

考虑分布式电源限流作用的主动配电网连续潮流计算

杨 杉,同向前

(西安理工大学 自动化与信息工程学院,陕西 西安 710048)

摘要: 当配电网含有换流器型分布式电源时,连续潮流需要考虑换流器的限流特性。根据换流器型分布式电源的控制策略与限流特性,得到换流器型分布式电源的连续潮流计算等效模型。基于该模型,提出一种含换流器型分布式电源配电网的连续潮流计算方法。该方法在连续潮流计算过程中增加了换流器型分布式电源限流状态的判断环节;当换流器型分布式电源进入限流状态后,需要修改该分布式电源的节点类型以及预估和校正环节雅可比矩阵中与限流分布式电源节点相关的元素。某 33 节点配电网算例验证了所提方法的正确性。

关键词: 换流器型分布式电源; 主动配电网; 连续潮流; 节点类型; 电压稳定性; 模型

中图分类号: TM 711

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.10.009

0 引言

分布式电源 DG(Distributed Generation)的使用对于推动节能减排、实现经济可持续发展具有重要意义。随着分布式发电技术的成熟,越来越多的配电网配置有 DG。为了提高配电网对 DG 的接纳能力,传统配电网向主动配电网转变是未来智能配电网的发展趋势。对于主动配电网而言,所接入的 DG 应具有输出灵活可控的特点^[1]。因此,大部分 DG 都采用换流器并入配电网,如光伏发电、直驱型风力发电和储能装置等^[2-3],这类 DG 可以统称为换流器型 DG。DG 的接入使得配电网的潮流分布发生了变化,从而导致配电网的静态电压稳定性也会随之变化^[4-5]。连续潮流是分析配电网静态电压稳定性的重要工具,也是电力系统最重要的运算之一^[6-9]。因此,研究含有换流器型 DG 配电网的连续潮流计算方法有重要的现实意义。

目前,含换流器型 DG 配电网的连续潮流计算已有一些研究成果。文献[10]提出的含 DG 的主从联合系统扩展潮流计算方法中只分析了燃气轮机和异步风力发电机的连续潮流计算模型,并没有涉及换流器型 DG。文献[11]对含各种类型 DG 的配电网进行了连续潮流计算,但是文中直接将光伏电源处理为 PV 节点,对换流器型 DG 模型的处理比较简单。文献[12]利用含 DG 配电网的连续潮流计算方法确定了 DG 的可利用传输容量,并指出 DG 可根据其控制策略分别等效为 PQ、PV 或者 PI 节点,然而在连续潮流计算过程中,其中的换流器型

DG 可能会因为换流器的限流功能而进入限流状态,此时,换流器型 DG 不能按照它的控制目标输出,也不能继续等效为 PQ、PV 或者 PI 节点。文献[13]在连续潮流计算时统一将 DG 处理为 PQ 节点或者 PV 节点,若 PV 节点无功功率越限,将 PV 节点转化为 PQ 节点,该文同样未分析换流器型 DG 限流后的等效模型。文献[14]提出的含 DG 配电网的连续潮流计算方法中,根据换流器的控制类型和控制策略,将换流器型 DG 处理为 PQ、PV 或者 PI 节点,并考虑了 PQ 和 PV 节点类型的换流器型 DG 存在注入电流限值的约束,将达到注入电流限值的 DG 转化为 PI 节点,虽然对限流后的 DG 进行了处理,但是在连续潮流计算过程中,若 DG 并网点电压过低,在 DG 进入限流状态期间 DG 可能不会按照有功功率目标输出,此时,换流器型 DG 不能直接转化为 PI 节点。

连续潮流计算的精确性对配电网的安全稳定运行非常重要。从目前的研究现状可以看到,换流器型 DG 节点类型的处理与转化是正确计算连续潮流的关键。而目前的连续潮流计算方法对限流后的换流器型 DG 等效模型的处理还不够完善。

本文对含有换流器型 DG 配电网的连续潮流计算方法进行了研究。下文提到的 DG 如非特指,都指代换流器型 DG。本文根据换流器的控制策略并考虑换流器自身的限流特性,得到一种换流器型 DG 的潮流计算等效模型,该模型将限流前后的 DG 分别等效为 PQ 节点和 I0 节点。基于该模型,提出一种含有换流器型 DG 配电网的连续潮流计算方法,该方法通过改变预估和校正环节雅可比矩阵中与限流 DG 节点相关的元素,实现了连续潮流计算过程中 DG 等效节点由 PQ 节点向 I0 节点的转换。根据本文所提连续潮流算法得到的负荷稳定裕度更

收稿日期:2016-12-09;修回日期:2017-08-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51677151,51507139);陕西省重点学科建设专项基金资助项目(SX1301)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51677151,51507139) and the Key Discipline Special Foundation of Shaanxi Province(SX1301)

$$\begin{aligned} P_{Gi} &= P_{Gi0}(1 + \lambda n_{Gi}) \\ P_{Li} &= P_{Li0}(1 + \lambda n_{PLi}) \\ Q_{Li} &= Q_{Li0}(1 + \lambda n_{QLi}) \end{aligned} \quad (4)$$

其中, P_{Gi0} 、 P_{Li0} 和 Q_{Li0} 分别为 DG 初始有功功率以及负荷初始有功和无功功率; n_{Gi} 、 n_{PLi} 和 n_{QLi} 分别为 DG 和负荷有功以及负荷无功的增长方向系数。将方程组式(3)与方程组式(4)联立,可以得到如下方程组:

$$\mathbf{F}(\boldsymbol{\delta}, \mathbf{U}, \lambda) = 0 \quad (5)$$

其中, $\boldsymbol{\delta}$ 和 $\mathbf{U}$ 分别为节点电压的相角向量和幅值向量。

与普通潮流计算相比,方程组式(5)未知数增加了参数 λ 。因此,要使方程组有解,必须构造一个方程。连续潮流就是通过加入参数化的思想,在常规潮流方程的基础上增加连续性参数,随着负荷的增长不断改动潮流方程,从而克服了雅可比矩阵在接近分歧点的奇异问题,并在电压稳定临界点附近都可解。连续潮流的求解分为预估和校正两部分。

2.2 预估环节

预估就是根据当前潮流解找到下一个解的近似,为校正环节求解潮流提供初值。本文采用切线法作为预估的方法,通过计算各状态变量的微分和参数 λ 的微分,得到切向量的计算方程为:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \boldsymbol{\delta}} & \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}} & \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \lambda} \\ \mathbf{e}_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\boldsymbol{\delta} \\ d\mathbf{U} \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, $\mathbf{e}_p$ 为除第 p 个元素为 1 外,其余元素都为 0 的行向量; $\partial \mathbf{F} / \partial \boldsymbol{\delta}$ 和 $\partial \mathbf{F} / \partial \mathbf{U}$ 为潮流计算的雅可比矩阵; $\partial \mathbf{F} / \partial \lambda$ 需要根据分析目标而定,即根据是负荷功率变化还是电源注入功率变化,以及是单个节点的功率变化还是某个区域多个节点功率变化的情况不同而不同。本文主要分析负荷功率变化的情况,因此 $\partial \mathbf{F} / \partial \lambda$ 的计算表达式为:

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \lambda} = \begin{bmatrix} -P_{Li0} n_{PLi} \\ -Q_{Li0} n_{QLi} \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中, i 为负荷功率发生变化的节点。在连续潮流开始计算阶段,应选取表征节点负荷功率变化的参数 λ 作为连续性参数,即 $d\lambda = 1$ 。在后续的预估中,连续性参数选择为沿切线方向变化最快的变量,通常选用节点电压幅值变化的最大值,即 $dU_k = \pm 1$,下标 k 表示电压幅值变化最大的节点号。负号用于指定 PV 曲线的追踪方向,若希望追踪方向上连续性参数减小,则应取负号,反之取正号。

根据式(6)计算得到切向量 $[d\boldsymbol{\delta} \ d\mathbf{U} \ d\lambda]^T$ 后,根据下式求得预测向量 $[\tilde{\boldsymbol{\delta}} \ \tilde{\mathbf{U}} \ \tilde{\lambda}]^T$:

$$\begin{bmatrix} \tilde{\boldsymbol{\delta}} \\ \tilde{\mathbf{U}} \\ \tilde{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\delta}_0 \\ \mathbf{U}_0 \\ \lambda_0 \end{bmatrix} + \sigma \begin{bmatrix} d\boldsymbol{\delta} \\ d\mathbf{U} \\ d\lambda \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中, $[\boldsymbol{\delta}_0 \ \mathbf{U}_0 \ \lambda_0]^T$ 为当前运行点的值; σ 为步长控制系数。

2.3 校正环节

校正过程就是以预估得到的近似解作为初值,利用牛顿-拉夫逊迭代法进行潮流计算,潮流迭代方程式如下:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \boldsymbol{\delta}} & \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}} & \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \lambda} \\ \mathbf{e}_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \boldsymbol{\delta} \\ \Delta \mathbf{U} \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \mathbf{F}(\boldsymbol{\delta}, \mathbf{U}, \lambda) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中, $\mathbf{e}_p$ 的选择方法与预测环节中相同。若迭代方程式(9)计算收敛,将得到一个校正值 $[\boldsymbol{\delta}_1 \ \mathbf{U}_1 \ \lambda_1]^T$ 。然后将该值作为新一轮预估环节中当前运行点的值,继续完成预估和校正过程。

2.4 PQ 节点与 I0 节点的转换

若忽略换流器的限流特性,则可直接按照 2.2 节和 2.3 节中的预估校正环节完成连续潮流计算。若考虑到换流器的限流特性,则需要判断连续潮流计算过程中 DG 的限流状态以确定等效模型发生变化的 DG。在每一次校正环节完成后,根据下式判断换流器型 DG 的输出是否过流:

$$I = \left| \left(\frac{P_{DG,i} + jQ_{DG,i}}{U_{DG,i}} \right)^* \right| \quad (10)$$

其中, $P_{DG,i}$ 和 $Q_{DG,i}$ 分别为节点 i 所接 DG 在 PQ 控制下输出功率的参考值; $U_{DG,i}$ 为该 DG 的并网点电压。若 I 大于节点 i 所接 DG 的最大输出电流值 $I_{max,i}$,则该 DG 进入限流模式, DG 由 PQ 节点转化为 I0 节点。 I 取决于换流器的电流限制值, θ 取决于 DG 输出的功率因数,然后进行新一轮的预估与校正。由于 DG 节点类型的改变,后续连续潮流计算过程的预估与校正环节也会发生变化。

当某个换流器型 DG 等效为 I0 节点后,本文已知的是接入该节点的换流器的注入电流值 I 以及该电流与节点电压之间的相角差 θ ,即功率因数角。于是换流器型 DG 的节点功率方程为:

$$\begin{aligned} \Delta P_i &= U_i I_i \cos \theta_i - P_{Li} - U_i \sum_{j \in i} U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \\ \Delta Q_i &= U_i I_i \sin \theta_i - Q_{Li} - U_i \sum_{j \in i} U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \end{aligned} \quad (11)$$

其中, i 为 I0 节点。从式(11)可以看到, I0 节点功率方程与 PQ 节点的不同,因此,在预估和校正过程中,根据节点功率方程形成的雅可比矩阵也存在一些区别。根据牛顿迭代法的原理,潮流计算的雅可比矩阵中, $\partial \mathbf{F} / \partial \boldsymbol{\delta}$ 的计算表达式与传统潮流计算相同;而 $\partial \mathbf{F} / \partial \mathbf{U}$ 的计算表达式因 I0 节点的出现

有所不同,其区别体现在其对角线元素的计算表达式上。具体为当换流器型 DG 等效为 PQ 节点时, $\partial \mathbf{F} / \partial \mathbf{U}$ 中对角线元素的计算表达式与传统潮流计算相同,即:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta P_i}{\partial U_i} = -\sum_{j \in i} U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) - 2U_i^2 G_{ii} \\ \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial U_i} = -\sum_{j \in i} U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) + 2U_i^2 B_{ii} \end{cases} \quad (12)$$

而当换流器型 DG 等效为 I0 节点时, $\partial \mathbf{F} / \partial \mathbf{U}$ 中对角线元素的计算表达式如下:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta P_i}{\partial U_i} = I_i \cos \theta_i - \sum_{j \in i} U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) - 2U_i^2 G_{ii} \\ \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial U_i} = I_i \sin \theta_i - \sum_{j \in i} U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) + 2U_i^2 B_{ii} \end{cases} \quad (13)$$

根据式(12)和式(13)可以看到,当 DG 等效为 I0 节点以后,只需在 $\partial \Delta \mathbf{P} / \partial \mathbf{U}$ 和 $\partial \Delta \mathbf{Q} / \partial \mathbf{U}$ 中与 I0 节点相关的对角线元素处分别叠加 $I_i \cos \theta_i$ 和 $I_i \sin \theta_i$ 即可,而其余雅可比矩阵的元素并不发生变化。因此雅可比矩阵无需重新形成。可见用 I0 节点模拟限流后的 DG 是可行的。

2.5 算法流程图

本文所提的含换流器型 DG 配电网的连续潮流计算方法的流程图如图 2 所示。

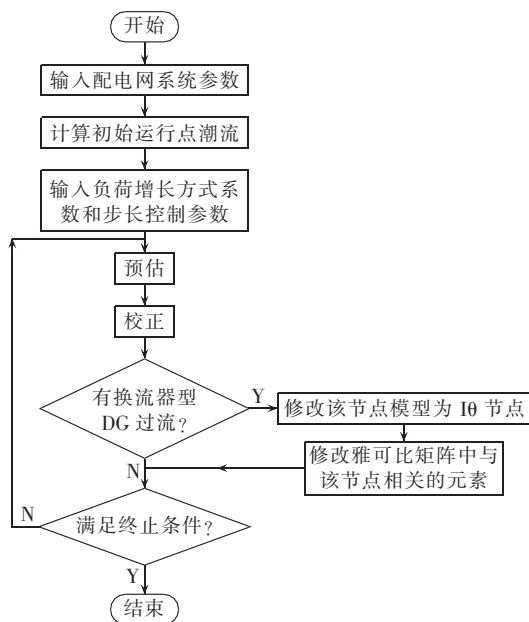


图 2 连续潮流计算流程图

Fig.2 Flowchart of continuous power flow calculation

3 算例分析

本文采用图 3 所示 33 节点配电网算例进行验证,算例参数见文献[18]。该算例是一个 10kV 的配电网系统,在节点 11、17、25 分别接入容量为 1 MW 的光伏电源(该电源属于换流器型 DG)并采用

单位功率因数控制,不输出无功功率。假设本文的基准功率为 $100 \text{ kV} \cdot \text{A}$,基准电压为 10kV,光伏电源可以输出的最大电流为其额定电流的 1.1 倍,连续潮流计算的步长控制系数 $\sigma = 0.001$ 。配电网节点 1 为平衡节点,它的电压幅值为 1 p.u.,电压相角为 0° 。

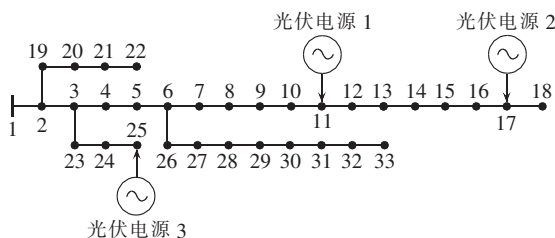


图 3 33 节点配电网结构图

Fig.3 Structure of 33-bus distribution network

假如配电网只有光伏电源 2 工作,利用本文所提的连续潮流算法分析负荷节点 5 的局部负荷裕度。将连续潮流计算结果与不考虑换流器型 DG 限流特性和不接入 DG 2 种情况的计算结果进行对比。以上 3 种连续潮流计算的 PV 曲线如图 4 所示,图中横轴、纵轴均为标幺值,后同。

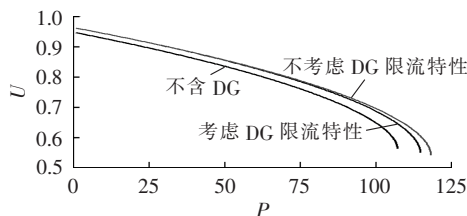


图 4 节点 5 PV 曲线图

Fig.4 PV curves of bus 5

系统的局部负荷裕度指的是假设其他节点负荷不变的情况下,负荷增加节点的起始负荷到 PV 曲线崩溃点的距离。通过图 4 可以看到,当配电网中加入 DG 后,节点 5 的负荷裕度更大,并且可以达到的临界电压值更低,说明 DG 的接入有助于提高节点的电压稳定性。

在含有 DG 的情况下,DG 节点类型的处理不同,连续潮流计算的结果也不相同。当不考虑 DG 的限流特性时,DG 可直接等效为 PQ 节点。然而,与直接将 DG 等效为 PQ 节点的计算方法相比,本文的连续潮流计算方法计算出的电压稳定裕度值要小。这是因为当 DG 进入限流状态后,不能继续为配电网提供恒定的有功功率,对配电网的电压支撑能力减弱。根据计算结果,当节点 5 的负荷功率增加到 30.1995 p.u. 时,DG 的输出电流进入限流状态,此时 DG 的节点类型发生了变化,由 PQ 节点转化为 I0 节点。因此,在计算含有换流器型 DG 的连续潮流时,应该考虑换流器的限流作用。

当配电网中含有多个 DG 时,假设节点 11、17 和 25 上的光伏电源都开始工作。同样地,利用本文

所提连续潮流算法计算节点 9 的负荷稳定裕度,并将计算结果与不考虑 DG 限流特性的计算结果进行对比。2 种情况下的连续潮流 PV 曲线如图 5 所示。

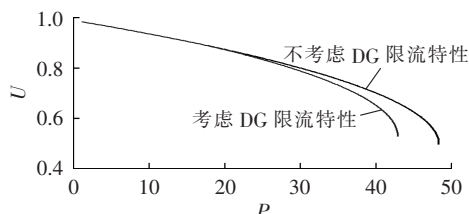


图 5 节点 9 PV 曲线图

Fig.5 PV curves of bus 9

通过图 5 可以看到,与不考虑 DG 限流状态的计算结果相比,根据本文方法计算出的系统稳定裕度较小。根据计算结果,当节点 9 的负荷功率增加到 16.6480 p.u. 时,光伏电源 1 进入限流模型,当节点 9 的负荷功率增加到 21.0246 p.u. 时,光伏电源 2 进入限流模式。每个 DG 在连续潮流计算过程中输出功率与电流的变化情况如图 6 和图 7 所示。

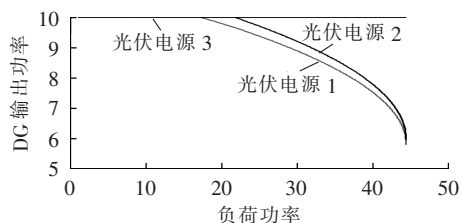


图 6 分布式电源输出功率变化曲线

Fig.6 Output power of distributed generations

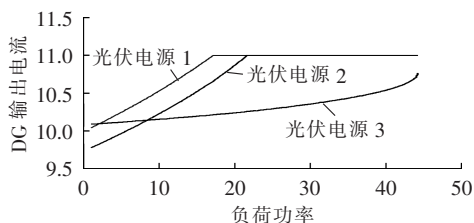


图 7 分布式电源输出电流变化曲线

Fig.7 Output current of distributed generations

从图 6 和图 7 中可以看到,随着节点 9 负荷的增加,每个 DG 的输出电流都会增加,光伏电源 1 和 2 会逐渐进入限流状态,且在进入限流状态后输出的功率会逐渐减小,直到达到系统的临界值;光伏电源 3 由于离系统电源较近,因此电压值并不会很低,不会进入限流状态,可以一直以恒功率输出。本文所提的连续潮流计算方法充分考虑了换流器的限流特性,根据连续潮流计算得到的系统稳定裕度也更能反映配电网的实际运行情况。

4 结论

本文研究了含有换流器型 DG 配电网的连续潮流计算方法,通过理论分析与算例验证可以得出如下结论。

a. 换流器的控制策略与限流作用影响了换流器型 DG 的潮流计算节点模型。在连续潮流计算过程中,随着负荷的增加和 DG 并网点电压的下降,PQ 控制型换流器会进入限流状态,限流后的换流器型 DG 应等效为 I0 节点。

b. 在连续潮流计算过程中,并网于不同节点的换流器型 DG 进入限流状态的时刻可能不同。

c. 连续潮流计算应包含 DG 的限流检测环节,当 DG 进入限流状态后,DG 应由 PQ 节点类型转换为 I0 节点,并需要在连续潮流的预估与校正环节中修改与该 DG 相关的雅可比矩阵元素。

d. 考虑到换流器的限流状态并等效为 I0 节点类型,连续潮流计算所得到的电压稳定性相对较低。

参考文献:

- [1] 李鹏, 窦鹏冲, 李雨薇, 等. 微电网技术在主动配电网中的应用[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(4): 8-16.
LI Peng, DOU Pengchong, LI Yuwei, et al. Application of microgrid technology in active distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(4): 8-16.
- [2] 马亚辉, 李欣然, 徐振华, 等. 一种逆变并网型分布式电源统一模型[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 145-154.
MA Yahui, LI Xinran, XU Zhenhua, et al. A unified model of grid-connected distributed generation through inverters[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 145-154.
- [3] 张梅, 何国庆, 赵海翔, 等. 直驱式永磁同步风力发电机组的建模与仿真[J]. 中国电力, 2008, 41(6): 79-84.
ZHANG Mei, HE Guoqing, ZHAO Haixiang, et al. Modeling and dynamic simulations of a direct driven permanent magnet synchronous generator based wind turbine unit[J]. Electric Power, 2008, 41(6): 79-84.
- [4] 梁才浩, 段献忠. 分布式发电及其对电力系统的影响[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(12): 53-56.
LIANG Caihao, DUAN Xianzhong. Distributed generation and its impact on power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(12): 53-56.
- [5] IVER H, RAY S, RAMAKUMAR R. Voltage profile improvement with distributed generation[C]//Power Engineering Society General Meeting, 2005, IEEE. San Francisco, CA, USA: [s.n.], 2005: 2977-2984.
- [6] AJJARAPU V, CHRISTY C. The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1992, 7(1): 416-423.
- [7] 吴昊, 卫志农, 王成亮, 等. 基于连续潮流综合算法的电压稳定性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 99-104.
WU Hao, WEI Zhinong, WANG Chengliang, et al. Voltage stability study based on synthesis method of continuous power flow[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 99-104.
- [8] EJEBE G C, TONG J, WAIGHT J G, et al. Available transfer capability calculations[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, 13(4): 1521-1527.
- [9] 张谦, 廖清芬, 唐飞, 等. 计及分布式电源接入的配电网静态电压稳定性评估方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(15): 42-48.
ZHANG Qian, LIAO Qingfen, TANG Fei, et al. Steady state

- voltage stability assessment method of distribution network considering inter-connection of distributed generators[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(15): 42-48.
- [10] 王艳玲, 韩学山, 周晓峰. 含分布式电源的主从联合系统扩展连续潮流计算[J]. 电工技术学报, 2012, 27(9): 93-100.
- WANG Yanling, HAN Xueshan, ZHOU Xiaofeng. Expanded continuous power flow calculation of master-slave joint power system with distributed generators[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(9): 93-100.
- [11] GUERRICHE K R, BOUKTIR T. Maximum loading point in distribution system with renewable resources penetration[C]// 2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). Ouarzazate, Morocco: IEEE, 2014: 481-486.
- [12] CHIANG H D, SHENG H. Available delivery capability of general distribution networks with renewables: formulations and solutions[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2015, 30(2): 898-905.
- [13] CHOU H M, BUTLER-PURRY K L. Investigation of voltage stability in unbalanced distribution systems with DG using three-phase current injection based CPF [C]// PES General Meeting Conference & Exposition, 2014 IEEE. National Harbor, MD, USA: IEEE, 2014: 1-5.
- [14] 赵晋泉, 范晓龙, 高宗和, 等. 含分布式电源的三相不平衡配电网连续潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(9): 48-53.
- ZHAO Jinquan, FAN Xiaolong, GAO Zonghe, et al. Continuation power flow calculation for unbalanced three-phase distribution networks with distributed generators[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(9): 48-53.
- [15] 王成山, 李琰, 彭克. 分布式电源并网逆变器典型控制方法综述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(2): 12-20.
- WANG Chengshan, LI Yan, PENG Ke. Overview of typical control methods for grid-connected inverters of distributed generation[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2012, 24(2): 12-20.
- [16] 孔祥平, 张哲, 尹项根, 等. 含逆变型分布式电源的电网故障电流特性与故障分析方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(34): 65-74.
- KONG Xiangping, ZHANG Zhe, YIN Xianggen, et al. Study on fault current characteristics and fault analysis method of power grid with inverter interfaced distributed generation[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(34): 65-74.
- [17] TEODORESCU R, BLAABJERG F, LISERRE M, et al. Proportional-resonant controllers and filters for grid-connected voltage-source converters[J]. IEEE Proceedings-Electric Power Applications, 2006, 153(5): 750-762.
- [18] 王守相, 王成山. 现代配电系统分析[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2014: 245.

作者简介:



杨 杉

杨 杉(1986—), 女, 四川成都人, 博士研究生, 主要研究方向为分布式发电技术和微电网技术(E-mail: 54803510@qq.com);

同向前(1961—), 男, 陕西西安人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 主要研究方向为电力系统的电力电子控制技术(E-mail: lstong@mail.xaut.edu.cn)。

Continuous power flow calculation for active distribution network with consideration of current limitation of distributed generation

YANG Shan, TONG Xiangqian

(School of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The current limiting characteristics of inverter should be considered for continuous power flow of distribution network with inverter based distributed generation. The equivalent model of inverter based distributed generation for continuous power flow calculation is obtained according to the control strategy and current limiting characteristics of the distributed generation. Based on the model, a method of continuous power flow calculation for distribution network with inverter based distributed generations is proposed, which adds a judgement part of the current limiting state in the process of continuous power flow calculation. When the distributed generation steps into the current limiting state, the bus type of the distributed generation and the elements related to the current limited bus in the Jacobi matrix of prediction and correction process should be modified. Simulations of a 33-bus distribution network verify the correctness of the proposed method.

Key words: inverter based distributed generation; active distribution network; continuous power flow; bus type; voltage stability; models