

智能电网中分布式新能源电源规划的研究与分析

文/国网新疆电力有限公司吐鲁番供电公司 柴雨峰

研究了智能电网建设中分布式电源的优化规划，建立了多目标优化模型，并将多目标函数归一化，使得电力公司年经济效益最大化。

随着电力系统运行环境的日趋复杂与电力体制改革的不前进，智能电网成为未来电网的发展方向。作为智能电网建设的关键技术之一，包括风电、光伏和燃料电池等新能源在内的分布式电源（DG）是集中式供电的一种补充，可以有效地缓解环境污染和能源紧缺，提高供电可靠性和安全性。2009年，国家电网公司公布了“智能电网”发展计划，提出建成统一的“坚强智能电网”。在此背景下，分布式电源的优化规划在智能电网的建设中显得尤为重要。

然而DG接入配电网络，会对配电网有较大的影响，包括潮流、电压水平、线损和故障水平等，具体影响的大小与DG的容量大小、接入位置有很大关系。因此分布式电源的选址和定容显得十分重要。本文建立的分布式电源优化规划新模型，以电力公司年经济效益最大为目标对DG进行选址和定容。为了克服粒子群算法早熟的问题，采用改进粒子群算法求解问题。

智能电网中分布式电源的优化规划模型

1. 目标函数

本文以电力公司年经济效益最大为目标函数，建立分布式电源优化规划的经济模型，其目标函数为

$$\max F = \max(F_1 + F_2 - F_3 - F_4 + F_5) \quad (1)$$

式中， F_1 为减少的网损费用函数； F_2 为减少的购电费用函数； F_3 为DG安装费用函数； F_4 为DG发电费

用函数； F_5 为减少的停电损失费用函数。

本文考虑DG安装在负荷附近，故假设DG直接安装在负荷节点上，则网损表达式可以简化为

$$\Delta P_{\text{loss}} = \frac{rL}{3V^2} [(P_L - P_{\text{DG}})^2 + (Q_L - Q_{\text{DG}})^2] \quad (2)$$

式中， r 为单位长度的阻抗值； L 为线路的长度； V 为配电网节点电压值； P_L 为负荷的有功功率； Q_L 为负荷的无功功率； P_{DG} 为DG输出的有功功率； Q_{DG} 为DG输出的无功功率。则在DG功率因数一定的情况下，得出系统减少的网络损耗费用为

$$F_1 = \left(\sum_{i=1}^{N_{\text{DG}}} \Delta P_{\text{loss}i} \right) T_{\text{max}} C_e \quad (3)$$

式中， N_{DG} 为DG安装数量； T_{max} 为系统最大年负荷利用小时数； C_e 为系统单位电价。

DG安装后供电，不再需要向发电公司购买DG供电和网络损耗减少部分的电能，将减少购电费用，该费用的目标函数为

$$F_2 = \left(\sum_{i=1}^{N_{\text{DG}}} P_{\text{DG}i} + \Delta P_{\text{loss}i} \right) T_{\text{max}} C_d \quad (4)$$

式中， $P_{\text{DG}i}$ 为第 i 个DG输出有功功率； $Y_{\text{DG}i}$ 为DG发电公司单位电价。

DG的安装费用折算到每年可表示如下

$$F_3 = \sum_{i=1}^{N_{\text{DG}}} \frac{P_{\text{DG}i} E_{\text{DG}i}}{Y_{\text{DG}i}} \quad (5)$$

式中， $E_{\text{DG}i}$ 为第 i 个DG的单位容量安装价格； $Y_{\text{DG}i}$ 为DG寿命值。

DG的发电费用可表示为

$$F_4 = \sum_{i=1}^{N_{DG}} (P_{DG_i} T_{\max} C_{DG_i}) \quad (6)$$

式中, C_{DG_i} 为第 i 个 DG 单位容量发电价格。

当外界大电网出现故障停电或电能质量问题时, 智能电网可通过主断路器切断与电网的联系, 孤网运行, 此时智能电网的负荷全部由 DG 承担, 从而减少因停电而带来的损失。孤网运行时减少的停电损失费用为

$$F_5 = \sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG_i} t_{\max} C_l \quad (7)$$

式中, P_{li} 为节点负荷; $t_{\max}$ 为最大孤网运行时间; C_l 为单位缺电量经济损失值。

2. 约束条件

约束条件如下所述:

(1) 潮流方程约束

$$\begin{cases} P_i = P_{i-1} - \frac{r_{i-1}(P_{i-1}^2 + Q_{i-1}^2)}{V_{i-1}^2} - P_{Li} + P_{DG_i} \\ Q_i = Q_{i-1} - \frac{x_{i-1}(P_{i-1}^2 + Q_{i-1}^2)}{V_{i-1}^2} - Q_{Li} + Q_{DG_i} \end{cases} \quad (8)$$

式中, P_i 和 Q_i 分别为节点 i 的有功和无功注入量, 为节点 V_i 电压幅值, P_{Li} 和 Q_{Li} 分别为节点 i 的有功和无功负荷, P_{DG_i} 和 Q_{DG_i} 分别为节点 i 的 DG 有功和无功注入量。

(2) 节点电压约束

$$K_{Vi} = \begin{cases} k_v (V_i - V_{\min})^2, V_i < V_{\min} \\ k_v (V_{\max} - V_i)^2, V_i > V_{\max} \\ 0, V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

式中, $V_{\max}$ 和 $V_{\min}$ 分别为 V_i 的上限和下限; K_{Vi} 为支路 i 的电压惩罚系数; k_v 为节点电压惩罚系数, 不满足要求时, 取较大的值作为对偏离运行极值的惩罚, 满足要求时则取 0。

(3) 接入的 DG 总容量约束

$$K_{S_{\Sigma DG}} = \begin{cases} K_{S_{\Sigma DG}} (S_{\Sigma DG} - S_{L_{\max}})^2, S_{\Sigma DG} > S_{L_{\max}} \\ 0, S_{\Sigma DG} \leq S_{L_{\max}} \end{cases} \quad (10)$$

式中, $S_{\Sigma DG}$ 为接入的 DG 的总容量; $S_{L_{\max}}$ 为允许接入的 DG 的总容量上限; $K_{S_{\Sigma DG}}$ 为 DG 注入量惩罚系数, 取值要求同 K_v 。

(4) 待安装节点 DG 安装容量约束

$$0 \leq S_{DG_i} \leq S_{i_{\max}} \quad (11)$$

式中, $S_{i_{\max}}$ 为节点 i 允许安装的 DG 容量上限。

基于改进粒子群优化算法的电源优化规划

1. 改进粒子群优化算法

粒子群优化算法是一种基于群智能的随机优化算法, 由 James Kennedy 和 Russell Eberhart 于 20 世纪 90 年代提出。其中, 种群粒子速度和位置的更新方程为

$$\vec{V}_i^{k+1} = \vec{V}_i^k + c_1 r_1 (\vec{P}_i - \vec{X}_i^k) + c_2 r_2 (\vec{P}_g - \vec{X}_i^k) \quad (12)$$

$$\vec{X}_i^{k+1} = \vec{X}_i^k + \vec{V}_i^{k+1} \quad (13)$$

式中, 粒子的标号为 $i = 1, 2, \dots, m$; k 为迭代代数; 学习因子 c_1 、 c_2 是两个正常数, 一般取值为 2; r_1 、 r_2 是两个均匀分布于 $[0, 1]$ 之间的随机数。

为了控制 $\vec{V}_i^k$ 和 $\vec{X}_i^k$ 的值在合理的区域内, 需要指定 $V_{\max}$ 和 $X_{\max}$ 来限制。

为了避免粒子在全局最优解附近“振荡”, 改善算法的收敛能力, 本文采用动态调整惯性权重 ω 的方法, 扩展粒子的搜索空间为

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{T_{\max}} k \quad (14)$$

式中, $\omega_{\max}$ 和 $\omega_{\min}$ 分别为最大和最小权重; $T_{\max}$ 为最大迭代次数。

针对 PSO 算法在求解过程中容易陷入局部最优, 本文采用局部自动初始化的方法予以改进, 即当 $\vec{P}_g^k$ 连续若干代没有变化或者变化很小时, 重新初始化部分粒子 x_i^k 和 v_i^k 扩展粒子的搜索空间。

2. 电源规划步骤

采用改进粒子群算法求解智能电网中分布式电源优化规划的步骤如下:

1) 输入配电网的原始数据, 确定各约束条件; 设置 IPSO 算法中各项参数, 即粒子群规模 N 、最大迭代次数 $T_{\max}$ 、学习因子 c_1 、 c_2 等。

2) 设定当前迭代次数 $k = 0$; 利用随机数发生器在可行域内产生种群, 各粒子的初始位置为 x_i^k 、初始化速度为 v_i^k ; 用前推迭代法进行潮流计算和目标函数计算, 并评估每个粒子的适应度值 L_i^k , 此时的 $P_{id}^k = L_i^k$, 即 P_{id}^k 为当前所有粒子中的最小适应值, 并记录 P_{id}^k 和 P_{gd}^k 所对应的位置。

3) 更新迭代次数 $k = k + 1$, 同时根据式 (12) ~ (14) 更新所有粒子的位置、速度及 ω , 重新评估粒子的适应值 L_i^{k+1} , 若 $L_i^{k+1} < pbest^k$, 则更新个体最优解 $pbest^k = L_i^{k+1}$, 以及 $pbest^k$ 对应的位置, 反之则不变。

4) 若最优的 $pbest^k$ 小于群体最优解, 则将其值设为 $gbest^k$, 同时更新对应的位置; 若 $gbest^k$ 没

(下转第 31 页)

加了故障节点,降低了可靠性。组串式逆变器具有过负荷保护功能,在任何环境条件下,实际输出功率均小于最大输出功率,相应的实际负荷电流均小于最大输出电流,因此交流汇流箱的分支断路器的过负荷保护功能几乎不起作用。

新型汇流方案的应用

1. 新型汇流方案对箱变低压柜的配置要求

箱变低压侧除总断路器外,还需配置分支断路器。在常规汇流方案中,分支断路器的数量与光伏阵列中交流汇流箱的数量相对应,分支断路器的规格与交流汇流箱总断路器相配合。而在新型汇流方案中,分支断路器的数量需与光伏阵列中组串式逆变器的数量相对应,分支断路器的规格与组串式逆变器的最大输出电流相配合。

新型汇流方案中,低压柜配置的塑壳断路器数量远大于常规方案,在箱变低压柜内布置比较密集,而且箱变低压柜通常为IP54防护等级,将会影响柜内的散热效率,导致塑壳断路器脱扣电流的降容。因此在箱变采购阶段,应与供货厂家确认降容系数,或者选择不受环境条件影响的电子式脱扣器。

2. 新型汇流方案对电缆选型的影响

新型汇流方案中,逆变器和箱变之间减少了交流汇流箱的过渡,从而增加了两者之间的单根电缆的长度,而且逆变器和箱变之间的电缆截面较小,很容易造成电缆的电压降超标。

逆变器与箱变之间电缆的电压降计算可采用的公式为

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_N} = \frac{\rho L I_N}{U_N}$$

式中, $\Delta u\%$ 为电缆电压降; ΔU 为电缆电压降, V; U_N 为额定相电压, V; I_N 为额定相电流, A;

ρ 为电缆芯截面对应的电阻系数, Ω/km ; L 为电缆长度, km。

电缆的电压降允许值通常取1%~2%。在山地、大面积屋顶等场址的光伏项目中,部分逆变器距离箱变较远,通过载流量选择的电缆规格电压降很容易超标。需采取加大截面、调整路径或逆变器安装位置等措施。若加大电缆截面,还应复核是否与逆变器进出线开孔和接线端子相适应。

3. 新型汇流方案对安全防护的影响

箱变低压侧为IT接地系统。根据GB50054—2001《低压配电设计规范》,IT系统应设置绝缘监测器。根据NB/T32004—2003《光伏发电并网逆变器技术规范》要求,逆变器应设置剩余电流保护器(RCD)和绝缘监测器(IMD),以进行漏电保护和绝缘阻抗监控。

绝缘监测器发现系统出现第一次接地故障后,应发出报警信号,提醒运行人员进行故障排除,此时IT系统的配电线路和逆变器仍能正常运行,但是预期接触电压不得超过50 V。因此设计时应复核逆变器出口交流线缆的长度和故障电流的大小。

在发生第二次接地故障时,应由剩余电流保护器或过流保护电器即使地切断电源。但是在长距离线路中,线缆的阻抗将不容忽视,当IT配电回路发生短路故障或漏电流使设备外壳带电时,漏电流经大地、线缆和设备外壳导通,而漏电流偏小难以监测,影响剩余电流保护器的灵敏性。

结束语

光伏组件一组串式逆变器一箱式变压器的新型汇流方案删减了一个汇流层级,节省了设备和线缆上的费用,在经济性上有明显的优势。在实际应用时,也应注意其对箱变低压柜的配置、电缆选型以及安全防护的影响。EA

(上接第29页)

有变化或者变化很小,则 $t_s = t_s + 1$, 当 $t_s \geq t_n$ (t_n 为设定的 $gbest^k$ 无变化最大代数) 时,将部分粒子重新初始化,当 $t_s < t_n$ 时, $t_s = 0$ 。

5) 判断是否达到预设的最大迭代次数 $T_{\max}$, 是则停止计算,否则转向步骤3。

6) 输出最优解,即迭代终止时的 $gbest^k$ 及其对应的最优位置。

结束语

本文以智能电网年经济效益最大为目标,提出一种采用动态调整惯性权重和局部自动初始化的方法进行优化的改进粒子群算法,对DG的最优位置和容量进行求解,并给出了详细的规划步骤,对智能电网中分布式新能源电源的规划能够提供一定的参考。EA