

基于 GAMS 的光伏发电消纳体系研究

薛斌

(江苏省电力公司检修分公司, 江苏南通 226006)

摘要:提出了一个综合考虑光伏发电机组和传统机组的消纳体系,建立了相应的光伏发电消纳分析数学模型,给出了模型求解方法,以标准的 IEEE26 机 24 节点系统为原型给出了 3 个典型算例,并采用 GAMS(通用代数建模系统)求解。通过对计算结果的分析,表明光伏机组的加入可明显降低发电成本,且光伏发电需要消耗大量的无功,揭示了综合光伏发电消纳体系中发电成本、机组出力、系统稳定之间的密切联系,从而验证了模型和方法的有效性。

关键词:光伏发电;消纳体系;GAMS

中图分类号: TM615

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2014)02-0004-04

光伏发电作为一种可再生能源,越来越受到各国学者的关注。对于如何对光伏发电消纳也成为了业界一个普遍关注的问题,在该领域已经取得了不少的成果。其中文献[1]对于并网光伏电站低电压穿越进行了仿真与分析,文献[2]对大型光伏电站并网特性及其低碳运行与控制技术进行了深入的分析,通过逆变器多模式控制策略来实现大型光伏电站的低碳调度并以此获得最高的低碳效益,由于光伏电能转换过程中不产生无功也不消耗无功,在逆变过程中要消耗无功,因此就要对光伏电站进行无功补偿,文献[3]对具有无功功率补偿和谐波抑制的光伏并网功率调节器的控制和调节方面进行了研究。虽然以上这些文章并不是完全针对光伏发电消纳,但是对于光电消纳方面还是有一定的借鉴意义的。

就模型而言,现在对于光伏消纳模型的研究主要是考虑如何将光伏出力的波动以及不确定性减小到最低。文献[4]主要就是论述的一种平滑方法,通过该方法建立一个包括光电,风电和蓄电池的混合储能系统,以此来将系统的出力波动降到最低。在现有的文献中,极少有将光伏发电机组和传统机组综合起来考虑进行消纳。

1 光伏发电消纳模型及求解方法

1.1 光伏发电消纳分析模型

$$\min F = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \{u_i(t)C_i[P_i(t)] + S_i[x_i(t), u_i(t)]\} \quad (1)$$

式(1)中: F 为所有机组发电的总费用函数; T 为一个调度周期; I 为调度机组的台数; C_i 为发电费用函数; $C_i[P_i(t)] = \alpha_i P_i^2 + \beta P_i + \gamma$,其中 α, β, γ 为机组 i 的费用函数的系数; $u_i(t) = 1$ 为机组 i 在 t 时段开机; $u_i(t) = 0$ 为关机; $P_i(t)$ 为机组 i 在 t 时段的有功出力; S_i 为机

组 i 的开机费用; $x_i(t)$ 为以该时段前机组 i 最后一次开机时段为时间起点,并且中间没有停机,整个过程内的时段累计开机时间,为正值;相类似的有机组的连续累计停机时间为负值。

(1) 功率平衡约束:

$$\sum_{i=1}^I P_i(t)u_i(t) = P_{\text{load}}(t) + P_L(t) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I Q_i(t)u_i(t) = Q_{\text{load}}(t) + Q_L(t) \quad (3)$$

式(2)中: $P_{\text{load}}(t), P_L(t)$ 分别为 t 时段的负荷和网损。

(2) 旋转备用约束:

$$\sum_{i=1}^I [P_{i,\text{max}}(t) + P_{\text{pvi,max}}(t) - P_i(t)]u_i(t) \geq R(t) \quad (4)$$

式(4)中: $R(t)$ 为 t 时段所需的旋转备用。

(3) 由于每台机组都有一定的容量限制,则:

$$u_i(t)P_{i,\text{min}} \leq P_i(t) \leq u_i(t)P_{i,\text{max}} \quad (5)$$

$$u_i(t)Q_{i,\text{min}} \leq Q_i(t) \leq u_i(t)Q_{i,\text{max}} \quad (6)$$

$$0 \leq P_{\text{pvi}}(t) \leq u_i(t)P_{\text{pvi,max}} \quad (7)$$

式(5—7)中: $P_{i,\text{min}}, P_{i,\text{max}}, Q_{i,\text{min}}, Q_{i,\text{max}}$ 分别为机组 i 的有功和无功出力上下限; $P_{\text{pvi,max}}$ 为光伏机组 i 的出力上限。

(4) 发电机组在增加功率和减少功率时也要受一定约束:

$$-P_{i,\text{down}} \leq P_i(t) - P_i(t-1) \leq P_{i,\text{up}} \quad (8)$$

$$-P_{\text{pvi,down}} \leq P_{\text{pvi}}(t) - P_{\text{pvi}}(t-1) \leq P_{\text{pvi,up}} \quad (9)$$

式(8,9)中: $P_{i,\text{down}}, P_{i,\text{up}}$ 分别为机组 i 的有功出力的下降和上升限制。

(5) 机组最小开机和关机时间。机组不能频繁地开关,必须开机/关机一段时间之后才能关机/开机,即: $u_i(t) = 1$,此时 $X_i^{\text{on}}(t) < T_i^{\text{on}}$; $u_i(t) = 0$,此时 $X_i^{\text{off}}(t) < T_i^{\text{off}}$ 。

其中, $X_i^{\text{on}}(t)$ 为机组 i 在 t 时段之前已经运行的时

间; T_i^{on} 为机组*i*的最小开机时间。

(6) 线路功率限制:

$$P_{jk,\min} \leq P_{jk}(t) \leq P_{jk,\max} \quad (10)$$

$$Q_{jk,\min} \leq Q_{jk}(t) \leq Q_{jk,\max} \quad (11)$$

式(10,11)中: $P_{jk,\min}, P_{jk,\max}$ 为节点*j*到节点*k*之间线路的最小和最大有功传输功率; $Q_{jk,\min}, Q_{jk,\max}$ 为节点*j*到节点*k*之间线路的最小和最大无功传输功率。

(7) 节点电压限制,这里就是要将节点电压限制在一定范围内,即:

$$V_{j,\min} \leq V_j(t) \leq V_{j,\max} \quad (12)$$

且有:

$$P_{jk}(t) = [V_j(t)^2 - V_j(t)V_k(t)\cos\theta_{jk}(t)]g_{jk} - V_j(t)V_k(t)\sin\theta_{jk}(t)b_{jk} \quad (13)$$

$$Q_{jk}(t) = -V_j(t)V_k(t)\sin\theta_{jk}(t)g_{jk} - [V_j(t)^2 - V_j(t)V_k(t)\cos\theta_{jk}(t)]b_{jk} \quad (14)$$

1.2 模型求解

该模型采用通用代数建模系统(GAMS)求解。GAMS是一款数学规划和优化的高级建模系统,特别为求解线性、非线性和混合整数最优化问题而设计,它允许使用者通过制定简单的设置来把精力放在建模问题上,使用GAMS,数据仅仅需要一次就能在熟悉的列表和表格形式中输入,模型以简练的代数声明来描述,对于人和机器都很容易读懂,相关约束的整个集合被输入到一个声明中,GAMS自动生成每个约束等式,至于执行的费时的细节将由GAMS系统来处理。GAMS的操作大抵可分为3个步骤:(1)建立GAMS输入文件;(2)执行GAMS程序;(3)输出GAMS求解结果。

2 算例分析

2.1 算例 1

用一个IEEE26机24节点系统进行测试,其系统图如图1所示。将全天24h平均分为24个时段,仿真结果均为标么值(下同)。

首先为分析方便,暂时不加入光伏机组,只考虑常规机组的机组组合问题。仿真结果如表1、表2所示(篇幅所限,只列出Unit1,Unit17,Unit19和Unit26的数据,Unit2—Unit9与Unit1类似,此处略去)。

算例1所有机组发电的总费用为771981.021元。Unit1—Unit9由于运行费用相对其他机组较高,因此从总体上来看,它们的出力较少,并且停机时间也比较长;在第18时段这9台机组都有比较多的出力,因为负荷在该时段突然增加,其他机组基本上已经满发,所以需要增加费用相对较高的机组来平衡负荷。

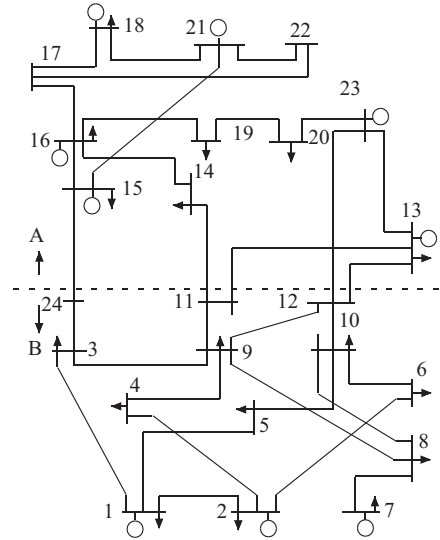


图1 IEEE26机24节点系统图

表1 机组出力表(1—12时段) p.u.

时段	1	2	3	4	5	6
Unit1	0	0	0	0	0	0
Unit17	1.550	1.514	1.428	1.550	1.320	1.344
Unit19	1.550	1.376	1.396	1.550	1.432	1.473
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
时段	7	8	9	10	11	12
Unit1	0	0	0	0	0	0
Unit17	1.550	1.514	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	1.550	1.474	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

表2 机组出力表(13—24时段) p.u.

时段	13	14	15	16	17	18
Unit1	0	0	0	0	0	0.024
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
时段	19	20	21	22	23	24
Unit1	0	0	0.024	0	0	0
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	1.550	1.474	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

2.2 算例 2

将光伏发电加入到该电网中来,和算例1的模型相比,将Unit1和Unit19替换为光伏机组,并且Unit19是6台光伏机组的并联。仿真结果如表3、表4所示(篇幅所限,只列出Unit1,Unit17,Unit19和Unit26的数据)。

表3 机组出力表(1—12时段) p.u.

时段 \ 机组	1	2	3	4	5	6
Unit1	0	0	0	0	0.004	0.030
Unit17	1.219	0.999	1.065	1.222	1.291	1.550
Unit19	0	0	0	0	0.025	0.181
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
时段 \ 机组	7	8	9	10	11	12
Unit1	0.044	0.157	0.239	0.257	0.314	0.328
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	0.265	0.941	1.432	1.541	1.882	1.966
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

表4 机组出力表(13—24时段) p.u.

时段 \ 机组	13	14	15	16	17	18
Unit1	0.321	0.328	0.257	0.221	0.044	0.030
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	1.924	1.966	1.541	1.327	0.265	0.181
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
时段 \ 机组	19	20	21	22	23	24
Unit1	0.015	0.002	0.0007	0	0	0
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.483
Unit19	0.088	0.013	0.004	0	0	0
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

算例2所有机组发电的总费用为723 993.231元。由表3、表4可见,由于将Unit1换成光伏机组之后,其在第1到第24时段内大都是满发,正是因为光伏出力是不需要消耗煤的,没有发电成本,所以该机组一般选择满发。

对比算例1的结果可看出:

(1) 由于Unit1和Unit17是在同一节点上,而Unit1在第1到第4时段是没有出力的,为了保持该节点功率平衡,在考虑网络传输功率的条件下就有2种选择,Unit17直接增加发电或者相邻节点上的Unit26增加出力,最后的结果是Unit17多出力,原因是Unit17的发电成本低于Unit26;

(2) 在加入光伏机组后,与光伏节点相连线路的流出功率会增加,这样也符合整个系统的成本最小化。

2.3 算例3

算例2可看出,光伏机组的加入会使得成本降低,又由于其中有很多线路的传输功率值还远远没有达到上限,因此可提高光伏机组的出力值,来看是否会使得整个系统的成本更低。在这里将每台机组的出力放大到原来的10倍,仿真结果如表5、表6所示(篇幅所限,只列出Unit19,Unit21,Unit22,Unit23的数据)。

表5 机组出力表(1—12时段) p.u.

时段 \ 机组	1	2	3	4	5	6
Unit1	0	0	0	0	0.252	1.806
Unit17	0	0	0	0	0	0
Unit19	0	0	0	0	0	0
Unit26	0	0	0	0	0	0
时段 \ 机组	7	8	9	10	11	12
Unit1	2.464	9.408	11.801	10.662	7.690	0
Unit17	0	0.689	0.689	0.689	0.870	1.420
Unit19	0	0	0	0	0	0.689
Unit26	0	0	0.689	0.689	0.870	1.420

表6 机组出力表(13—24时段) p.u.

时段 \ 机组	13	14	15	16	17	18
Unit1	0	0	6.442	0	2.646	1.806
Unit17	1.970	1.970	1.394	1.944	0.954	0.749
Unit19	1.239	0.689	0	0	0.689	0.689
Unit26	1.970	1.789	1.129	1.679	0.689	0
时段 \ 机组	19	20	21	22	23	24
Unit1	0.882	0.126	0.042	0	0	0
Unit17	1.251	1.801	1.811	1.566	0.689	0
Unit19	1.053	1.603	1.612	1.367	0.689	0
Unit26	0	0	0.689	0	0	0

算例3所有机组发电的总费用为654 638.688元。对比算例2可得出如下结论:

(1) 在第8到第12时段,与Unit19所在节点邻近节点的Unit21—Unit23的出力都相应减少或者减少为0,但Unit19却没有满发,这是因为线路已经接近满载,这样虽然费用大大减少,但是长期运行会使得线路老化严重,系统风险增加;

(2) 算例3中从Unit19所在节点流出的无功功率大大减少,说明光伏发电需要消耗大量无功功率,因此在对光伏进行大规模消纳的时候,要考虑在光伏节点处注入无功,否则就会造成系统的不稳定。

3 结束语

提出了一个综合考虑光伏发电机组和传统机组的消纳体系,建立了相应的光伏发电消纳分析体系的数学模型,对标准的IEEE26机24节点系统及其演变的2个系统算例采用GAMS求解,通过对计算结果的分析,得出以下结论:

(1) 本文所建立的数学模型和采用的GAMS是有效的。

(2) 光伏发电机组的加入会降低机组整体的发电

成本,应优先选择发电成本低的机组增加出力。

(3) 要在确保系统稳定的前提下,增加机组出力,可适当在光伏节点注入无功。

再下一步可从以下方面深入研究。选取哪些节点为光伏节点对提高系统的经济性最佳以及在光伏节点注入无功对系统稳定性的影响。

参考文献:

- [1] 陈波,朱凌志,朱晓东. 并网光伏电站低电压穿越仿真与分析[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):13-17.
- [2] 艾欣,韩晓男,孙英云. 大型光伏电站并网特性及其低碳运行与控制技术[J]. 电网技术,2013,37(1):15-23.

[3] 汪海宁,苏建徽,张国荣,等. 具有无功功率补偿和谐波抑制的光伏并网功率调节器控制研究[J]. 太阳能学报,2006,27(6):540-544.

[4] LI L L, DING Q, LI H, et al. Optimal Dispatching Method for Smoothing power Fluctuations of the Wind-Photovoltaic-Battery Hybrid Generation System[C]. ISGT Asia, Tianjin: IEEE,2012:1-6.

作者简介:

薛斌(1982),男,江苏如皋人,工程师,从事电力系统的安全与控制工作。

Research on the Photovoltaic Power Consumption System Based on Gams

XUE Bin

(Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper proposes a Power Consumption System with the considerations of photovoltaic power and regular power. A mathematical model for photovoltaic power consumption analysis is built and the way to solve the model is provided. The IEEE 26-generator 24-bus test system is taken as an example and three scenarios of it are analysed with the method of GAMS. The results show that the generation cost is reduced and reactive power consumption is increased with the integration of photovoltaic power. It also reveals that there exists tight connections among generation cost, generation output and power system stability, which validates the effectiveness and correctness of the proposed system.

Key words: photovoltaic generation; consumption system; GAMS

(上接第3页)

- [6] CORSI S, TARANTO G N. A Real-time Voltage Instability Identification Algorithm Based on Local Phasor Measurements [J]. Power Systems, IEEE Transactions on,2008,23(3):1271-1279.
- [7] 牟善科,丁涛,顾伟,等. 基于偏差校正的戴维南等值参数在线跟踪改进算法[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(2):23-28.
- [8] 杨健维,麦瑞坤,何正友. PSCAD/EMTDC 与 Matlab 接口研究[J]. 电力自动化设备,2007,27(11):83-87.
- [9] 邹宁,方存洋,刘育鑫,等. PSCAD/EMTDC-MATLAB 联合仿真

技术在 SVC 控制系统仿真建模中的应用[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):40-44.

作者简介:

任旭超(1989),男,河南济源人,硕士研究生,研究方向为电力系统电压稳定与控制、FACTS 装置协调控制;

万秋兰(1950),女,江西南昌人,教授,研究方向为电力系统运行与控制及电力系统经济调度。

A Fast SVC Control Method for Voltage Stability

REN Xuchao, WAN Qiulan

(Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: When voltage tends to instability, SVC (Static Var Compensator) may fail to prevent it due to the slow reactive power output speed. For this situation, a fast control method of SVC to prevent voltage instability is proposed. The out-of-limit of VIP(voltage instability predictor) is set as the starting condition of this method. The reactive power output speed of SVC is raised by adjusting the voltage reference of SVC controller, thus voltage instability is prevented. PSCAD/EMTDC and MATLAB joint simulation is adopted for example analysis, and the results prove that the control method improves voltage stability. Moreover, the method only adjusts external data of SVC control system, and the original structure and parameters of SVC control system are not changed, so it is easy to apply the method current actual power system.

Key words: SVC; Thevenin equivalent; Voltage stability; PSCAD/EMTDC; MATLAB

欢迎投稿 欢迎订阅