

应用信赖域法的广域阻尼 控制器参数协调优化

李红军¹, 陆超¹, 胡晓光²

(1. 清华大学 电机工程与应用电子技术系, 北京 100084;

2. 北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 传统阻尼控制器参数设计方法依赖系统线性化模型, 无法计及系统非线性因素的影响; 信赖域法具备局部的超线性收敛性和总体收敛性。提出并实现了用于广域阻尼控制器结合参数设计的新方法, 结合非线性时域仿真技术与信赖域方法, 解决了优化目标函数构造、控制参数初值获取和信赖域法子问题模型获取 3 个子问题, 实现了多运行方式下、多个广域阻尼控制器的参数协调优化。通过阻尼东北与华北、山东电网之间机电振荡的控制器参数优化验证了算法的有效性。对比单一方式下的优化参数, 多方式下的联合优化参数对各种方式均有良好的控制效果。

关键词: 机电振荡; 广域阻尼控制; 信赖域; 参数协调

中图分类号: TM 761

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)10-0024-05

0 引言

随着电力网络规模的扩大和互联, 由于系统机电振荡模式弱阻尼而引发的电力系统动态稳定问题已经成为限制互联电网传输能力的主要矛盾^[1-3]。广域阻尼控制系统(wide-area damping control system)能够引入远方的优选反馈量实施阻尼控制, 为提高系统的阻尼特性进而提高互联电网输电能力提供了一个新途径^[4-6]。

与传统阻尼控制方式的参数整定方式^[7]相类似, 目前广域阻尼控制器的参数设计多是依赖系统的线性化模型, 通过极点配置或者线性最优理论获得反馈环节的控制参数^[8-9], 然后通过时域仿真在大扰动下检验控制器参数效果。由于线性化系统无法反映系统诸如限幅等大干扰下非线性环节的作用, 因此多数情况下, 控制器的参数都需经历时域仿真的校验和调整过程。此外, 单一方式下的参数设计还需适应不同运行情况下的要求, 这就要求一种非线性的优化方法, 以应对大干扰和不同运行情况。

信赖域^[10]法思想新颖, 算法可靠, 具有很强的收敛性, 它不仅能很快地解决良态问题, 而且也能有效地求解病态的优化问题。在电力系统研究领域, 文献^[11]给出了信赖域法用于电力系统状态估计的实例, 文献^[12]将基于逐步二次规划的信赖域法应用到电力系统的无功优化, 均表现出了极强的鲁棒性。

在此, 首先介绍了信赖域法的基本原理和以牛顿法为基础的算法思路, 通过将时域仿真技术嵌入

信赖域法, 设计了以抑制联络线功率振荡为优化目标的广域阻尼控制器参数优化方法, 并在最后给出了以抑制东北电网与华北电网之间的机电振荡为目标的控制结果。

1 信赖域法基本原理^[10]

信赖域的基本思想为, 针对 $\min f(\mathbf{x})$ 问题, 对于目标函数 $f(\mathbf{x})$ 要求在 $\mathbf{x}_k$ 附近的试探步 $\mathbf{d}_k$ 在信赖域之内, 即在每一次迭代时有一个正数 Δ_k , 并要求试探步 $\mathbf{d}_k$ 满足式(1)。

$$\|\mathbf{d}_k\| \leq \Delta_k \quad (1)$$

其中, $\|\mathbf{d}_k\|$ 是 R^n 中的某一范数, 试探步 $\mathbf{d}_k$ 在某种条件下, 使得 $\mathbf{x}_k + \mathbf{d}_k$ 是在以 $\mathbf{x}_k$ 为中心的广义球(式(2))内使目标函数获得极小值。

$$\{\mathbf{x}_k + \mathbf{d}_k \mid \|\mathbf{d}_k\| \leq \Delta_k\} \quad (2)$$

因信赖域内试探步的这一性质, 在每次迭代过程中, 均要求变量增量 $\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{x}_k$ 满足 $\|\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{x}_k\| \leq \Delta_k$ 。

针对任何类型的优化问题, 均可构造信赖域法, 其基本形式如下:

步骤 1 给出初始值 $\mathbf{x}_1 \in R, \Delta_1 > 0, k=1$;

步骤 2 计算满足式(1)的试探步 $\mathbf{d}_k$;

步骤 3 如果 $\mathbf{d}_k$ 满足某种条件, 则 $\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \mathbf{d}_k$, 否则 $\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k$;

步骤 4 以某种条件给出 $\Delta_{k+1}, k=k+1$, 转至步骤 2。

牛顿法利用了模型的 Hessen 阵的特征, 具备超线性的收敛性, 但是当 Hessen 矩阵非正定时, 牛顿法会失效。以牛顿法为基础的信赖域法, 能很好地避免上述问题, 其基本形式如下: 对于目标函数 $f(\mathbf{x})$, 获得 $f(\mathbf{x})$ 在 $\mathbf{x}_k$ 点的 Taylor 级数展开的二次模型表达式 $q^{(k)}(\mathbf{s}) = f(\mathbf{x}_k) + \mathbf{g}_k^T \mathbf{s} + 0.5 \mathbf{s}^T \mathbf{G}_k \mathbf{s}$, 假定 $\mathbf{x}_k$ 一个邻域

$\Delta_k = \{x | \|x - x_k\| < h_k\}$ 内,其中 h_k 为步长上界,目标函数 $f(x_k + d_k)$ 与 $q^{(k)}(d_k)$ 一致,则可以利用二次模型 $q^{(k)}(s)$ 确定搜索方向 s_k ,并取 $x_{k+1} = x_k + d_k$ 。

此时,信赖域法的研究模型可进一步表示为

$$\begin{aligned} \min q^{(k)}(d) &= f(x_k) + g_k^T d + 0.5 d^T G_k d \\ \text{s.t. } \|d\| &< h_k \end{aligned} \quad (3)$$

式中 g_k 为广义一阶导数; G_k 为 Hessen 矩阵。

约束条件可以采用 2-范数、无穷范数,也可采用 P-范数;当 g_k 和 G_k 无法显式获得时,可以采用同时有限差分技术获取 g_k 和 G_k 。

信赖域法的关键问题之一是 h_k 的确定,先按式(4)(5)计算目标函数的预估下降量和实际下降量。

$$\Delta q^{(k)} = f(x_k) - q(d_k) \quad (4)$$

$$\Delta f^{(k)} = f(x_k) - f(x_k + d_k) \quad (5)$$

定义实际下降量与预估下降量的比值 r_k :

$$r_k = \Delta f^{(k)} / \Delta q^{(k)} \quad (6)$$

r_k 愈大,说明目标函数下降得愈多,新的起始点 $x_k + d_k$ 也就愈好,故可以取 $x_{k+1} = x_k + d_k$,同时也可考虑将 h_{k+1} 扩大;如果 r_k 愈小则考虑缩小 h_{k+1} 逼近程度;当 $r_k < 0$ 时则应取 $x_{k+1} = x_k$,同时缩小 h_{k+1} 。

对于信赖域法中试探步的计算,常称为子问题。信赖域法的一个主要优点是由于有强制性条件 $\|d_k\| \leq h_k$,且信赖域的半径能够在优化过程中根据 r_k 进行调整,这样子问题的目标函数并不要求是凸函数,可以间接避免 Hessen 矩阵 G_k 非正定和 x_k 为鞍点的困难,既继承了牛顿法的快速局部收敛性,又具备理想的总体收敛性。

2 应用信赖域法的广域阻尼控制器协调优化

电力系统通常可以用一组微分-代数方程描述:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, u) \\ 0 &= g(x, u) \end{aligned} \quad (7)$$

式中 x 为状态变量向量; u 为系统的输入向量; f, g 为非线性函数组。

式(8)给出了采用以联络线功率信号作为反馈信号,通过超前-滞后相位校正环节实现的广域阻尼控制器部分的模型。

$$V_s = k_d \frac{s\tau_w}{1+s\tau_w} \left(\frac{1+s\tau_1}{1+s\tau_2} \right)^2 \sum \Delta p_{tie} \quad (8)$$

式中 V_s 为阻尼控制器输出; k_d 为控制增益; τ_w 为 washout 滤波时间常数; τ_1, τ_2 为移相环节的时间常数; Δp_{tie} 为联络断面的有功功率增量。

阻尼控制器的协调优化本质上是控制器结构、数量和安装地点已知情况下,对若干控制参数优化、取得最佳阻尼效果和鲁棒性的非线性数学规划问题。时域仿真技术和信赖域法的结合主要包括以下 3 个子问题:优化目标函数构造;控制参数初值获取;信赖域法子问题模型获取。

2.1 优化目标函数构造

协调优化后的控制器参数应保证目标模式阻尼特性获得最大改善,同时也要保证阻尼控制对系统负面影响最小。由于主导模式对相对发电机机群间的断面联络功率能够集中反映对应的振荡模式的全部信息,因此选择断面联络功率作为目标函数的主要参量,同时为了避免对控制器所在机组的本地阻尼情况产生不利影响,施加控制的机组有功功率也作为目标函数参量。

现参考线性最优控制理论中定义的二次型指标^[13],确定参数优化中所采用的目标函数如式(9)所示,其含义是输出功率偏差量平方的时间积分。

$$J = \int_0^\infty \Delta P^T Q \Delta P dt \quad (9)$$

式中 ΔP 为状态偏差量向量,且 $\Delta P = [\Delta P_{tie1}, \dots, \Delta P_{tie m}, \Delta P_{G1}, \dots, \Delta P_{Gn}]$; Q 为权重系数矩阵。

考虑到电力系统潮流方式的多样性,在一种典型方式下获得的控制器参数,在其它运行方式下控制性能会变差,甚至失效。考虑多种运行方式同时进行参数优化是一种合理的思路,把多种运行方式的性能指标合计作为目标函数,考虑到控制器参数的限制后,多运行方式下,多机系统的广域阻尼控制器的参数优化问题转化为求取表达式 J_{all} 最小的约束优化问题。

$$\begin{aligned} J_{all} &= \sum_{i=1}^n \int_0^\infty \Delta P_i^T Q \Delta P_i dt \\ \text{s.t. } k_{dkmin} &< k_{dk} < k_{dkmax} \\ \tau_{1kmin} &< \tau_{1k} < \tau_{1kmax} \\ \tau_{2kmin} &< \tau_{2k} < \tau_{2kmax} \end{aligned} \quad (10)$$

式中 $i=1, 2, \dots, n$ 为运行方式序号; $k=1, 2, \dots, m$ 为控制器序号。

其中: k_d 的典型取值范围为 $[0.01, 5]$, τ_1, τ_2 取值范围为 $[0.01, 3]$ s。

2.2 控制参数初值获取

对于大型系统,无法获得全系统的线性化模型时,比较通用的方法是采用激励辨识技术,完成原系统线性化降阶模型的构造,针对这里的控制器模型,采用在控制输入点施加冲击信号,以 Matlab 提供的子空间辨识技术(N4SID)^[14]辨识控制点和反馈信号之间降阶模型及其传递函数,进而应用极点配置法求取反馈控制环节的主要参数。

2.3 信赖域法子问题模型获取

信赖域法中关键问题是子问题模型的获取,针对大规模的电力系统,利用时域仿真技术,采用控制参数摄动结合最小二乘法,拟合控制器参数与目标函数之间的二次模型,利用拟合后的模型完成优化参数试探步的计算。

图 1 给出了时域仿真技术嵌入信赖域法流程的结构框图,主要体现以下 2 个过程:一个是求取信赖域法子问题模型的过程;另一个是求取目标函数的实际下降量的过程。

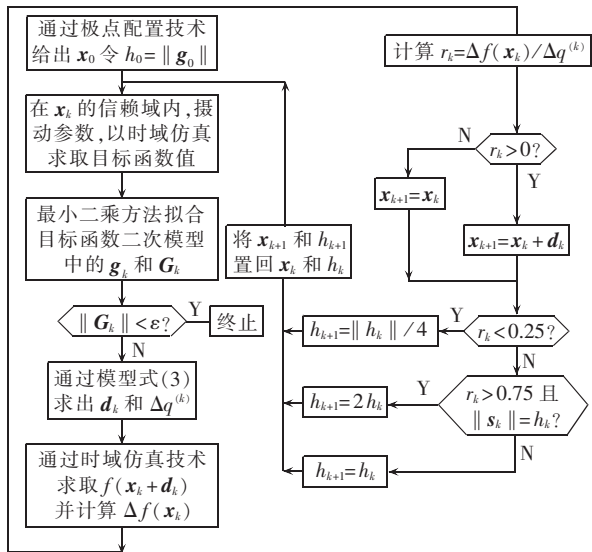


图 1 阻尼控制器参数优化框图

Fig.1 Flowchart of damping controller parameter optimization

3 优化算例分析

为了检验信赖域法结合时域仿真技术优化阻尼控制器参数的有效性,在此以 2005 年东北、华北、山东系统互联运行的数据为例,针对系统的主导机电振荡模式——东北电网对华北和山东电网之间的模式,分析协调优化广域阻尼控制参数改善系统区间模式阻尼特性的作用。

图 2 给出了东北、华北系统发电机组的特征向量分布图。

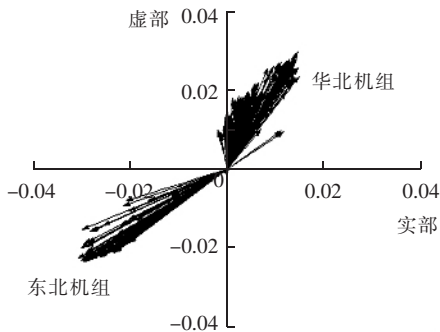


图 2 东北、华北机组角模态向量图

Fig.2 Generator angle mode shape of Northeast Power Grid and North China Power Grid

结合 3 种典型潮流方式,均为东北电网向华北电网送电方式,负荷水平为东北系统腰荷,华北、山东系统大负荷的潮流方式,表 1 列出了上述 3 种潮流方式的断面潮流合计以及应用 Prony 算法^[15-16]辨

表 1 东北、华北之间的潮流水平及振荡模式
Tab.1 Flows and oscillation mode of Northeast Power Grid and North China Power Grid

潮流方式	东北、华北断面有功合计/MW	振荡模式	
		频率/Hz	阻尼比/%
1	1052 × 2	0.2277	4.83
2	1161 × 2	0.2020	-5.80
3	1281 × 2	0.2030	-0.05

识联络线轨迹得到的主导机电振荡模式的频率和阻尼特性。

以东北电网和华北电网之间的联络断面——两回 500 kV 高姜线的有功功率为反馈信号,控制点选择在伊敏电厂 1 号机组和鹤岗电厂 1 号机组励磁控制器的附加点;通过东北系统内 500 kV 哈南变至合心变线路,哈南变侧设置单相瞬时短路故障来激发东北电网和华北、山东电网之间的弱阻尼模式。

3.1 单一运行方式下的协调优化

以方式 2 为例,根据第 2 节分析,系统目标函数由联络线 500 kV 高姜线有功功率和伊敏电厂 1 号机组和鹤岗电厂 1 号机组有功功率的偏差量构造而成,权系数矩阵取为单位阵后目标函数的表达式如下:

$$\min J = \int_0^t \left[\sum_{i=1}^2 \Delta P_{ti}(t) + \sum_{k=1}^2 \Delta P_{Gk}(t) \right] \quad (11)$$

$$\Delta P_{ti}(t) = \left[\frac{P_{ti}(t) - P_{ti}(0)}{P_{ti}(0)} \right]^2$$

$$\Delta P_{Gk}(t) = \left[\frac{P_{Gk}(t) - P_{Gk}(0)}{P_{Gk}(0)} \right]^2$$

式中 $P_{ti}(t)$ 为第 i 条联络线有功功率轨迹; $P_{ti}(0)$ 为第 i 条联络线的有功潮流结果; $P_{Gk}(t)$ 为第 k 台阻尼电厂担任阻尼控制的发电机有功功率轨迹; $P_{Gk}(0)$ 为第 k 台担任阻尼控制的发电机有功潮流结果。

图 3 给出了目标函数 J 的优化进度曲线(N 为迭代次数),目标函数并无振荡现象,呈现单调下降变化,其中数值不变的过程正是信赖域法在同一参数点不断改变信赖域大小、求取最佳的优化方向的过程。

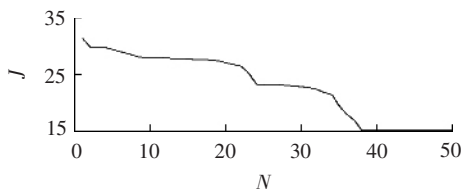


图 3 目标函数迭代过程

Fig.3 Iteration process of target function

图 4 为伊敏电厂和鹤岗电厂阻尼控制器的参数优化过程(m 为仿真次数)。由于在每个迭代过程中,均需重新通过最小二乘法获得非线性系统的拟合模型,对比图 4 和图 3 可见时域仿真的次数是参数优化迭代次数的整数倍。

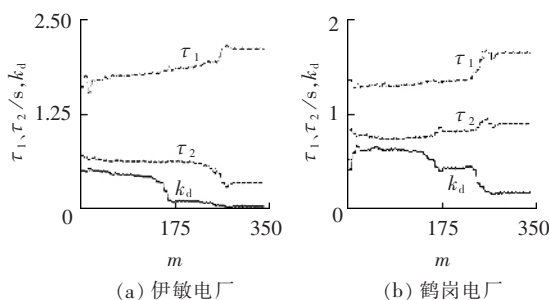


图 4 控制参数优化过程

Fig.4 Parameter optimization processes

应用 Prony 辨识联络线功率获得的区间模式的阻尼特性见表 2。

表 2 阻尼特性对比
Tab.2 Comparison of damping character

潮流方式	优化前		优化后	
	频率/Hz	阻尼比/%	频率/Hz	阻尼比/%
2	0.214 06	4.626 8	0.202 1	11.103 2

对比结果可见,优化后系统的阻尼特性得到了进一步的改善。

由线性化模型分析可知,低频振荡的弱阻尼特性,是励磁系统至发电机电磁功率次增量回路的滞后特性造成,因此采用功率反馈的阻尼控制的移相环节的应为相位超前校正,同时在主导振荡模式的频段附近,移相角度的变化不应十分显著。图 5 给出了控制器在 0.01~1 Hz 之间的幅频响应和相频响应(A 为幅值, φ 为相位),移相环节中心频率均在东北、华北系统的低频振荡频率 0.2 Hz 附近,即补偿相位在阻尼振荡区段内受频率变化的影响很小。

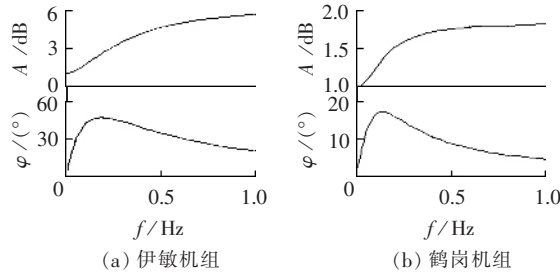


图 5 控制移相环节的波特图

Fig.5 Bode graph of shift block

图 6 给出了鹤岗电厂和伊敏电厂机组控制器参数优化前后,控制输出量 V_i 的轨迹对比图,其中实线为未经参数优化控制器输出,虚线为采用优化参数的控制器输出。

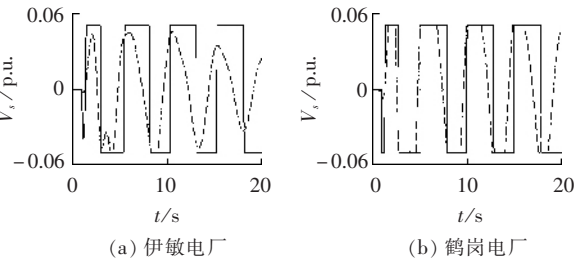


图 6 控制器输出轨迹

Fig.6 Controller output curves

对比控制器增益(图 4)可见,优化前后,控制器的增益有了很大的变化,如伊敏电厂的控制器增益自 0.5 减小为 0.039 5,通过对比控制器的输出轨迹(图 6)可见,由于通过线性化设计的补偿相位存在误差,且设计过程中不能计及限幅环节的作用,虽然离线设计的增益较大,但是由于控制器限幅环节的作用,即使增益很大,控制效果也不理想;通过控制器参数优化后,控制器的移相角度更加合理,控制器的增益即使不大,阻尼控制器效果也令人满意。

3.2 多运行方式下的协调优化

传统阻尼控制器参数的整定是在系统大负荷方式下进行,由于仅仅考虑单一运行方式,控制器的参数鲁棒性受到了一定限制,考虑多种运行方式的控制器协同优化能够提高控制器的鲁棒性。

表 3 给出了对应表 1 的 3 种典型方式同时进行参数优化的控制器参数结果。表 4 给出了优化前后系统阻尼特性的对比结果。

表 3 阻尼控制参数对照(多运行方式)

Tab.3 Comparison of damping controller parameters(multi-mode)

机组名称	k_d		τ_1/s		τ_2/s	
	优化前	优化后	优化前	优化后	优化前	优化后
伊敏	0.5	0.043 5	1.7	2.433	0.6	0.373 2
鹤岗	0.4	0.041 8	1.3	3.168	0.8	0.373 0

表 4 系统阻尼特性对比(多运行方式)

Tab.4 Comparison of damping characters(multi-mode)

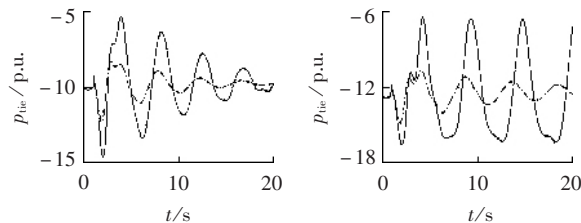
潮流方式	优化前		优化后	
	频率/Hz	阻尼比/%	频率/Hz	阻尼比/%
1	0.249 632	11.4200	0.231 284	11.550
2	0.195 626	4.6268	0.217 718	8.100
3	0.226 884	1.6940	0.206 079	5.926

为了对比检验多运行方式与单一运行方式下的控制效果,表 5 给出了通过方式 1 和方式 3 检验仅仅方式 2 优化的控制效果,图 7 给出了联络线相应对比轨迹。图中实线对应单一方式 2 优化控制,虚线对应多运行方式优化控制。

表 5 系统阻尼特性对比(单一方式优化与多方式优化)

Tab.5 Comparison of damping characters between mono-mode and multi-mode optimization

潮流方式	单一方式结果		多运行方式	
	频率/Hz	阻尼比/%	频率/Hz	阻尼比/%
1	0.206 835	18.4000	0.231 284	11.550
2	0.202 183	11.1030	0.217 718	8.100
3	0.173 076	-0.198 7	0.206 079	5.926



(a) 潮流方式 1 (b) 潮流方式 3

图 7 联络线动态轨迹对比图

Fig.7 Inter-tie active power curves

由表 5 的数据和图 7 曲线可见,通过方式 2 优化得到的参数对方式 1 有很好的控制效果,但对方式 3 的阻尼特性改善效果不大;而采用 3 种方式联合优化,虽然对方式 2 的控制效果没有达到单一方式优化的效果,但是 3 种方式的阻尼特性均有明显改善,阻尼比均超过了 5%(通常意义的临界值),

可见多种方式联合优化的控制器参数,阻尼控制的鲁棒性明显优于单一方式的优化控制参数。

4 结论

在确定反馈信号和控制布点的基础上,针对复杂电力系统控制器参数设计,受到多种不同运行方式、准确的系统非线性模型难以获得和分析、以及多个控制器的参数协调优化等矛盾的制约。多个广域阻尼控制器,多运行方式的参数协调设计,本质上是以控制效果为目标函数的多控制器参数的优化问题,时域仿真技术是目前能计及非线性因素精度最高的分析方法,在此提出并实现了基于时域仿真采用信赖域法的解决方案,并得到 3 点主要结论。

a. 信赖域法是最优化技术中比较活跃的一支,具备如下优点:局部的超线性收敛性;理想的总体收敛性;且对于目标函数不要求是凸函数;算法的鲁棒性很强。

b. 提出并实现了结合时域仿真技术与信赖域方法的针对多运行方式、多个控制器的广域阻尼控制器参数协调优化。

c. 在 2005 年东北、华北、山东电网联网运行方式下,通过对阻尼东北与华北、山东电网之间的机电振荡模式控制器的参数优化,验证了该方法的有效性,优化后的控制器表现出了良好的控制效果和较强的适应性。

参考文献:

- [1] 汤涌,朱方,张东霞,等. 华北-东北联网工程系统调整试验[J]. 电网技术,2001,25(11):46-49.
TANG Yong,ZHU Fang,ZHANG Dong-xia,et al. Commissioning tests of interconnection of North China power grid with Northeast China power grid[J]. Power System Technology,2001,25(11):46-49.
- [2] 朱方,汤涌,张东霞,等. 我国交流互联电网动态稳定性的研究及解决策略[J]. 电网技术,2004,28(15):1-5.
ZHU Fang,TANG Yong,ZHANG Dong-xia,et al. Study on dynamic stability problems of AC interconnected area power grids in China and their solutions[J]. Power System Technology,2004,28(15):1-5.
- [3] 汤涌,李晨光,朱方,等. 川电东送工程系统调试[J]. 电网技术,2003,27(12):14-21.
TANG Yong,LI Chen-guang,ZHU Fang,et al. Commissioning tests for transmission project of power transport from Sichuan to eastern area of China[J]. Power System Technology,2003,27(12):14-21.
- [4] SNYDER A F,HADJSAID N,GEORGES D,et al. Inter-area oscillation damping with power system stabilizers and synchronized phasor measurements[C]//1998 International Conference on Power System Technology. Beijing,China:[s.n.],1998:790-794.
- [5] SNYDER A F,IVANESCU D,HADJSAID N,et al. Delayed-input wide-area stability control with synchronized phasor measure-

ments and linear matrix inequalities [C]//IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Seattle,WA,USA:[s.n.],2000:1009-1014.

- [6] MEKKI K,SNYDER A F,HADJSAID N,et al. Damping controller input-signal loss effects on the wide-area stability of an interconnected power system[C]//Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Seattle,WA,USA:[s.n.],2000:1015-1019.
- [7] KUNDUR P. Power system stability and control[M]. New York: McGraw-Hill Inc,1994.
- [8] 谢小荣,肖晋宇,童陆园,等. 采用广域测量信号的互联电网区间阻尼控制[J]. 电力系统自动化,2004,28(2):37-40.
XIE Xiao-rong,XIAO Jin-yu,TONG Lu-yuan,et al. Inter-area damping control of interconnected power systems using wide-area measurements[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(2):37-40.
- [9] 肖晋宇. 基于 PMU/WAMS 的互联电网广域阻尼控制研究[D]. 北京:清华大学,2004.
XIAO Jin-yu. Studies on wide-area damping control for interconnected power systems based on PMU/WAMS[D]. Beijing: Tsinghua University,2004.
- [10] 袁亚湘,孙文瑜. 最优化理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [11] PAJIC S,CLEMENTS K A. Power system state estimation via globally convergent methods[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2005,20(4):1683-1689.
- [12] ZHOU Ren-jun,ZHANG Yan-ping,YANG Hong-ming. A trust-region algorithm based on global SQP for reactive power optimization [C]//2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE) and XI Conference on Electrical Engineering (CIE 2005). Mexico City,Mexico:[s.n.],2005:292-295.
- [13] 韩英铎,王仲鸿,陈淮金. 电力系统最优分散协调控制[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [14] van OVERSCHEE P,de MOOR B. Subspace identification of linear systems:theory,implementation,applications[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,1996.
- [15] 张贤达. 现代信号处理[M]. 北京:清华大学出版社,1995.
- [16] 肖晋宇,谢小荣,胡志祥,等. 电力系统低频振荡在线辨识的改进 Prony 算法[J]. 清华大学学报:自然科学版,2004,44(7):883-887.
XIAO Jin-yu,XIE Xiao-rong,HU Zhi-xiang,et al. Improved Prony method for online identification of low-frequency oscillations in power systems[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology,2004,44(7):883-887.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

李红军(1971-),男,黑龙江哈尔滨人,博士研究生,目前研究方向为电力系统广域动态监测与稳定控制(E-mail:lihongjun@mails.tsinghua.edu.cn);

陆超(1977-),男,河北定州人,助理研究员,目前研究方向为电力系统广域动态监测与稳定控制;

胡晓光(1961-),女,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师,主要从事电力系统分析、电能计量装置、电气设备的在线监测以及故障诊断等方面的研究。

Parameter coordination optimization of wide-area damping controller based on trust region

LI Hong-jun¹, LU Chao¹, HU Xiao-guang²

(1. Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: Traditional parameter design of damping controller depends on linear system model, without considering the impact of non-linear factor, however the trust region method has partial super-linear convergence and global convergence. The trust region method combined with non-linear time domain simulation technology is presented and implemented for the design of WADC (Wide - Area Damping Controllers). The construction of optimal target function, the setting of control parameter initial values and the establishment of trust-region sub-model are introduced to realize the parameter coordination optimization of multiple controllers under different operating modes. The controller parameter optimization for damping the electromechanical oscillation among Northeast Power Grid, North China Power Grid and Shandong Power Grid verifies its effectiveness. Compared with mono-mode, the multi-mode parameter coordination optimization has better control effect for different operating conditions.

This project is supported by the National Natural Science Foundation of China(50595413).

Key words: electromechanical oscillation; wide-area damping control; trust region; parameter coordination