基于近似线性规划法的弱电网光伏穿透功率极限计算

徐 岩,闫少波,史迪锋

(华北电力大学 新能源电力系统国家重点实验室,河北 保定 071003)

摘要:传统动态仿真人工修正法确定光伏电站极限容量时,收敛速度慢,仿真工作量大,计算结果精确度低。采用近似线性规划法对传统方法进行改进和优化,将非线性目标函数和约束条件采用一阶泰勒公式进行线性变换,用近似线性解代替非线性解,逐渐逼近光伏电站穿透功率极限。在Digsilent软件中建立IEEE 13节点典型弱电网模型,仿真结果验证了近似线性规划法的快速性、高准确性和高效性。

关键词:近似线性规划;弱电网;光伏电站;穿透功率极限;稳定性

中图分类号:TM 615 **文献标识码**:A DOI:10.3969/j.issn.1006-6047.2014.04.022

0 引言

随着化石燃料逐渐枯竭,能源危机和环境污染形势日益严峻[1],开发清洁环保的可再生能源已成为社会发展的必然趋势[2]。近年来,在各国政策鼓励下,光伏发电凭借清洁环保、资源储量丰富、电站建设周期短、维护成本低等优点[3]得到快速发展,已开始由补充能源向新一代替代能源过渡[4]。

我国多数光伏电站主要分布在偏远地区或电网末端,并入的电网通常以孤网或与大系统以弱联系形式存在,电网结构薄弱,短路容量较小,抗干扰能力较差[5]。加之,光伏发电具有随机性和间歇性,这给光伏电站接入电网带来巨大挑战。

太阳能作为清洁环保的可再生能源,在保证系统满足安全稳定运行前提下,光伏电站应尽可能多地向电网输送电能[6]。但光伏电站在并网运行时,不可避免地对电网正常运行产生影响,而且并网容量越大,影响也越明显[7]。因此,计算系统满足安全稳定运行条件下光伏电站最大容量,对光伏电站并网容量进行限制是很有必要的。

光伏电站对电力系统的影响与诸多因素有关,分析过程复杂。目前,如何从理论上确定光伏电站穿透功率极限值还没有明确的方法,通常采用的一种求取光伏电站穿透功率极限的经典方法是动态仿真人工修正法:建立光伏发电系统数学模型[8-11],采用仿真判定光伏电站在一定容量下系统稳定性,逐步求解满足并网约束条件下光伏电站最大的并网容量。软件仿真具体实现过程:首先,给定光伏电站容量某一初始值;其次,仿真判断系统是否满足安全稳定约束条件;然后,对初始值进行修正,重复给定、判断、修正过程,直至确定光伏电站最大容量[12]。

采用人为修正光伏电站容量,存在一定盲目性,收敛速度慢,工作量较大,计算结果精确度也不高。随着系统节点数目增多,若初始给定值选取不当,仿真次数和计算量会成倍增加。为了提高计算效率和结果准确度,本文采用近似线性规划法对传统方法进行改进,解决了上述问题。

收稿日期:2013-05-14;**修回日期**:2014-02-19

1 弱电网穿透功率极限概念

1.1 弱电网定义

电网的强弱,一方面指电网供电能力的强弱,通过短路容量体现;另一方面指电网供电可靠性,主要包括电网稳定性、电能质量等方面。Prabha Kundur在《电力系统稳定与控制》中对“弱电网”进行了表述[13]:交流系统通常阻抗很大,机械惯性很小,满足这2个特征的交流系统可以看作“弱”系统。同时,书中通过引入短路比(SCR)的概念来表征交流系统的相对强弱,本文也采用短路比来定义弱电网。短路比定义为:

$$\mathrm{SCR}=\frac{\text{接入电网短路容量}}{\text{电网负荷总容量}} \tag{1}$$

一般地,交流系统强度按以下分级:若SCR>5,为强电网;若SCR≤5,为弱电网。

1.2 光伏穿透功率极限概念

光伏系统发电功率受光照强度和天气影响十分明显,当云层飘过时,光伏电站出力会迅速减少80%以上[14],比电网负荷变化速度要快很多。图1为某光伏系统晴天和阴天的发电功率曲线。

为了描述电网能消纳的最大光伏电站容量,分析光伏装机容量增加对电网的影响,引入光伏穿透功率极限的概念。目前,国内外关于光伏穿透功率极限定义有很多,有学者定义为系统光伏最大安装容量和总负荷之比[15];也有学者定义为系统光伏最大安装容量与系统总装机容量之比[16];普遍认可定

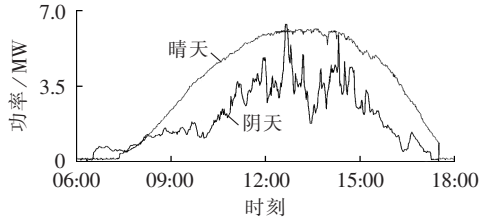

图 1 某光伏系统晴天和阴天发电功率曲线

Fig.1 Output power curves of a PV system for sunny and cloudy days

义是满足一定并网约束条件下,光伏最大出力占整个电力系统最大负荷的百分比,即:

$$\text{光伏穿透功率极限}=\frac{\text{光伏电站最大出力}}{\text{整个系统最大负荷}}\times 100\% \quad (2)$$

2　穿透功率极限计算

2.1　稳定约束条件

系统稳定包括静态稳定和暂态稳定 2 种情况。

静态安全稳定主要是指系统满足关键节点电压不越限、线路输送容量(100%)不过载、变压器容量(100%)不过载、发电机有功和无功出力不越限等约束条件。

当光伏电站接入的系统规模较小时,限制系统暂态安全稳定的主要因素是频率和节点电压[17]。因此,本文采用关键节点电压、线路输送容量、变压器容量、发电机有功和无功出力作为静态约束条件;采用频率和各节点电压作为衡量系统暂态稳定的评价指标。为保证电网稳定运行,要求投切光伏电站后,电网频率和各节点电压能维持在国家标准规定的范围内[18]。国家标准要求:对于 20 kV 及以下系统,当电网容量较小时,正常频率允许最大偏差为 ±0.5 Hz[19];三相供电电压允许最大偏差为标称电压的 ±7%[20],满足该要求的弱电网可认为是稳定的。

2.2　目标函数

确定光伏电站穿透功率极限值就是在保证电网满足各种安全约束条件下,求解光伏电站容量最大化问题,结合国家标准对电网频率和节点电压要求,建立的目标函数 $Y(x)$ 如下:

$$\begin{aligned}&\max \quad Y(x)=x\\&\text{s.t.} \quad 0.99\leqslant f(x)\leqslant 1.01\\&\qquad\quad 0.93\leqslant u(x)\leqslant 1.07\end{aligned} \quad (3)$$

其中,x 为光伏电站容量;$f(x)$ 为电网频率标幺值;$u(x)$ 为电网各节点电压标幺值。

随着光伏电站并网容量增加,电网暂态变化量也会随之增加。光伏电站运行在不同工作方式,电网频率和节点电压瞬时值会随着光伏容量增加而相应地增加或降低。因此,为了描述暂态量变化程度,可将上述目标函数和约束条件转化为:

$$\begin{aligned}&\max \quad Y(x)=Y_f(x)+Y_u(x)\\&\text{s.t.} \quad Y_f(x)=\frac{|f_{\mathrm{m}}(0)-f_{\mathrm{m}}(x)|}{|f_{\mathrm{m}}(0)-f_0|}\\&\qquad\quad Y_u(x)=\frac{|u_{\mathrm{m}}(0)-u_{\mathrm{m}}(x)|}{|u_{\mathrm{m}}(0)-u_0|}\end{aligned} \quad (4)$$

若电网频率随着光伏电站容量增加而降低,f_{m} 取为暂态过程中电网频率的最小值,f_0 取为电网频率最大允许偏差的下限值;反之,f_{m} 取为暂态过程中电网频率的最大值,f_0 取为电网频率最大允许偏差的上限值。u_{m}、u_0 定义类似 f_{m}、f_0。$Y_f(x)$、$Y_u(x)$ 分别用于描述频率和电压的越界程度。

随着光伏电站容量增加,电网暂态偏移量也随之升高,$Y_f(x)$、$Y_u(x)$ 是变量 x 的单调递增函数。当 $Y_f(x)$ 或 $Y_u(x)$ 值为 1 时,电网频率或节点电压达到约束条件边界值,目标函数 $Y(x)$ 取得最大值,此时光伏电站容量即为最大穿透功率极限值。

2.3　近似线性规划法

近似线性规划法采用一阶泰勒展开式对条件约束和目标函数作近似替换,用近似线性解求取真实非线性解,将复杂非线性问题转化为求解简单线性规划问题[21-22]。

假设给定任意光伏电站容量初始值 $x^{(k)}$,在 $x^{(k)}$ 点对 $Y(x)$、$Y_f(x)$、$Y_u(x)$ 进行一阶泰勒公式展开,可得到以下关系式:

$$\begin{cases}Y(x)\approx Y(x^{(k)})+(x-x^{(k)})Y'(x^{(k)})\\Y_f(x)\approx Y_f(x^{(k)})+(x-x^{(k)})Y_f'(x^{(k)})\\Y_u(x)\approx Y_u(x^{(k)})+(x-x^{(k)})Y_u'(x^{(k)})\end{cases} \quad (5)$$

一阶导数 $Y'(x^{(k)})$、$Y_f'(x^{(k)})$、$Y_u'(x^{(k)})$ 用式(6)作近似替代:

$$\begin{cases}Y'(x^{(k)})=\dfrac{Y(x^{(k)})-Y(x^{(k-1)})}{x^{(k)}-x^{(k-1)}}\\Y_f'(x^{(k)})=\dfrac{Y_f(x^{(k)})-Y_f(x^{(k-1)})}{x^{(k)}-x^{(k-1)}}\\Y_u'(x^{(k)})=\dfrac{Y_u(x^{(k)})-Y_u(x^{(k-1)})}{x^{(k)}-x^{(k-1)}}\end{cases} \quad (6)$$

将式(5)和式(6)代入式(4),得到目标函数和约束条件化简后的近似线性规划函数表达式:

$$\begin{aligned}&\max \quad Y(x)+(x-x^{(k)})Y'(x^{(k)})\\&\text{s.t.} \quad x\leqslant\min(x_f^{(k)},x_u^{(k)})\\&\qquad\quad x_f^{(k)}=x^{(k)}+\frac{1-Y_f(x^{(k)})}{Y_f'(x^{(k)})}\\&\qquad\quad x_u^{(k)}=x^{(k)}+\frac{1-Y_u(x^{(k)})}{Y_u'(x^{(k)})}\end{aligned} \quad (7)$$

采用近似线性规划法优化后的目标函数和约束条件是 x 的线性函数,满足电网稳定的近似解为:

$$x^{(k+1)}=\min(x_f^{(k)},x_u^{(k)}) \quad (8)$$

2.4　算法步骤

a. 不接入光伏电站,进行初始潮流计算,得到 $f_{\mathrm{m}}(0)$、$u_{\mathrm{m}}(0)$,$Y_f(0)=0$、$Y_u(0)=0$,假设光伏电站初

始近似修正解 $x^{(1)}$ 为 0.7 MW。

b. 接入光伏电站，根据近似解调整光伏电站容量，再进行动态仿真，得到 $f_m(x^{(k)})$、$u_m(x^{(k)})$，代入式(4)—(8)计算 $Y_f(x^{(k)})$、$Y_u(x^{(k)})$ 和 $x^{(k+1)}$。

c. 若 $Y_f(x^{(k)})>1$ 或 $Y_u(x^{(k)})>1$，则需要利用式(9)对计算结果进行修正。

$$\begin{cases} x^{(k+1)}=\dfrac{x^{(k)}+x^{(k-1)}}{2} \\ \Delta x^{(k)}=x^{(k+1)}-x^{(k)} \\ Y_f(x^{(k)})=Y_f(x^{(k-1)}) \\ Y_u(x^{(k)})=Y_u(x^{(k-1)}) \end{cases} \tag{9}$$

若 $\Delta x^{(k)}<0.01$ MW，迭代终止，取上次计算结果 $x^{(k)}$ 作为光伏电站最大安装容量。

d. 若 $Y_f(x^{(k)})=1$ 且 $Y_u(x^{(k)})<1$，或 $Y_u(x^{(k)})=1$ 且 $Y_f(x^{(k)})<1$，迭代终止，$x^{(k)}$ 为极限功率值。

e. 若 $Y_f(x^{(k)})<1$ 且 $Y_u(x^{(k)})<1$，返回步骤 **b**，继续迭代，直至求得最终结果。

f. 将得到的最终结果代入定义式(2)，计算光伏电站穿透功率极限。

3 算例结果与分析

3.1 模型简介

本文算例在 IEEE 13 节点配网拓扑结构基础上稍作修改，采用 Digsilent 软件搭建模型对提出的算法进行仿真验证，电网结构如图 2 所示。

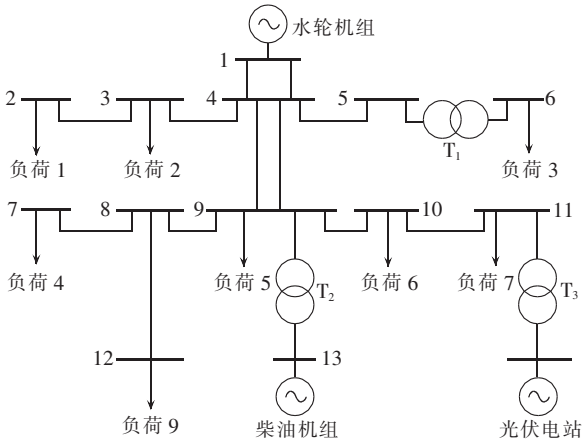

图 2 13 节点配网系统结构图

Fig.2 Structure of 13-bus distribution system

电网电压等级 10 kV，短路容量 30 MW，总负荷 6.8 MW，SCR 为 4.4，满足弱电网定义；光伏电站容量为 MWp 级，光伏电站出口电压为 400 V，经变压器升压到 10 kV，在节点 11 接入电网；负荷类型采用综合模型，60% 恒阻抗负荷，40% 感应电动机负荷；电源包括水轮机(平衡节点)和柴油机(PQ 节点)2 种类型，出力各占电网总负荷一半。

3.2 静态安全稳态分析

系统静态安全稳定主要是指关键节点电压、线路输送容量、变压器容量、发电机有功和无功出力等约束条件均不越限。首先采用潮流仿真法计算静态安全稳态约束条件下光伏电站的最大出力。光伏电站输出功率从零开始，逐渐增加，同时观察系统各稳态约束变量是否越限。

随着光伏出力增加，引起水轮机组出力减少。当光伏电站容量达到 3.4 MW 的过程中，水轮机组出力减少为零。此时，系统线路潮流均不过载，各节点电压均不越限，变压器均不过载。由于不考虑水轮机组作为抽水蓄能机组运行，因此，3.4 MW 即为该弱电网中的能消纳的光伏电站静态稳定运行最大输出功率。

3.3 暂态稳定分析

求解光伏电站穿透功率极限，除了需要满足电网安全稳定运行约束条件外，还需要考虑电网的运行方式。本文主要考虑了光伏电站对电网影响最严重的 3 种运行方式：光伏电站输出功率在短时间内突然降低；光伏电站输出功率在短时间内突然增加；光伏电站因故障，导致全站从电网突然切除。

a. 模拟光伏电站输出功率突然降低。假定短时间(5 s)内，光伏电站输出功率由给定容量逐降至零。近似线性规划法仿真结果如表 1 所示，表中频率最小值、电压最小值均为标幺值，后同。

表 1 光伏电站功率突降仿真结果

Tab.1 Simulative results of sudden power drop of PV power station

仿真次数	光伏容量/MW	频率最小值	电压最小值	Y_u	Y_f	功率修正/MW
1	0	1.00000	0.96744	0	0	0.7000
2	0.7000	0.99392	0.96651	0.0248	0.6080	1.1513
3	1.1513	0.99022	0.96565	0.0478	0.9780	1.1781
4	1.1781	0.99002	0.96558	0.0497	0.9990	1.1808
5	1.1794	0.99000	0.96557	0.0499	1.0000	

b. 模拟光伏电站输出功率突然增加。假定短时间(5 s)内，光伏电站输出功率由零逐升至给定容量。近似线性规划法仿真结果如表 2 所示。

表 2 光伏电站功率突增仿真结果

Tab.2 Simulative results of sudden power augment of PV power station

仿真次数	光伏容量/MW	频率最小值	电压最小值	Y_u	Y_f	功率修正/MW
1	0	1.00000	1.000 00	0	0	0.7000
2	0.7000	1.00761	1.00194	0.0277	0.7610	0.9198
3	0.9198	1.00829	1.00205	0.0293	0.8290	1.4725
4	1.4725	1.01023	1.00237	0.0293	0.8290	1.1962
5	1.1962	1.00923	1.00220	0.0314	0.9230	1.4226
6	1.4226	1.01000	1.00234	0.0334	1.0000	

c. 模拟光伏电站因故障与电网解列。假定光伏电站发生内部故障或并网出口短路，导致光伏电站脱网。近似线性规划算法仿真结果如表 3 所示。

表 3 光伏电站故障脱网仿真结果

Tab.3 Simulative results of grid disconnection of PV power station

仿真次数	光伏容量/MW	频率最小值	电压最小值	Y_u	Y_f	功率修正/MW
1	0	1.00000	0.96744	0	0	0.7000
2	0.7000	0.99362	0.96574	0.0454	0.6380	1.0972
3	1.0972	0.99000	0.96477	0.0713	1.0000	

第 2 种方式下,光伏容量增加,改变电网潮流,使电网频率和节点电压随之增加,光伏电站对电网电压起到支撑作用;第 1 种和第 3 种方式下,电网有功不足,使电网频率和节点电压随之降低。

由 3 种运行方式仿真结果可知,光伏电站在节点 11 并网时,其最大安装容量为 1.097 2 MW,该弱电网光伏电站穿透功率极限为 16.1%。图 3 和图 4 分别为光伏电站因故障瞬时切除后,电网频率和关键节点电压响应曲线(纵轴均为标幺值)。

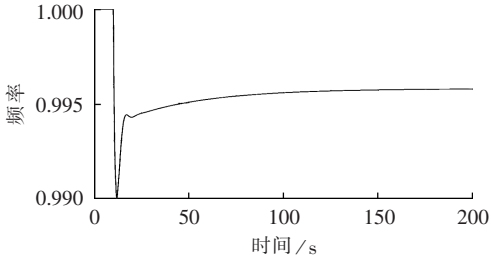

图 3 光伏 1.097 2 MW 脱网后系统频率响应

Fig.3 Response of system frequency to grid disconnection of 1.097 2 MW PV power station

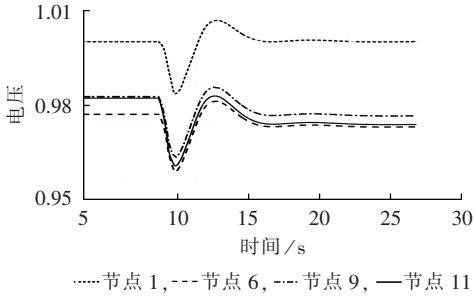

图 4 光伏 1.097 2 MW 脱网后关键母线电压响应

Fig.4 Response of key bus voltage to grid disconnection of 1.097 2 MW PV power station

从仿真结果可以看出,该算法在 3 种不同的运行方式下分别迭代 5 次、6 次、3 次,平均迭代 4.7 次,计算结果精度高,验证了近似线性规划法的快速性、高效性和高精度性,能克服人为修正工作量大、准确度低的缺点,使光伏电站穿透功率极限计算变得简单而快捷。

4　结论

本文给出了一种弱电网基本定义,介绍了传统计算光伏穿透功率极限算法的原理和步骤,分析了其存在的不足,提出采用近似线性规划算法对动态仿真人工修正法计算过程中功率修正值进行改进。并在 IEEE 13 节点配网拓扑结构基础上,通过 Digsilent 软件中建立弱电网模型,在考虑光伏电站对电网影响最严重的 3 种运行方式下,对算法进行验证。

仿真结果表明,近似线性规划法算法简单,易于实现,避免了盲目迭代,减少了工作量,较传统算法有明显的优势。这种算法收敛速度快、效率高、准确度好,能简单快捷地求解电网中光伏电站穿透功率极限值,希望能为实际确定光伏电站功率极限提供一种参考方法。

参考文献:

[1] 张厚升,赵艳雷. 多项式拟合的光伏电池阵列模拟器研究与设计[J]. 电力自动化设备,2012,32(8):109-113.
ZHANG Housheng,ZHAO Yanlei. Research and design of photovoltaic cells simulator by polynomial fitting[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(8):109-113.

[2] 赵继超,袁越,傅质馨,等. 基于 Copula 理论的风光互补发电系统可靠性评估[J]. 电力自动化设备,2013,33(1):124-129.
ZHAO Jichao,YUAN Yue,FU Zhixin,et al. Reliability assessment of wind-PV hybrid generation system based on Copula theory [J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(1):124-129.

[3] 王长贵,崔容强,周篁. 新能源发电技术[M]. 北京:中国电力出版社,2007:22-23.

[4] 赵争鸣,雷一,贺凡波,等. 大容量并网光伏电站技术综述[J]. 电力系统自动化,2011,35(12):101-107.
ZHAO Zhengming,LEI Yi,HE Fanbo,et al. Overview of large scale grid connected photovoltaic power plants[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(12):101-107.

[5] 陈炜,艾欣,吴涛,等. 光伏并网发电系统对电网的影响研究综述[J]. 电力自动化设备,2013,33(2):101-107.
CHEN Wei,AI Xin,WU Tao,et al. Influence of grid-connected photovoltaic system on power network[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(2):101-107.

[6] 袁建华,高厚磊,高峰. 多光伏发电直流网及其控制策略[J]. 电力自动化设备,2011,31(11):8-12.
YUAN Jianhua,GAO Houlei,GAO Feng. DC network based on multiple photovoltaic power generations and its control[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(11):8-12.

[7] 赵波,张雪松,洪博文. 大量分布式电源接入智能配电网后的能量渗透率研究[J]. 电力自动化设备,2012,32(8):95-100.
ZHAO Bo,ZHANG Xuesong,HONG Bowen. Energy penetration of large-scale distributed photovoltaic sources integrated into smart distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(8):95-100.

[8] 李乃永,梁军,赵义术. 并网光伏电站的动态建模与稳定性研究[J]. 中国电机工程学报,2011,31(8):12-18.
LI Naiyong,LIANG Jun,ZHAO Yishu. Research on dynamic modeling and stability of grid-connected photovoltaic power station[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(8):12-18.

[9] 张轶,鲁国起,张焰,等. 光伏电站并网对电网可靠性的影响[J]. 华东电力,2010,38(5):700-706.

ZHANG Yi,LU Guoqi,ZHANG Yan,et al. Influence of grid connection of photovoltaic power station on power grid reliability [J]. East China Electric Power,2010,38(5):700-706.

[10] IKEGAM I T,MACAONO T,NAKANISHI F,et al. Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells,2001,67:389-395.

[11] 赵建飞,姜建国. 智能太阳电池模拟系统的研究[J]. 太阳能学报,2012,33(1):18-22.
ZHAO Jianfei,JIANG Jianguo. Study on the intelligent solar cells simulation system[J]. Acta Energiae Solaris Sinica,2012,33(1):18-22.

[12] 王一波,李晶,许洪华. 考虑电网安全稳定约束的光伏电站最大安装容量计算与分析[J]. 太阳能学报,2008,29(8):972-975.
WANG Yibo,LI Jing,XU Honghua. Analysis of the maximum installed capacity of PV station constrained by power system security and stability[J]. Acta Energiae Solaris Sinica,2008,29(8):972-975.

[13] KUNDUR P. 电力系统稳定与控制[M]. 本书翻译组,译. 北京:中国电力出版社,2002:351.

[14] 韦刚,吴伟力,胡丹云,等. 分布式电源及其并网对电力系统的影响[J]. 高电压技术,2007,33(1):36-44.
WEI Gang,WU Weili,HU Danyun,et al. Distributed generation and effects of its parallel operation on power system[J]. High Voltage Engineering,2007,33(1):36-44.

[15] MATHER B,NEAL R. Integrating high penetrations of PV into Southern California[C]//IEEE Power and Energy Society General Meeting. Austin,TX,USA:[s.n.],2012:737-741.

[16] 李春来,杨小库. 太阳能与风能发电并网技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011:195.

[17] 时珊珊,鲁宗相,闵勇,等. 微电网孤网运行时的频率特性分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(9):36-41.
SHI Shanshan,LU Zongxiang,MIN Yong,et al. Analysis on frequency characteristics of islanded micro-grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(9):36-41.

[18] 王继东,张小静,杜旭浩,等. 光伏发电与风力发电的并网技术标准[J]. 电力自动化设备,2011,31(11):1-7.
WANG Jidong,ZHANG Xiaojing,DU Xuhao,et al. Standards of grid-connection technology for photovoltaic and wind power generations[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(11):1-7.

[19] 中国国家标准化管理委员会. GB/T15945—2008 电能质量电力系统频率偏差[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[20] 中国国家标准化管理委员会. GB/T12325—2008 电能质量供电电压偏差[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[21] 蒋金山,何春雄,潘少华. 最优化计算方法[M]. 广州:华南理工大学出版社,2008:104-107.

[22] 郑国强,鲍海,陈树勇. 基于近似线性规划的风电场穿透功率极限优化的改进算法[J]. 中国电机工程学报,2004,24(10):68-71.
ZHENG Guoqiang,BAO Hai,CHEN Shuyong. Amending algorithm for wind farm penetration optimization based on approximate linear programming method[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(10):68-71.

作者简介:

徐 岩

徐 岩(1976-),男,吉林吉林人,副教授,博士,研究方向为电力系统保护与控制、新能源发电技术(**E-mail**:xy19761001@aliyun.com);

闫少波(1987-),男,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为新能源发电技术(**E-mail**:yanshaobo0608@163.com);

史迪锋(1989-),男,江苏常州人,硕士研究生,研究方向为新能源发电技术(**E-mail**:shi_di_feng@126.com)。

Power penetration limit calculation based on approximate linear programming for PV power station in weak grid

XU Yan,YAN Shaobo,SHI Difeng

(State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University,Baoding 071003,China)

Abstract: When traditional dynamic simulation manual correction method is used to determine the power penetration limit of PV(PhotoVoltaic) power station,it shows slow convergence speed,heavy workload and low of calculation inaccuracy. The approximate linear programming method is adopted to improve and optimize it,which converters the nonlinear objective function and constraints into linear ones by the first-order Taylor formula,substitutes the approximate linear solution for the nonlinear one and approaches gradually the power penetration limit of PV power station. IEEE 13-bus typical weak grid model is built in Digsilent and the rapidity,high accuracy and high efficiency of the proposed method are verified by the simulative results.

Key words: approximate linear programming; weak grid; PV power station; power penetration limit; stability