

考虑节能效益的企业分布式电源优化配置探究

刘 渝

重庆市信息通信咨询设计院有限公司 重庆 400000

【摘要】：随着电力负荷的不断增长，传统的集中式单一供电系统的弊端逐步显现出来。将传统电网与分布式发电相结合，充分发挥分布式电源的优越性，是未来电网发展的趋势。基于此本文主要针对公司配电系统分布式的电源规划问题，主要以节能效益作为目标，创建出企业分布式电源优化配置的模型。利用该模型来优化分布式电源的配置之后，提升电压的质量，降低配电网的损耗等，使得企业节能经济效益获得有效提升。

【关键词】：节能效益；企业分布式电源；优化配置

引言

企业分布式电源具有清洁环保、占地面积少以及见效较快等特点，企业分布式电源不仅需要确保生产供电的需求，与此同时，最大限度地减少购电的成本、提升社会经济的效益。中国电力改革需要积极开展分布式电源的项目，放开用户侧分布式的电源建设，积极地鼓励企业投资对分布式电源的建设，允许接入各个电压等级的终端用电系统以及配电网，然而，企业分布式电源的接入，进一步影响到配电网自身的电压质量以及潮流分布等多方面，影响程度和分布式电源的实际配置情况具有一定的联系。基于此，需要研究企业分布式电源的容量以及位置，将企业获得的经济收益发挥到最大化。

1 企业分布式电源发展现状

分布式电源固有的发展进程以及技术经济特性中所受的技术以及资源等因素的影响，就是其在企业进一步规模化发展所面临问题的根本来源，主要具有以下一个方面。因素的影响，是其在我国进一步规模化发展所面临问题的根本来源，归纳来看，主要有以下几个方面：

1.1 分布式电源影响电网稳定运行

分布式光伏、分散式风电的高渗透率，带来了新问题：①增加了发电侧的随机波动性；②加剧了配电网过电压、功率倒送等问题，挑战了传统集群划分下的配电网规划运行分析；③复杂了需求侧管理和分布式电源控制及调度；④压缩电网的系统调峰、输送通道能力，增加局部电网低负荷时段调节难度。由于目前分布式电源缺乏有效的监测和预测手段，常规的负荷预测无法考虑分布式电源的影响。在分布式电源持续高功率输出时出现输配电网络电流倒送，导致电压升高、设备过载；在分布式可再生出力就地与负荷平衡情况下，局部电网无法保持合格的故障突发时的无功支撑和暂态电压水平。

1.2 分布式电源技术有待突破

分布式光伏组件及其核心技术有待改善，分散式风电当前在低风速风电机组设计技术创新、机位排布分散、运维管理体系建设等都具有较大进步空间。电网接纳分布式可再生能源并网上网的能力不高，现有网络架构和控制技术实现的供需管理精度无法保障自身的稳定运行和供用电端的经济性追求。天然气发电原动机应用上主要依赖进口，伴随较高的安装、维护成本；在研发和生产方面，自主研发设备的性能有待改善、产业化进程有待加快，进口设备国产化水平不高，天然气分布式能源是一种新兴产业，配套的专业服务能力较为薄弱，专业人才也很匮乏，这严重阻碍了我国天然气分布式能源的发展。

1.3 分布式电源配套政策有待完善

分布式光伏的发展逐步进入平价市场化阶段，但市场化交易相关整体体系架构还不完善。对于分散式风电当前审批流程繁杂、协调困难，投资决策工作面不少于集中式风电比；配套金融支持、并网政策、土地等政策缺失，同分布式光伏相比没有比较优势，导致投资积极性不高。对于天然气分布式能源，纵观现有政策措施，大多是从原则上提出促进天然气分布式能源的发展，缺乏相应的天然气分布式能源补贴政策及项目审批规划、建设运行的指导意见。我国幅员辽阔，各个地区经济发展状况不同，自然资源储量也不同，故天然气分布式能源的发展需要各个地区针对自身特点，因地制宜地制定适合自身发展的政策意见。然而现阶段我国大部分省市尚无指导当地天然气分布式能源发展的政策意见，只有少数省市制定了天然气分布式能源的补贴政策。配套政策的不完善严重阻碍了我国天然气分布式能源的快速发展，是亟待解决的重要问题之一。

2 考虑节能效益的企业分布式电源优化配置模型

2.1 优化配置的目标函数

第一，配电网网络损耗最小。配电网直接面向广大用户，承担着向用户提供优质可靠电能的任务。DG 的加入可以在某种程度上减小配电网网络损耗。配电网网损最小的目标函数为：

$$f_1 = \min(P_{loss}) = \sum_{j=1}^m I_j^2 R_j \quad (1)$$

式(1)中： P_{loss} 为有功损耗总和； m 为支路数；表示第 j 条支路上的电流； R_j 表示第 j 条支路上的电阻值。

第二，节点电压偏移最小。如果 DG 的接入位置距离母线太近或者接入容量过大时，就存在导致节点电压大大超过节点额定电压的可能性，在本论文中将系统负荷节点电压偏移作为一个目标函数，如下所示：

$$f_2 = \min(\Delta U) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{U_i - U_i^{spec}}{\Delta U_i^{max}} \right)^2 \quad (2)$$

式(2)中： ΔU 为电压的偏差总值； U_i^{spec} 为第 i 个节点的电压期望值； ΔU_i^{max} 为第 i 个负荷节点所允许的最大电压偏差，即： $\Delta U_i^{max} = U_i^{max} - U_i^{min}$ 。

2.2 优化配置的约束条件及其处理

(1) 约束条件

第一，潮流等式约束：

$$\begin{cases} P_{Gi} + P_{DG_i} - P_{Li} = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \\ Q_{Gi} + Q_{DG_i} - Q_{Li} = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cos \delta_{ij}) \end{cases} \quad (3)$$

式中， n 为系统节点数量， P_{Gi} 为注入节点 i 的系统电源的有功功率， Q_{Gi} 为注入节点 i 的系统电源的无功功率， P_{DG_i} 为注入节点 i 分布式电源的有功功率， Q_{DG_i} 为注入节点 i 分布式电源的无功功率， P_{Li} 为节点 i 的有功负荷和 Q_{Li} 为节点 i 的无功负荷。

(2) 不等式约束

第一，节点电压约束

$$U_{imin} \leq U_i \leq U_{imax} \quad (4)$$

式子(4)中， U_{imax} 和 U_{imin} 分别是节点 i 所允许的节点电压上下限。

第二，支路电流约束

$$I \leq I_{jmax} \quad (5)$$

在式子(5)中，作为支路 j 所允许通过的最大电流。

第三，DG 接入的总容量约束

按照国网公司 Q/GDW480-2010 第4条，GD 接入配网的总容量不应该超过网络最大负荷总量的 25%，即：

$$\sum_{i=1}^i P_{DG_i} \leq 0.25 \sum_{i=1}^n P_{LOAD_i} \quad (6)$$

(3) 约束条件的处理

本文选用构建惩罚函数的方式来处理节点电压，支路电流和 DG 接入系统总容量三个不等式约束条件，处理过程如下：

第一，节点电压的惩罚函数

$$\begin{cases} \lambda_u (u_{imin} - u_i)^2, & u_i < u_{imin} \\ \lambda_u (u_i) = \lambda_u (u_i - u_{imax})^2, & u_i > u_{imax} \\ 0, & u_{imin} \leq u_i \leq u_{imax} \end{cases} \quad (7)$$

式子(7)中， u_{imin} 和 u_{imax} 分别为 u 的最小值和最大值； λ_u 为节点 i 的电压惩罚系数。

第二，支路电流的惩罚函数

$$\begin{cases} \lambda_i (I_j - I_{jmax})^2, & I_j \geq I_{jmax} \\ \lambda_i (I_j) = \\ 0, & I_j < I_{jmax} \end{cases} \quad (8)$$

式子(8)中， I_{jmax} 就是 I_j 的最大值； λ_i 就是支路 i 的电流惩罚系数。

第三，DG 接入总容量的惩罚系数

$$\begin{cases} \lambda_p (\sum_{i=1}^n P_{DG_i} - P_{max})^2, & \sum_{i=1}^n P_{DG_i} > P_{max} \\ \lambda_p (PDG) = \\ 0, & \sum_{i=1}^n P_{DG_i} \leq P_{max} \end{cases} \quad (9)$$

式子(9)中， P_{max} 就是允许接入 DG 的最大容量； $\sum_{i=1}^n P_{DG_i}$ 就是 DG 接入的总容量； λ_p 就是 DG 接入总容量的惩罚系数。

2.3 综合目标函数

因为有功损耗和节点电压偏移的量纲不同，可能会导致优化过程中出现难以协调的问题。为了解决这个问题，引入权重因子和惩罚因子来处理这两个目标函数，实现由多目标到单目标的转换，简化后的综合目标函数如下式所示：

式中，综合目标 f 由有功损耗目标函数

$$\min f = \lambda_1 b_1 \frac{f_1}{P_{LOSS0}} + \lambda_2 b_2 \frac{f_2}{\Delta U_0} \quad (10)$$

式子 (10) 中，综合目标 f 由于具有有功损耗目标函数 f_1 与节点电压偏移 f_2 两部分引入惩罚因子 λ_1 、 λ_2 加权求和综合而成的单目标优化函数。其中， P_{LOSS0} 与 ΔU_0 分别表示网络在初始状态下的有功损耗大小和节点电压偏移； b_1 、 b_2 分别为对应于有功损耗目标函数 f_1 与节点电压偏移目标函数 f_2 的权重因子，并且需要满足 $b_1 + b_2 = 1$ ； λ_1 、 λ_2 分别代表着对应目标函数 f_1 、 f_2 的惩罚因子，并且做出如下定义：

$$\lambda_1 = \begin{cases} N, & f_1 \geq P_{LOSS0} \\ 1, & f_1 < P_{LOSS0} \end{cases} \quad (11)$$

式子 (10) 中， N 代表着一个大于 0 的数，并且取的数值也比较大。当模型优化之后有功损耗的目标函数 $f_1 >$ 初始状态有功损耗 P_{LOSS0} ，则将惩罚因子 k_1 的值规定为 N ，使得 f 数值很大，则放弃次解；相反的惩罚因子 λ_1 取值为 1。

同理，对于 k_2 来说：

$$\lambda_2 = \begin{cases} N, & f_2 \geq \Delta U_0 \\ 1, & f_2 < \Delta U_0 \end{cases} \quad (12)$$

在式子 (12) 中，当模型优化之后的节点电压偏移 $f_2 >$ 网络初始状态下的节点电压偏移 ΔU_0 ，那么惩罚因子 λ_2 的数值规定是 N ，使得 f 的数值变得很大，那么将要放弃次解；相反惩罚因子 λ_2 的取值为 1。再把惩罚函数形式的不等式约束条件加入，获得新的综合目标函数如下：

参考文献：

[1] 刘若河,贾燕冰,谢栋,罗宇恒.考虑配电网消纳能力的分布式电源与储能优化配置[J].电力电容器与无功补偿,2021,42(01):166-172.

$$\min f = \lambda_1 b_1 \frac{f_1}{P_{LOSS0}} + \lambda_2 b_2 \frac{f_2}{\Delta U_0} + \sum_{i=1}^n \lambda_u (U_i) + \sum_{j=1}^m \lambda_i (I_j) + \lambda_p (P_{DG})$$

3 算例分析

本文以 IEEE33 点配电系统为例进行仿真分析。链式配电网的相关参数设置如下：节点 1 为平衡节点，平衡节点的初始电压为 1.00 (标么值)，节点各允许电压范围为 0.93—1.07 (标么值)，基准电压为 12.66kV，系统基准容量为 10MVA，潮流计算的收敛精度为 $10e-6$ ，如图 1 所示为 IEEE33 节点链式配电系统图。

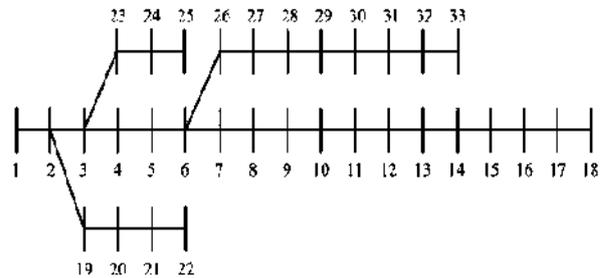


图 1 IEEE33 节点配电系统图

本文主要以太阳能光伏发电作为此次研究对象，把功率因数设置成为 0.9，并且把其处理成 PQ 节点进行潮流计算。在 IEEE33 节的算例中，1 主要就是平衡节点，不将其接入 DG 中，本文设置在节点位置 (2, 3, ..., 33) 均可以接入分布式电源。DG 的基准容量取 10kW。在目标函数中，未接入分布式电源时的系统网损 P_{LOSS0} 和节点电压偏移 ΔU_0 分别为 202.6771kW 和 5.9767。系统网损和节点电压偏移的权重 b_1 和 b_2 均取 0.5，惩罚因子 λ_1 以及 λ_2 中 N 取 10000。支路电流上限取 0.3kA。DG 允许接入系统的最大有功功率为 928.75kW。惩罚系数 λ_u 、 λ_i 以及 λ_p 均取 10000。

4 结论

综上所述，本文主要创建出以配电系统损耗最小以及节点电压偏移最小的分布式电源优化配置模型。在 IEEE33 节点的配电体系中，主要运用到节点电压偏移最小的优化配置模型方案进行求解。针对企业配电体系分布式电源规划的相关问题，进一步构建出以最大化节能效益作为目标的分布式电源优化配置模型。

- [2] 李建林,谭宇良,王含,黄健.配网及光储微网储能系统配置优化策略[J].高电压技术:1-12[2021-12-29].
- [3] 黄宗龙,江修波,刘丽军.低碳化背景下配电网“源—储—荷”多目标优化配置[J].电力科学与技术学报,2020,35(05):36-45.
- [4] 凌万水,刘刚.基于鲁棒优化的主动配电网分布式电源优化配置方法[J].电力系统保护与控制,2020,48(15):141-148.
- [5] 张鹏.基于双层规划模型的配电网分布式电源与储能协同优化配置研究[D].西安理工大学,2020.
- [6] 顾洁,刘书琪,胡玉,孟璐.基于深度卷积生成对抗网络场景生成的间歇式分布式电源优化配置[J].电网技术,2021,45(05):1742-1751.
- [7] 芮松华,刘海璇,王洪波,尹德扬,梅飞.基于遗传-蚁群算法的交直流配电网分布式电源优化配置[J].电力建设,2019,40(04):9-17.
- [8] 张雨薇,张嵩.考虑运行调峰的分布式电源多点优化接入方法[C].中国电力科学研究院.2018 智能电网新技术发展与应用研讨会论文集.中国电力科学研究院:《计算机工程与应用》编辑部,2018:427-431.
- [9] 官嘉玉,江修波,刘丽军.考虑电动汽车充电站的分布式电源优化配置研究[C].福建省电机工程学会.福建省电机工程学会 2018 年学术年会获奖论文集.福建省电机工程学会:福建省电机工程学会,2018:525-532.
- [10] 陈聪伟,江修波,刘丽军.考虑时序与储能配合的分布式电源优化配置研究[C].福建省电机工程学会.福建省电机工程学会 2018 年学术年会获奖论文集.福建省电机工程学会:福建省电机工程学会,2018:533-540.