

异步联网后的云南电网中 PSS2B 增益改进

潘志豪¹, 王德林¹, 孙 博¹, 张俊武¹, 袁 优², 康积涛¹

(1. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031;

2. 国网浙江省电力公司绍兴供电公司, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 目前云南电网部分机组存在双输入型电力系统稳定器(PSS2B)高频段增益限制中低频段增益的问题, 提出新型的 PSS2B(New-PSS2B), 目的是增大中低频段的增益, 并减少高频段对中低频段增益的限制。在 PSASP 用户自定义模型(UDM)中搭建 New-PSS2B 自定义模型, 通过研究分析改进前后 PSS2B 模型的增益, 发现采用 New-PSS2B 有效提高了中低频段增益。基于 PSASP 仿真软件, 在单机无穷大系统中调用 New-PSS2B 模块, 通过仿真验证了 New-PSS2B 在中低频段各个频率点抑制低频振荡的效果都优于原有的 PSS2B, 说明了 New-PSS2B 具有在全频段都能提供合适阻尼的能力, 也能满足电网抑制低频振荡的要求。

关键词: 双输入型电力系统稳定器; New-PSS2B; 增益; 阻尼; 低频振荡

中图分类号: TM 76; TM 44

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2019.03.011

0 引言

随着云南电网实现异步联网后, 整个系统呈现出负荷水平较低、网架结构较为薄弱的特性^[1-3]。并且目前电网广泛采用快速励磁系统, 导致系统阻尼减弱, 在系统遭受一些小扰动的前提下都很容易发生低频振荡现象^[4-5]。该现象将会限制发电厂的有功出力, 进一步导致互联系统间的传输功率受限。电力系统稳定器(PSS)是一种附加在发电机励磁系统前的控制器, 其主要可以向系统提供正阻尼, 从而抑制低频振荡^[6]。在此背景下, 我国要求在 0.2~3 Hz 这个频率段内, PSS 都能有效抑制低频振荡。

PSS 通过提供超前相位补偿励磁系统产生的滞后相位, 从而向系统提供纯正阻尼转矩, 使得系统的合成阻尼转矩位于第一象限, 进而抑制系统的低频振荡^[7]。目前云南电网广泛采用双输入型电力系统稳定器(PSS2B), 该控制器的输入信号为加速功率, 因此能有效克服“反调”现象^[8]。PSS2B 拥有 3 级补偿环节, 且电网一般至少采用 2 级超前补偿环节, 多级超前补偿环节将带来高频段增益猛增的问题。由于现有 PSS2B 存在的高频段增益问题限制了中低频段的增益, 导致中低频段增益不足, 从而大幅限制了中低频段对振荡的抑制能力。为了能满足在中低频段抑制低频振荡的要求, 近年来, 多分支、多频段、多信号输入的 PSS 受到广泛关注。特别是多频段电力系统稳定器(PSS4B)因其能在全频段提供足够的正阻尼, 能够有效解决目前 PSS2B 在中低频段抑制振荡能力不足的问题, 而成为近年来发展较快的一种 PSS^[9-11]。但是 PSS4B 在经典参数下的补偿

相位并不具有普适性, 而且其多频段、多信号的结构特性也导致参数整定变得复杂, 特别是在现场整定中更是如此^[12]。该特性限制了其在电网中的实际运用, 因此目前电网较少使用 PSS4B 抑制低频振荡。

通过研究分析目前异步联网后云南电网的 PSS2B 数据, 发现异步联网后云南电网 PSS2B 也存在上述的增益问题。因此本文提出改进现有 PSS2B 的结构, 目的是增加中低频段的增益, 减少高频段对中低频段增益的限制。对改进后的新型的 PSS2B(New-PSS2B)进行理论分析, 并在 PSASP 软件中进行仿真验证, 通过仿真验证了 New-PSS2B 在中低频段各个频率点的抑制低频振荡的效果都优于原有 PSS2B 的抑制效果。说明 New-PSS2B 具有在全频段都能提供合适阻尼的能力, 能满足电网抑制低频振荡的要求。

1 PSS2B 结构与增益分析

1.1 PSS2B 的原理

因为目前在云南电网中大部分机组是水轮机组, 其机械功率相对容易发生变化, 而机械功率的变化将会导致普通型 PSS 出现“反调”现象。PSS2B 采用的双隔直环节、陷波器环节和利用合成加速功率信号作为输入信号等方法都是可以有效避免“反调”现象的。因此目前云南电网普遍采用的是 PSS2B 抑制低频振荡, 其传递函数框图如图 1 所示。图中, K_w 为转速偏差放大倍数; T_w 为转速测量时间常数; T_5 、 T_6 、 T_7 为转速隔直环节时间常数; K_p 为功率偏差放大倍数; K_s 为功率偏差补偿系数; T_{pw} 为功率测量时间常数; T_{w1} 、 T_{w2} 为功率隔直环节时间常数; T_9 、 T_{10} 、 T_{12} 为陷波器环节时间常数; K_p 为 PSS 比例放大倍数; T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_{13} 、 T_{14} 为功率隔直环节时间常数。

收稿日期: 2018-04-02; 修回日期: 2018-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51477143)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51477143)

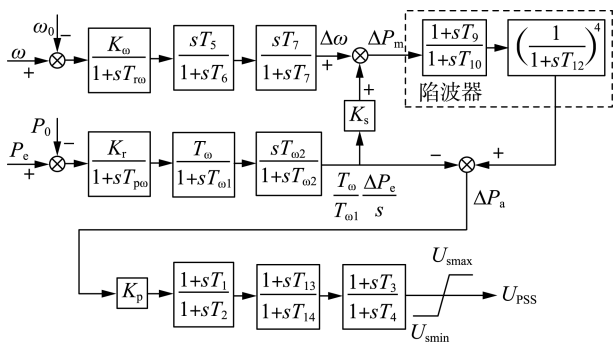


图 1 云南电网中的 PSS2B 模型

Fig.1 Model of PSS2B in Yunnan Power Grid

图 1 中的转速信号 ω 和功率信号 P_e 分别通过各自通道的隔直环节后得到转速偏差 $\Delta\omega$ 和功率偏差 ΔP_e 。根据发电机的转子运动方程,2 个信号合成机械偏差 ΔP_m 的原理如下:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{T_j} (\Delta P_m - \Delta P_e - D\Delta\omega) \\ \frac{d\Delta\delta}{dt} = \Delta\omega \end{cases} \quad (1)$$

其中, T_j 为惯性时间常数; D 为发电机阻尼系数; $\Delta\delta$ 为转子(位置)角偏差。一般发电机阻尼 D 为 0 或是很小的值,因此阻尼 D 可以忽略不计,将式(1)进行拉普拉斯变换后并整理可得:

$$\Delta\omega(s) = (\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s)) \frac{1}{T_j s} \quad (2)$$

根据图 1 和式(2),消去不可测量的 ΔP_m ,可得:

$$\Delta\omega(s) = \left(\frac{\Delta P_m(s)}{s} - \frac{\Delta P_e(s)}{s} \right) \frac{1}{T_j} = \left(\Delta\omega(s) + \frac{\Delta P_e(s)}{T_j s} \right) G_g(s) - \frac{\Delta P_e(s)}{T_j s} \quad (3)$$

其中, $G_g(s)$ 为陷波器环节的传递函数。

由式(2)和(3)可知,通过 PSS2B 的 2 个前向通道合成机械功率 ΔP_m 和电磁功率 ΔP_e ,而且两者相减可得发电机的加速功率 ΔP_a 。当机组单方向减或增负荷时,加速功率为 0, PSS 不起作用,即不发生无功反调。

1.2 PSS2B 中低频段增益问题

PSS 抑制低频振荡最主要是通过补偿励磁系统产生的滞后相位,从而能产生正阻尼。目前云南电网广泛采用 PSS2B,其有 3 级补偿环节,且电网一般至少采用 2 级超前补偿环节。虽然多级超前补偿环节可以使得 PSS 的补偿范围很大,并且能满足 0.1~3 Hz 频率段的相位,但是多级超前补偿环节将带来高频段增益陡增的问题。由于 PSS2B 的临界增益由高频段增益决定,如果高频段增益过大将会导致临界增益过小,进而导致低频段增益过小。因此现有 PSS2B 的高频段增益问题限制了中低频段的增

益,导致中低频段增益不足,从而大幅限制了中低频段对振荡的抑制能力。通过分析异步联网后云南电网的 PSS2B 数据,发现云南电网中部分机组也存在此问题。本文选取几台较具有代表性的机组(水电站 A、水电站 B、水电站 C 和水电站 D)进行研究分析。

各水电站中 4 台机组的 PSS2B 参数见附录中表 A1。根据附录中表 A1 所示 4 台机组的 PSS2B 数据绘制整个 PSS2B 传递框图的增益图,如图 2 所示。由图 2 可知,4 台机组存在高频段增益猛增的问题,这限制了中低频段的增益,导致中低频段增益不足,从而大幅限制了在中低频段对振荡的抑制能力。表 2 为 4 台机组最大和最小增益值的对比。由表 2 可知,4 台机组中水电站 A 机组 PSS 增益的最大值与最小值的比值最小,但是也达到了约 2.4。而水电站 B 机组 PSS 增益的最大值与最小值的比值高达约 3.7。

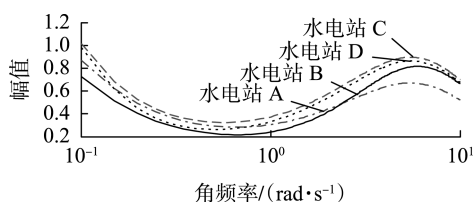


图 2 4 台机组的 PSS2B 增益图

Fig.2 Diagram of PSS2B gain of four units

表 2 4 台机组最大、最小增益值对比

Table 2 Comparison of maximum and minimum gain value among four units

水电站	增益值		
	最小值	最大值	最大值/最小值
A	0.282	0.675	2.39
B	0.220	0.816	3.71
C	0.318	0.896	2.80
D	0.264	0.863	3.27

因为水电站 D 的机组处于整个云南电网的末端,并且是在直流输电线附近,所以本文以水电站 D 为例阐述本文研究的思路。水电站 D 中机组的 PSS2B 增益问题突出,其临界增益对应的最大值约为 0.86,但是最小值才约为 0.26,最大值和最小值之间约有 3 倍的差距。目前水电站 D 中机组的主导振荡频率约为 1.4 Hz,所以目前水电站 D 中机组的低频振荡抑制效果良好,但是由图 2 所示的增益可知,实际中水电站 D 机组的 PSS 在中低频段的增益是很难得到保证的。随着该处机组增多形成大的区域网络后,将会出现频率更低的振荡模式,此时 PSS 的低频振荡抑制效果将难以得到保证。因此改进 PSS2B 的结构是很有必要的。

2 New-PSS2B 的设计与增益分析

2.1 New-PSS2B 的结构设计

本文提出改进现有的 PSS2B 的结构,并在 PSASP 用户自定义模型(UMD)中搭建改进后的

PSS2B^[13],目的是增加中低频段的增益,减少高频段对中低频段增益的限制,其结构如图3所示。本文的改进思路主要是通过通过在原有的PSS2B中串入1个双二次滤波环节(即图3中虚线框部分),该环节可以保持高频段增益不变,但能提高中低频段的增益。

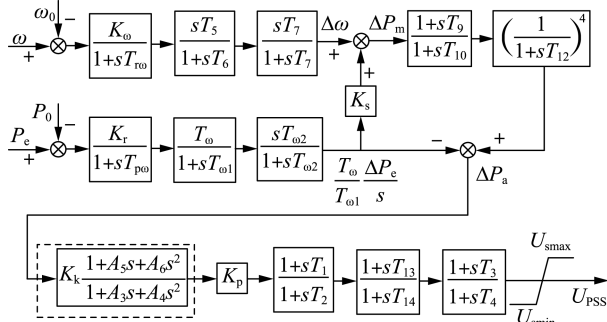


图3 New-PSS2B 的结构

Fig.3 Structure of New-PSS2B

2.2 New-PSS2B 的增益分析

本文以云南电网水电站D中机组的PSS2B为例,阐述图3中虚线框内相关参数的整定方法,并且验证New-PSS2B在中低频段的振荡抑制效果。双二次滤波环节的表达式为:

$$G(s) = K_k \frac{1+A_5s+A_6s^2}{1+A_3s+A_4s^2} \quad (4)$$

式(4)中参数的具体整定如下,设最小值处的频率为 f_n ,需要提高增益的频率范围为 $[f_n - f_1/2, f_n + f_1/2]$,则有:

$$\begin{cases} f_3 = f_n - \frac{f_1}{2} \\ f_4 = f_n + \frac{f_1}{2} \end{cases} \quad (5)$$

根据式(5),可进一步得到:

$$\begin{cases} T_{31} = \frac{1}{2\pi f_3} \\ T_{32} = \frac{1}{2\pi f_4} \end{cases} \quad (6)$$

即:

$$\begin{cases} A_4 = A_6 = T_{31}T_{32} \\ A_5 = T_{31} + T_{32} \end{cases} \quad (7)$$

为了使得加入的双二次滤波环节尽量不改变原有PSS2B的相位,一般设置 A_3 的取值范围为 $0.5A_5 \sim 0.65A_5$ 。该设置下,中低频段增益一般可以提高至原来的1.5~2倍。 K_k 的主要作用是降低高频段幅值,使高频段幅值小于1,从而使得整个PSS2B的高频段幅值下降,中低频段幅值上升,本文设置 $K_k = 0.85$ 。下面以云南电网水电站D中机组的PSS2B为例,阐述如何具体整定双二次滤波环节参数。由图

2可知,水电站D的PSS2B的 $f_n = 0.6$ Hz,需要提高的频率范围为 $[0.2, 1]$ Hz,根据式(5)~(7)可计算得到 $A_4 = A_6 = 0.126 \text{ s}^2$, $A_5 = 0.96 \text{ s}$ 。针对 A_3 为 $0.5A_5 \sim 0.65A_5$,本文用4组不同取值的 A_3 说明双二次滤波环节的影响,如表3所示。双二次滤波环节的增益和相位特性分别如图4和图5所示。

表3 双二次滤波环节参数

序号	A_3/s	A_4/s^2	A_5/s	A_6/s^2
第1组	0.48	0.126	0.96	0.126
第2组	0.53	0.126	0.96	0.126
第3组	0.58	0.126	0.96	0.126
第4组	0.63	0.126	0.96	0.126

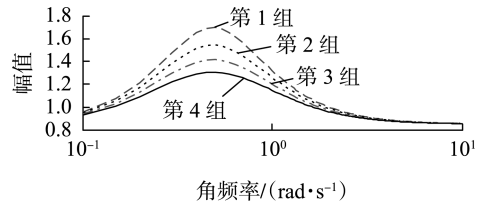


图4 4组参数增益

Fig.4 Gains of four sets of parameters

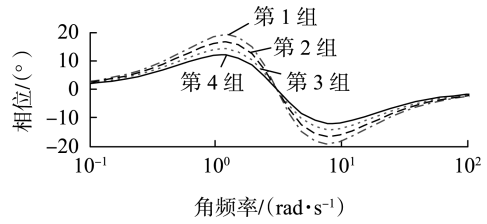


图5 4组参数相位

Fig.5 Phases of four sets of parameters

由图4可知,当 $A_5 > A_3$ 时,随着参数 A_3 的逐渐减小,双二次滤波环节的中低频段增益提高倍数是逐渐增加的;当 $A_5 = A_3$ 时,整个双二次滤波环节的增益是一个常数;当 $A_5 < A_3$ 时,双二次滤波环节是用来降低中低频段增益的。由图5可知,当 $A_5 > A_3$ 时,随着参数 A_3 的逐渐增大,双二次滤波环节给整个频率段内带来的相位是逐渐减小的。根据PSS2B补偿相位的要求可知,在抑制低频振荡时,PSS2B补偿励磁系统相位后得到的相位超前或是滞后 20° 都是可以接受的。因此综合双二次滤波环节的增益和相位特性两方面因素可知, $A_3 \in [0.5A_5, 0.65A_5]$ 时,对于提高PSS2B中低频段增益效果都是比较明显的。

PSS2B和New-PSS2B的阻尼转矩的相量图如图6所示。图中, φ 为加入双二次滤波环节后给New-PSS2B带来的超前或滞后的相位,即图5相位图所示的相位。当 $\varphi > 0$ 时,New-PSS2B产生的附加力矩为 ΔM_{p2} ;当 $\varphi < 0$ 时,New-PSS2B产生的附加力矩为 ΔM_{p1} 。在整个频率段内,New-PSS2B产生的附加力矩 ΔM_{p1} 和 ΔM_{p2} 呈现对称相等。结合图4和图5的分析,当 $A_3 \in [0.5A_5, 0.65A_5]$ 时,New-PSS2B给

系统带来的阻尼转矩为:

$$\Delta M_{P-New} \in [1.5\Delta M_P \cos \varphi, 2\Delta M_P \cos \varphi] \quad \varphi \in [9^\circ, 18^\circ] \quad (8)$$

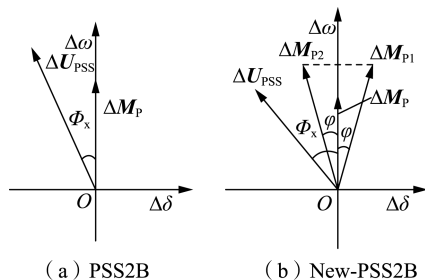


图 6 PSS2B 和 New-PSS2B 的阻尼转矩相量

Fig.6 Damping torque phasors for PSS2B and New-PSS2B

将式(8)中的 $\varphi \in [9^\circ, 18^\circ]$ 代入 $\cos \varphi$ 整理后得 $\Delta M_{P-New} \in [1.43\Delta M_P, 1.98\Delta M_P]$, 因此可知当 $A_3 \in [0.5A_5, 0.65A_5]$ 时, 加入双二次滤波环节后带来的超前或是滞后相位对于 New-PSS2B 阻尼转矩的影响几乎可以忽略不计。

综合上述分析, 在云南电网水电站 D 中机组的 New-PSS2B 中, 双二次滤波环节参数为 $A_4 = A_6 = 0.126 \text{ s}^2$, $A_5 = 0.96 \text{ s}$, $A_3 = 0.58A_5 = 0.56 \text{ s}$ 。此时双二次滤波环节产生的超前滞后相位为 $\pm 14^\circ$ 左右, 其影响可以忽略不计。图 7 为双二次滤波环节增益图。图 8 为 PSS2B 和 New-PSS2B 增益对比。可见, New-PSS2B 增益在高频段有所下降, 在中低频段有所上升。

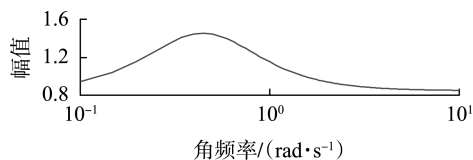


图 7 双二次滤波环节的增益

Fig.7 Gain of dual two-order filter link

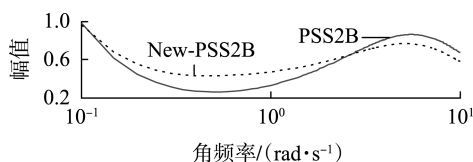


图 8 PSS2B 和 New-PSS2B 的增益对比

Fig.8 Comparison of gain between PSS2B and New-PSS2B

PSS2B 增益的最大值、最小值分别为 0.863、0.264, New-PSS2B 增益的最大值、最小值分别为 0.712、0.406。相比于原有的 PSS2B, New-PSS2B 增益的最大值下降了 17% 左右, 最小值上升了 54% 左右。说明 New-PSS2B 在处理高频段猛增问题上有一定的效果, 并且能有效提高中低频段的增益。

3 算例分析

本文采用云南电网水电站 D 的机组进行仿真分

析, 因为水电站 D 的机组处于云南电网末端, 因此在 PSASP 中搭建单机无穷大模型^[14], 并进行仿真分析, 其拓扑图如图 9 所示。水电站 D 的机组参数如附录中表 A2 和 A3 所示。

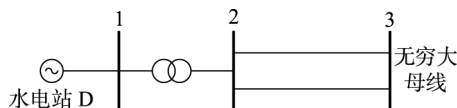


图 9 仿真模型

Fig.9 Simulation model

3.1 临界增益测试情况

合理的补偿相位下, PSS 的增益在一定范围内, 其值越大, 向系统提供的正阻尼越强。但 PSS 增益过大, 会导致电磁调节环不稳定, 从而使得机组的无功功率和励磁电压出现明显振荡, 甚至是等幅或增幅振荡。因此, PSS 实际存在一个能稳定运行的最大增益, 即临界增益。

为了给 PSS 的实际运行增益留有足够的裕度, 一般取为临界增益的 1/5~1/3。本文统一取临界增益的 1/4 作为 PSS 的实际增益 K_p 。本文采用的测试机组临界增益的方法与现场测试方法一致, 主要是通过逐步增大 PSS 直流增益 K_p 的方法确定临界增益, 观察励磁电压 E_{fd} 的波形, 直到 E_{fd} 出现较高频率的电气振荡, 此时的 K_p 为临界增益。图 10 为 New-PSS2B 的临界增益测试图, 图中励磁电压为标么值。

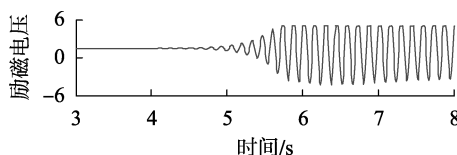


图 10 New-PSS2B 的临界增益测试

Fig.10 Test of critical gain for New-PSS2B

现有水电站 D 的 PSS2B 的实际整定直流增益临界值约为 113, 采用 1/4 的裕度后 $K_p = 28$, 其最高点增益值为 0.86, 本文采取临界增益稳定裕度相同的原则, 可以整定出改进后 PSS2B 的直流增益 $K_{p1} = 0.86 \times 28 / 0.71 = 33.91$ 。由图 10 可知, 当改进后的 PSS2B 的直流增益增加到 135 左右时, 出现了频率约为 7 Hz 的等幅振荡频率, 所以实际仿真中的直流增益 $K_p = 135 / 4 = 33.75$ 。可见理论分析和实际仿真分析结果基本一致, 所以通过整定得到 $K_p = 33.91$ 是合理的。

下面将进一步比较 New-PSS2B 与原有 PSS2B 在三相短路故障恢复能力、发电机励磁电压阶跃扰动和中低频段有功扰动的抑制效果。

3.2 三相短路故障恢复能力的仿真分析

本文设置短路故障为三相短路故障, 故障起始时刻为 1 s, 持续时间为 0.1 s。在有无 PSS 投入的情

况下,通过仿真得到水电站 D 的发电机组的有功功率曲线如图 11 所示,图中 P_e 为标么值,后同。

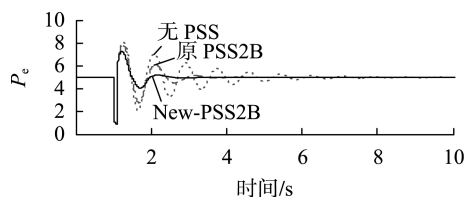


图 11 三相短路故障下的有功功率

Fig.11 Active power under three-phase short circuit fault

由图 11 可知,发生短路故障后,对有功功率振荡的抑制从快到慢依次为 New-PSS2B、原 PSS2B、无 PSS。New-PSS2B 基本能在切除故障后迅速响应,并且能快速平息有功功率的振荡,即在振荡 2.5 个周期左右后就可以平息振荡,平息振荡所需的时间约为 2.2 s。

3.3 发电机励磁电压阶跃扰动的仿真分析

本文在水电站 D 的发电机励磁电压处设置 2% 的励磁电压阶跃扰动,起始时刻为 1 s,持续时间为 0.5 s。在有无 PSS 投入的情况下,通过仿真得到水电站 D 的发电机组的有功功率曲线如图 12 所示。

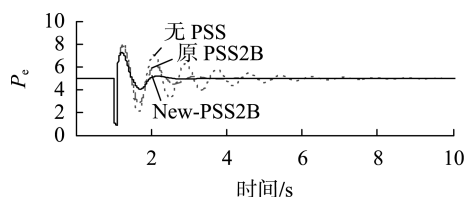


图 12 励磁电压阶跃扰动下的有功功率

Fig.12 Active power under excitation voltage step disturbance

由图 12 可知,在发生励磁电压阶跃扰动时,对有功功率振荡抑制从快到慢依次为 New-PSS2B、原 PSS2B、无 PSS。New-PSS2B 能快速平息有功功率的振荡,即在振荡 2 个周期左右后就可以平息振荡。加入 New-PSS2B 时,系统平息振荡所需的时间约为 2.7 s,加入原 PSS2B 时,系统平息振荡所需的时间约为 4 s,无 PSS 时,系统平息振荡所需的时间约为 10 s。

3.4 中低频段有功扰动抑制效果的仿真分析

为了进一步验证分析,本文改进了 PSS2B 在中低频段抑制低频振荡的效果。本文采用扰动源为定频点的有功功率扰动,验证不同频率点下 New-PSS2B 与原有 PSS2B 的抑制效果。扰动源是发电机近端强迫振荡功率为 100 MW,频率点设置分别为 0.4 Hz、0.7 Hz、1 Hz、1.3 Hz,发电机的有功功率仿真波形如附录中图 A1—A4 所示。图中,设置系统的基准容量为 100 MV·A,有功功率为标么值。可见 New-PSS2B 在不同频率点下的抑制效果都优于现有 PSS2B 的抑制效果。不同频率点下的有功扰动和不同 PSS 投退情况下的发电机有功功率振荡幅值的仿

真数据统计结果如表 4 所示。

表 4 振荡幅值对比

Table 4 Comparison of oscillation amplitude

PSS 类型	振幅变化幅度/MW			
	0.4 Hz	0.7 Hz	1 Hz	1.3 Hz
原有 PSS2B	1.95	16.2	39.6	43.5
New-PSS2B	1.51	12.1	25.7	30.6
振幅变化率/%	77.44	74.69	64.90	70.34

注:振幅变化率为 $f_{\text{New-PSS2B}}/f_{\text{PSS2B}} \times 100\%$, $f_{\text{New-PSS2B}}$ 、 f_{PSS2B} 分别为采用 New-PSS2B、原有 PSS2B 时的振幅。

由表 4 可知,在中低频各个频段下,近端发生同幅值有功功率强迫振荡扰动时,New-PSS2B 投入运行后,发电机有功功率的振荡幅值要小于原有 PSS2B 投入运行的情况。并且不同频率点下,New-PSS2B 的有功功率振荡幅值与原有 PSS2B 有功功率的振荡幅值的比值都低于 78%。各个频率段下的仿真结果验证了本文所提的 New-PSS2B 能有效改善高频段限制中低频段增益的问题,并且相较于 PSS2B,New-PSS2B 在中低频段均具有更好的抑制能力。

4 结论

本文研究了现有的 PSS2B 结构,提出了改进现有 PSS2B 结构的方法,并通过 PSASP 仿真分析,得出以下的结论:

- 分析了云南电网现有的 PSS2B 结构,研究双二次滤波环节的相频特性,提出了在双二次滤波环节串入 PSS2B,得到新型结构下的 New-PSS2B;
- 提出 New-PSS2B 参数的整定方法,并通过定量分析 New-PSS2B 阻尼转矩,发现 New-PSS2B 可以有效提高中低频段增益;
- 仿真分析验证了 New-PSS2B 的三相短路故障恢复能力优于现有的 PSS2B,而且 New-PSS2B 在中低频段均具有更好的抑制能力。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- [1] 蔡葆锐,王兴刚,司大军. 异步联网对云南电网安全稳定性的影响[J]. 云南电力技术,2015,43(1):83-86.
CAI Baorui, WANG Xinggang, SI Dajun. Impact of asynchronous networking for Yunnan Power Grid security and stability[J]. Yunnan Electric Power, 2015, 43(1): 83-86.
- [2] 张东辉,洪潮,周保荣,等. 云南电网与南方电网主网异步联网系统方案研究[J]. 南方电网技术,2014,8(6):1-6.
ZHANG Donghui, HONG Chao, ZHOU Baorong, et al. Asynchronous interconnection system scheme for Yunnan Power Grid and the main grid of China Southern Power Grid[J]. Southern Power System Technology, 2014, 8(6): 1-6.
- [3] 李勇,刘子全,奚江惠,等. 一种可用于监测调速系统对低频振荡影响的方法[J]. 电力自动化设备,2016,36(3):142-148.
LI Yong, LIU Ziquan, XI Jianghui, et al. Way to identify influence

- of governor system on low frequency oscillation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(3): 142-148.
- [4] 董久晨, 王西田, 刘明行, 等. 自并励静止励磁系统精细建模及仿真[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(5): 112-115, 126.
DONG Jiuchen, WANG Xitian, LIU Mingxing, et al. Precise model of bus-fed static excitation system and simulation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(5): 112-115, 126.
- [5] 吴跨宇, 竺士章. 发电机励磁系统调差对 PSS 参数整定的影响与对策[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(9): 67-71.
WU Kuayu, ZHU Shizhang. Effect of reactive compensation for generator excitation system on PSS parameter setting and solution[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(9): 67-71.
- [6] 毛晓明, 蔡永智, 赵勇. 基于机组实测相频特性的 PSS 参数整定[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(10): 56-60.
MAO Xiaoming, CAI Yongzhi, ZHAO Yong. PSS parameter tuning based on phase characteristics of site measurements[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(10): 56-60.
- [7] 霍承祥, 刘增煌, 朱方. 运用电力系统稳定器对励磁系统进行相位补偿的理论与实践[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(12): 2989-2997.
HUO Chengxiang, LIU Zenghuang, ZHU Fang. Theory and field practice of phase compensation on generator excitation system by utilizing power system stabilizer[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(12): 2989-2997.
- [8] 康健, 丁凯. 加速功率型电力系统稳定器输入变量的获取[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(11): 87-88.
KANG Jian, DING Kai. Discussion on input state variables of an improved rotational speed power system stabilizer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(11): 87-88.
- [9] KAMWA I, GRONDIN R, TRUDEL G. IEEE PSS2B versus PSS4B: the limits of performance of modern power system stabilizers[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2005, 20(2): 903-915.
- [10] 刘英超, 王德林, 康积涛, 等. 新型电力系统稳定器 PSS4B 参数优化整定方法[J]. 电工技术, 2017(5): 16-18.
- [11] MISHRA S, TRIPATHY M, NANDA J. Multi-machine power system stabilizer design by rule based bacteria foraging[J]. Electric Power Systems Research, 2007, 77(12): 1595-1607.
- [12] 吴跨宇, 吴龙, 卢岑岑, 等. 一种改进型 PSS4B 电力系统稳定器的工程化应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 113-119.
WU Kuayu, WU Long, LU Chenchen, et al. Research on engineering application of an improved PSS4B power system stabilizer[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(14): 113-119.
- [13] 唐亮, 高赫远, 杨潇. PSASP 用户自定义程序在励磁系统及 PSS 建模中的应用研究[J]. 河北电力技术, 2010, 29(5): 13-15.
TANG Liang, GAO Heyuan, YANG Xiao. Application research of PSASP user defined modeling in excitation system and PSS modeling[J]. Hebei Electric Power, 2010, 29(5): 13-15.
- [14] WU Z, ZHOU X. Power System Analysis Software Package (PSASP) - an integrated power system analysis tool[C]//International Conference on Power System Technology. Beijing, China: IEEE, 1998: 7-11.

作者简介:



潘志豪

潘志豪(1992—),男,广东湛江人,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制、低频振荡、PSS 优化(E-mail: xnjtdxpzh@126.com);

王德林(1970—),男,河南安阳人,副教授,博士研究生导师,博士,通信作者,研究方向为电力系统机电动态、扰动传播、频率稳定与控制、连续体建模等(E-mail: dlwang@swjtu.cn);

孙博(1991—),男,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制(E-mail: neecxiaoqingquan@126.com);

张俊武(1992—),男,重庆人,硕士研究生,主要研究方向为风电参与电力系统频率调节及其 AGC 控制(E-mail: 1003889130@qq.com);

袁优(1990—),男,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化(E-mail: 954221752@qq.com);

康积涛(1962—),男,江西遂川人,教授,博士,研究方向为电力系统稳定性控制、电力系统无功补偿、轨道交通牵引供电系统(E-mail: kangjitao@sina.com)。

Gain improvement of PSS2B in Yunnan Power Grid after asynchronous connection

PAN Zhihao¹, WANG Delin¹, SUN Bo¹, ZHANG Junwu², YUAN You², KANG Jitao¹

(1. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. State Grid Zhejiang Electric Power Company Shaoxing Power Supply Company, Shaoxing 312000, China)

Abstract: Currently, some units in Yunnan Power Grid have the problem that the high frequency gain of PSS2B (dual-input Power System Stabilizer) restricts the gain of the middle and low frequency band. A New-PSS2B (New structure of PSS2B) is proposed to increase the gain of middle and low frequency band and reduce the restriction of high frequency band on the gain of medium and low frequency band. New-PSS2B user-defined model is built in PSASP UDM (User-Defined Model). It can be found that the New-PSS2B can effectively improve the medium and low frequency gain by analyzing the gain of PSS2B and New-PSS2B model. Finally, the New-PSS2B model is implemented to single-machine infinite system on PSASP. Simulative results verify that the New-PSS2B is superior to the existing PSS2B in terms of suppressing low-frequency oscillation at each frequency point in both medium and low frequency band. These results indicate that the New-PSS2B provides sufficient damping in the whole frequency band and satisfies the requirements of low frequency oscillation suppression in power grid.

Key words: dual-input power system stabilizer; New-PSS2B; gain; damping; low-frequency oscillation

附录

表 A1 4 台机组 PSS2B 参数(单位: 秒)
Table A1 PSS2B parameters of 4 units(unit:s)

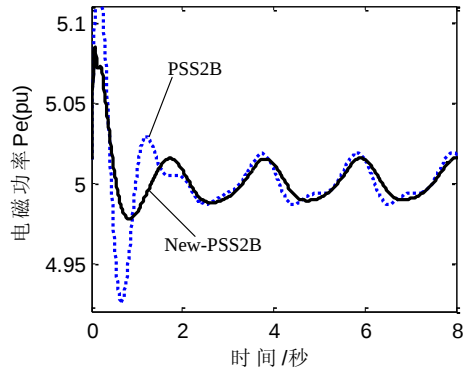
参数 机组	$T_5/T_6/T_{o2}$	T_{10}/T_{12}	T_{ro}/T_{rp}	T_9	T_{o1}	K_s/K_{o1}	K_r	K_p	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{13}	T_{14}
水电站 A	4	0.12	0.02	0.6	0.48	1	0.92	5.2	0.2	0.02	0.01	0.01	0.3	0.02
水电站 B	6	0.12	0.02	0.6	0.45	1	0.85	5	0.2	0.02	0.2	0.02	0.14	0.06
水电站 C	6	0.12	0.02	0.6	0.59	1	0.97	6	0.33	0.02	0.25	0.02	1.56	2.4
水电站 D	4	0.12	0.02	0.6	0.51	1	0.9	28	0.5	0.02	0.4	1.44	0.4	0.02

表 A2 水电站 D 发电机参数(单位: 秒)
Table A2 Generator parameters of hydropower station D (unit:s)

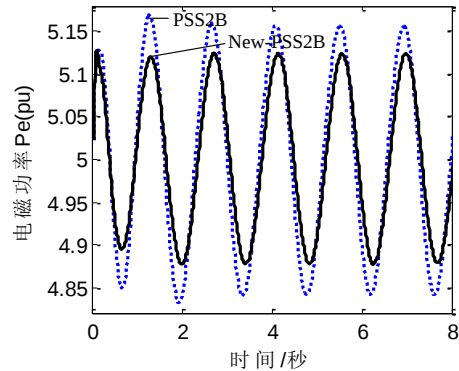
参数 机组	X_d	X_d'	X_d''	X_q	X_q'	X_q''	T_j	T_{d0}'	T_{d0}''	T_{d0}'''
水电站 D 机组	0.997	0.323	0.25	0.689	0.689	0.246	7.8	9.86	0.085	0.29

表 A3 水电站 D 励磁参数(单位: 秒)
Table A3 Excitation parameters of hydropower station D (unit:s)

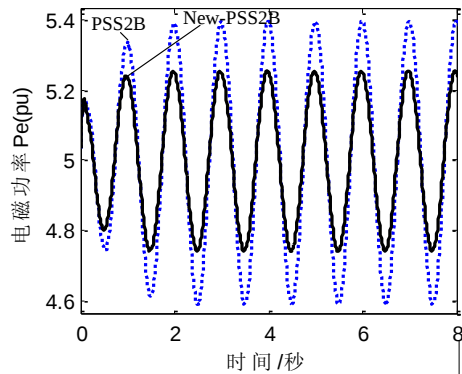
参数 机组	T_r	K	K_v	T_1	T_2	T_3	T_4	K_a	T_a	X_c
水电站 D 机组	0.02	0.776	0	5	5	1	1	45	0.01	0



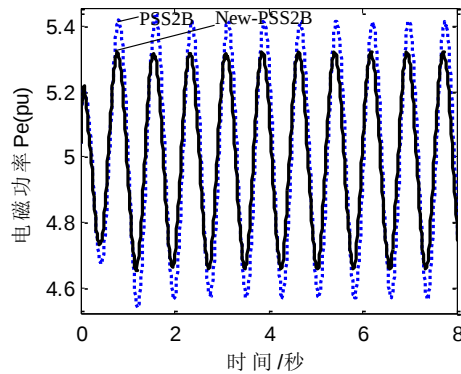
图A1 0.4Hz有功扰动
Fig.A1 0.4Hz active disturbance



图A2 0.7Hz有功扰动
Fig.A2 0.7Hz active disturbance



图A3 1Hz有功扰动
Fig.A3 1Hz active disturbance



图A4 1.3Hz有功扰动
Fig.A4 1.3Hz active disturbance