

考虑分布式电源 的配电网供电能力分析

文/陕西省地方电力(集团)有限公司 雒磊

随着分布式电源在配电网领域的大量接入, 如何对分布式电源的配电网进行供电能力分析具有重要意义。首先, 根据DG特性建立了可调度式DG的出力模型; 其次, 建立了含DG的配网最大供电能力模型, 分别考虑了负荷转供方式、研究对象电压和安全准则; 最后, 采用最优化软件Lingo对含DG的配电网供电能力进行算例验证。算例结果表明了该方法的有效性和真实性。

分布式电源(Distributed Generation, DG)在能源领域的应用不断增加, 同时DG出力的间歇性和随机性给配电网的运行带来了新的问题, 如何准确对含DG的配电网供电能力进行分析有着重要意义。

目前, 学者们对配电网的最大供电能力(Total power-Supply Capability, TSC)研究主要分为两类: 一类是考虑“N-1”安全准则的配电网供电能力研究, 此类主要考虑主变电站内互联、变电站站间互联和馈线互联等因素; 不考虑“N-1”安全准则的配电网供电能力研究方法主要是容载比法, 它以容载比作为配电网供电能力评估指标, 此法的计算结果较粗略。目前, 学者们对含DG的配电网供电能力研究仍较少, 主要存在的问题是DG功率传输的间歇性和随机性给配电网TSC带来了新的问题。

本文针对含DG的配电网提出了一种TSC计算方法。本方法综合考虑主变N-1约束、DG的N-1约束以及联络线容量约束, 对DG的集中配置和分散配置的TSC进行综合比较, 进而找出最优解。

DG出力模型

可调度式DG定义为: 可以控制输出功率的

DG。DG实际注入的视在功率与额定容量之比称为可调度式DG的容量因子, 用 β_{CF} 表示, 显然 $\beta_{CF} \in [0, 1]$ 。可调度式DG出力模型表示为

$$\begin{cases} D_{Mi} = P_{Mi} / \cos\varphi \\ D_i = \beta_{CFi} D_{Mi} \end{cases} \quad (1)$$

式中, D_{Mi} 、 P_{Mi} 、 D_i 和 β_{CFi} 分别表示为第*i*个DG的额定容量、额定有功功率、实际输出的视在功率和容量因子, $\cos\varphi$ 为并网DG的功率因数。

含DG的配电网TSC分析

含DG的配电网的负荷转供方式、研究对象电压等级和安全准则做出如下假设:

- 1) 负荷转供方式: 本文仅考虑站内和站间负荷的一次转供, 不考虑多次转供。
- 2) 研究对象: 假定研究配电网对象为同电压等级, 不考虑输电网架的供电能力及转供能力。
- 3) 安全准则: 考虑主变、DG和联络线满足N-1安全准则。

1. 含DG的配电网最大供电能力模型建立

考虑大容量DG接入变电站(简称主变)低压母线时, 配电网的供电能力由两部分组成: 主变的供电能力和DG的供电能力。含DG的配电网最大供电能力模型为

$$TSC = \max \left(\sum_{i=1}^{N_T} (T_i R_{Ni}) + \sum_{i=1}^{N_D} (\beta_{CFi} D_{Mi}) \right) \quad (2)$$

式中, N_T 、 N_D 分别表示配网系统中主变和DG的数量; T_i 、 R_{Ni} 分别表示第*i*号主变的负载率和额定容量; β_{CFi} 、 D_{Mi} 分别表示第*i*号DG的容量因子和额定容量。

约束条件包括:

(1) 主变N-1安全约束

1) 负荷转供等式约束

$$T_i R_{Ni} = t_{ii} + \sum_{j \in \Omega_1^i, j \neq i} t_{ij} + \sum_{j \in \Omega_2^i, j \neq i} t_{ij}, \forall i \in \Omega_T \quad (3)$$

式中, T_{ii} 表示主变*i*发生N-1故障时向互联DG转移负荷的大小; T_{ij} 表示主变*i*故障时向主变*j*转移负荷的大小; Ω_1^i 、 Ω_2^i 分别表示与主变*i*站内联络的主变集合和站间联络的主变集合; Ω_T 表示配电网内的所有主变集合。

2) 负荷转供不等式约束

$$t_{ii} = \beta_{CFi} D_{Mi} \leq D_{Mi}, \forall i \in \Omega_T \quad (4)$$

$$t_{ij} + T_j R_{Nj} + \beta_{CFi} D_{Mi} \leq k R_{Nj} + D_{Mj}, \forall i, j \in \Omega_1^i \quad (5)$$

$$t_{ij} + T_j R_{Nj} + \beta_{CFi} D_{Mi} \leq R_{Nj} + D_{Mj}, \forall i, j \in \Omega_2^i \quad (6)$$

式(4)表示互联DG接受故障主变*i*转移负荷后,所带负荷不超过DG额定容量;式(5)表示站内联络主变*j*接受故障主变*i*转移负荷后,所带负荷不超过主变*j*额定容量的*k*倍和分布式电源*j*容量之和;式(5)中,*k*为主变短时运行过载系数,依据导则,*k*可从1.0到2间取值,站间转供不考虑过载。式(6)表示站间联络主变*j*接受故障主变*i*转移负荷后,所带负荷不超过主变*j*额定容量和分布式电源*j*容量之和。

(2) DG的N-1安全约束

$$\beta_{CFi} D_{Mi} + T_i R_{Ni} \leq k R_{Ni}, \forall i \in \Omega_T \quad (7)$$

式(7)表示DG发生故障后,其所带负荷转移到与其互联主变上,DG所带负荷和主变负荷之和小于主变容量的*k*倍。

(3) 联络线容量约束

$$t_{ij} \leq c_{ij}, \forall i, j \in \Omega_1^i \cup \Omega_2^i \quad (8)$$

式中, c_{ij} 表示主变*i*与主变*j*间联络线的极限容量。式(8)表示站间转移负荷不超过站间联络线的极限容量。

2. TSC模型求解

对各主变进行负载均衡,引入主变负载率均衡度概念,记 θ 。各主变应满足

$$\frac{\sum_{i=1}^{N_T} (T_i - \bar{T})^2}{N_T} \leq \theta \quad (9)$$

式中, $\bar{T}$ 表示各主变负载率的平均值。

引入式(9)后,配网TSC求解由多变量多约束的线性规划问题变为非线性问题,本文利用最优化求解软件Lingo.11。

算例分析

1. 算例系统

算例系统如图所示。变电站主变数据如表1所示。各分段母线依次编号为: I、II、III、IV、V、VI。各馈线容量均为10.4 MV·A。主变负载率均衡度 θ 取 e^{-3} ,主变短时运行过载系数*k*=1。

如图1所示,将10 MV·A的DG接入系统,分别设定以下6种方案:

- 1) 情形1: 10 MV·A的DG全部配置于母线 I;
- 2) 情形2: 10 MV·A的DG全部配置于母线 III;
- 3) 情形3: 10 MV·A的DG全部配置于母线 V;
- 4) 情形4: 分别配置5 MV·A于母线 I、III;
- 5) 情形5: 分别配置2 MV·A于母线 I、II、III、IV、V;
- 6) 情形6: 分别配置2 MV·A于母线 II、III、IV、V、VI。

上述方案中,情形1、情形2和情形3属于集中配置,情形4、情形5和情形6属于分散配置。

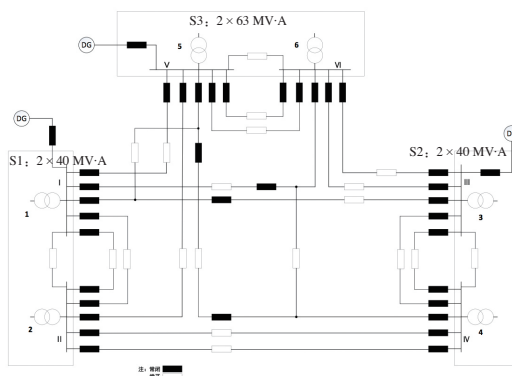


图 算例系统图

表1 变电站主变数据

变电站	主变压器	电压比	容量/MV·A	负荷/MV·A
S1	1	35/10	40	26.87
	2	35/10	40	28.55
S2	1	35/10	40	26.44
	2	35/10	40	28.38
S3	1	110/10	63	39.30
	2	110/10	63	41.07

(下转第35页)

照强度增加一倍，光伏逆变器均开始吸收感性无功功率；1 s时，随着负荷的增加，并网点电压开始下降，逆变器吸收的感性无功功率也随之开始减少；1.2 s时，逆变器的无功输出随着光照强度的增大而增大。由此可见，逆变器加入无功控制环节后，可有效抑制并网点电压越限。

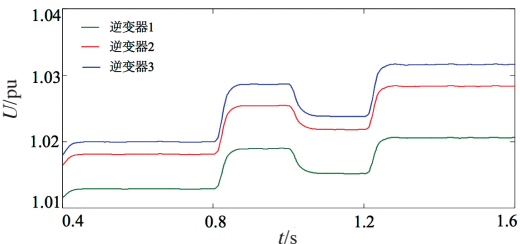


图7 并网点电压示意图

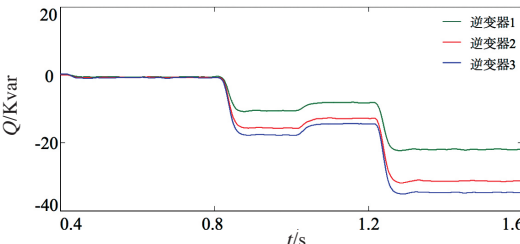


图8 光伏集群无功输出示意图

图9为PV3并网点电流示意图，图10、图11所示为加入本文所提虚拟阻尼环前后，逆变器3的入网电流THD。从中可以看出，未加入虚拟阻尼环时，处于LCL谐振频率附近的逆变器入网电流谐波被明显放大。而加入虚拟阻尼环后，入网电流谐波畸变率明显下降，有效地抑制了系统谐波谐振，证明了本文所提虚拟阻尼环的可行性。

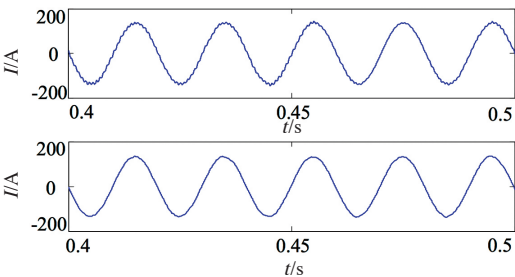


图9 PV3并网点电流示意图

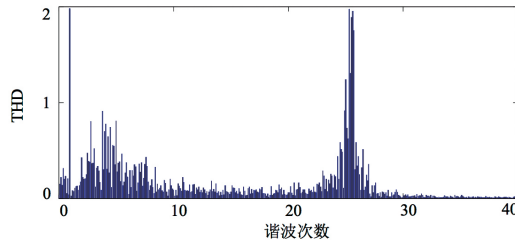


图10 PV3加入虚拟阻尼环前的入网电流THD

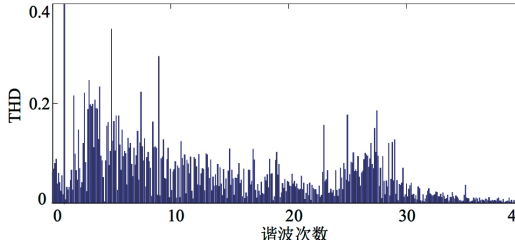


图11 PV3加入虚拟阻尼环后入网电流的THD

结束语

本文在传统逆变器双闭环控制的基础上，通过引入无功控制环和虚拟阻尼环，提出了一种含分布式光伏的配电网谐振与电压越限负荷抑制策略。EA

(上接第31页)

2. 算例分析

针对上述6种情形，计算结果如表2所示。

表2 集中配置和分散配置计算结果

方案	TSC/MV·A	方案	TSC/MV·A
情形1	218.90	情形4	231.22
情形2	229.80	情形5	234.71
情形3	234.24	情形6	237.23

由表2中结果可知，分散配置整体TSC要优于集中配置，因此，DG接入系统时需要进行分散优化配置，更易于负荷转供。

结束语

本文提出了一种考虑分布式电源的配电网缸垫能力分析，主要结论如下：

1) 提出了基于N-1的含DG的配电网供电能力分析，综合考虑主变N-1约束、DG的N-1约束和联络线容量约束，求取结果清晰且准确。

2) 合理的对DG进行分散配置有利于提高电网的最大供电能力，在实际系统中需综合考虑各种DG接入情形，综合比较供电能力，进而找出最优解。EA