

Modeling Analysis of Micro Grid of Offshore Oil Platform

Hualin Gong¹, Jinquan Zhang², Zhiqiang Yang², Huan Zhang²

¹State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu Sichuan

²School of Electrical and Information, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

Email: 839691312@qq.com

Received: Nov. 18th, 2016; accepted: Dec. 2nd, 2016; published: Dec. 8th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Offshore oil platform micro grid is a very important part of offshore oil platform, and its stability plays an important role in the safety of offshore oil platform. Therefore, establishing mathematical model of offshore oil platform of the micro grid and studying its stability helps monitor and access the safety state of offshore oil platform of the micro grid, and this provides early warning strategy and suggestions for the electrical engineers and management personnel operating platform and does good for improving the safe operation level of the offshore platform. These actions are of much theoretical value and realistic meaning. This paper first introduces the characteristics of offshore oil platform of the micro grid, then analyzes the main components of gas turbine, sets up the model by PSCAD, and establishes the model according to the circuit structure of the micro grid diagram. It carries out a series of simulation in different operating conditions and different motor load proportion by assuming the motor as the main load first and gets relevant conclusions.

Keywords

Offshore Oil Platform, Micro Grid, PSCAD, Modeling Analysis

海洋石油平台微电网的建模分析

龚华麟¹, 张金泉², 杨志强², 张欢²

¹成都供电公司, 四川 成都

²西南石油大学电气信息学院, 四川 成都

摘要

海洋石油平台微电网是海上石油平台非常重要的组成部分,其稳定性对海洋石油平台的安全起着至关重要的作用。因此,建立海洋石油平台微电网模型,进而研究它的稳定性,有助于监测及评估海洋石油平台微电网的安全状态,为平台电气工程师及管理、运行人员提供安全运行预警及策略建议,有助于提高海洋平台的安全运行水平,具有非常重要的理论价值和现实意义。本文首先介绍了海洋石油平台微电网的相关特点,接着对其燃气轮机的主要构成部分进行分析,并用PSCAD软件建立相关模型,最后根据微电网的电路结构示意图建立相关模型,对微电网以电动机为主要负荷时,在不同运行状态和电动机负荷所占比重不同的情况下,进行一系列仿真,得出相关结论。

关键词

海洋石油平台, 微电网, PSCAD, 建模分析

1. 引言

海洋石油平台是开发海洋资源的重要装备,发展海洋石油平台相关技术历来受到世界各国的高度重视;同时,由于海洋石油平台建设成本高昂,人员设备比较密集,易燃易爆液、气等高度集中,海洋石油平台的安全问题可以说是重中之重。而海洋石油平台微电网作为海上工作平台的主要供电系统,除了保证平台的全部生产、生活供电外,还担负着为平台的安全、控制、通讯等重要系统供电的任务,其安全性和可靠性直接或间接决定了海洋石油平台的安全运行。因此,作为海洋石油平台的重要组成部分,海洋石油平台微电网运行中轻微的不可靠或安全隐患都有可能产生严重的后果;另一方面,随着海洋工程技术的发展,海洋石油平台微电网的规模和容量越来越大,结构和功能越来越复杂,而对其安全评估和控制的相关研究和应用还处于比较初步的阶段,因而十分有必要从运行稳定性的角度研究海洋石油平台微电网。

海洋石油平台微电网是指专为海上工程设计的,能满足海洋特殊环境的,由平台自身供电的微型电力系统。海洋平台微电网除了一般陆地微电网所具有的供电灵活、能源利用率高、传输费用低和系统线损小等特点以外,还因处于海洋这一特殊的环境而具有自身的特殊性:(1)系统主要使用多台燃气轮机并联运行供电,且往往分布多个平台上,具有分布式电源的特点,协调控制难度较大;(2)海洋工程中负载工况的变化比较剧烈,大型负载的启动会对微电网造成很大冲击,可能影响供电的稳定性;(3)系统传输线为长距离海底电缆,其电容效应较大,对电压可靠性影响明显;(4)系统的工作环境复杂恶劣,会对其中电气设备的性能造成严重影响,系统维护成本很高;(5)系统备用容量相对有限,一般仅在空间较大的平台上设置一台备用发电机。综上所述,海洋平台微电网所面临的安全性和可靠性挑战是比较巨大的,而海洋平台微电网的主要设计思想和方法来自于舰船电力系统和传统陆上配电网,舰船电力系统与海洋平台微电网相比容量要小得多,结构和负荷也相对简单;而传统陆上配电网对分布式发电和大量海底电缆的使用都关注较少,同时,这两者负荷性质和功能的差异也很大。相比较而言本世纪以来提出的微电网(Micro-grid)的相关技术,更符合海洋石油平台微电网的具体特征,因此,可以从微电网优化控制的角度研究海洋平台微电网安全控制的相关技术。

文献[1]研究并网运行时,微型燃气轮机采用 PQ 控制,提供微电网的有功和无功功率支撑,在满足本地负荷基础上,实现混合微电网并网功率可调度;孤岛运行时,微型燃气轮机采用基于下垂特性的 V/F 控制,实现从并网到孤岛模式的切换,对微电网在并网和孤岛两种模式中的运行特性进行仿真分析,验证控制方式的可行性。文献[2]构建了结构和功能完整的风电机组、燃料电池、带有 MPPT (最大功率点跟踪)光伏电池以及柴油发电机等微电源模型,及具有调频作用的二次负载模型,仿真验证了所建模型的合理性及有效性。文献[3]研究微电源建模及运行特性分析、微电网仿真平台开发及运行特性分析、微电网运行对电网综合负荷模型的影响三个方面。文献[4]基于 Digsilent 仿真平台建立了适用于潮流分析、动态仿真的光伏发电系统模型,所建的微电网模型可准确模拟微电网并网控制模式,可用于实际微电网系统的并网运行分析。文献[5]对微电网进行了建模,然后基于微电网各个子系统的数学模型,对微电源进行了控制策略的分析,主要分为以下三种控制方式:恒功率(P/Q)控制、电压频率(U/f)控制和下垂(Droop)控制控制。

2. 燃气轮机建模分析[6]

海洋石油平台上的电源主要是燃气轮机,目前高速单轴结构燃气轮机是燃气轮机的主流产品,是最为常用的小型热电联产的动力机组。当微电网中采用单轴高速结构的微型燃气轮机时,机组运行状态、控制方法等因素对其动态特性产生一定的影响,即可以按照给定的有功和无功进行控制,又可以方便地实现 U/f 控制保证微电网孤岛运行时频率和电压的稳定性。因此本文以燃气轮机为电源来进行建模,模型参数主要参考 Rowen 的单轴单循环重负荷微燃机模型[7]。微型燃气轮机可大致分为燃烧供给系统、温度控制系统、速度与加速度控制系统、压缩机和透平系统等几个部分。该模型已接近完善,需要指出的是,该模型[8]是基于以下条件建立的:

(1) 该模型适用于暂态、稳态运行分析时,需忽略微燃机快速的动态变化,比如启动、停机或内部故障等过程。

(2) 由于能量回收器对模型动态响应时间的影响细微,故忽略其影响,不对其进行建模。

(3) 除温度控制采用有名值外,微燃机的模型及其他控制模块均采用标么值。

温度控制系统与转速及加速度控制系统发出的各自的燃料需求信号,经过处理后得到燃料最低消耗信号,该信号进入燃料供给系统。因为燃料泵的旋转速度、燃料压力均与燃气轮机的转子转速成正比关系,因此限幅后的值与转子的实际速度相乘,就得到实际燃料需求量信号。此外由于燃气轮机是通过改变燃料量来控制转速的,因此通过速比阀与燃料控制阀的串联控制,可达到准确控制燃料流量的目的。对于燃料量来说,燃烧室是一个延迟环节。

燃气轮机温度过高,直接决定着透平的安全性及系统寿命,因此燃气轮机温度也是一个很重要的控制参数。温度控制系统通过限制透平进口温度来减少对透平进口叶片产生的损害,但实际中进口温度过高,测量难度大,故是以测量和控制排气温度,来间接实现对透平进口温度的控制。温度调节系统是一个 PI 调节器,原理是将实际温度与参考温度的差值送入控制器,产生温度校正需求信号,进而调节透平排气温度。

燃气轮机的转速控制系统分为有差控制和无差控制两种方式。在微电网并网运行时,燃气轮机不需要进行调节。而在微电网孤网运行的情况下,对并入微电网的燃气轮机应采用有差调节方式,以便分担微电网内的功率差额,并满足孤网运行时跟踪负荷变化的要求,保证微电网电压和频率的稳定性。有差调节系统是一个比例调节器,在带部分负荷的情况下,微燃机主要控制方式为有差调节,将转子实际转速与参考转速间的差值作为速度控制器的输入信号,从而产生转速校正需求信号。在实际的设备中,由于存在一些时间常数,因此调节器实际是一个比例惯性环节。在实际的并网运行中,转速控制系统是调

节微燃机输出功率最基本的环节，通过调整转速基准从而改变输出燃料基准值，进而达到调整燃气轮机出力的目的。在某些特殊情况下，加速度控制系统可限制燃气轮机转子的加速度使其不超过其给定值，以减少部件的热冲击，保证机组的安全。

压缩机和透平机系统是燃气轮机的重要组成部分。单轴燃气轮机的转矩和排气温度、燃料流量、透平机的转速成线性相关，可用相关函数表示。

本文用 PSCAD 软件对以上 4 部分分别建立模型，再相互合并，模型如图 1。

3. 微电网建模的频率分析

我国电力系统的额定频率是 50 Hz，微电网正常运行时的频率应必须保持在其额定范围内。如果海洋石油平台微电网的频率低于额定频率，则会对负荷和系统的运行造成不良后果，例如会引起电动机转速下降，设备不能正常工作等。

海洋石油平台微电网仿真系统的结构示意图如图 2 所示。在本结构图中，海洋石油平台微电网的电源由两台相同参数和性能的燃气轮机组成，其额定功率为 1500 kW，并分别接入馈线 1、4 两侧，假定两条馈线长度均为 60 m。由于海洋石油平台上的负荷主要是电动机，其对微电网的冲击最大，故本文取电动机来研究负荷对微电网频率的影响情况。考虑到平台上电动机负荷与其他负荷的比例随着不同时间段和工作状态而变化的关系，取比较具有代表性的 3 种比例关系，即电动机负荷占总负荷的 100%、80%、55%，分别对应取其他负荷功率 0 kW、200 kW、450 kW，电动机负荷功率 1000 kW、800 kW、550 kW。电动机负荷与其他负荷分别接入馈线 2、3 两侧，2 条馈线长度均为 100 m。在该系统结构中，导线参数设置为 $R = 0.325 \Omega/\text{km}$ 、 $X = 0.073 \Omega/\text{km}$ 。

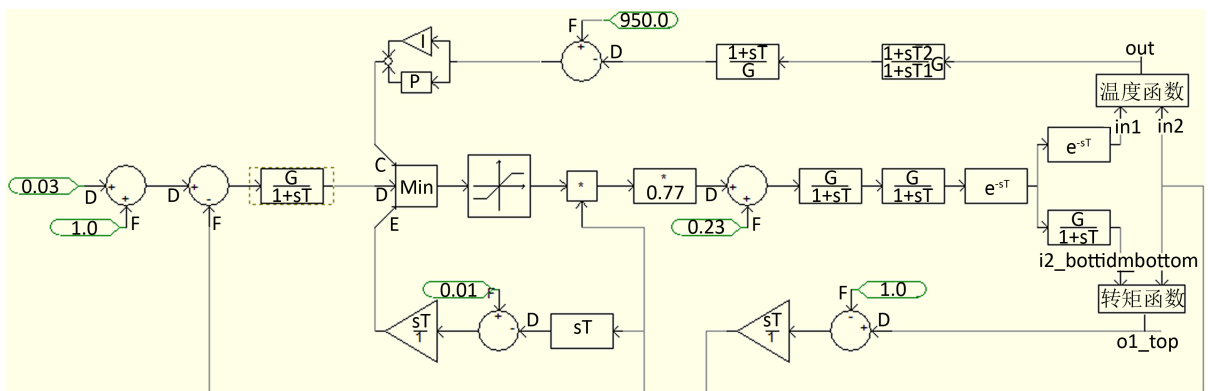


Figure 1. Gas turbine model

图 1. 燃气轮机模型

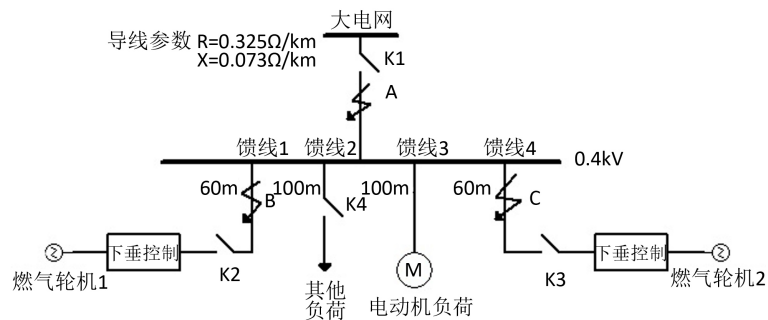


Figure 2. Schematic diagram of micro grid simulation circuit

图 2. 微电网仿真电路示意图

海洋石油平台微电网系统接线方式为单母线结构，微电网接受大电网进线。当 K1 开关为闭合状态，对应以下三种情况：

(1) 当负荷小于各台燃气轮机总的发电量时，K1 开关点流过的负荷方向为：海洋石油平台微电网流向大电网。具有调节能力的机组对负荷的波动进行调节，维持供需平衡。

(2) 当负荷大于各台燃气轮机总的发电量时，K1 开关点流过的负荷方向为：大电网流向海洋石油平台微电网。大电网给海洋石油平台微电网供电，满足海洋石油平台供电需求。

(3) 当某一台燃气轮机进行检修的时候，停止运行相应的机组，并调整另一台机组的转速和燃料基准值，从而调整出力。

微电网存在三种运行模式：并网模式和孤岛模式，以及在两种模式间切换的暂态。本文分为 3 种不同的状态来进行研究，分别是：孤岛模式、联网模式和不同故障点模式。根据上文建立的燃气轮机的基本模型结合微电网仿真系统的结构示意图，简立了如图 3 所示的仿真主电路图。燃气轮机的模型封装在对应的电源模块里面，当海洋石油平台微电网运行模式发生变化时，燃气轮机的燃烧供给系统、温度控制系统、速度与加速度控制系统、压缩机和透平系统等几个部分便会作出相应的动作，以维持整个微电网电力系统的稳定。

3.1. 孤岛模式

仿真条件为：开关 K2, K3 和 K4 闭合，燃气轮机 1 和燃气轮机 2 同时为负载供电。在 $t = 8\text{ s}$ 时，B 处发生三相短路故障，5 ms 后故障消除。仿真情况如下：当电动机负载占总负载 100%、80%、55%时的微网动态特性时，仿真结果如图 4 所示。

3.2. 联网模式

仿真条件为，开关 K1、K2、K3 和 K4 都闭合，大电网、燃气轮机 1 和燃气轮机 2 同时为负载供电。在 $t = 8\text{ s}$ 时，B 处发生三相短路故障，5 ms 后故障消除。仿真情况如下：当电动机负载占总负载 100%、80%、55%时的微网动态特性时，仿真结果如图 5 所示。

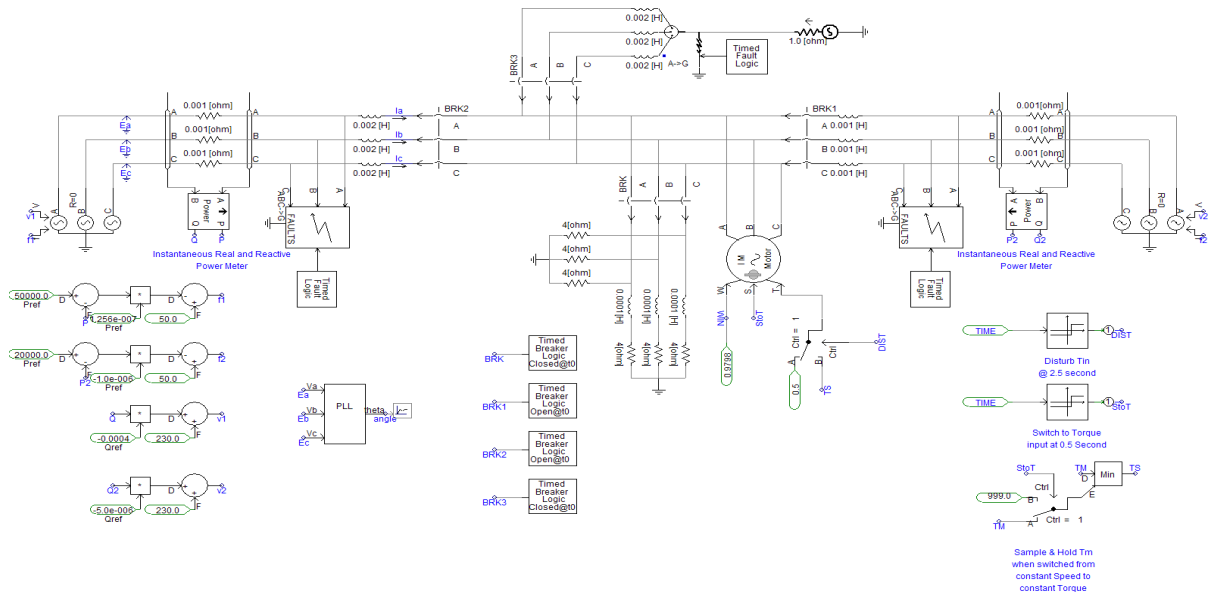


Figure 3. Circuit model of micro grid
图 3. 微电网的电路模型

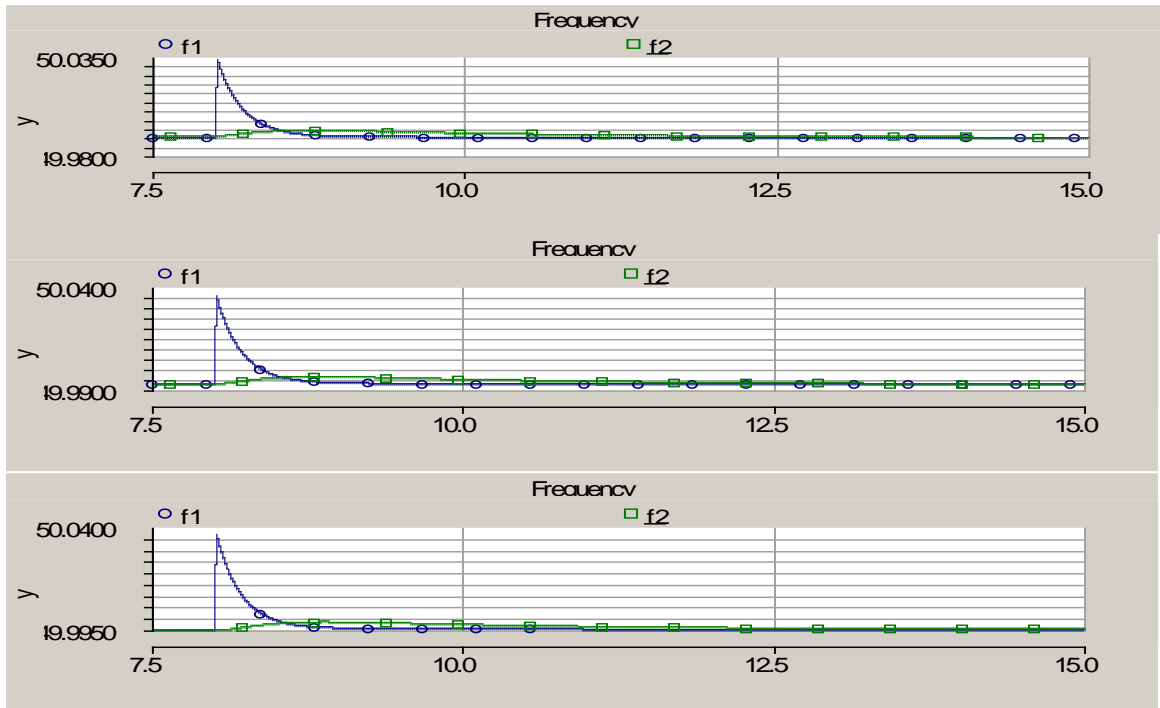


Figure 4. Simulation results in island mode
图 4. 孤岛模式下的仿真结果图

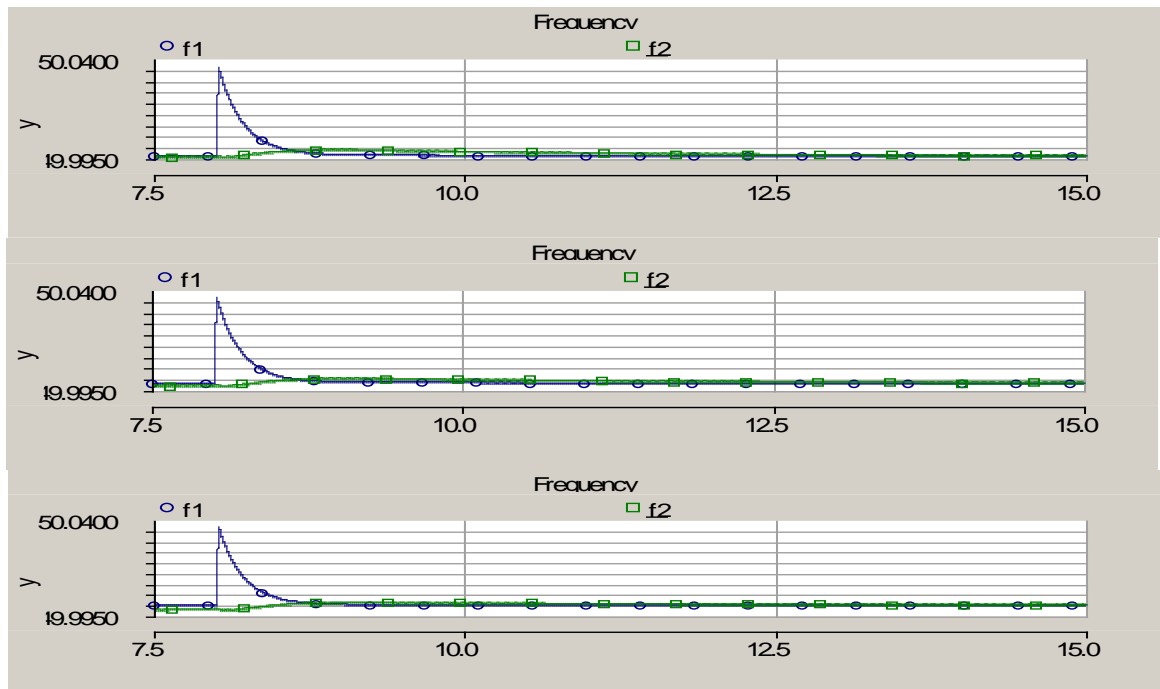


Figure 5. Simulation results of fault at B point in networking mode
图 5. 联网模式下 B 点处故障的仿真结果图

3.3. 不同故障点

考虑不同的故障点，仿真采用联网模式下 A 处发生故障来与 B 处发生故障时相比较。仿真条件为，

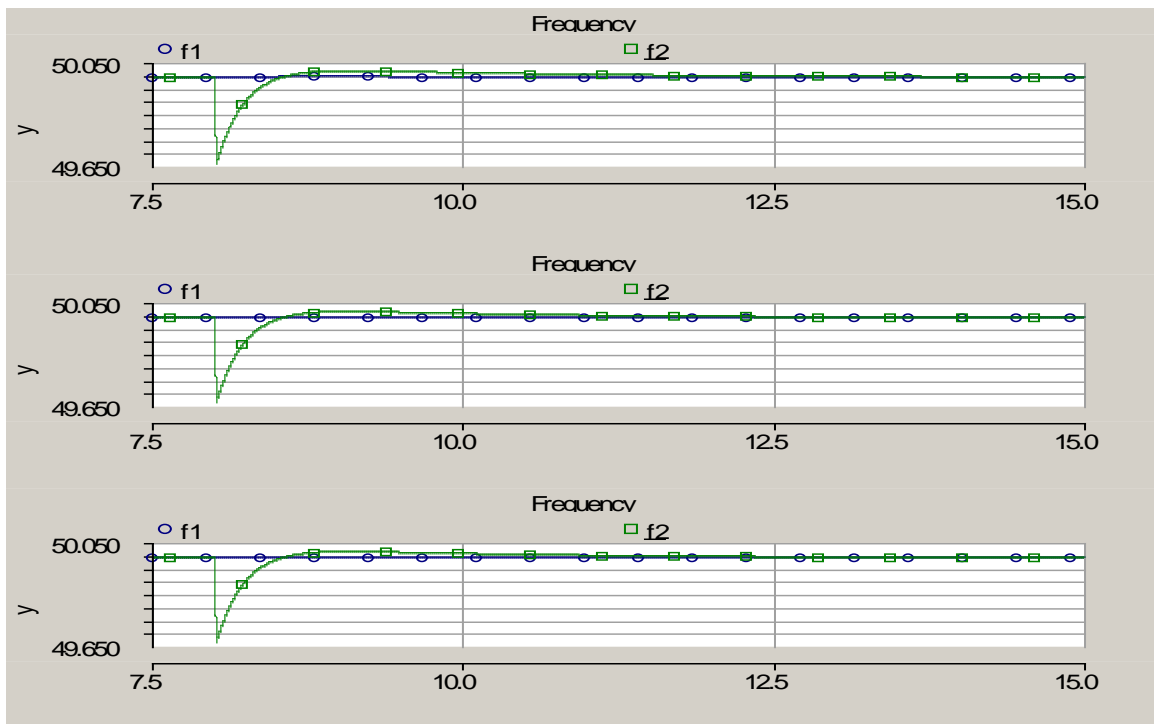


Figure 6. Simulation results of fault at A point in networking mode
图 6. 联网模式下 A 点处故障的仿真结果图

开关 K1、K2、K3 和 K4 闭合，大电网、燃气轮机 1 和燃气轮机 2 同时为负载供电。在 $t = 8$ s 时，A 处发生三相短路故障，5 ms 后故障消除。仿真情况如下：当电动机负载占总负载 100%、80%、55% 时的微网动态特性时，仿真结果如图 6 所示。

4. 仿真结果分析

对海洋石油平台微电网来说，它的规模相对大电网而言是非常小的。在联网运行的情况下，大电网会对微电网内的有功功率进行一定的平衡，因此，微电网在联网时的频率与大电网保持一致。而在微电网孤岛运行时，微电网内部的频率依赖于下垂控制和机组对系统有功功率的平衡。

(1) 在孤岛模式运行方式下，当 B 点发生三相短路的瞬间，1 号燃气轮机机会退出微电网的运行，此时海洋平台上的所有负荷将全部转移到 2 号燃气轮机之上。2 号燃气轮机通过下垂控制及其内部的调节系统，会迅速的增加输出功率，以满足系统负荷对功率的要求。同时，由于电动机负荷对电网的冲击最大，则当电动机负荷占比越大，则系统的频率稳定性越低。

(2) 在联网模式下，对微电网的 A、B 两处分别发生故障时，由于大电网能随时满足海洋平台微电网的有功功率需求，所以其对微电网的稳定性影响较小。

参考文献 (References)

- [1] 周念成, 邓浩, 王强钢, 李春艳. 光伏微型燃气轮机混合微电网的建模与仿真[J]. 华东电力, 2011, 1(39): 86-91.
- [2] 周二雄, 李凤婷, 朱贺. 微电网的建模仿真研究[J]. 计算机仿真, 2013(6): 133-137.
- [3] 刘志勇. 微电网建模仿真研究及平台开发[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2010.
- [4] 李明慧, 李国庆, 王鹤, 白杨森, 张洋. 微电网建模及并网控制仿真[J]. 低压电器, 2012(8): 27-31.
- [5] 韩国志. 微电网建模及其运行和控制的仿真[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2014.

- [6] 黄伟, 凡广宽, 牛铭. 微型燃气轮机发电系统仿真模型研究[J]. 电网与清洁能源, 2011, 4(27): 4-7.
- [7] Rowen, W.I. (1983) Simplified Mathematical Representations of Heavy-Duty Gas Turbines. *Journal of Engineering for Power*, **105**, 865-869.
- [8] 李政, 王德慧, 薛亚丽, 等. 微型燃气轮机的建模研究(上)——动态特性分析[J]. 中国动力工程学报, 2005, 25(1): 13-17.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org