

有源电力滤波器在分布式发电系统中的应用

姜春霞¹, 贾文超¹, 宗鸣²

(1. 长春工业大学, 吉林 长春 130012; 2. 沈阳工业大学, 辽宁 沈阳 110023)

摘要: 提出了利用现有的设备(软启动逆变器)来抑制分布式发电系统中微型燃气轮机谐波电流的方法,并详细给出其拓扑结构,谐波电流检测方法及滞环控制策略。仿真结果表明:所设计的拓扑结构和采用的控制方法是可行的,完全消除了 5 次和 7 次谐波电流。

关键词: 有源电力滤波器; 分布式发电系统; 谐波抑制; 滞环控制; Matlab 仿真

Application of active power filter in distributed power system

JIANG Chun-xia¹, JIA Wen-chao¹, ZONG Ming²

(1.Changchun University of Technology, Changchun 130012, China;

2.Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

Abstract: In this paper, a method of using an existing device (start-up inverter) in a given topology of a distributed power system to lower harmonic current in high speed generator (HSG) is presented. The method presented is introduced in detail in the paper. The measuring and calculating method for harmonic current and the harmonic current-based hysteresis control strategy of the active power filter (APF) using start-up inverter are proposed. The simulation results show the feasibility of the proposed structure and the control strategy. The 5th and 7th harmonic currents of generator current are eliminated completely.

Key words: active power filters; distributed power system; harmonics current measurement; hysteresis control; Matlab simulation

中图分类号: TM614 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)22-0050-04

0 引言

分布式发电相对于传统的集中式供电系统而言,具有运行可靠、维修简单、污染物排放低、利于环境保护等优点,无论对中心城市还是远郊农村甚至边远地区均能适用。随着微型燃机技术的不断完善,微型燃机发电系统已成为分布式发电系统的主力。高速电机的转子要尽可能的小,随着转速的增高,电机的体积减小而定子绕组电流和铁心中磁通交变频率增高,电机单位体积的损耗和发热量增加而散热面减小,减小损耗和有效的散热成为高速电机设计需要解决的主要问题。因此,在分布式发电系统电力变换电路的设计中,要采取有效的措施抑制高速电机的谐波电流,减少铜耗和铁耗。

在以微型燃机驱动内置高速电机的分布式发电系统中,电力变换电路有几种实现方式。一个可行的方案如图 1 所示。由于微型燃气轮机不能自启动,机组启动时高速电机作为电动机运行,拖动机组启动,由蓄电池通过 DC/DC 升压斩波器(因为蓄电池

组的电压较低)和软启动逆变器供电。当机组转速上升到一定值后微型燃气轮机点火,随着转速的升高和微型燃气轮机驱动功率的增加,高速电动机输出机械功率逐渐减小进而变为发电机输出电功率,经三相不控整流和 DC/DC 降压斩波器,将高速发电机输出的高频交流电转换为直流电,然后由输出逆变器转换为恒频恒压的工频交流电向用户供电。

采用三相不控整流非线性负载时,发电机产生的电流不是正弦波,含有大量的谐波分量,因此必须采取有效的办法抑制发电机产生的谐波分量。如图 1 所示,在启动结束后,此软启动逆变器就不再被使用了。

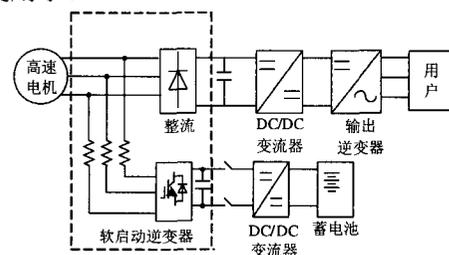


图 1 分布式发电系统拓扑图

Fig.1 Topology of a distributed power system

本文详细给出了在系统正常工作时, 利用此软启动逆变器作为有源电力滤波器来抑制微型燃机发电系统电流谐波的实现方法。

1 有源电力滤波器的拓扑结构和实现方法

本文研究的有源电力滤波器如图 2 打点部分所示。

高速电机输出的电压 $u_a(t)$ 和非线性负载电流 $i_{al}(t)$ 、 $i_{bl}(t)$ 、 $i_{cl}(t)$ 送入谐波电流检测电路, 由谐波检测电路得出参考补偿电流 i_{ar} 、 i_{br} 、 i_{cr} , 该参考补偿电流与实际补偿的谐波电流 i_{ah} 、 i_{bh} 、 i_{ch} 进行比较, 两者的偏差作为控制器的输入, 通过控制器产生控制软启动逆变器开关通断的 PWM 信号, 该 PWM 信号经驱动电路控制逆变器开关的通断, 从而控制参考补偿电流。谐波电流是由有源电力滤波器系统提供的, 高速电机只需提供基波电流, 因此, 高速电机的输出电流接近于正弦波。

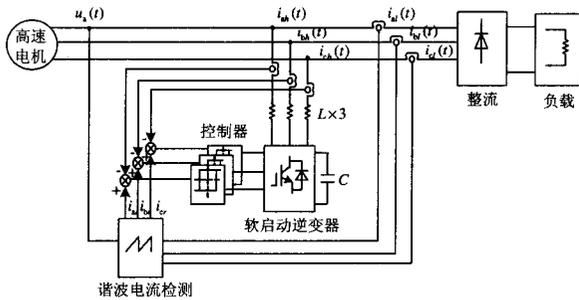


图 2 有源电力滤波器拓扑图

Fig.2 Topology of the APF system proposed

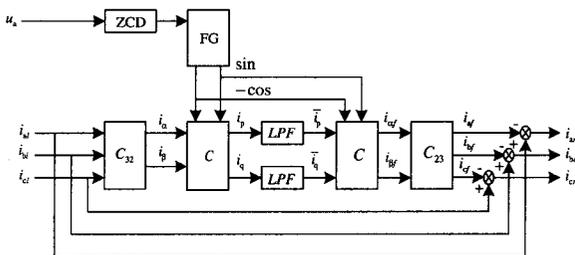


图 3 谐波检测电路框图

Fig.3 Block diagram of harmonic current detecting circuit

1.1 谐波电流的检测方法

谐波电流的检测是有源电力滤波器的重要组成部分。本论文采用的是以三相电路瞬时无功功率理论为基础, 以 i_p 、 i_q 为出发点得出三相电路的谐波电流, 其原理如图 3 所示。

其中:

$$C_{32} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = C_{32} \begin{bmatrix} i_{al} \\ i_{bl} \\ i_{cl} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$C = \begin{bmatrix} \sin \omega t & -\cos \omega t \\ -\cos \omega t & -\sin \omega t \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} = CC_{32} \begin{bmatrix} i_{al} \\ i_{bl} \\ i_{cl} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} = C_{32}^T C \begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} \quad (5)$$

控制系统测得 a 相电压 u_a 经过过零比较器 (ZCD) 可获得函数发生器 (FG) 所需的与 a 相电源 u_a 同相位的正弦信号 $\sin \omega t$ 和对应的余弦信号 $\cos \omega t$, 这两个信号与 i_{al} 、 i_{bl} 、 i_{cl} 由公式 (4) 计算出 i_p 、 i_q , 经 LPF 滤波后得出 i_p 、 i_q 的直流分量 \bar{i}_p 、 \bar{i}_q 。由公式 (5) 可计算出 i_{ar} 、 i_{br} 、 i_{cr} , 负载电流 i_{al} 与基波电流 i_{ar} 之差即为谐波电流 i_{ah} 。

1.2 控制策略

为了使有源电力滤波器产生能实时跟随实际谐波电流的参考补偿电流的变化, 电流控制采用滞环比较器的瞬时值比较方式。由于软启动逆变器的容量是发电机容量的 20%, 参考谐波电流的幅值受到了限制。任意一相 (比如 a 相) 控制的原理图如图 4 所示。

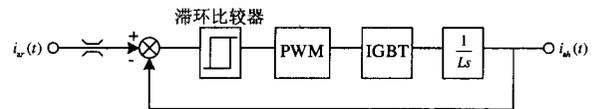


图 4 a 相滞环比较器原理图

Fig.4 Block diagram of the controller for phase-a

2 仿真结果

利用 Matlab 提供的电力系统模块, 在 Simulink 环境下对有源电力滤波器进行了建模和仿真研究。给定仿真条件如下: 非线性负载是三相不控整流负载, 三相电源电压峰值是 500 V, 三相电源频率是 $f_s = 1000$ Hz, 有源电力滤波器与谐波源并联接入供电系统, 有源电力滤波器的 PWM 三角载波频率为 5 kHz, 有源电力滤波器的连接电感是 0.01 mH。

图 5 为谐波电流的检测结果。采用二阶 Butterworth 低通滤波器，其截止频率为 40 Hz。图 5 (a) 为由检测电路得到的负载电流和基波电流。图 5(b) 和 5(c) 列举了不同负载条件的谐波电流，其中 5(b)1000 μF 的滤波电容，5(c) 是无滤波电容的仿真结果。从图中可以看到：滤波电容越大，所需要补偿的指令信号 $i_{ar}(t)$ 的值大。

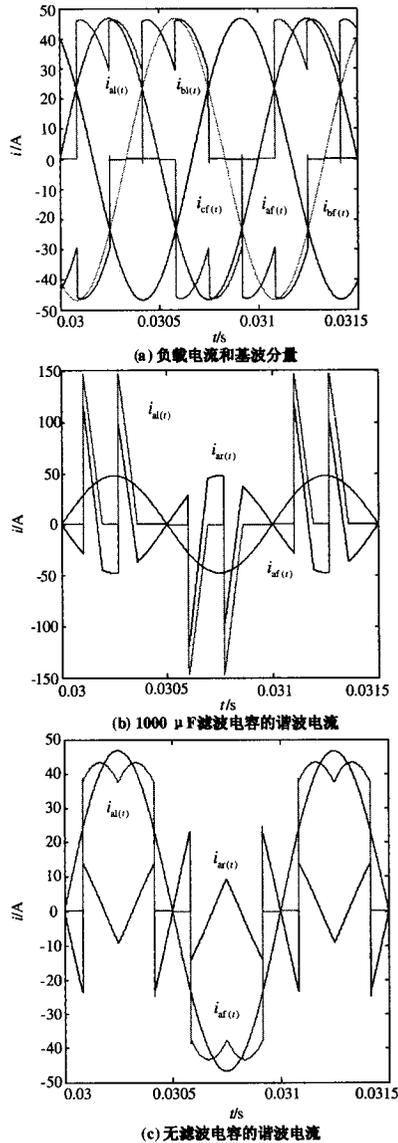


图 5 检测谐波电流的仿真结果

Fig.5 Simulation results of detected harmonic currents

应用了滞环控制器策略的仿真结果由图 6 所示。图 6(a)为 a 相负载得到基波电流和参考谐波电流的仿真结果。 $i_{ar}(t)$ 是 a 相参考谐波电流。图 6(b) 为 a 相电源电流和补偿电流的仿真结果。在仿真中，滞环电流的环宽选择 $\pm 1 \text{ A}$ 。

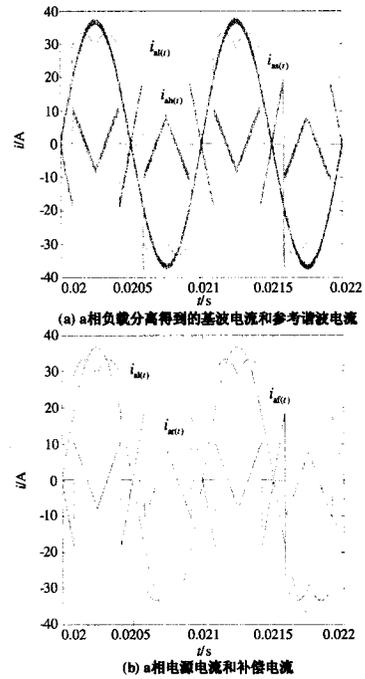


图 6 应用滞环控制器策略的仿真结果

Fig.6 Simulation results of the controller with hysteresis control strategy

在限定参考谐波电流条件下的仿真结果由图 7 所示。图 7(a) 和 7(b) 分别为没有电流限制和 $\pm 20 \text{ A}$ 限制电流的仿真结果。

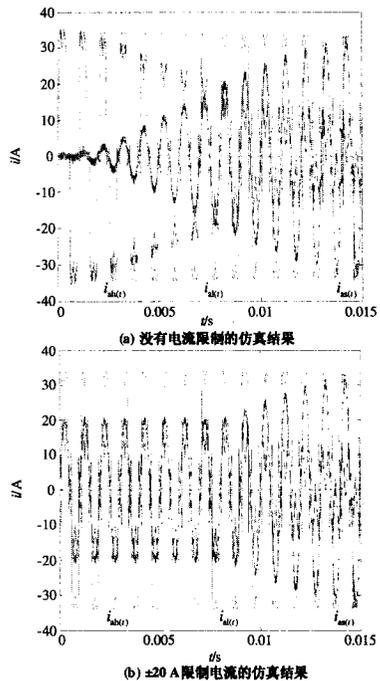


图 7 限制谐波电流大小的仿真结果

Fig.7 Simulation results imposed upper and lower bounds on reference compensation current

图 8 中 a 相电源电流的电力频谱图仿真结果, 图 8 (a) 和 8 (b) 分别表示采用有源电力滤波器和没有采用有源电力滤波器的电力频谱图。从图中可以看到: 通过应用有源电力滤波器, 电源电流的 5 次和 7 次谐波电流已经被完全清除了。

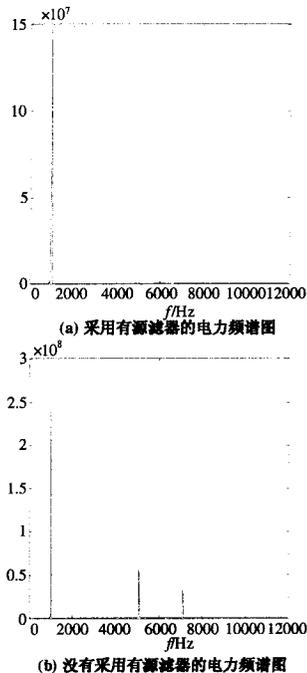


图 8 a 相电源电流的电力频谱图仿真结果

Fig.8 Simulation results of the power spectrum of generator current phase-a actual power supply

3 结论

通过研究: 用已存在的设备软启动逆变器作为

有源电力滤波器, 可以提高发电机的供电电流的质量。有源电力滤波器的使用, 不但清除 5 次和 7 次发电机电流的谐波, 而且补偿了无功电流使功率因数接近于 1, 这样大大减小高速电机的铜耗和铁耗。分析结果显示: 大大简化分布式发电系统电力变换电路的设计。

参考文献

- [1] Hsu C Y, Wu H Y. A New Single-phase Active Power Filter with Reduced Energy-storage Capacity[J]. IEE Proc-Electr Power Appl,1996,143(1).
- [2] Nishida K, Konishi Y, Nakaoka M.Current Control Implementation with Deadbeat Algorithm for Three-phase Current-source Active Power Filter[A]. In:IEE Proceedings Electric Power Applications[C]. 2002.275-282.
- [3] Pottker De, Souza F, Barbi I. Single-phase Active Power Filters for Distributed Power Factor Correction[A]. In: 2000 PESC 00. 2000 IEEE 31st Annual[C]. 2002.500-505.
- [4] 王兆安, 等. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

收稿日期: 2008-01-22; 修回日期: 2008-07-30

作者简介:

姜春霞 (1976-), 女, 讲师, 研究方向为电力传动;
E-mail: jiang_chunxia@163.com

贾文超 (1965-), 男, 教授, 主要从事交流电机控制、电力系统自动化等方面的工作;

宗 鸣 (1957-), 男, 副教授, 主要从事交流电机控制、分布式发电等方面的工作。

(上接第 33 页 continued from page 33)

DUAN Hai-bin, WANG Dao-bo, ZHU Jia-qiang, et al. Development and ant Colony Algorithm Theory and its Application[J]. Control and Decision, 2004,19(12):1321-1326,1340.

- [5] 覃刚力, 杨家本. 自适应调整信息素的蚁群算法[J]. 信息与控制, 2002, 31 (3): 198-201.
- [6] 卫志农, 何桦, 郑玉平. 配电网故障区间定位的高级遗传算法[J]. 中国电机工程学报, 2002,22(4):127-130.
- [7] WEI Zhi-nong, HE Hua, ZHENG Yu-ping. A Refined Genetic Algorithm for the Fault Sections Location[J]. Proceedings of CSEE, 2002,22(4):127-130.
- [7] Chang C S, Tian L, Wen F S. A New Approach to Fault Section Estimation in Power Systems Using Ant System[J]. Electric Power Systems Research, 1999,

49(1): 63-70.

- [8] 刘健, 倪建立, 杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(1): 31-33.
- LIU Jian, NI Jian-li, DU Yu. A Unified Matrix Algorithm for Fault Section Detection and Isolation in Distribution System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(1): 31-33.

收稿日期: 2008-01-16; 修回日期: 2008-04-10

作者简介:

王林川 (1955-), 男, 教授, 从事教学和配电网的研究;
E-mail: wanglinc@mail.nedu.cn

李庆鑫 (1983-), 男, 研究生, 研究方向是电网的稳定与控制;

刘新全 (1979-), 男, 研究生, 研究方向是电力系统运行分析及电力市场。