

# 基于混合光线反射优化算法的最近电压稳定 临界点求取方法

方斯顿<sup>1</sup>,程浩忠<sup>1</sup>,徐国栋<sup>1</sup>,曾平良<sup>2</sup>,姚良忠<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学 电力传输与功率变换控制教育部重点实验室,上海 200240;

2. 中国电力科学研究院,北京 100192)

**摘要:** 传统最近电压稳定临界点求解方法在全局寻优能力和计算效率之间存在矛盾。为进一步增强光线反射优化(OIO)算法的全局寻优能力,基于 House-Holder 变换和混合多光源策略提出混合光线反射优化(SOIO)算法。算例分析表明所提方法可有效求解最近电压稳定临界点,计算效率高且全局搜索能力强。

**关键词:** 电压稳定临界点; 负荷增长不确定性; 光线反射优化算法; 多光源; House-Holder 变换

**中图分类号:** TM 712

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.08.009

## 0 引言

电力系统电压稳定性与系统最大传输容量密切相关。因此,电压稳定性评估是电压安全分析的研究重点之一<sup>[1]</sup>。当节点负荷增长方式固定时,通常可采用连续潮流法<sup>[2]</sup>、崩溃点法<sup>[3]</sup>和非线性规划法<sup>[4-5]</sup>进行求解。但电力系统在实际运行中存在大量不确定因素<sup>[6]</sup>,这给节点注入功率带来不确定性。以风电、光伏为代表的可再生能源具有较高的功率因数,其大规模接入电网使得负荷增长不确定性也急剧增加<sup>[7]</sup>。因此,如何在考虑负荷增长方向不确定性的情况下求取最近电压稳定临界点是保障系统安全稳定运行的重要手段。

最近电压稳定临界点问题首先由 Dobson 在文献[8]中提出。Dobson 指出,最近电压稳定临界点的求解目标是找出距当前运行点“最近”的电压稳定临界点,并提出利用极限曲面法向量修正负荷增长方向,从而通过迭代求得最近电压稳定临界点的方法。但该方法存在2点不足:第一,该方法未限定负荷增长方向不确定性的范围,求出的电压稳定裕度甚至可能小于基态值,这在实际运行中出现的可能性极小;第二,由于极限曲面性质复杂,当系统增大时算法容易陷入局部最优,造成评价结果不准确。

根据鲁棒优化理论,求取最近电压稳定点可转化为内层嵌套连续潮流计算的双层规划模型<sup>[9]</sup>。求解该问题可分为2种途径。第一类方法首先利用近似曲面逼近极限曲面,然后将原问题转化为“预估-校正”模式。如文献[9]采用超平面逼近电压稳定极

限曲面,通过该平面预估最危险负荷增长方向并采用连续潮流进行校正。这类方法效率较高,算法鲁棒性好,收敛可靠,但受限于曲面逼近的精度,这类方法全局寻优能力不强。另一类方法是采用智能算法,如 Big Bang-Big Crunch 算法<sup>[10-11]</sup>、支持向量机<sup>[12]</sup>等。这类方法不受极限曲面复杂性影响,具有较强全局寻优能力,但计算效率偏低。光线反射优化 OIO(Optics Inspired Optimization)算法由 Kashan 于 2014 年提出<sup>[13]</sup>,该算法将待优化函数曲面根据局部凹凸性质分别看成凹面镜和凸面镜,将可行解看作光源,利用光源发出光线在凹面镜和凸面镜上汇聚、发散成像(产生新的可行解)。由于其利用待优化函数曲线的局部凹凸性质,适合于约束少而待优化函数性质复杂的优化问题,近百个标准测试函数的仿真证明其具有较高的计算效率及很强的寻优能力,明显优于粒子群优化 PSO(Particle Swarm Optimization)算法<sup>[14]</sup>、遗传算法 GA(Genetic Algorithm)<sup>[15]</sup>等目前常用的智能算法。

为进一步增强该算法的全局寻优能力,本文基于 House-Holder 变换和混合多光源策略提出混合光线反射优化 SOIO(Shuffled OIO)算法,并首次将该方法应用于最近电压稳定临界点求取中。算例分析表明本文方法可有效求解该问题,计算效率高且全局搜索能力强。

## 1 最近电压稳定临界点模型

### 1.1 参数化潮流方程

含负荷参数的潮流方程可表示为<sup>[16]</sup>:

$$f(x, P(\lambda), Q(\lambda)) = 0 \quad (1)$$

其中,  $x \in \mathbf{R}^n$  为节点电压列向量;  $\lambda \in \mathbf{R}$  为负荷参数,本文不考虑发电机的出力增长方式变化;  $P(\lambda) \in \mathbf{R}^n$  和  $Q(\lambda) \in \mathbf{R}^n$  为此时的节点注入功率列向量;  $f: \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^{2n} \rightarrow \mathbf{R}^{2n}$  为含参数潮流方程。

收稿日期:2015-06-25;修回日期:2016-05-20

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(51337005);国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2014CB23903)

Project supported by the Key Program of National Natural Science Foundation of China(51337005) and the National Key Basic Research Program of China(973 Program)(2014CB23903)

定义  $\lambda^v=(P^T(\lambda), Q^T(\lambda))^T$ , 随着负荷参数  $\lambda$  逐渐增长, 电力系统会达到某个电压稳定临界点  $\lambda_c^v=(P^T(\lambda_c), Q^T(\lambda_c))^T$ . 由所有临界点组成的电压稳定极限曲面可定义为:

$$\Sigma = \{\lambda_c^v \mid f(x_c, \lambda_c^v) = 0, x_c \in \Omega_{SNB} \cup \Omega_{LIB}\} \quad (2)$$

其中,  $f(\cdot)=0$  为电压稳定临界点处的系统潮流方程, 表达式详见式(1);  $\Omega_{SNB}$ 、 $\Omega_{LIB}$  分别为 SNB 型和 LIB 型电压稳定临界点;  $\Sigma \in \mathbf{R}^{2n-1}$  为系统所有可能的电压稳定临界点处节点注入功率构成的超曲面。

在图 1 中,  $\Sigma$  代表极限曲面, 包括 SNB 和 LIB 型的电压失稳点。  $\lambda_0=(P^T(\lambda_0), Q^T(\lambda_0))^T$  代表基态运行点;  $d_0$  为预测负荷增长方向;  $E_1+\xi$  和  $E_1-\xi$  分别代表负荷增长方向的上、下限, 其中  $\xi \in \mathbf{R}^{2n}$ ,  $E_1$  表示元素全为 1 的向量。

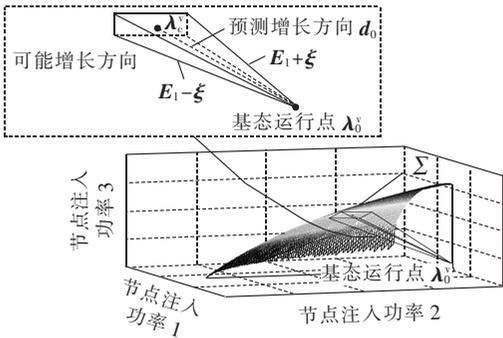


图 1 电压稳定极限曲面

Fig.1 Voltage-stability limit surface

### 1.2 最近电压稳定临界点两层规划模型

最近电压稳定临界点是所有可能的电压稳定临界点中离基态运行点最近的点。根据鲁棒优化理论, 该问题求取可表示为两层优化模型<sup>[9]</sup>。下层问题是求取某一可能负荷增长方向上的电压稳定临界点, 通常采用连续潮流法<sup>[2]</sup>求解; 上层问题则是求取在负荷增长方向约束的条件下最危险的负荷增长方向。

两层模型详细描述如下。

上层:

$$\begin{aligned} \min \quad & m^\lambda(\lambda_c(d)) \\ \text{s.t.} \quad & E_1 - \xi \leq d \leq E_1 + \xi \end{aligned} \quad (3)$$

其中,  $d$  为某负荷增长方向;  $\lambda_c(d) = \lambda_c \cdot d \times \lambda_0(d)$ , “ $\cdot$ ”表示逐位相乘;  $m^\lambda(\lambda_c(d)) = |\lambda_c(d) - \lambda_0(d)|$ 。

下层:

$$\begin{aligned} \max \quad & \lambda_c \\ \text{s.t.} \quad & \lambda_c(d) = \lambda_c \cdot d \times \lambda_0(d) \\ & f(x_c, P(\lambda_c), Q(\lambda_c)) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

不等式约束包括发电机有功出力上、下限约束。两层模型关系如图 2 所示。

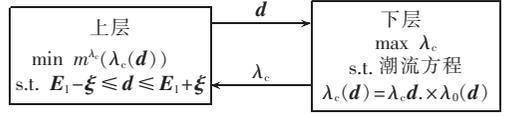


图 2 两层模型关系

Fig.2 Relationship between two levels of model

## 2 光线反射优化算法

光线反射算法由 Kashan 于 2014 年提出<sup>[13]</sup>, 其直接利用待优化函数的局部几何特性, 计算效率高且具有较强全局寻优能力, 其过程简述如下。

### 2.1 光线反射定律

光线在凹面镜和凸面镜上反射时成像情况分别如图 3(a)、(b)所示。

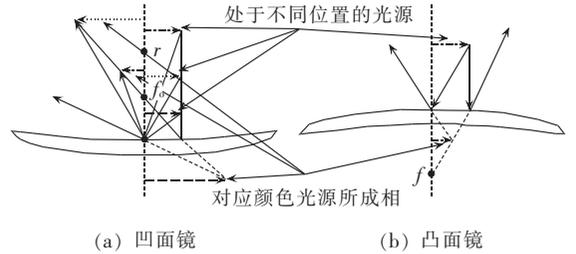


图 3 球面镜成像原理

Fig.3 Principle of spherical mirror imaging

图 3 中,  $r$  和  $f_0$  分别为球面镜曲率和焦距, 满足  $r=2f_0$ 。如图所示, 凹面镜对光线有汇聚作用, 根据物体距凹面镜的距离不同分别成放大、缩小的实像(实线)及放大、缩小的虚像(虚线), 如图 3(a)所示; 而凸面镜对光线具有发散效果, 成像为缩小的虚像(虚线), 如图 3(b)所示。

为方便进一步分析, 定义光源长度为  $l_{HO}$ , 所成像长度为  $l_{HI}$ , 光源离球面镜距离为  $p$ , 像距离球面镜  $q$ , 球面镜焦距  $f_0$ , 球面镜曲率  $r$ 。本文中, 在球面镜以上距离为正, 在球面镜以下距离为负。以凹面镜为例, 各量如图 4 所示, 各量之间满足球面镜反射公式<sup>[17]</sup>, 如下式所示:

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \Rightarrow q = \frac{rp}{2p-r} \quad (5)$$

此外, 根据相似三角形可得:

$$m = -\frac{q}{p} = \frac{l_{HI}}{l_{HO}} \Rightarrow l_{HI} = -l_{HO} \frac{q}{p} \quad (6)$$

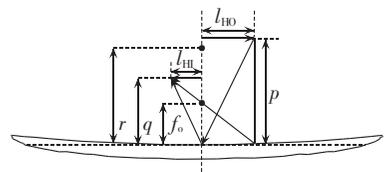


图 4 球面镜反射参量定义

Fig.4 Definition of spherical mirror reflection parameters



步骤 6:对每个子光源群中,除去最优光源  $O_i$  外,利用选择机制选择一个光源进行变异,对其利用 3.1 节中方法产生变异解  $I_b = \delta_{\text{Ref}}(I_b)$ 。

步骤 7:混合光源群,重复步骤 4—6,直到全局迭代次数  $N_g$ ;获得光源  $O_g^N$  对应负荷增长方向为最危险增长方向,与之对应的电压稳定裕度为最近电压稳定临界点。

## 4 算例分析

### 4.1 最近电压稳定临界点

#### 4.1.1 算例设置

以多个 IEEE 标准系统作为测试算例<sup>[18]</sup>,负荷和发电机出力均按初始基准比例增长。负荷增长方向不确定量  $\xi$  中各元素  $\xi_i$  均相等,光源总数  $l_{N0}$  设为 30,子光源群数目  $m=6$ ;局部迭代次数  $N_l$  和全局迭代次数  $N_g$  分别为 10 和 35,参数  $C = \max\{g(O_j) \mid j \in \{1, 2, \dots, l_{N0}\}\}$ 。此外,为衡量负荷增长不确定性对静态电压稳定裕度的影响,定义电压稳定裕度减少量:

$$E_r = \left(1 - \frac{M_\xi}{M_E}\right) \times 100\% \quad (13)$$

其中,  $M_E$  为固定负荷增长方向时的静态电压稳定裕度;  $M_\xi$  为考虑负荷增长不确定性时的静态电压稳定裕度。

#### 4.1.2 优化效果分析

用 IEEE 30、57、118、300、2736sp、2746wp 系统作为测试。本文方法所得静态电压稳定裕度  $M_\xi$  和  $E_r$  结果如表 1 所示。

表 1 本文方法最近电压稳定临界点计算结果

Table 1 Calculated closest critical points by proposed algorithm

系统	$M_\xi$			$E_r/\%$		
	$\xi_i=0$	$\xi_i=0.1$	$\xi_i=0.15$	$\xi_i=0$	$\xi_i=0.1$	$\xi_i=0.15$
IEEE 30	182.72	175.67	171.17	0	3.86	6.32
IEEE 57	58.36	50.42	46.42	0	13.60	20.10
IEEE 118	188.34	152.36	141.12	0	19.10	25.07
IEEE 300	7.69	5.71	4.94	0	25.74	35.76
IEEE 2736sp	39.81	34.28	33.02	0	13.89	17.05
IEEE 2746wp	25.96	21.17	19.21	0	18.45	26.00

从以上数据可知,采用本文所提算法可有效计算最危险负荷增长方向,所得结论如下:

a. 负荷增长方向的不确定性会加大系统运行风险,会显著降低运行点的电压稳定裕度;

b. 在含不确定新能源的电网的安全分析中,仅对固定负荷增长方向进行分析远远不够,应当计及负荷增长的不确定性对电压稳定裕度进行校核。

### 4.2 算法效率分析

#### 4.2.1 计算耗时分析

本文采用计算仿真平台 Intel Core Dual i7-3820

(3.6 GHz, RAM 8 GB, MATLAB2013a)。以 IEEE 118 节点系统为例,分别采用本文方法、遗传算法和粒子群优化算法计算 100 次,平均收敛性曲线如图 6 所示。所求得的电压稳定裕度  $\lambda$ 、收敛平均迭代次数  $N$ 、平均计算耗时  $\bar{t}$  如表 2 所示。遗传算法参数:种群数 30,交叉率 0.8,变异率 0.2,自然数编码。粒子群优化算法参数:粒子数 30,惯性权重 0.8,局部与全局学习因子 2,自然数编码。

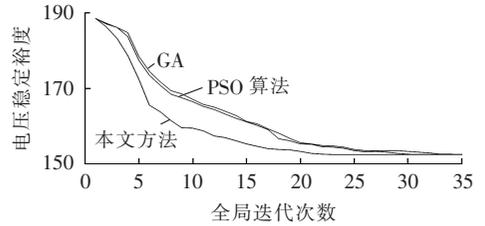


图 6 3 种方法所得的收敛曲线

Fig.6 Convergence curve for three algorithms

表 2 3 种算法所得的计算效率

Table 2 Computational efficiency for three algorithms

算法	$\lambda$	$N$	$\bar{t}/s$
SOIO 算法	152.36	21	164
粒子群优化算法	152.36	30	270
遗传算法	152.36	33	284

从图 6 和表 2 中数据可得,本文算法效率高于其他 2 种算法,可兼顾计算效率与准确性,从而准确评估最近电压稳定点处的稳定裕度。

#### 4.2.2 参数对 SOIO 算法寻优效果影响

为分析本文算法参数设置对算法效率的影响,以 IEEE 118 节点系统为例,光源总数  $l_{N0}$  和光源子群数目  $m$  与对应最危险电压稳定裕度关系如图 7 所示。

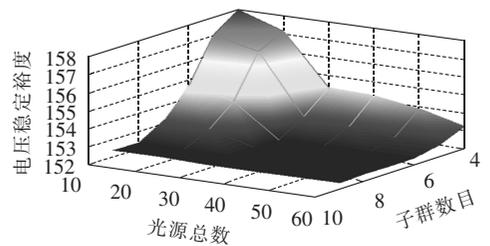


图 7 参数对寻优效果影响

Fig.7 Influence of parameters on searching effect

从图中可得,当  $l_{N0}$  和  $m$  都增大时,算法的寻优效率提高。当  $l_{N0}$  增加时,种群光源多,使得全局寻优能力变强;而当  $m$  增加时,局部搜索效率提升,算法更容易发掘最优解,也会提高算法寻优效率。但从曲面对各坐标轴投影的斜率也可以看出,子群数目对算法效率影响更大。进一步地,当  $l_{N0}$  和  $m$  均大于一定数值时算法寻优能力与参数关系不大,这证明了本文算法参数选择的鲁棒性。

### 4.2.3 改进策略对算法效率影响

为评价本文改进策略的有效性,通过采用或不采用改进策略对算法效率进行比较,2种策略均采用的算法为混合光线反射优化算法,结果见表2;不采用变异策略但保留混合策略的为SOIO2,采用变异策略不采用混合策略的为OIO1,2种策略均不采用的为OIO2,3种算法计算结果如表3所示。

表3 3种算法计算效率对比  
Table 3 Comparison of computational efficiency among three algorithms

算法	$\lambda$	$N$	$\bar{t}/s$
SOIO2	152.36	26	209
OIO1	153.36	35	296
OIO2	152.74	35	293

从表中数据可知本文所采用的改进策略的有效性。算法效率  $SOIO > SOIO2 > OIO1 > OIO2$ ,这是由于采取变异策略时可增加光源的多样性,从而增强了算法接受劣解的能力,因此全局寻优能力增强,算法效率高;而混合多光源策略的采用则增强了局部搜索能力。而从效率顺序也可得,混合策略对算法效率的提高作用强于变异策略。

## 5 结论

针对目前算法求解最近电压稳定临界点时在计算精度和效率上的矛盾,本文提出混合光线反射优化算法对该问题进行求解,得到结论如下。

**a.** 当考虑负荷增长方式不确定性时,最近电压稳定临界点的电压稳定裕度会有明显下降,会给系统带来运行风险;因此,在含大量新能源的电网中,应当对最近电压稳定裕度进行校核。

**b.** 本文提出的混合光线反射优化算法可有效求解最近电压稳定临界点问题,与粒子群优化算法和遗传算法的对比证明其具有更好的收敛特性。

**c.** 对算法参数的分析表明,子群体数目和种群规模均对算法寻优效率影响较大,且子群规模作用强于种群规模,当参数大于一定数值后,算法对参数选择具有一定鲁棒性,参数变化对算法性能影响不大。

**d.** 对改进策略的研究表明,本文提出的2种改进策略均可有效提高算法效率,且其中混合多光源策略的作用强于变异策略。

### 参考文献:

[1] MANANDUR K R C, CHENOWETH R D. Optimal control of reactive power flow for improvements in voltage profiles and real power loss minimization[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1981, 100(7): 3185-3194.  
[2] AJJARAPU V, CHRISTY C. The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis[J]. IEEE Trans on Power

Systems, 1992, 7(1): 416-423.

- [3] CANIZARES C A, ALVARADO F L. Point of collapse and continuation methods for large AC-DC systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(1): 1-8.  
[4] IRISARRI G D, WANG X, TONG J, et al. Maximum loadability of power systems using interior point nonlinear optimization method[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(1): 162-172.  
[5] 韦化, 丁晓莺. 基于现代内点理论的电压稳定临界点算法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(3): 27-31.  
WEI Hua, DING Xiaoying. An algorithm for determining voltage stability critical point based on interior point theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(3): 27-31.  
[6] HU Zechun, WANG Xifan. A probabilistic load flow method considering branch outages[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(2): 507-514.  
[7] HU Zechun, WANG Xifan, TAYLOR G. Stochastic optimal reactive power dispatch: formulation and solution method[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2010, 32: 615-621.  
[8] DOBSON I, LU L. New methods for computing a closest saddle node bifurcation and worst case load power margin for voltage collapse[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(3): 905-913.  
[9] 胡泽春, 王锡凡, 程浩忠. 最近电压稳定临界点的两层规划模型和信赖域算法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 6-12.  
HU Zechun, WANG Xifan, CHENG Haozhong. A bilevel programming formulation and trust region approach for closet critical point of voltage stability[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 6-12.  
[10] EROL O K, EKSIN I. A new optimization method: Big Bang-Big Crunch[J]. Advances in Engineering Software, 2006, 37(2): 106-111.  
[11] DJILANI B. Big Bang-Big Crunch optimization algorithm for the maximum power point tracking in photovoltaic system[J]. IJMER, 2014, 4(9): 11-17.  
[12] SUGANYADEVI V M, BABULAL K C, KALYANI S, et al. Assessment of voltage stability margin by comparing various support vector regression models[J]. Soft Computing, 2014, 12: 54-61.  
[13] KASHAN A H. A new meta-heuristic for optimization: optics inspired optimization[J]. Computer & Operations Research, 2015, 55: 99-125.  
[14] 冯士刚, 艾芊. 带精英策略的快速非支配排序遗传算法在多目标无功优化中的应用[J]. 电工技术学报, 2007, 22(12): 145-151.  
FENG Shigang, AI Qian. Application of fast and elitist non-dominated sorting generic algorithm in multi-objective reactive power optimization[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, 22(12): 145-151.  
[15] 张聪誉, 陈民铀, 罗辞勇, 等. 基于多目标粒子群算法的电力系统无功优化[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 153-159.  
ZHANG Congyu, CHEN Minyou, LUO Ciyong, et al. Power system reactive power optimization based on multi-objective particle swarm algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20): 153-159.

力系统自动化,2004,28(6):68-72.

FENG Xiaoming,YANG Rengang. Analysis of voltage compensation strategies for Dynamic Voltage Restorer(DVR)[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(6):68-72.

[15] 孙哲,郭春林,肖湘宁,等. 基于负荷电压的 DVR 补偿策略分析方法及最小能量控制[J]. 中国电机工程学报,2010,30(31):43-49.

SUN Zhe,GUO Chunlin,XIAO Xiangning,et al. Analysis method of DVR compensation strategy based on load voltage and minimum energy control[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(31):43-49.

[16] 周卫平,师维,王智勇,等. 三相三线动态电压恢复器最优控制策略[J]. 电力自动化设备,2014,34(1):91-95.

ZHOU Weiping,SHI Wei,WANG Zhiyong,et al. Optimal control of three-phase three-wire dynamic voltage restorer[J]. Electric

Power Automation Equipment,2014,34(1):91-95.

#### 作者简介:



杨金涛

杨金涛(1991—),男,浙江绍兴人,硕士研究生,研究方向为电能质量及其控制技术(E-mail:yangjintao91@foxmail.com);

乐健(1975—),男,湖北黄冈人,副教授,博士,主要从事智能电网运行与控制技术方面的研究工作(E-mail:lej01@mails.tsinghua.edu.cn);

刘开培(1962—),男,湖北荆门人,教授,博士研究生导师,主要从事电力电子技术的研究;

韩英铎(1938—),男,辽宁沈阳人,教授,院士,主要从事 FACTS 及电力电子技术在电力系统中的应用的研究。

### DVR with double-stage LC filter

YANG Jintao<sup>1</sup>,LE Jian<sup>1</sup>,LIU Kaipei<sup>1</sup>,HAN Yingduo<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering,Wuhan University,Wuhan 430072,China;

2. Department of Electrical Engineering,Tsinghua University,Beijing 100084,China)

**Abstract:** The DVR(Dynamic Voltage Restorer) with double-stage LC filter is applied to eliminate the influence of load harmonic current on the output voltage of DVR with single-stage LC filter and to filter out the switching-frequency harmonic with smaller inductance and capacitance. The mathematical model of DVR with double-stage LC filter is established and its system stability is analyzed according to Routh criterion. The parameter design of its control system is proposed and its response performance is compared with that of DVR with single-stage LC filter. Simulative and experimental results prove that,the DVR with double-stage LC filter suppresses the influence of load harmonic current on the DVR system to effectively enhance its output voltage quality.

**Key words:** dynamic voltage restorer; double-stage LC filter; voltage sag; Routh criterion

(上接第 62 页 continued from page 62)

[16] KATAOKA Y,SHINODA Y. Voltage stability limit of electric power systems with generator reactive power constraints considered[J]. IEEE Trans on Power Systems,2005,20(2):951-963.

[17] ZITZEWITZ P W,ELLIOTT T G,HAASE D G,et al. Physics: principles and problems[M]. Glencoe,USA:McGraw-Hill,2005.

[18] Power Systems Engineering Research Center(PSERC). MATPOWER4.1 [EB/OL]. [2015-03-01]. <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>.

#### 作者简介:



方斯顿

方斯顿(1991—),男,重庆人,博士研究生,通信作者,主要研究方向为电力系统安全稳定分析(E-mail:fangston@sjtu.edu.cn);

程浩忠(1962—),男,浙江东阳人,教授,博士,主要研究方向为电力系统规划与运行、电能质量、无功与电压稳定性;

徐国栋(1990—),男,山东淄博人,博士研究生,主要研究方向为电力系统经济调度。

### Closest voltage-stability critical-point calculation based on SOIO algorithm

FANG Sidun<sup>1</sup>,CHENG Haozhong<sup>1</sup>,XU Guodong<sup>1</sup>,ZENG Pingliang<sup>2</sup>,YAO Liangzhong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Control of Power Transmission and Conversion,Ministry of Education,Shanghai Jiao Tong University,Shanghai 200240;2. China Electric Power Research Institute,Beijing 100192,China)

**Abstract:** Aiming at the contradiction between global searching ability and computational efficiency existing in the traditional methods for calculating the closest critical point of voltage stability,a shuffled OIO(Optics Inspired Optimization) algorithm is proposed based on the House-Holder transformation and a strategy of shuffled light sources to further enhance the global searching ability of OIO algorithm. Case analysis shows that,with higher computational efficiency and better global searching ability,the proposed algorithm can effectively find the closest critical point of voltage stability.

**Key words:** voltage stability critical point; load increase uncertainty; optics inspired optimization algorithm; shuffled light sources; House-Holder transformation