



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103326376 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 31

(21) 申请号 201310258195. 5

(22) 申请日 2013. 06. 25

(73) 专利权人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381 号

(72) 发明人 张勇军 李钦豪 陈旭

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限
公司 44102

代理人 何淑珍

(51) Int. Cl.

H02J 3/18(2006. 01)

审查员 张震

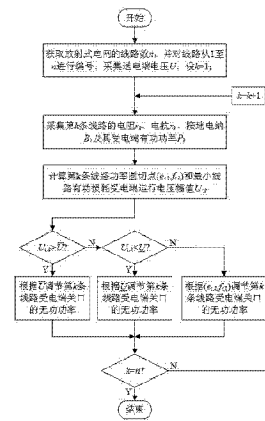
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法,以解决凭经验调节电网关口无功功率不能达到优化的问题。其具体步骤为:首先,采集电网线路参数、送电端电压、受电端有功负荷数据;其次,通过以上参数求取采用基于功率圆切点的方法得出的最小线路有功损耗受电端运行电压;最后,比较最小线路有功损耗受电端运行电压和节点电压上下限,通过比较的结果调节受电端关口的无功功率。本发明提出了基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法,用该方法代替目前凭经验调节电网关口无功功率的方法,能使放射式电网在保证电压合格的前提下经济运行。



1. 一种基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法,其特征在于包括以下步骤:

(1) 获取放射式电网的线路数 n ,并对线路从 1 至 n 进行编号;采集送电端电压 U ;定义 $k = 1 \sim n$,且 k 的初始值为 1;

(2) 采集第 k 条线路的参数及其受电端有功负荷 P_k ;所述线路的参数包括线路电阻 r_k 、线路电抗 x_k 和线路接地电纳 B_k ;

(3) 计算第 k 条线路功率圆切点 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 和最小线路有功损耗受电端运行电压幅值 $U_{t,k}$;

(4) 将 $U_{t,k}$ 分别与受电端电压的上限 \bar{U} 和下限 \underline{U} 比较,若 $U_{t,k} > \bar{U}$,则根据 \bar{U} 调节第 k 条线路受电端关口的无功功率 $Q_{C,k}$;若 $U_{t,k} < \underline{U}$,则根据 \underline{U} 调节 $Q_{C,k}$;若 $\underline{U} \leq U_{t,k} \leq \bar{U}$,则根据 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 调节 $Q_{C,k}$;

(5) 检验 k 是否等于 n ,若 k 不等于 n ,令 $k = k+1$,返回步骤 (2);若 k 等于 n ,结束无功优化控制。

2. 根据权利要求 1 所述的基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法,其特征在于:所述功率圆是指在电压 e - f 复平面上半径受 P_k 影响的圆和半径受线路有功损耗 ΔP_k 影响的圆,功率圆根据以下方法获得:

在线路的 π 型等值电路中,将送电端电压初相位设为 0,有

$$\left(e - \frac{U}{2}\right)^2 + \left(f + \frac{x_k}{r_k} \cdot \frac{U}{2}\right)^2 = \left(\frac{U}{2}\right)^2 + \left(\frac{x_k}{r_k} \cdot \frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_k}{g_k} \quad (1),$$

$$(U - e)^2 + f^2 = \frac{r_k^2 + x_k^2}{r_k} \Delta P_k \quad (2),$$

$$g_k = \frac{r_k}{r_k^2 + x_k^2} \quad (3),$$

式 (1) 至 (3) 包含变量:送电端电压实部 U ;受电端电压实部 e ;受电端电压虚部 f ;第 k 条线路阻抗对应的导纳电导部分 g_k ;

由式 (1)、式 (2) 决定的在电压 e - f 复平面上的两个圆,即所述功率圆。

3. 根据权利要求 2 所述的基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法,其特征在于:所述功率圆切点 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 是指半径受 P_k 影响的功率圆和半径受 ΔP_k 影响的功率圆的切点, $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 由式 (4) 获得:

$$(e_{t,k}, f_{t,k}) = \left(\frac{U}{2} + \sqrt{\left(\frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_k}{g_k \left[1 + \left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2\right]}}, -\frac{x_k}{r_k} \cdot \frac{U}{2} + \frac{x_k}{r_k} \cdot \sqrt{\left(\frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_k}{g_k \left(1 + \left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2\right)}} \right) \quad (4).$$

4. 根据权利要求 2 所述的基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法,其特征在于:最小线路有功损耗受电端运行电压幅值 $U_{t,k}$ 由式 (5) 获得:

$$U_{t,k} = \sqrt{e_{t,k}^2 + f_{t,k}^2} \quad (5),$$

受电端关口无功功率 $Q_{C,k}$ 由式 (6) 获得:

$$Q_{C.k} = \left(\frac{B_k}{2} - b_k\right)(e_{C.k}^2 + f_{C.k}^2) + b_k e_{C.k} U + \frac{r_k b_k f_{C.k} U}{x_k} \quad (6),$$

$$b_k = \frac{x_k}{r_k^2 + x_k^2} \quad (7),$$

式 (6) 和式 (7) 包含变量: 第 k 条线路阻抗对应的导纳电导部分 b_k ; 第 k 条线路无功优化后的受电端电压实部 $e_{C.k}$; 第 k 条线路无功优化后的受电端电压虚部 $f_{C.k}$;

$e_{C.k}$ 和 $f_{C.k}$ 由如下方法确定:

(1) 若 $U_{t.k} > \bar{U}$, 引入方程

$$e_{C.k}^2 + f_{C.k}^2 = \bar{U} \quad (8),$$

式 (8) 与式 (1) 联立, 并选取使电力系统处于静态稳定的解, 即 $e_{C.k}$ 、 $f_{C.k}$ 为:

$$e_{C.k} = \frac{\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} + \frac{x_k}{r_k} \sqrt{\left[\left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2 + 1\right]\bar{U}^2 - \left(\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k}\right)^2}}{\left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2 + 1} \quad (9),$$

$$f_{C.k} = \frac{-\frac{x_k}{r_k} \left(\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k}\right) + \sqrt{\left[\left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2 + 1\right]\bar{U}^2 - \left(\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k}\right)^2}}{\left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2 + 1} \quad (10);$$

(2) 若 $U_{t.k} < \underline{U}$, 引入方程

$$e_{C.k}^2 + f_{C.k}^2 = \underline{U} \quad (11),$$

式 (11) 与式 (1) 联立, 并选取使电力系统处于静态稳定的解, 即 $e_{C.k}$ 、 $f_{C.k}$ 如下:

$$e_{C.k} = \frac{\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} + \frac{x_k}{r_k} \sqrt{\left[\left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2 + 1\right]U^2 - \left(\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k}\right)^2}}{\left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2 + 1} \quad (12),$$

$$f_{C.k} = \frac{-\frac{x_k}{r_k} \left(\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k}\right) + \sqrt{\left[\left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2 + 1\right]U^2 - \left(\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k}\right)^2}}{\left(\frac{x_k}{r_k}\right)^2 + 1} \quad (13);$$

(3) 若 $\underline{U} \leq U_{t.k} \leq \bar{U}$, 则 $e_{C.k}$ 、 $f_{C.k}$ 为:

$$e_{C.k} = e_{t.k} \quad (14),$$

$$f_{C.k} = f_{t.k} \quad (15).$$

一种基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统的无功运行方法,特别涉及一种放射式电网无功优化控制方法。

背景技术

[0002] 目前在电力系统的运行调度中,关口无功功率一般是按经验进行调节,运行人员普遍认为电网在无功功率分层平衡时,即关口无功交换为 0 的时候网络有功损耗最小,实际的做法是将关口功率因数限制在一个范围之内,如 0.95 以上,其调节策略并没有经过优化。

[0003] 近年来,人们对无功优化提出了很多方法,但大多优化方法需要迭代计算求解潮流,在实时的无功优化中存在计算时间过长的局限。

[0004] 本发明基于功率圆切点,对放射式电网进行无功优化,可确保电网在保证电压合格的前提下经济运行;同时,优化过程不涉及迭代计算,计算速度快,可用于电网的实时无功优化中。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于解决放射式电网的无功优化问题,使电网在保证电压合格的前提下经济运行。

[0006] 本发明提出一种基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法,包括以下步骤:

[0007] (1) 获取放射式电网的线路数 n ,并对线路从 1 至 n 进行编号;采集送电端电压 U ;定义 $k = 1 \sim n$,且 k 的初始值为 1;

[0008] (2) 采集第 k 条线路的参数及其受电端有功负荷 P_k ;所述线路的参数包括线路电阻 r_k 、线路电抗 x_k 和线路接地电纳 B_k ;

[0009] (3) 计算第 k 条线路功率圆切点 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 和最小线路有功损耗受电端运行电压幅值 $U_{t,k}$;

[0010] (4) 将 $U_{t,k}$ 分别与受电端电压的上限 \bar{U} 和下限 \underline{U} 比较,若 $U_{t,k} > \bar{U}$,则根据 \bar{U} 调节第 k 条线路受电端关口的无功功率 $Q_{c,k}$;若 $U_{t,k} < \underline{U}$,则根据 \underline{U} 调节 $Q_{c,k}$;若 $\underline{U} \leq U_{t,k} \leq \bar{U}$,则根据 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 调节 $Q_{c,k}$;

[0011] (5) 检验 k 是否等于 n ,若 k 不等于 n ,令 $k = k+1$,返回步骤 (2);若 k 等于 n ,结束无功优化控制。

[0012] 上述的基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法中,所述功率圆是指在电压 e - f 复平面上半径受 P_k 影响的圆和半径受线路有功损耗 ΔP_k 影响的圆,功率圆根据以下方法获得:

[0013] 在线路的 p 型等值电路中,将送电端电压初相位设为 0,有

$$[0014] \quad \left(e - \frac{U}{2}\right)^2 + \left(f + \frac{x_k}{r_k} \cdot \frac{U}{2}\right)^2 = \left(\frac{U}{2}\right)^2 + \left(\frac{x_k}{r_k} \cdot \frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_k}{g_k} \quad (1),$$

$$[0015] \quad (U - e)^2 + f^2 = \frac{r_k^2 + x_k^2}{r_k} \Delta P_k \quad (2),$$

$$[0016] \quad g_k = \frac{r_k}{r_k^2 + x_k^2} \quad (3),$$

[0017] 式 (1) 至 (3) 包含变量: 送电端电压实部 U ; 受电端电压实部 e ; 受电端电压虚部 f ; 第 k 条线路阻抗对应的导纳电导部分 g_k 。

[0018] 由式 (1)、式 (2) 决定的在电压 e - f 复平面上的两个圆, 即本发明所述功率圆。

[0019] 上述的基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法中, 所述功率圆切点 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 是指半径受 P_k 影响的功率圆和半径受 ΔP_k 影响的功率圆的切点, $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 由式 (4) 获得:

$$[0020] \quad (e_{t,k}, f_{t,k}) = \left(\frac{U}{2} + \sqrt{\left(\frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_k}{g_k [1 + (\frac{x_k}{r_k})^2]}}, -\frac{x_k}{r_k} \cdot \frac{U}{2} + \frac{x_k}{r_k} \cdot \sqrt{\left(\frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_k}{g_k (1 + (\frac{x_k}{r_k})^2)}} \right) \quad (4),$$

[0021] 电力系统正常运行时, 半径受 P_k 影响的功率圆和半径受 ΔP_k 影响的功率圆有交点, 当这两个圆相切于 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 时, ΔP_k 取得在当前有功负荷 P_k 下的最小值。

[0022] 上述的基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法中, 所述关口是指区域性电网之间电力设备资产和经营管理范围的分界处。

[0023] 上述的基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法中, 最小线路有功损耗受电端运行电压幅值 $U_{t,k}$ 由式 (5) 获得:

$$[0024] \quad U_{t,k} = \sqrt{e_{t,k}^2 + f_{t,k}^2} \quad (5),$$

[0025] 受电端关口无功功率 $Q_{C,k}$ 由式 (6) 获得:

$$[0026] \quad Q_{C,k} = \left(\frac{B_k}{2} - b_k\right)(e_{C,k}^2 + f_{C,k}^2) + b_k e_{C,k} U + \frac{r_k b_k f_{C,k} U}{x_k} \quad (6),$$

$$[0027] \quad b_k = \frac{x_k}{r_k^2 + x_k^2} \quad (7),$$

[0028] 式 (6) 和式 (7) 包含变量: 第 k 条线路阻抗对应的导纳电导部分 b_k ; 第 k 条线路无功优化后的受电端电压实部 $e_{C,k}$; 第 k 条线路无功优化后的受电端电压虚部 $f_{C,k}$;

[0029] $e_{C,k}$ 和 $f_{C,k}$ 由如下方法确定:

[0030] (1) 若 $U_{t,k} > \bar{U}$, 引入方程

$$[0031] \quad e_{C,k}^2 + f_{C,k}^2 = \bar{U} \quad (8),$$

[0032] 式 (8) 与式 (1) 联立, 并选取使电力系统处于静态稳定的解, 即 $e_{C,k}$ 、 $f_{C,k}$ 为:

$$[0033] \quad e_{C.k} = \frac{\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} + \frac{x_k}{r_k} \sqrt{[(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1]\bar{U}^2 - (\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k})^2}}{(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1} \quad (9),$$

$$[0034] \quad f_{C.k} = \frac{-\frac{x_k}{r_k}(\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k}) + \sqrt{[(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1]\bar{U}^2 - (\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k})^2}}{(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1} \quad (10);$$

[0035] (2) 若 $U_{t.k} < \underline{U}$, 引入方程

$$[0036] \quad e_{C.k}^2 + f_{C.k}^2 = \underline{U} \quad (11),$$

[0037] 式 (11) 与式 (1) 联立, 并选取使电力系统处于静态稳定的解, 即 $e_{C.k}$ 、 $f_{C.k}$ 如下:

$$[0038] \quad e_{C.k} = \frac{\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} + \frac{x_k}{r_k} \sqrt{[(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1]U^2 - (\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k})^2}}{(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1} \quad (12),$$

$$[0039] \quad f_{C.k} = \frac{-\frac{x_k}{r_k}(\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k}) + \sqrt{[(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1]U^2 - (\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k})^2}}{(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1} \quad (13);$$

[0040] (3) 若 $\underline{U} \leq U_{t.k} \leq \bar{U}$, 则 $e_{C.k}$ 、 $f_{C.k}$ 为:

$$[0041] \quad e_{C.k} = e_{t.k} \quad (14),$$

$$[0042] \quad f_{C.k} = f_{t.k} \quad (15)。$$

[0043] 与现有技术相比, 本发明的有益效果在于:

[0044] (1) 有效地解决了放射式电网的无功优化问题, 使放射式电网在保持电压合格的前提下做到经济运行;

[0045] (2) 所提出的无功优化计算方法简单直观, 不涉及迭代计算, 计算速度快, 弥补了现有无功优化方法计算时间长的不足, 可用于实时无功优化。

附图说明

[0046] 图 1 是基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法的流程示意图。

[0047] 图 2 是功率圆切点示意图。

[0048] 图 3 是某 220kV 放射式电网示意图。

具体实施方式

[0049] 以下结合附图和实例对本发明的具体实施做进一步说明。

[0050] 图 1 反映了基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法的具体流程。基于功率圆切点的放射式电网无功优化控制方法包括：

[0051] (1) 获取放射式电网的线路数 n ，并对线路从 1 至 n 进行编号；采集送电端电压 U ；定义 $k = 1 \sim n$ ，且 k 的初始值为 1；

[0052] (2) 采集第 k 条线路的参数及其受电端有功负荷 P_k ；所述线路的参数包括线路电阻 r_k 、线路电抗 x_k 和线路接地电纳 B_k ；

[0053] (3) 计算第 k 条线路功率圆切点 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 和最小线路有功损耗受电端运行电压幅值 $U_{t,k}$ ；

[0054] 如图 2 所示，图中圆心为 $(\frac{U}{2}, -\frac{x_k}{r_k} \cdot \frac{U}{2})$ 的圆是半径受 P_k 影响的功率圆，圆心为 $(U, 0)$ 的圆是半径受线路有功损耗 ΔP_k 影响的功率圆，两个功率圆的切点 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 由下式获得：

$$[0055] \quad (e_{t,k}, f_{t,k}) = \left(\frac{U}{2} + \sqrt{\left(\frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_k}{g_k [1 + (\frac{x_k}{r_k})^2]}}, -\frac{x_k}{r_k} \cdot \frac{U}{2} + \frac{x_k}{r_k} \cdot \sqrt{\left(\frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_k}{g_k (1 + (\frac{x_k}{r_k})^2)}} \right)$$

[0056] 式中， g_k 为第 k 条线路阻抗对应的导纳电导部分， g_k 的计算方法为：

$$[0057] \quad g_k = \frac{r_k}{r_k^2 + x_k^2}$$

[0058] $U_{t,k}$ 由下式获得：

$$[0059] \quad U_{t,k} = \sqrt{e_{t,k}^2 + f_{t,k}^2}$$

[0060] (4) 将 $U_{t,k}$ 分别与受电端电压的上限 \bar{U} 和下限 \underline{U} 比较，若 $U_{t,k} > \bar{U}$ ，则根据 \bar{U} 调节第 k 条线路受电端关口的无功功率 $Q_{c,k}$ ；若 $U_{t,k} < \underline{U}$ ，则根据 \underline{U} 调节 $Q_{c,k}$ ；若 $\underline{U} \leq U_{t,k} \leq \bar{U}$ ，则根据 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 调节 $Q_{c,k}$ ；

[0061] 令 $e_{c,k}, f_{c,k}$ 表示第 k 条线路无功优化后的受电端电压实部、虚部。 $e_{c,k}, f_{c,k}$ 由如下方法确定：

[0062] 若 $U_{t,k} > \bar{U}$ ，

$$[0063] \quad e_{c,k} = \frac{\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} + \frac{x_k}{r_k} \sqrt{[(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1]\bar{U}^2 - (\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k})^2}}{(\frac{x_k}{r_k})^2 + 1}$$

$$[0064] \quad f_{C.k} = \frac{-\frac{x_k}{r_k} \left(\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} \right) + \sqrt{\left[\left(\frac{x_k}{r_k} \right)^2 + 1 \right] \bar{U}^2 - \left(\frac{\bar{U}^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} \right)^2}}{\left(\frac{x_k}{r_k} \right)^2 + 1}$$

[0065] 若 $U_{t.k} < \underline{U}$,

$$[0066] \quad e_{C.k} = \frac{\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} + \frac{x_k}{r_k} \sqrt{\left[\left(\frac{x_k}{r_k} \right)^2 + 1 \right] U^2 - \left(\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} \right)^2}}{\left(\frac{x_k}{r_k} \right)^2 + 1}$$

$$[0067] \quad f_{C.k} = \frac{-\frac{x_k}{r_k} \left(\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} \right) + \sqrt{\left[\left(\frac{x_k}{r_k} \right)^2 + 1 \right] U^2 - \left(\frac{U^2}{U} + \frac{P_k}{Ug_k} \right)^2}}{\left(\frac{x_k}{r_k} \right)^2 + 1}$$

[0068] 若 $\underline{U} \leq U_{t.k} \leq \bar{U}$,

$$[0069] \quad e_{C.k} = e_{t.k}$$

$$[0070] \quad f_{C.k} = f_{t.k}$$

[0071] $Q_{C.k}$ 按下式获得：

$$[0072] \quad Q_{C.k} = \left(\frac{B_k}{2} - b_k \right) (e_{C.k}^2 + f_{C.k}^2) + b_k e_{C.k} U + \frac{r_k b_k f_{C.k} U}{x_k}$$

[0073] 式中, b_k 为第 k 条线路阻抗对应的导纳电导部分, b_k 的计算方法为：

$$[0074] \quad b_k = \frac{x_k}{r_k^2 + x_k^2}$$

[0075] (5) 检验 k 是否等于 n , 若 k 不等于 n , 令 $k = k+1$, 返回步骤 (2); 若 k 等于 n , 结束无功优化控制。

[0076] 以下是本发明方法的一个实际算例, 以某 220kV 放射式电网为例进行仿真计算, 图 3 显示了该电网的拓扑结构, 图中 1、2、3、4 分别表示 4 条线路的编号。

[0077] (1) 由图 3 知电网的线路数 $n = 4$, 如图所示, 对线路从 1 至 4 进行编号; 采集到送电端电压 $U = 231\text{kV}$; 定义 $k = 1 \sim 4$, 且 k 的初始值为 1;

[0078] (2) 采集第 k 条线路的参数及其受电端有功负荷 P_k ; 所述线路的参数包括线路电阻 r_k 、线路电抗 x_k 和线路接地电纳 B_k ; 此处以第 1 条线路为例, 有：

$$[0079] \quad r_1 = 6.48560, x_1 = 37.55840, B_1 = 5.1322 \times 10^{-04} \text{S}, P_1 = 380 \text{MW}$$

[0080] (3) 计算第 k 条线路功率圆切点 $(e_{t.k}, f_{t.k})$ 和最小线路有功损耗受电端运行电压幅值 $U_{t.k}$; 此处以第 1 条线路为例, 有：

$$[0081] \quad g_1 = \frac{r_1}{r_1^2 + x_1^2} = 0.0045\text{S}$$

[0082]

$$(e_{t1}, f_{t1}) = \left(\frac{U}{2} + \sqrt{\left(\frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_1}{g_1[1 + \left(\frac{x_1}{r_1}\right)^2]}}, -\frac{x_1}{r_1} \cdot \frac{U}{2} + \frac{x_1}{r_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{U}{2}\right)^2 - \frac{P_1}{g_1(1 + \left(\frac{x_1}{r_1}\right)^2)}} \right) = (219.79\text{kV}, -64.94\text{kV})$$

$$[0083] \quad U_{t1} = \sqrt{e_{t1}^2 + f_{t1}^2} = 229.18\text{kV}$$

[0084] (4) 将 $U_{t,k}$ 分别与受电端电压的上限 \bar{U} 和下限 \underline{U} 比较, 若 $U_{t,k} > \bar{U}$, 则根据 \bar{U} 调节第 k 条线路受电端关口的无功功率 $Q_{c,k}$; 若 $U_{t,k} < \underline{U}$, 则根据 \underline{U} 调节 $Q_{c,k}$; 若 $\underline{U} \leq U_{t,k} \leq \bar{U}$, 则根据 $(e_{t,k}, f_{t,k})$ 调节 $Q_{c,k}$; 220kV 电网的节点电压上限 \bar{U} 和节点电压下限 \underline{U} 分别为 213.4kV 和 235.4kV, 此处以第 1 条线路为例, 有:

$$[0085] \quad 213.4\text{kV} \leq U_{t,1} \leq 235.4\text{kV}$$

[0086] 所以,

$$[0087] \quad e_{c,1} = e_{t,1} = 219.79\text{kV}$$

$$[0088] \quad f_{c,1} = f_{t,1} = -64.94\text{kV}$$

[0089] 另有,

$$[0090] \quad b_1 = \frac{x_1}{r_1^2 + x_1^2} = 0.0259\text{S}$$

[0091] 第 1 条线路受电端关口的无功功率应调节为

$$[0092] \quad Q_{c1} = \left(\frac{B_1}{2} - b_1\right)(e_{c1}^2 + f_{c1}^2) + b_1 e_{c1} U + \frac{r_1 b_1 f_{c1} U}{x_1} = -99\text{MVar}$$

[0093] (5) 检验得 k 不等于 n , 令 $k = k+1$, 返回步骤 (2)。

[0094] 第 2 条线路至第 4 条线路的无功优化流程与第 1 条线路的无功优化流程相同, 此处不再赘述。

[0095] 为进一步体现本发明的有益效果, 表 1 给出了第 1 条线路按两种方案调节受电端关口无功功率的结果对比, 方案 1 为按本发明的基于功率圆切点的方法调节无功功率, 方案 2 为按受电端关口无功功率为 0 调节无功功率。

[0096] 表 1 结果对比

	线路有功损耗 (MW)	受电端电压 (kV)
[0097] 方案 1	19.39	229.21
方案 2	21.03	211.14

[0098] 由表 1 可知,采用方案 1 比采用方案 2 线路有功损耗下降 7.80% (即 1.64MW),而且采用方案 1 受电端电压合格,而采用方案 2 受电端电压越下限,说明采用本发明的基于功率圆切点的方法确实可以在保持电压合格的前提下实现放射式电网的经济运行。

[0099] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他任何未背离本发明的精神实质和原理下所作的修改、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都应包含在本发明的保护范围之内。

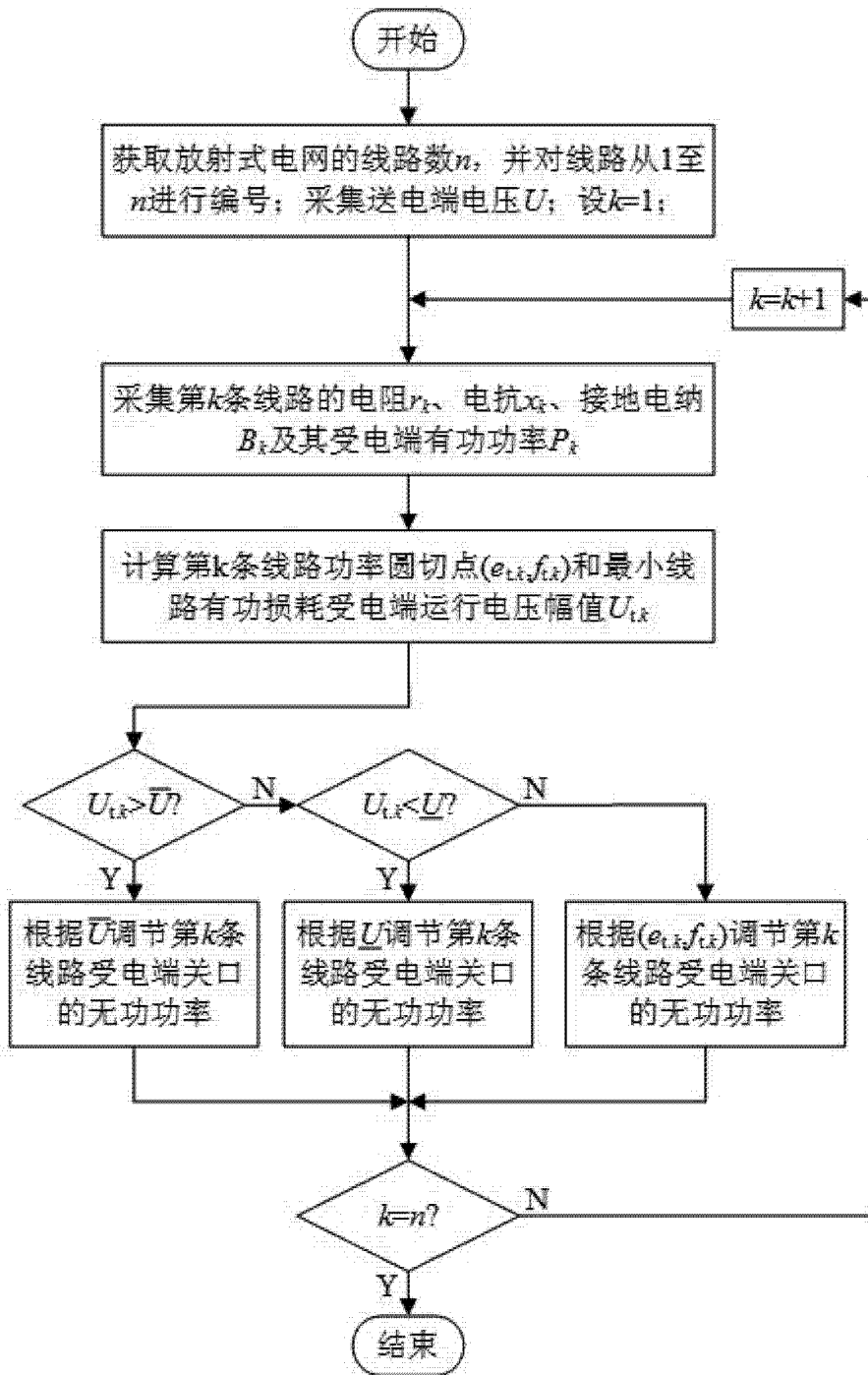


图 1

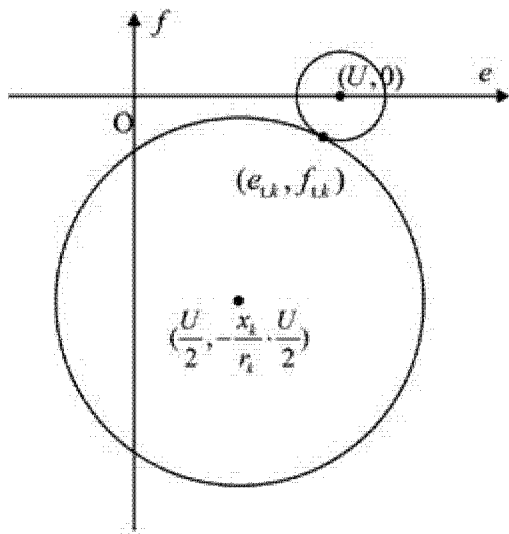


图 2

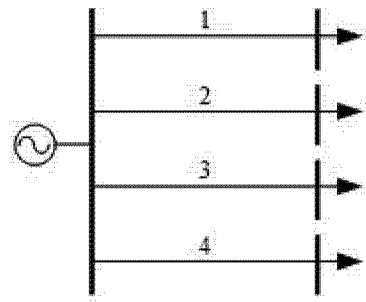


图 3