

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.05.013

电力系统频率响应的改进模型与参数估计

李东辉¹, 臧晓明², 鞠平², 陈谦²

(1. 南瑞集团电力设计有限公司, 江苏 南京 211106;
2. 河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 210098)

摘要:近年来,多种因素导致电力系统频率大波动事故时有发生。而目前对电力系统调频能力预估误差较大,有必要采用电力系统频率响应(SFR)模型计算频率的动态响应。文中分析了SFR经典模型的不足之处,据此改进了SFR模型结构,其中考虑了等值调速器的动态特性。进而提出了SFR改进模型的参数估计方法,先直接计算获得部分参数,然后加入保证稳态一致性的参数约束条件,最后辨识获得其余参数。通过仿真算例对频率响应进行了计算,验证了SFR改进模型结构与参数估计方法的有效性。结果表明,SFR改进模型能够有效表征系统频率响应的主要指标,其精度显著高于SFR经典模型。

关键词:频率;系统频率响应;模型;参数估计

中图分类号:TM744

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)05-0085-06

0 引言

我国电网的额定频率为 50 Hz,要求频率偏差控制在±0.2 Hz 以内。以往电力系统的频率极少发生较大波动,所以较少关注频率动态问题^[1-3]。随着新能源特别是风力发电的并网,大大增大了电源侧的随机性,减小了电力系统的等值惯性,给电力系统调频带来了新的挑战^[4];特高压交直流大容量输电通道的建设,成为威胁电力系统频率安全稳定性的重大隐患^[5-7];电力电子装置的广泛应用,削弱了负荷侧的频率响应性能,也给电力系统的频率安全稳定性带来了潜在的威胁^[8-9]。鉴于这些新变化,频率动态问题逐渐受到了学者的重视^[10]。尤其是特高压直流输电工程的逐渐投运,换流站故障导致电力系统频率大波动事件频发。为此,近年来针对实际系统的频率波动事件,进行了一系列研究^[11-18],分析故障过程、影响因素以及预防措施。与此同时,提出了扰动后最低频率和稳态频率的预测方法^[19-22]。

电力系统频率响应的模型及其分析,对于频率动态过程研究具有重要意义。目前,电力系统频率响应计算方法主要有全状态分析法、基于人工智能的频率响应估算、平均系统频率(average system frequency, ASF)模型^[23]、系统频率响应(system frequency response, SFR)模型^[24]。其中,后2种方法

收稿日期:2019-06-27;修回日期:2019-08-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51837004);高等学校学科创新引智计划(111计划)资助项目“新能源发电与智能电网学科创新引智基地”(B14022)

所得到的单机等值模型非常简洁,能够获得频率响应的解析解,因此广泛应用于低频减载的整定、系统频率安全性评估等领域。ASF模型中对同步发电机模型进行了简化等值,仅保留了同步发电机的转子运动方程并等值为单机模型,另外计及了与频率波动密切相关的每一台发电机的调速器模型,故ASF模型的阶次随着发电机数量的增加呈线性增加,实用性降低。SFR模型进一步采用了简化再热式汽轮机-调速器环节作为系统等值原动机-调速器环节,得到了更加简化的模型结构,模型的阶数不随系统规模的增加而变化,所以比较适合大电网频率响应过程的分析计算。

传统的SFR模型并未考虑等值调速器的动态特性,其中的参数通过加权等值方法获得,需要已知每台发电机的各种参数,但有的参数是难以确知的。为此,文中改进了SFR模型的结构,进而提出SFR改进模型的参数估计方法。

1 SFR改进模型的结构方程

1.1 SFR经典模型

文献[24]中,基于系统惯性中心频率,通过一系列简化、突出主要影响因素,建立了SFR模型,结构如图1所示,被称为SFR经典模型。

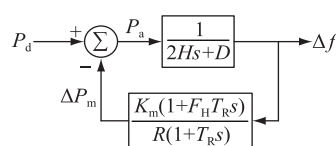


图1 SFR经典模型

Fig.1 The classical model of SFR

图中, Δf 为系统频率的变化值, 其标么值与等值发电机转速偏差相同; P_d , ΔP_m 和 P_a 分别为扰动功率、机械功率变化值和加速功率, 其中扰动功率 P_d 包含发电功率和负荷功率的突变, 发电功率增加或者负荷减少时为正, 反之为负; $2H$ 为系统的等值惯性时间常数; D 为系统的等值阻尼系数, 包含发电机的阻尼系数和负荷的频率系数; R 为调速器的静态调差系数; K_m 为机械功率增益系数; T_R 为原动机再热时间常数; F_H 为原动机高压缸输出功率占比。

1.2 SFR 改进模型

由图 1 可知, 在 SFR 经典模型的反馈环节中, 包括等值原动机和等值调速器模型 2 个部分。其中, 等值原动机采用简化的中间再热式汽轮机动态模型描述, 而等值调速器则采用静态的调差系数描述。假设所有调速器都是非常快速的调节过程, 然而实际电力系统中的调速器速度有快有慢, 所以需要 SFR 模型进行改进。

将第 i 台发电机组原动机的传递函数模型写成 $G_{\text{turb},i}(s)$, 调速器的传递函数模型写为 $G_{\text{gov},i}(s)$, 则:

$$\frac{\Delta P_{mi}}{\Delta \omega_i} = G_{\text{turb},i}(s) G_{\text{gov},i}(s) \quad (1)$$

式中: ΔP_{mi} , $\Delta \omega_i$ 分别为第 i 台发电机的机械功率和转速的变化量; s 为拉氏算子。

假设 1: 忽略动态过程中各台发电机频率差异, 即在任意时刻, 式(2)近似成立:

$$\Delta \omega_i = \Delta f \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

式中: f 为系统的平均频率, 其标么值与转速偏差相同。这一假设是基于 f 为系统频率的平均值, 可以忽略各台发电机频率的微小差异, 在 SFR 经典模型中也是如此假设。将系统中的 n 个原动机-调速器模型求和, 可以得到:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta f} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_{mi}}{\Delta \omega_i} = \sum_{i=1}^n G_{\text{turb},i}(s) G_{\text{gov},i}(s) \quad (3)$$

式中: ΔP_m 为等值发电机总机械功率的变化值。

假设 2: 由于原动机结构、特性差异不大, 故假设各个原动机模型结构相同, 记为 $G_{\text{turb}}(s)$, 仍然采用 SFR 经典模型中原动机部分相同的模型, 即:

$$G_{\text{turb},i}(s) = G_{\text{turb}}(s) = \frac{K_m(1 + F_H T_R s)}{1 + T_R s} \quad (4)$$

这一假设对于大多数电力系统是适用的, 在 SFR 经典模型中也是如此假设。由式(2)和式(3)可得:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta f} = G_{\text{turb}}(s) \sum_{i=1}^n G_{\text{gov},i}(s) \quad (5)$$

假设 3: 实际电力系统中的各种调速器结构和

特性可能不同, 根据其传递函数之和难以进一步等值。为此, 文中采用标准传递函数 $G_{\text{gov}}(s)$ 来描述等值调速器的动态过程, 一般形式为:

$$G_{\text{gov}}(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + 1} \quad n \geq m \quad (6)$$

式中: a_i, b_j 分别为分母和分子多项式系数。这一假设是合理的, 因为各个调速器传递函数之和是一个高阶的传递函数, 在研究所关注的频段内可以简化为低阶的传递函数。由式(5)和式(6)可得等值原动机-调速系统的模型为:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta f} = G_{\text{turb}}(s) G_{\text{gov}}(s) \quad (7)$$

经过一系列测试, 等值调速器动态模型 $G_{\text{gov}}(s)$ 通常可以采用一阶惯性环节:

$$G_{\text{gov}}(s) = \frac{b_0}{a_0 s + 1} \quad (8)$$

由式(7)可知, K_m 与 b_0 是相乘关系, 只要乘积一样模型就一样, 将乘积记为 K_R 。另外, a_0 相当于调速器的惯性时间常数, 将其记为 T_C , 则有:

$$G_{\text{gov}}(s) = \frac{K_R}{T_C s + 1} \quad (9)$$

综上所述, 文中 SFR 改进模型如图 2 所示。除了调速器等值模型, 其余参数含义与图 1 相同。实际上, SFR 改进模型就是以 SFR 经典模型为基础, 将原来调速器等值模型由静态模型改为动态模型, 即式(6)。

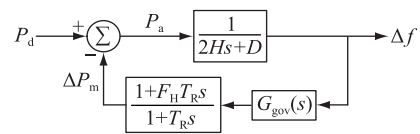


图 2 SFR 改进模型

Fig.2 The improved model of SFR

据此可以推导得到总的传递函数模型为:

$$G(s) = \frac{\Delta f}{P_d} = \frac{[T_R a_0 s^2 + (T_R + a_0) s + 1]}{[2HT_R a_0 s^3 + (2HT_R + 2Ha_0 + DT_R a_0) s^2 + (2H + DT_R + Da_0 + K_R F_H T_R) s + (D + K_R)]} \quad (10)$$

2 SFR 改进模型的参数估计

在 SFR 改进模型中, 一共有 6 个参数, 即 H, D, F_H, T_R, K_R 和 T_C 。对于 H, F_H 和 T_R 这 3 个参数, 可以根据各台同步发电机组的对应参数, 通过加权求和获得, 即:

$$\begin{cases} H = \sum_{i=1}^n \rho_i H_i \\ F_H = \sum_{i=1}^n \rho_i F_{Hi} \\ T_R = \sum_{i=1}^n \rho_i T_{Ri} \end{cases} \quad (11)$$

式中: ρ_i 为第*i*台发电机的权系数,即这台发电机容量 S_{Bi} 在总容量中所占比例:

$$\rho_i = S_{Bi} / \sum_{i=1}^n S_{Bi} \quad (12)$$

对于等值阻尼系数 D ,由于其包含了发电机阻尼和负荷频率特性系数,难以直接计算。文中提出利用可测量的功率扰动和频率偏差的最终稳态值来获取,最终稳态在时域中意味着时间趋于无穷大,在频域中意味着 s 趋于0,代入式(10)可得:

$$\frac{P_{d\infty}}{\Delta f_{\infty}} = \frac{1}{G(0)} = D + K_R \quad (13)$$

这是一个参数约束条件,在辨识获得 K_R 后,据此可得 D :

$$D = \frac{P_{d\infty}}{\Delta f_{\infty}} - K_R \quad (14)$$

实际上,将 $s=0$ 代入图1和图2下侧的原动机-调速器模型环节,不难得知SFR改进模型中的 K_R ,就相当于SFR经典模型中的 K_m/R ,即 K_R 描述了原动机-调速器整个环节的静态调节系数。

对于调速器标准传递函数式(9)中的参数 K_R 和 T_C ,基于实际的频率响应曲线和功率扰动曲线进行辨识,计算频率响应时考虑到式(13)的参数条件。

辨识基于遗传算法^[25],其中一是如何选取适应度函数。采用遗传算法对标准传递函数进行参数辨识时,取误差函数为模型输出 Δf_{output} 与实际输出 Δf_{act} 之间误差平方和的算术平方根:

$$E(\theta) = \sqrt{\sum_{k=1}^N (\Delta f_{\text{output},k}(\theta) - \Delta f_{\text{act},k})^2} \quad (15)$$

由于遗传算法是求解最大化问题,故取适应度为误差函数的倒数,优化问题成为如下形式:

$$\max_{\theta=\theta^*} F_{\text{fitness}}(\theta) = 1/E(\theta) \quad (16)$$

式中: $\theta = [K_R, T_C]^T$ 。

二是如何选取参数的搜索范围。合理的搜索范围,不仅可以确保参数辨识结果具备实际意义,而且可以提高辨识效率及准确性^[26]。对于等值调速器的一阶惯性环节,参数 T_C 就相当于调速器的惯性时间常数,文献[27]的取值并适当扩大,建议搜索范围为0.1~2.0 s。 K_R 相当于原动机-调速器整个环节的静态调节系数,建议搜索范围为1~20。

三是如何选取初值或者说第一代个体的基因分布。通常而言,采用在搜索空间中均匀分布随机确定。

3 SFR改进模型的算例验证

算例系统为CEPRI 36节点系统,接线如图3所示。分别设置有功功率阶跃扰动的幅值为300 MW,200 MW,100 MW,模拟大中小3种不同程度的有功功率扰动,计算获得3种扰动下的频率响应曲线作为实际值。

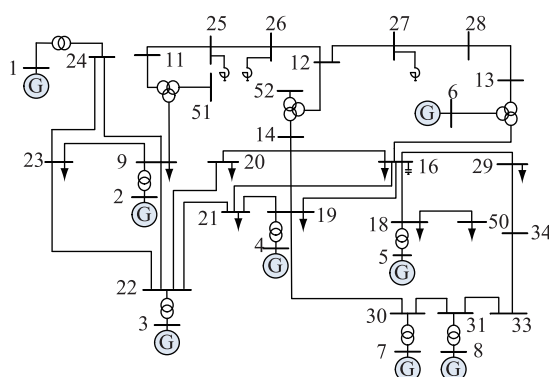


图3 CEPRI36节点算例系统

Fig.3 CEPRI-36 power system

首先,根据中等扰动200 MW下的频率响应实际值,按照第2节中的参数估计方法,获得SFR改进模型参数。采用遗传算法进行辨识所需的计算时间取决于遗传算法代数和处理器,比如当遗传算法代数为50、处理器为i5时计算时间为14.6 s,计算结果列于表1。由表1可知SFR改进模型的参数在合理范围。

表1 SFR改进模型参数

Table 1 Parameters of the improved SFR model

参数	数值	参数	数值
H/s	16.655 7	T_R/s	10.800 0
F_H	0.291 0	T_C	1.400 0
K_R	13.353 8	D	1.656 2

然后,采用中等扰动下表1的参数辨识结果,分别计算大中小3种扰动下的系统频率响应曲线,以检验SFR改进模型的适应性,如图4—图6所示。由图可知:(1) SFR改进模型频率响应曲线与实际频率响应曲线,在频率跌落阶段具有较高的拟合度,分析可知频率跌落速度主要取决于发电机的惯性时间常数,结果证明了采用加权求和法所得等值发电机惯性时间常数的有效性;(2) 2条曲线的频率最低值非常接近,从而证明了等值调速器动态参数辨识结果的有效性;(3) 2条曲线的频率回冲值

有较为明显的差异,差异随扰动功率的增大而减少。但频率从最低点至基本稳态的恢复过程时间,还是相当一致的;(4) 2条曲线的稳态频率相当接近,分析可知稳态频率取于发电机及负荷的静态频率调节系数,结果证明了发电机及负荷的静态频率调节系数的正确性。

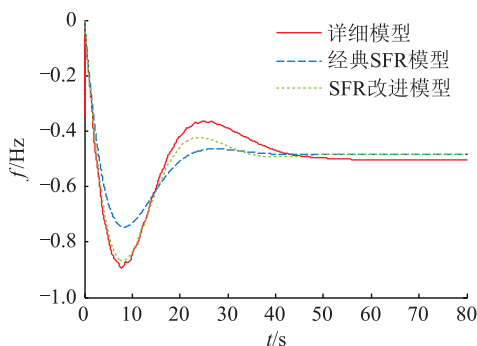


图4 扰动1 频率波动曲线

Fig.4 The frequency fluctuation curve under disturbance 1

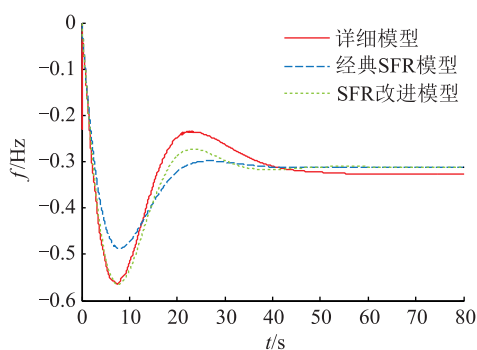


图5 扰动2 频率波动曲线

Fig.5 The frequency fluctuation curve under disturbance2

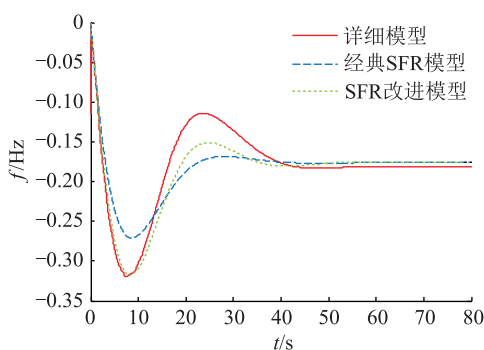


图6 扰动3 频率波动曲线

Fig.6 The frequency fluctuation curve under disturbance 3

总体而言,SFR改进模型频率响应曲线与实际频率响应曲线的总体变化趋势一致,SFR改进模型的频率最低值、初期下降速度、最终稳态值这几个最重要的频率响应指标,与实际曲线都非常接近,与SFR经典模型相比,其精度有了大幅度的提高。

4 结语

文中针对SFR经典模型中调速器采用静态模型的不足之处,构建了计及调速器动态特性的SFR改进模型。并且通过改进SFR模型的结构进一步提出了改进模型参数的估计方法,部分参数采用等值计算方法获得,部分参数利用最终稳态数据获得,部分参数采用参数辨识获得。最后通过仿真算例进行了验证。结果表明,SFR改进模型设置的参数合理,不仅其频率响应能够有效表征系统频率的主要指标,而且其精度较SFR经典模型得到显著提升。

参考文献:

- [1] 张恒旭,李常刚,刘玉田,等. 电力系统动态频率分析与应用研究综述[J]. 电工技术学报,2010,25(11):169-176.
ZHANG Hengxu, LI Changgang, LIU Yutian, et al. Reviews on power system dynamic frequency analysis and its application [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25 (11):169-176.
- [2] 曾嘉俊,黄健洪,郝旭东. 基于状态反馈线性化的电力系统动态频率控制[J]. 智慧电力,2017,45(9):40-44.
ZENG Jiajun, HUANG Jianhong, HAO Xudong. Dynamic frequency control of power systems based on statefeedback linearization [J]. Smart Power, 2017, 45(9):40-44.
- [3] 吴云亮,肖峥,闫秉科,等. 微电网协调频率和电压控制策略研究[J]. 陕西电力,2017,45(2):15-20.
WU Yunliang, XIAO Zheng, YAN Bingke, et al. Coordinated frequency and voltage control strategy for microgrid [J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(2):15-20.
- [4] 任佳. 区域电网安全稳定控制系统策略制定探讨[J]. 电工技术,2016(10):13-15.
RENG Jia. Discussion on strategy formulation of regional power grid security and stability control system [J]. Electric Engineering, 2016(10):13-15.
- [5] 李卫东,晋萃萃,温可瑞,等. 大功率缺失下主动频率响应控制初探[J]. 电力系统自动化,2018,42(8):22-30.
LI Weidong, JIN Cuicui, WEN Kerui, et al. Active frequency response control under high-power loss [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(8):22-20.
- [6] 董希建,罗剑波,李雪明,等. 交直流混联受端电网频率紧急协调控制技术及应用[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(18):59-66.
DONG Xijian, LUO Jianbo, LI Xueming, et al. Research and application of frequency emergency coordination and control technology in hybrid AC/DC power grids [J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(18):59-66.
- [7] 邓晖,楼伯良,华文,等. 基于直流闭锁事故的华东电网频率特性及控制措施[J]. 广东电力,2018,31(2):76-81.
DENG Hui, LOU Boliang, HUA Wen, et al. Frequency characteristic of east china power grid based on DC block accidents

- and control measures[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(2):76-81.
- [8] 齐旭,曾德文,史大军,等. 特高压直流输电对系统安全稳定影响研究[J]. 电网技术, 2006(2):1-6.
- QI Xu, ZENG Dewen, SHI Dajun, et al. Study on impacts of UHVDC transmission on power system stability[J]. Power System Technology, 2006(2):1-6.
- [9] 鲁宗相,汤海雁,乔颖,等. 电力电子接口对电力系统频率控制的影响综述[J]. 中国电力, 2018, 51(1):51-58.
- LU Zongxiang, TANG Haiyan, QIAO Yin, et al. The impact of power electronics interfaces on power system frequency control: a review[J]. Electric Power, 2018, 51(1):51-58.
- [10] 覃琴,郭强,周勤勇,等. 国网“十三五”规划电网面临的安全稳定问题及对策[J]. 中国电力, 2015, 48(1):25-32.
- QIN Qin, GUO Qiang, ZHOU Qinyong, et al. The security and stability of power grids in 13th five-year planning and countermeasures[J]. Electric Power, 2015, 48(1):25-32.
- [11] 李国栋,皮俊波,郑力,等. ± 500 kV 林枫直流双极闭锁故障案例仿真分析[J]. 电网技术, 2014, 38(4):877-881.
- LI Guodong, PI Junbo, ZHENG Li, et al. Simulation analysis on case of bipolar blocking in ± 500 kV EHVDC power transmission line from Tuanlin to Fengjing[J]. Power System Technology, 2014, 38(4):877-881.
- [12] 邓晖,楼伯良,华文,等. 特高压直流闭锁后华东电网频率稳定特性研究[J]. 智慧电力, 2017, 45(8):39-44.
- DENG Hun, LOU Boliang, HUA Wen, et al. frequency stability analysis of east china power grid due to HVDC block[J]. Smart Power, 2017, 45(8):39-44.
- [13] 付超,张丹,柳勇军,等. 含大规模直流送端电网的频率响应特性仿真分析[J]. 广东电力, 2018, 31(9):26-31.
- FU Chao, ZHANG Dan, LIU Yongjun, et al. Simulation analysis on frequency response characteristic of sending-end power grid with large-scale HVDC[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(9):26-31.
- [14] 刘世凯,赵健,宋晨光,等. 特高压直流系统单极闭锁外特性建模及仿真研究[J]. 陕西电力, 2017, 45(2):59-64.
- LIU Shikai, ZHAO Jian, SONG Chenguang, et al. External characteristic modeling of uhvdc unipolar blocking and simulation[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(2):59-64.
- [15] 华文,黄晓明,楼伯良,等. 宾金直流单极闭锁事故再现仿真分析[J]. 浙江电力, 2016, 35(2):7-10.
- HUA Wen, HUA Xiaoming, LOU Boliang, et al. reconstruction and simulation analysis of unipolar block in Yibin-Jinhua UHVDC power transmission project[J]. Zhejiang Power, 2016, 35(2):7-10.
- [16] 李兆伟,吴雪莲,庄侃沁,等. “9·19”锦苏直流双极闭锁事故华东电网频率特性分析及思考[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(7):149-155.
- LI Zhaowei, WU Xuelian, ZHUANG Kanqin, et al. Analysis and reflection on frequency characteristics of east china grid after bipolar locking of “9·19” Jinping-Sunan DC transmission line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(7):149-155.
- [17] 高强. ± 800 kV 宾金直流双极闭锁故障对浙江电网的影响[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(11):47-51.
- GAO Qiang. Impact of ± 800 kV Yibin-Jinhua DC bipolar block fault on Zhejiang power grid[J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering, 2014, 30(11):47-51.
- [18] 于昌海,吴继平,杨海晶,等. 规模化储能系统参与电网调频的控制策略研究[J]. 电力工程技术, 2019, 38(4):68-73.
- YU Changhai, WU Jiping, YANG Haijing, et al. Frequency regulation strategy for power grid incorporating large-scale energy storage[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(4):68-73.
- [19] 李虎成,袁宇波,卞正达,等. 面向特高压交直流大受端电网的频率紧急控制特性分析[J]. 电力工程技术, 2017, 36(2):33-37.
- LI Hucheng, YUAN Yubo, BIAN Zhengda, et al. The frequency emergency control characteristic analysis for UHV AC/DC large receiving end power grid[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2017, 36(2):33-37.
- [20] 薄其滨,王晓茹,刘克天. 基于v-SVR的电力系统扰动后最低频率预测[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(7):83-88.
- BO Qibin, WANG Xiaoru, LIU Ketian. Minimum frequency prediction based on v-SVR for post-disturbance power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(7):83-88.
- [21] 胡益,王晓茹,艾鹏,等. 基于广域量测的交直流混联系统发生扰动后稳态频率预测算法[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(11):35-42.
- HU Yi, WANG Xiaoru, AI Peng, et al. Prediction algorithm of steady-state frequency after disturbance for hybrid AC/DC power system based on wide area measurement[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(11):35-42.
- [22] 艾鹏,滕予非,王晓茹,等. 计及紧急直流功率支援的扰动后稳态频率预测算法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(13):92-99.
- AI Peng, TENG Yufei, WANG Xiaoru, et al. Prediction algorithm of steady frequency after disturbances considering emergency DC power support[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(13):92-99.
- [23] CHAN M L, DUNLOP R D, SCHWEPPE F. Dynamic equivalents for average system frequency behavior following major disturbances[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems, 1972, 91(4):1637-1642.
- [24] ANDERSON P M, MIRHEYDAR M. A low-order system frequency response model[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1990, 5(3):720-729.
- [25] 鞠平. 现代电力系统控制与辨识[M]. 北京:清华大学出版社, 2015.
- JU Ping. Modern power system control and identification[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2015.
- [26] 王晓伟,蒋平,高磊,等. 江苏电网电力系统稳定器参数辨

识研究[J]. 江苏电机工程,2007,26(2):13-15.

WANG Xiaowei,JIANG Ping,GAO Lei,et al. Parameter identification of power system stabilizer in Jiangsu power grid[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2007,26(2):13-15.

[27] 倪以信,陈寿孙,张宝霖. 动态电力系统的理论和分析[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

NI Yixin,CHEN Shousun,ZHANG Baolin. Theory and analysis of dynamic power system [M]. Beijing: Tsinghua University Press,2002.

作者简介:



李东辉

李东辉(1961),男,学士,高级工程师,从事电力工程和综合能源的规划设计工作(E-mail:lidonghui2@sgepri.sgcc.com.cn);

臧晓明(1994),男,硕士在读,研究方向为电力系统频率分析;

鞠平(1962),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为新能源电力系统建模分析与控制。

The improved model and parameter estimation for frequency response of power system

LI Donghui¹, ZANG Xiaoming², JU Ping², CHEN Qian²

(1. Electrical Design Co.,Ltd. NARI Group Corporation,Nanjing 211106,China;

2. College of Energy and Electrical Engineering,Hohai University,Nanjing 210098,China)

Abstract: In recent years, many factors lead to the frequency fluctuation accident of power system occurring often. The simulation results of multiple faults show that the estimation error of frequency modulation capability of power system is large at present, so it is necessary to use the power system frequency response (SFR) model to calculate dynamic frequency response. The shortcomings of the classical SFR model are analyzed, and the structure of the SFR model is improved accordingly, in which the dynamic characteristics of the polymer governor are taken into account. Then a parameter tuning method for the improved SFR model is proposed. In this method some parameters are obtained by direct calculation, the parameter equation for keeping steady-state compliance is added, and the other parameters are identified. The structure and parameters of the model are calculated in the simulation example, which verifies the validity of the improved SFR model and parameter tuning. The results indicate that the improved SFR model represent the major characteristics of SFR very well, and its accuracy is much higher than the classical SFR model.

Keywords: frequency; system frequency response; model; parameter estimation

(编辑 方晶)