract: According to the requirement of alternating current excitation generator (ACEG), the converter should have regeneration capability, and the input and output currents of converter should be sinusoidal. Matrix AC-AC converter (MC) has good input and output performances. MC as the exciter is proposed in this paper. The harmonics of the EMF and stator current and rotor current as well as the converter's input current are researched based on Saber, the operation characteristics of ACEG with MC as an exciter are compared with those of ACEG with AC-DC-AC converter and cycloconverter as an exciter. Simulation verifies that MC as the exciter has higher power factor, better input current waveforms, and lower harmonic pollution to power grid. So it might become an ideal exciter of the ACEG. The results in this paper will be helpful to the design of the ACEG excitation control system.

Key words: alternating current excitation generator(ACEG); matrix AC-AC converter(MC); Saber simulation

中图分类号: TM301.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)10-0089-04

0 引言

交流励磁发电机定子侧接电网, 转子上采用三相对称分布的励磁绕组, 由变频器提供对称交流电励磁, 且励磁电压的幅值大小、频率、相位、相序都可要求加以控制, 使得交流励磁发电机具有良好的稳定性及转速适应能力、独立的有功与无功调节能力和较强的进相运行能力, 性能超越传统同步发电机和感应发电机, 因而有着广阔的应用前景^[1,2]。

变频器输出电压含有谐波, 必定使交流励磁发电机转子电流、定子电流和感应电势含有谐波, 抑制感应电势和电流谐波、保证输出电能质量是一个

重要课题, 同时还应竭力避免变频器对电网造成谐波污染、提高变频器输入功率因数。本文首先在 Saber 仿真平台下对矩阵式交-交变频器的性能进行仿真分析, 研究发电机定、转子电流和感应电势及变频器输入电流波形, 并作相应的谐波分析, 然后与交-直-交变频器和交-交变频器作励磁电源时发电机的运行特性进行了对比分析。展示了以矩阵式交-交变频器作为交流励磁发电机励磁电源的可行性, 并为交流励磁发电机的励磁系统工程设计提供了一定的理论参考依据。

1 矩阵式交-交变频器励磁的交流励磁发电机特性研究

根据交流励磁发电机系统对励磁变频器要求, 提出采用矩阵式交-交变频器作为交流励磁发电机

的励磁电源。矩阵式变频器主电路结构简单，号称“全硅”变频器，负载频率不受限制，可获得正弦波的输入和输出电流，任何负载时都可在接近于1的功率因数下运行；矩阵式变频器可实现能量双向流动，无中间直流环节，结构紧凑，体积小，效率高。如图1所示。

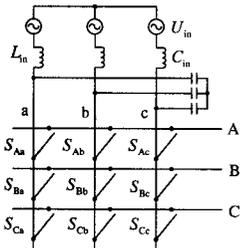


图1 矩阵式交-交变频器

Fig.1 Matrix AC-AC frequency converter

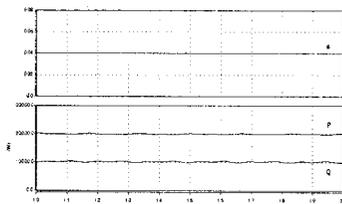


图2 交流励磁发电机稳态运行

Fig.2 ACEG stable operation

根据所建立的交流励磁发电机励磁控制系统的仿真模型，对交流励磁发电机稳态有功、无功、转速调节特性和暂态特性进行了仿真计算，研究表明，交流励磁比传统同步发电机具有更好调节特性，达到了发电机有功、无功、转速独立控制的目的^[3]。

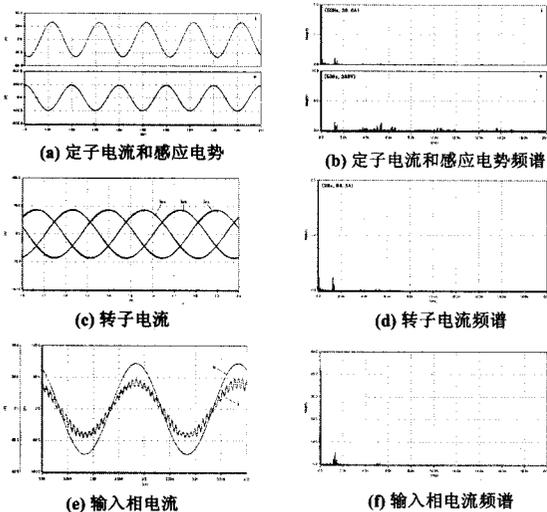


图3 矩阵式交-交励磁发电机系统仿真结果

Fig.3 Simulation results of the ACEG system excited by matrix style converter

本文利用混合信号系统仿真软件 Saber 对矩阵式交-交变频器励磁的交流励磁发电机系统的谐波进行了仿真研究。研究结果如图3所示，从图可看出变频器的输入位移因数很高，输入相电流主要由基波分量和频率为输入滤波器截止频率的谐波分量组成。

2 矩阵式交-交变频器与其它变频器作励磁电源的比较

目前流行的变频装置为交-直-交变频器和交-交变频器^[4, 5]，本文建立了交-直-交变频器的元件级仿真模型及交-交变频器的原理性仿真模型，将之用作交流励磁发电机的励磁电源进行仿真，并与矩阵式交-交变频器作励磁电源进行了比较。

2.1 矩阵式交-交变频器与交-直-交变频器的比较

采用PWM逆变电路的交-直-交变频器可以使输出电流接近正弦，也可用作交流励磁发电机的励磁电源。本文建立了交-直-交电压型变频器的元件级仿真模型，采用二极管不控整流，逆变级采用输出线电压空间矢量调制，其拓扑结构如图4所示。

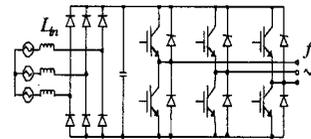


图4 交-直-交变频器

Fig.4 AC-DC-AC frequency converter

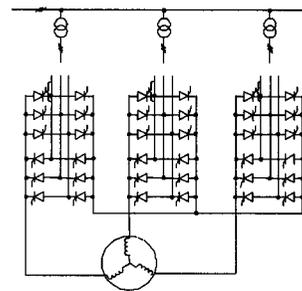


图5 交-交变频器

Fig.5 AC-AC frequency converter

交流励磁发电机在图2所示工况下运行时感应电势和定子电流、转子线电压和电流、交-直-交变频器输入相电压和相电流的仿真计算曲线及相应的频谱图如图6所示。

经计算，感应电势和定、转子电流波形的正旋性畸变率比矩阵式交-交变频器作励磁电源时(见表1)，这是由于矩阵式变频器的虚拟中间直流电压是以6倍工频脉动的，而交-直-交变频器的中间直流环节有大

容量储能电容起稳压作用,其输出线电压所含谐波的幅值应比矩阵式变频器小。但交-直-交变频器输入相电流波形的正弦性畸变率比矩阵式变频器大,还可看出输入相电流滞后于相电压。

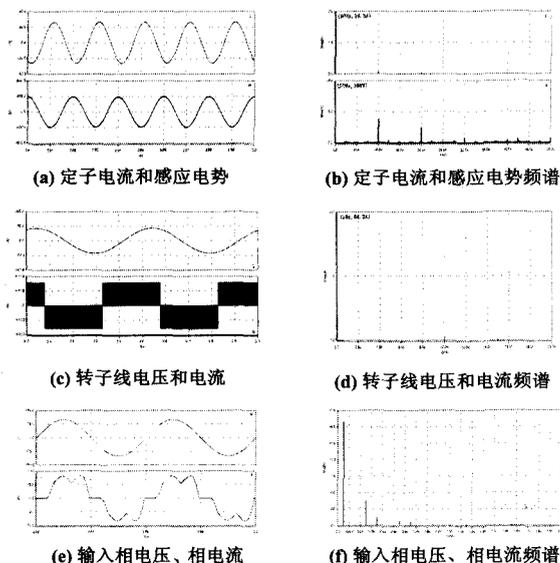


图6 交-直-交变频器励磁发电机系统仿真结果
Fig.6 Simulation results of the ACEG system excited by AC-DC-AC excited frequency converter

2.2 矩阵式交-交变频器与交-交变频器的比较

图5为三相交-交变频器接线图,该变频器效率较高,可实现四象限工作,低频输出波形接近正弦波;但接线复杂,电力电子器件多,输出频率受电网频率和交流电路脉波数的限制,输入功率因数较低,输入电流谐波含量大,频谱复杂^[6]。

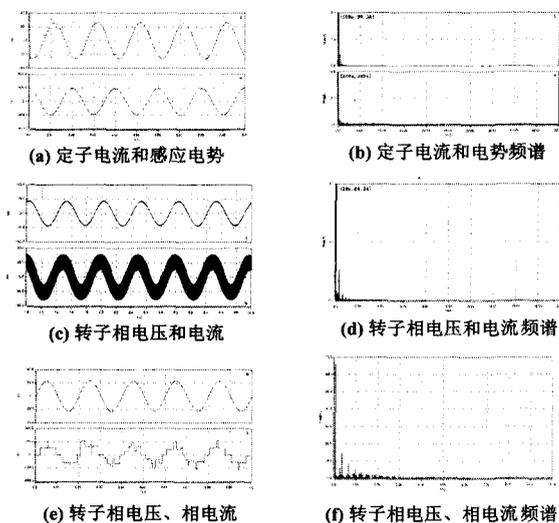


图7 交-交变频器励磁的交流励磁发电机系统仿真结果
Fig.7 Simulation results of the AC-excited-generator system excited by AC-AC excited frequency converter

本文利用余弦交点法调制算法模板,建立了交-交变频器的原理性仿真模型,图7(a)~图7(f)为交流励磁发电机以该变频器为励磁电源运行于图2所示工况下相应的波形图和频谱图。

经仿真计算,此时感应电势和定、转子电流波形的正弦性畸变率分别为2.3%、1.4%、1.9%,交-交变频器输入相电流波形的正弦性畸变率为32.3%,均比矩阵式交-交变频器或交-直-交变频器作励磁电源时大。

2.3 三种变频器作交流励磁发电机励磁电源的性能比较

表1对三种变频器作交流励磁发电机励磁电源的性能进行了比较,矩阵式交-交变频器比其余两种变频器的输入功率因数高,对电网的谐波污染小。交-交变频器的输出频率从2 Hz变为10 Hz时,输入功率因数显著降低,对电网的谐波污染明显增大,发电机定、转子电流波形畸变严重,故6脉波交-交变频器不宜用于风力发电等变速恒频发电领域。

表1 三种变频器作交流励磁发电机励磁电源的性能比较

Tab.1 Performance comparison for three kinds of frequency converters excited by AC-excited generator

(“/”前为 $P=20\text{ kW}, Q=10\text{ kvar}, s=0.04(f_2=2\text{ Hz})$)

(“/”后为 $P=10\text{ kW}, Q=-10\text{ kvar}, s=0.2(f_2=10\text{ Hz})$)

励磁电源 性能指标		矩阵式交-交 变频器	交-直-交变 频器	交-交变 频器
		变频器		
变频器	输入功率因数	0.990 / 0.969	0.913 / 0.924	0.916 / 0.628
	输入位移因数	0.999 6 / 0.998 1	0.942 6 / 0.962 5	0.962 8 / 0.908 5
	输入基波因数	0.990 6 / 0.970 6	0.969 0 / 0.960 4	0.951 6 / 0.691 0
	输入电流 THD	13.8% / 24.8%	25.5% / 29.0%	32.3% / 104.6%
发电机	感应电势 THD	1.2% / 2.6%	0.71% / 2.2%	2.3% / 4.5%
	定子电流 THD	0.64% / .7%	0.26% / 0.60%	1.4% / 17.3%
	转子电流 THD	0.85% / 3.9%	0.25% / 0.95%	1.9% / 20.1%

仿真分析表明:(1)矩阵式交-交变频器励磁与不控整流交-直-交变频器相比,主要优点在于能方便地将转子回路的能量回馈电网,输入功率因数高,对电网的谐波污染小。(2)矩阵式交-交变频器励磁与交-交变频器相比,主要优点在于输出电流谐波含量小,输出频率范围宽,输入功率因数高,发电机系统对电网的谐波污染小。

3 结束语

本文分别以交-交变频器或交-直-交 PWM 变频器作交流励磁发电机的励磁电源进行仿真分析,前者输出电压中含有大量的谐波,输入侧功率因数也很低,对电网和发电机均有严重的谐波污染和负面效应;后者虽然改善了输出性能,但不控整流加电容滤波的变换造成输入电流畸变、谐波增大,输入功率因数低下,且需要大体积的直流储能电容,更为不利的是难以实现同步速上、下运行时交流励磁电源必需的功率双向流动。因此交流励磁发电技术实现的关键在于寻求一种输入、输出特性好,无电力谐波,功率可双向流的“绿色”变频器。矩阵式交-交变频器正是能满足这些要求的功率变换器。本文在 Saber 仿真平台下对矩阵式变频器与交-交变频器或交-直-交 PWM 变频器进行性能对比分析,结果表明矩阵式变频器不但具有再生运行能力,解决了交流励磁发电机转子回路能量的回馈问题,而且其输入功率因数高,输入电流波形正弦性比交-直-交、交-交变频器好,对电网的谐波污染较小,因此它将可能成为交流励磁发电机理想的励磁电源。

参考文献

- [1] 徐锦才,等. 多相励磁发电技术的研究概述[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(4): 44-46.
- [2] 邵为民. 新型的转差频率励磁发电机[J]. 电工技术学报, 1989(2): 35-39.
- [3] 肖刚,等. 矩阵式变换器励磁的双馈发电机系统建模与仿真[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2003, (3): 89-94.
- [4] Holmes P G, et al. Cycloconverter Excited Divided-winding Doubly-fed Machine As a Wind-power Converter[J]. IEE Proceedings, 1984, 131(2): 61-69.
- [5] Pena R, Clare J C, Asher G M. Doubly Fed Induction Generator Using Back-to-back PWM Converters and Its Application to Variable-speed Wind-energy Generation[J]. Electric Power Applications, IEE Proceedings, 1996, 143(3): 231-241.
- [6] 王兆安,黄俊. 电力电子技术(第4版)[M]. 北京:机械工业出版社,2000.

收稿日期: 2009-02-19; 修回日期: 2009-04-05

作者简介:

赵淑娟(1973-),女,工学学士,讲师,工程师,现主要从事电机及电气控制方面的教学及科研工作。E-mail: 492380211@qq.com

(上接第 88 页 continued from page 88)

- Dongguan Electricity Supply Branch Company Black-start Project revision of Dongguan Power Grid [T]. 2008.
- [15] 俞立凡,李彩玲,彭竹君. 9F 单轴燃机作为电网黑启动电源点的探讨[J]. 浙江电力, 2006, (6): 53-56.
YU Li-fan, LI Cai-lin, PENG Zhu-jun. Discussion of 9F Single Shaft Gas Turbine As Power of Black-start[J]. Zhejiang Electric Power, 2006, (6): 53-56.
 - [16] Barsali S, Poli D, Pratico A, et al. Restoration Islands Supplied by Gas Turbines [J]. Electric Power Systems Research, 2008, 78(12): 2004-2010.
 - [17] Ancona J J. A Framework for Power System Restoration Following a Major Power Failure [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(3): 1480-1458.
 - [18] 李苏宁. 黑启动试验时发电机组运行方式的配置[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(18): 104-107.
LI Su-ning. Operation Mode Arrangement of Generator During Black-start Experiment[J]. Automation of Electric

Power Systems, 2007, 31(18): 104-107.

- [19] Yinger R J. Behavior of Capstone and Honeywell Micro-turbine Generators During Load Changes[EB/OL]. California Energy Commission, <http://certs.lbl.gov/pdf/49095.pdf>
- [20] Adibi M M, Fink L H. Power System Restoration Planning [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(1): 22-28.

收稿日期: 2009-02-25; 修回日期: 2008-03-18

作者简介:

廖旭明(1972-),男,本科,研究方向为地区电网的黑启动方法; E-mail: 2452743@163.com

童家鹏(1984-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统自动控制;

余涛(1974-),男,副教授,博士,长期从事电力系统稳定性、非线性鲁棒协调控制等方面的研究工作。