

频域补偿特性等价的发电机励磁模型转换方法

侯玉强^{1,2}, 李建华³, 王 玉¹, 刘福锁^{1,2}, 崔晓丹^{1,2}, 翟海保³

(1. 南瑞集团公司(国网电力科学研究院), 江苏省南京市 211106;

2. 智能电网保护和运行控制国家重点实验室, 江苏省南京市 211106; 3. 国家电网公司华东分部, 上海市 200120)

摘要:国内外常用的电力系统仿真软件对发电机励磁模型定义存在差异。为解决不同仿真工具间的励磁模型不匹配问题,提出一种频域补偿特性等价的励磁模型转换方法,首先求取在基准频率下基于 BPA/PSASP 定义的中国化励磁模型各个环节的幅频补偿特性,计算励磁模型比例-积分-微分校正模块总体幅频补偿特性并据此反推与之匹配的 IEEE 标准励磁模型的参数。该方法可在避免大量自定义建模工作和初值平衡计算的前提下获取原有励磁系统的动态特性,实现绝大多数中国化励磁模型的转换。实际电网的时域仿真结果验证了所提方法的有效性。

关键词:励磁模型; 仿真建模; 基准频率; 幅频特性; 相频特性

0 引言

中国已经进入特高压交直流快速发展期,随着特高压交直流工程相继投运,电力电子设备大量接入,电网稳定形态及运行特性发生重大变化^[1],需要开展交直流电网电磁暂态仿真建模,准确反映系统运行特性^[2-4]。基于实际电网机电暂态模型参数建立电磁暂态模型时,因不同仿真工具中元件模型定义存在差异,需要解决模型转换问题。以发电机励磁模型为例,DIgSILENT, PSCAD/EMTDC 和 EMTP 等电磁暂态仿真软件均采用 IEEE Std 421.5 定义的标准模型(简称 IEEE 标准模型)^[5];而 PSD-BPA, PSASP 和 FASTEST 等机电暂态仿真软件均采用中国电机工程学会在 IEEE 标准基础上结合中国电网励磁系统实际情况提出的改进模型(简称中国化模型)^[6-7]。

将中国化模型转换为 IEEE 标准模型,有如下两种方法:方法 1,在 IEEE 标准模型库中选择与中国化模型最接近的类型,对其中无法匹配的模块,采用典型参数值;方法 2,利用电磁暂态仿真软件的自定义建模功能,搭建与中国化模型完全相同的传递函数框图^[8],并求解初值平衡方程,反推传递函数中各状态量初值^[9]。

方法 1 处理简单,但参数选取强烈依赖专家经

验,可能造成发电机励磁系统调节特性和机组无功功率动态响应与实际情况出现较大偏差,并对系统暂态稳定特性产生显著影响^[10-12]。方法 2 可精确模拟原有励磁系统调节特性,但这种方法需要熟悉软件的自定义模型功能,并掌握不同励磁模型内部模块的控制逻辑;同时,针对不同的励磁系统类型,需搭建相应的自定义模型,工作量大,难度高;而且针对某一类软件的自定义模型无法应用到其他软件,移植性较差。如文献[13-14]分别在 PSCAD 和 DIgSILENT 建立的自定义模型截然不同,无法相互移植共用。

本文比较了中国化模型与 IEEE 标准模型差异,提出一种以转换前后励磁模型在基准频率下的频域补偿特性等价为原则的模型转换方法,并在 PSCAD/EMTDC 中实现。该方法可以充分利用 IEEE Std 421.5 提供的标准励磁模型库,不需要自定义建模和初值平衡计算,在保证励磁模型准确性的基础上有效地提高了交直流复杂电网电磁暂态建模的效率。

1 两类励磁模型的异同

按照励磁电源的不同,IEEE 标准模型分为直流励磁系统、交流励磁系统和静态励磁系统^[15]。针对 IEEE 标准在 1968 年和 1981 年提出的标准励磁模型,中国电机工程学会励磁工作组分别提出了与之相对应的励磁模型(编号为 EA, EB, ..., EK, FA, FB, ..., FL),文献[16-18]给出了上述模型的对比关系。

收稿日期: 2016-05-19; 修回日期: 2016-09-19。

上网日期: 2016-11-17。

国家电网公司科技项目“特高压直流连续换相失败、再启动工况下安全稳定控制技术研究”。

为了真实反映实际发电机励磁系统的控制特性,满足大电网仿真分析计算的需要,中国电机工程学会励磁工作组在吸取 IEEE 标准模型精华基础上,于 1994 年提出了新型串联比例-积分-微分(PID)校正励磁模型(编号为 FM, FN, ..., FV),于 2008 年又提出了与之对应的并联 PID 校正模型^[19]。这类模型采用高阶的传递函数,配合可变的类型选择变量(以比例-积分因子 K_v 表示),使同一个模型通过参数的灵活设置可以模拟更多的励磁系统,与其对应的 IEEE 标准模型见表 1。

以中国化模型中不可控整流交流励磁机励磁系统(FM)为例,传递函数如图 1 所示,其 PID 校正环

节(图中红框部分)有串联和并联两种形式;与之对应的 IEEE 标准模型为 AC2A,传递函数如图 2 所示。图中相关变量定义可参考文献[5-6]。

表 1 中国化模型与 IEEE 标准模型对应关系
Table 1 Corresponding relation between Chinese models and IEEE standard models

中国化模型	IEEE 标准模型
FM, FQ	AC2A
FO, FS	AC2A 或 AC6A
FU	AC4A
FV	ST1A

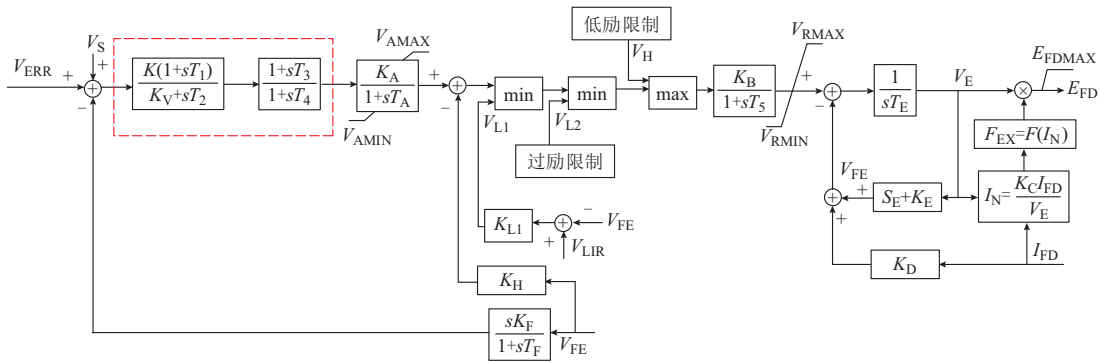


图 1 不可控整流交流励磁机励磁模型框图
Fig.1 Excitation model diagram of alternator exciter employing uncontrolled rectifier

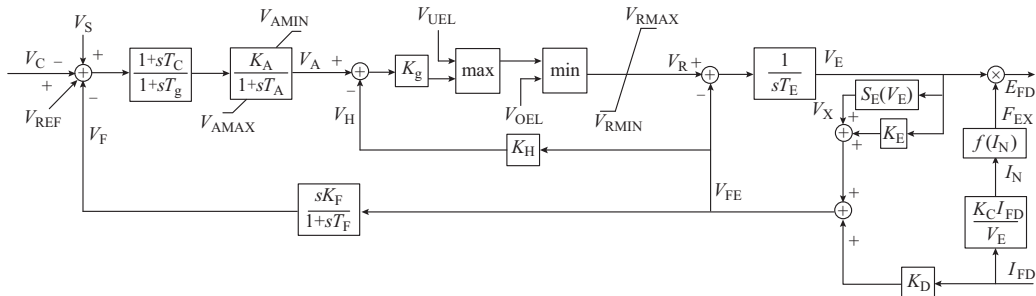


图 2 AC2A 励磁模型框图
Fig.2 Excitation model diagram of AC2A

忽略过励限制和低励限制模块,两类励磁模型的差异主要体现在电压调节器的 PID 校正环节,具体表现在如下两个方面。

1) 中国化模型的电压调节器 PID 校正控制含有 1~2 个超前滞后环节,其传递函数 $G_{CH}(s) = (1 + sT_{1,CH})(1 + sT_{3,CH}) / [(K_v + sT_{2,CH})(1 + sT_{4,CH})]$ (下标 CH 表示中国化模型),而 IEEE 标准模型仅有一个超前滞后环节,其传递函数 $G_{IE}(s) = (1 + sT_{C,IE}) / (1 + sT_{B,IE})$ (下标 IE 表示 IEEE 标准模型),无法通过简单的参数匹配实现模型转换。

2) 对 FM, FN, ..., FV 模型, PID 校正控制既可

采用串联形式,又可采用并联形式;同时,通过设置 K_v 可实现比例-积分与超前滞后的灵活切换;而 IEEE 标准模型一般为串联 PID 形式,且无 K_v 参数切换功能。

2 励磁模型转换原理

发电机励磁系统的调节特性与其传递函数的频域补偿特性密切相关^[20]。本文采取如下步骤实现中国化模型向 IEEE 标准模型转换。

步骤 1: 若中国化模型 PID 校正为并联形式,先将其转为串联 PID^[21], 否则执行步骤 2。

步骤 2: 仿真分析待转换机组参与的主导振荡

模式,确定补偿频率带,并以频率带上下限值计算基准频率。

步骤 3:求取串联校正环节在基准频率下的总体频域补偿特性。

步骤 4:以中国化模型的频域补偿特性作为 IEEE 标准模型的频域补偿特性,计算 IEEE 标准模型的 PID 校正环节参数。

2.1 并联 PID 的串联实现形式

对于中国电机工程学会于 2008 年提出的改进模型而言,其超前-滞后校正环节为并联形式,其典型传递函数框图如图 3 所示。

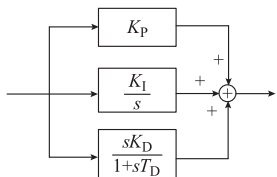


图 3 并联 PID 校正环节框图

Fig.3 Correction diagram of parallel PID

记并联 PID 的比例、积分、微分控制的参数分别为 K_P, K_I, K_D 和 T_D ,由式(1)可解得其严格对应的串联 PID 校正控制参数如式(2)所示。

$$\frac{1+sT_1}{K_V+sT_2} \frac{1+sT_3}{1+sT_4} = K_P + \frac{K_I}{s} + \frac{sK_D}{1+sT_D} \quad (1)$$

$$\begin{cases} K_V = 0 \\ T_1 = \frac{b + \sqrt{b^2 - 4a}}{2} \\ T_2 = \frac{1}{K_I} \\ T_3 = \frac{2a}{b + \sqrt{b^2 - 4a}} \\ T_4 = T_D \end{cases} \quad (2)$$

式中: $a = (K_P T_D + K_D)/K_I$; $b = T_D + K_P/K_I$ 。

2.2 串联校正的频域补偿特性

PID 校正控制的幅频特性 $A(f)$ 和相频特性 $\varphi(f)$ 是频率的非线性函数。因不同频率下幅值 A 和相位 φ 不同,为了求取相应 IEEE 标准模型参数,选择求取基准频率 f_m 下的幅频和相频特性。根据 K_V 的取值,分如下两种情况计算。

情况 1: $K_V = 1, G_{CH}(s)$ 为一个超前滞后环节,其幅频特性和相频特性如式(3)所示。

$$\begin{cases} A_{CH}(f_m) = \sqrt{\frac{1 + (2\pi f_m T_{1,CH})^2}{1 + (2\pi f_m T_{2,CH})^2}} \\ \varphi_{CH}(f_m) = \arctan \frac{(a_{CH} - 1)\omega_{m,CH}}{1 + a_{CH}\omega_{m,CH}^2} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $a_{CH} = T_{1,CH}/T_{2,CH}$; $\omega_{m,CH} = 2\pi f_m T_{2,CH}$ 。

情况 2: $K_V = 0$,超前滞后校正退化为比例-积分校正,相当于在系统中增加了一个位于原点的开环极点,同时增加了一个位于 s 左半平面的开环零点,其幅频特性和相频特性如式(4)所示。

$$\begin{cases} A_{CH}(f_m) = \frac{\sqrt{1 + (a_{CH}\omega_{m,CH})^2}}{\omega_{m,CH}} \\ \varphi_{CH}(f_m) = \arctan a_{CH}\omega_{m,CH} - \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (4)$$

励磁系统一般采用多级超前滞后校正方式,通过多个超前滞后环节串联来满足系统对稳态调节精度和动态调节性能的要求。按照“幅频相乘、相频相加”的原则,利用式(5)可获取中国化模型 PID 校正控制环节的总频域补偿特性。

$$\begin{cases} A_{PID,CH} = \prod_i A_{i,CH}(f_m) \\ \varphi_{PID,CH} = \sum_i \varphi_{i,CH}(f_m) \end{cases} \quad (5)$$

2.3 IEEE 标准模型的参数求取

对 IEEE 标准模型而言,不存在可调节的类型选择变量。为使转换后的 IEEE 标准模型在所关心的某个频带范围 $[f_1, f_2]$ 内均能保持与原中国化模型基本一致的频域补偿特性,通常要求在下限频率 f_1 和上限频率 f_2 两处的相频补偿特性相同,如式(6)所示。

$$\frac{(a_{IE} - 1)f_1 T_{B,IE}}{1 + 4\pi^2 a_{IE} f_1^2 T_{B,IE}^2} = \frac{(a_{IE} - 1)f_2 T_{B,IE}}{1 + 4\pi^2 a_{IE} f_2^2 T_{B,IE}^2} \quad (6)$$

式中: $a_{IE} = T_{C,IE}/T_{B,IE}$ 。

另外,由相频特性 $\varphi(f)$ 对频率 f 求导并令其等于 0 可得一阶超前滞后环节在给定频率 f_m 下所提供的最大补偿角 φ_{max} 如式(7)所示。

$$\varphi_{max} = \arcsin \frac{a - 1}{a + 1} \quad (7)$$

以式(5)中 PID 环节的总相频特性 $\varphi_{PID,CH}$ 作为 φ_{max} ,并代入式(7),解得:

$$a_{IE} = \frac{1 + \sin \varphi_{PID,CH}}{1 - \sin \varphi_{PID,CH}}$$

将 a_{IE} 代入式(6),解得 IEEE 标准模型的超前、滞后环节参数 $T_{C,IE}$ 和 $T_{B,IE}$ 。

$$\begin{cases} T_{C,IE} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a_{IE}}{f_1 f_2}} \\ T_{B,IE} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{a_{IE} f_1 f_2} \end{cases} \quad (8)$$

最后,结合中国化模型 PID 校正控制模块的总体幅频特性和 IEEE 标准模型超前滞后环节的幅频特性,对 IEEE 标准模型的增益 $K_{A,IE}$ 进行修正。

$$K_{A,IE} = \frac{K_{CH} K_{A,CH} A_{PID,IE}}{A_{TMP}} \quad (9)$$

$$A_{\text{TMP}} = \sqrt{\frac{1 + 4\pi^2 f_1 f_2 T_{\text{CIE}}^2}{1 + 4\pi^2 f_1 f_2 T_{\text{BIE}}^2}}$$

(10)

式中： K_{CH} 和 K_{ACH} 为调节器增益。

2.4 补偿频带及基准频率 f_m 的确定

由式(3)可见,PID 校正控制模块的幅频/相频特性不仅与具体参数有关,还与频率有关。基于频域补偿特性进行励磁模型转换时,合理确定基准频率 f_m 对保证转换结果的准确性至关重要。本文根据如下步骤确定基准频率 f_m 。

步骤 1:基于电网机电暂态方式数据,确定预想故障集。

步骤 2:退出发电机电力系统稳定器(PSS),利用机电暂态仿真工具,计算各个预想故障下的主导振荡模式。

步骤 3:利用小干扰分析,获取与各个预想故障激发的主导振荡模式下的振荡频率;并以振荡频率的最小值作为频带的下限频率 f_1 ,最大值作为频带的上限频率 f_2 。

将式(7)代入式(3)可以得知超前滞后环节提供最大补偿角时,滞后时间常数 T_2 与 a 满足如下关系式:

$$T_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{a} f_m$$

(11)

比较式(8)和式(11),可得基准频率 f_m 的表达式^[22]为:

$$f_m = \sqrt{f_1 f_2}$$

(12)

3 算例验证

本文方法已在华东电网交直流混联电网电磁暂态仿真平台中得到应用^[23]。以电网内某实际机组为例,其励磁模型为图 1 所示不可控整流交流励磁机励磁模型,参数取值如下:时间常数 $T_1 = 0.2$, $T_2 = 0.04$, $T_3 = 3.0$, $T_4 = 5.0$,增益 $K = K_A = 1.0$,比例-积分因子 $K_v = 0$ 。根据上述参数,其 PID 控制环节传递函数为 $(1 + sT_1)(1 + sT_3)/[sT_2(1 + sT_4)]$ 。

基于实际电网数据开展仿真分析,得到该机组参与的主导振荡模式的最低频率约为 0.4 Hz,最高频率约为 2.0 Hz,以此作为补偿频带并计算基准频率 f_m 约为 0.89 Hz。将基准频率 f_m 分别代入式(3)和式(4),并根据式(5)求取 IEEE 标准模型的幅频特性和相频特性,并代入式(8)解得 IEEE 标准模型参数如表 2 所示。

表中同时给出了两种工程常用转换方案的计算

结果(方案 1,超前滞后环节分子/分母参数相加,方案 2,仅保留一组滞后补偿参数,两种方案均忽略 K_v 为 0 因素)。

表 2 发电机励磁模型转换结果
Table 2 Transformation results of excitation model of generator

方案	T_C	T_B	K	K_A
方案 1	3.200	5.040	1	1.00
方案 2	0.200	0.040	1	1.00
本文方法	0.077	0.409	1	9.25

采用表 2 提供的多种转换方案数据,模拟发电机一回送出线路三相永久性故障,得到发电机无功功率响应和励磁电压响应曲线如图 4 所示。可见,基于本文方法获取的发电机 IEEE 标准模型参数,在暂态过程及稳态条件下的机组无功功率和励磁电压响应均与基于原始参数的动态响应更为吻合,能够准确反映励磁系统暂态过程中,特别是故障后首摆阶段对近区母线的电压支撑作用。

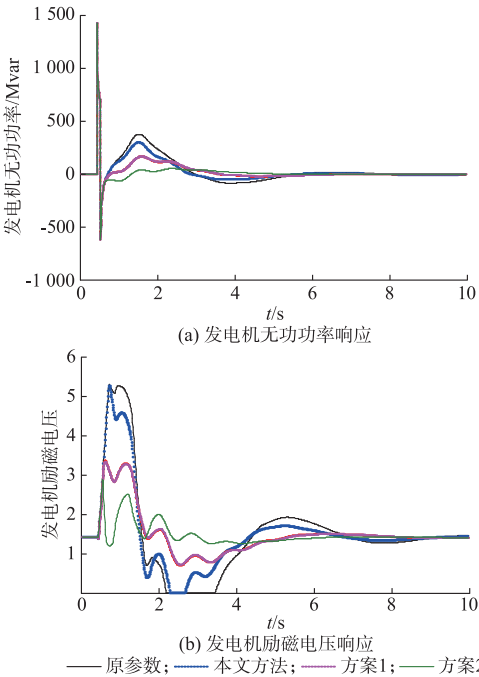


图 4 发电机无功及励磁电压响应曲线
Fig.4 Response curves of reactive power and excitation voltage of generators

以图 4 中效果略好的方案 1 为例,基于方案 1 与本文方法分别计算转换模型的励磁参数,模拟发电机端发生单相瞬时故障,得到的励磁系统调压器输出信号如图 5 所示。基于本文方法的励磁系统响应与原有励磁系统响应基本吻合,验证了本文方法的有效性和准确性。

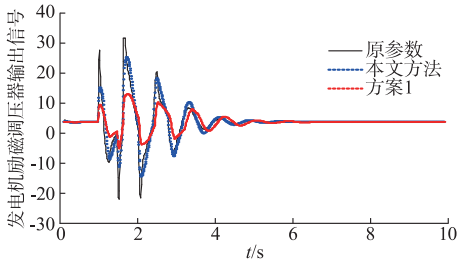


图5 发电机励磁调压器输出信号

Fig.5 Output signals of excitation regulator of generator

4 结语

近年来,国家电网公司基本完成了网内大中型发电机励磁系统参数实测,有效保障了仿真分析工作的准确性。本文提出的励磁模型转换方法,为实现快速构建大电网电磁暂态仿真平台,同时保持原有励磁系统动态响应特性提供了一种全新的思路。由于励磁系统调节特性与频率(或频带)有关,而且转换过程是由高阶模型向低阶模型转换,因此,本文所提方法本质是近似反映原有发电机励磁系统在所关心的频率(或频带)下的动态响应特性。如何更为有效地确定补偿频率以提高转换方法的广泛适应性仍是需要进一步探索的问题。

本文在完成过程中,受到国家电网公司华东分部“大规模互联电网多回直流换相失败、再启动安全稳定特性机理及控制技术研究”资助,在此表示感谢。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] 李明节.大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J]. 电网技术, 2016, 40(4): 985-991.
LI Mingjie. Characteristic analysis and operational control of large-scale hybrid UHV AC/DC power grids[J]. Power System Technology, 2016, 40(4): 985-991.
- [2] 徐丙垠.2015年国际供电会议学术动态系列报道:运行、控制与保护[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(3): 1-7. DOI: 10.7500/AEPS20151017001.
XU Bingyin. A review of operation, control and protection session of CIRE2015 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(3): 1-7. DOI: 10.7500/AEPS20151017001.
- [3] 龙霏,蔡泽祥,李晓华,等.含多馈入直流的广东电网 EMTDC 仿真建模[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(3): 53-57.
LONG Fei, CAI Zexiang, LI Xiaohua, et al. Modeling and simulation of Guangdong power grid with multi-infeed DC using EMTDC[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(3): 53-57.
- [4] 陈新琪,顾益磊,裴鹏,等.大规模交直流系统电磁暂态仿真关键技术[J]. 中国电力, 2012, 45(12): 76-80.
CHEN Xinqi, GU Yilei, QIU Peng, et al. Key techniques for electromagnetic transient simulation of large-scale AC/DC power system[J]. Electric Power, 2012, 45(12): 76-80.
- [5] IEEE Power Engineering Society. IEEE recommended practice for excitation system models for power system stability studies [S]. 2006.
- [6] 励磁系统数学模型专家组. 计算电力系统稳定用的励磁系统数学模型[J]. 中国电机工程学报, 1991, 11(5): 67-74.
CSEE Task Force Report. Excitation system models suitable for studying power-system stability[J]. Proceedings of the CSEE, 1991, 11(5): 67-74.
- [7] 刘增煌,吴中习,周泽昕.电力系统稳定计算研究用励磁系统数学模型库[J]. 电网技术, 1994, 18(5): 6-11.
LIU Zenghuang, WU Zhongxi, ZHOU Zexin. Mathematical model bank for excitation system and its application in the study of power system transient stability [J]. Power System Technology, 1994, 18(5): 6-11.
- [8] 董炜,潘秋萍,雷金勇,等.BPA与DIGSILENT动态模型的比较与数据转换[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(8): 140-146. DOI: 10.7500/AEPS20150601013.
DONG Wei, PAN Qiuping, LEI Jinyong, et al. Comparison and data conversion between dynamic models of BPA and DIGSILENT[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(8): 140-146. DOI: 10.7500/AEPS20150601013.
- [9] 周泽昕,吴中习.建立自定义模型时的初值平衡问题[J]. 电网技术, 1996, 20(1): 15-19.
ZHOU Zexin, WU Zhongxi. Initial value balance problem for creating user-defined model [J]. Power System Technology, 1996, 20(1): 15-19.
- [10] 苏为民,方思立.励磁系统典型数学模型及其参数选择[J]. 电力设备, 2004, 5(11): 27-31.
SU Weimin, FANG Sili. Typical mathematics model and its parameter option for excitation system [J]. Electrical Equipment, 2004, 5(11): 27-31.
- [11] 郝正航,陈卓,邱国跃,等.励磁机时间常数对电力系统动态稳定性的影响[J]. 电工电能新技术, 2006, 25(1): 26-29.
HAO Zhenghang, CHEN Zhuo, QIU Guoyue, et al. Influence of excitation time constant on dynamic stability of power system[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2006, 25(1): 26-29.
- [12] 朱方,汤涌,张东霞,等.发电机励磁和调速器模型参数对东北电网大扰动试验仿真计算的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(4): 69-74.
ZHU Fang, TANG Yong, ZHANG Dongxia, et al. Influence of excitation and governor model parameters on simulation of large-disturbance test in northeast China power grid[J]. Power System Technology, 2007, 31(4): 69-74.
- [13] 段立立.含宁东直流的山东电网交直流系统 PSCAD 建模与仿真[D]. 北京:华北电力大学, 2012.
- [14] 赵大伟,姜达军,朱凌志,等.基于 PowerFactory 的同步发电机

控制系统实用模型验证[J].电力系统自动化,2014,38(23):27-32.DOI:10.7500/AEPS20130624013.

ZHAO Dawei, JIANG Dajun, ZHU Lingzhi, et al. Validation on practical model of synchronous generator control system based on PowerFactory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(23): 27-32. DOI: 10.7500/AEPS20130624013.

[15] 刘取.电力系统稳定性及发电机励磁控制[M].北京:中国电力出版社,2007.

[16] 韩松,徐政,吴小辰,等.PSD-BPA 与 PSS/E 暂态稳定数学模型比较[J].南方电网技术,2010,4(3):67-71.

HAN Song, XU Zheng, WU Xiaochen, et al. Comparison of mathematical models for transient stability between PSD-BPA and PSS/E[J]. Southern Power System Technology, 2010, 4(3): 67-71.

[17] 徐昊,贺仁睦,周静姝,等.从 BPA 到 EMTDC 的动态模型转换[J].现代电力,2011,28(3):7-11.

XU Hao, HE Renmu, ZHOU Jingshu, et al. Conversion of dynamic models from BPA to EMTDC[J]. Modern Electric Power, 2011, 28(3): 7-11.

[18] 陶华,许津津,邹文聪.BPA 向 PSCAD 模型转换的研究[J].电力自动化设备,2013,33(8):152-156.

TAO Hua, XU Jinjin, ZOU Wencong. Model conversion from BPA to PSCAD[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8): 152-156.

[19] 李文锋,陶向宇,刘增煌,等.电力系统稳定性计算用励磁系统数学模型的完善[J].大电机技术,2012(4):55-58.

LI Wenfeng, TAO Xiangyu, LIU Zenghuang, et al. Modification of excitation system models for power system stability calculation[J]. Large Electric Machine and Hydraulic Turbine, 2012(4): 55-58.

[20] 邵伟,徐政.励磁系统参数整定研究[J].中国电机工程学报, 2002,22(10):13-18.

SHAO Wei, XU Zheng. Study on parameter setting of excitation systems [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(10): 13-18.

[21] 胡寿松.自动控制原理[M].4 版.北京:科学出版社,2007.

[22] 方思立,谭有信,黄文灵.电力系统稳定器参数计算及调试方法[J].中国电力,2000,33(6):29-32.

FANG Sili, TAN Youxin, HUANG Wenling. Power system stabilizer parameter calculation and method of debugging[J]. Electric Power, 2000, 33(6): 29-32.

[23] 侯玉强,李威,王玉,等.基于 PSCAD/EMTDC 的特高压交直流混联电网电磁仿真建模[R].2015.

侯玉强(1983—),男,通信作者,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统稳定与控制。E-mail: houyuqiang@sgepri.sgcc.com.cn

李建华(1978—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统稳定与控制。

王 玉(1988—),女,工程师,主要研究方向:电力系统稳定与控制。

(编辑 万志超)

Conversion Method for Generator Excitation Model Based on Equivalent Frequency Compensation Characteristics

HOU Yuqiang^{1,2}, LI Jianhua³, WANG Yu¹, LIU Fusuo^{1,2}, CUI Xiaodan^{1,2}, ZHAI Haibao³

- (1. NRAI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China;
- 2. State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Control, Nanjing 211106, China;
- 3. East China Branch of State Grid Corporation of China, Shanghai 200120, China)

Abstract: The definitions of generator excitation models at home and aboard widely used in power system simulation software have some obvious differences. In order to convert the Chinese excitation defined in BPA/PSASP models to the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) standard model, a conversion method of excitation model with invariant compensation characteristic based on frequency domain is proposed. The Chinese excitation model of frequency compensation characteristics is firstly calculated based on the BPA/PSASP definition with basic frequency, and the total amplitude-frequency compensation characteristic of proportion integration differentiation (PID) correction module of excitation model is calculated, based on which the matched parameters of IEEE excitation model are obtained. This method can retain the dynamic characteristics of the original excitation system without a lot of custom modeling work and initial value balancing calculation to realize the transformation of the vast majority of Chinese excitation models. The time domain simulation results of an actual power grid have verified the effectiveness of the proposed method.

This work is supported by State Grid Corporation of China.

Key words: excitation model; simulation and modeling; reference frequency; amplitude-frequency characteristic; phase-frequency characteristic