



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109061300 B

(45) 授权公告日 2020.11.10

(21) 申请号 201811092358.6

CN 104833935 A, 2015.08.12

(22) 申请日 2018.09.19

CN 106093570 A, 2016.11.09

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106093571 A, 2016.11.09

申请公布号 CN 109061300 A

CN 106405287 A, 2017.02.15

(43) 申请公布日 2018.12.21

CN 106383295 A, 2017.02.08

(73) 专利权人 江苏中凌高科技股份有限公司

CN 107144732 A, 2017.09.08

地址 225000 江苏省扬州市邗江区蜀岗东路168号

WO 0010017 A1, 2000.02.24

李瑞等. 基于功率预估和阻抗校正法的主导谐波源追踪.《广东电力》.2017, 第30卷(第6期),

(72) 发明人 麻刚 王柏林 张海江 熊杰锋

Wilsun Xu et.al..An Investigation on the Validity of Power-Direction Method

(74) 专利代理机构 南京苏科专利代理有限责任公司 32102

for Harmonic Source Determination.《IEEE Transactions on Power Delivery》.2003, 第18卷(第1期),

代理人 董旭东

Chun Li et.al..A "critical impedance"-based method for identifying harmonic sources.《IEEE Transactions on Power Delivery》.2004, 第19卷(第2期),

(51) Int. Cl.

G01R 23/16 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104678219 A, 2015.06.03

CN 104898019 A, 2015.09.09

审查员 梁雪敏

权利要求书2页 说明书7页 附图4页

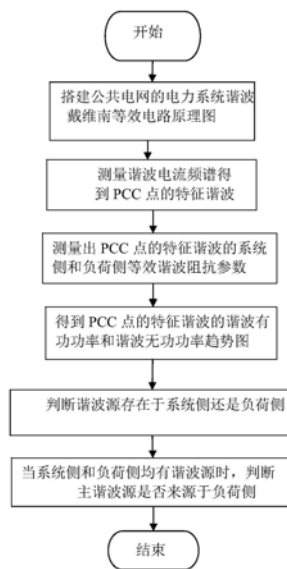
(54) 发明名称

一种PCC点的特征谐波源定位方法

(57) 摘要

本发明提供一种PCC点的特征谐波源定位方法,该方法是一种定性分析法,其基于谐波源识别的戴维南等效电路,经数学推导,得出PCC点谐波有功功率、谐波无功功率与谐波源参数的函数关系,导出PCC点谐波源定位的6个充分条件和PCC点主要谐波源定位的1个充分条件;进而根据谐波电流频谱图确定特征谐波,在进行谐波源定位时,暂时断开所有功率因素补偿电容器,得到PCC点的特征谐波的系统侧和负荷侧等效谐波阻抗参数;最后根据特征谐波有功功率无功趋势图,利用7个充分条件实现PCC点谐波源定位。该方法克服了现有定性分析法理论不严谨的缺陷,不需要精确的谐波阻抗,即可对特征谐波源进行定位,方便了工程应用。

CN 109061300 B



1. 一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于,包含以下步骤:

步骤S1、搭建公共电网的电力系统谐波源戴维南等效电路原理图;

步骤S2、计算出PCC点的K次谐波电流幅值,其中K为正整数,通过比较各次谐波幅值95%大值的大小,选取95%大值中幅值最大的前若干次谐波中的某一次谐波作为该PCC点的特征谐波;

步骤S3、测量出PCC点的特征谐波的系统侧和负荷侧等效谐波阻抗参数;

步骤S4、得到PCC点的特征谐波的谐波有功功率和谐波无功功率趋势图;

步骤S5、判断谐波源存在于系统侧还是负荷侧;判断依据包括如下判据中的一种或多种,

判据1:若负荷侧特征谐波等效电阻 $R_c > 0$ 且PCC点的特征谐波有功功率 $P < 0$,则负荷侧一定存在特征谐波源;

判据2:若系统侧特征谐波等效电阻 $R_u > 0$ 且PCC点的特征谐波有功功率 $P > 0$,则系统侧一定存在特征谐波源;

判据3:若负荷侧特征谐波等效电抗 $X_c > 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q < 0$,则负荷侧一定存在特征谐波源;

判据4:若负荷侧特征谐波等效电抗 $X_c < 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q > 0$,则负荷侧一定存在特征谐波源;

判据5:若系统侧特征谐波等效电抗 $X_u > 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q > 0$,则系统侧一定存在特征谐波源;

判据6:若负荷侧特征谐波等效电抗 $X_u < 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q < 0$,则系统侧一定存在特征谐波源;

步骤S6、当系统侧和负荷侧均有谐波源时,判断主谐波源是否来源于负荷侧。

2. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:所述步骤S1中,用于谐波源识别的戴维南等效电路PCC点谐波有功功率P和无功功率Q为:

$$P = \frac{R_c E_u (E_u - E_c \cos \delta) + R_u E_c (E_u \cos \delta - E_c) - (X_u + X_c) E_u E_c \sin \delta}{(R_u + R_c)^2 + (X_u + X_c)^2} \quad (1)$$

$$Q = \frac{X_c E_u (E_u - E_c \cos \delta) + X_u E_c (E_u \cos \delta - E_c) + (R_u + R_c) E_u E_c \sin \delta}{(R_u + R_c)^2 + (X_u + X_c)^2} \quad (2)$$

其中, E_u 是系统侧等效谐波源电动势幅值, R_u 和 X_u 是系统侧等效谐波电阻和电抗, E_c 是负荷侧等效谐波源电动势幅值, R_c 和 X_c 是负荷侧等效谐波电阻和电抗, δ 为负荷侧等效谐波源电动势相对系统侧谐波源电动势的相对相位差。

3. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:所述步骤S2中,PCC点各次谐波电流幅值测量方法为:通过对200ms时间窗电流采样值进行傅里叶变换得出。

4. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:所述步骤S2中,PCC点的特征谐波经过24小时以上时间监测获得。

5. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:所述步骤S3

中,在进行谐波源定位时,暂时断开所有功率因素补偿电容器,得到PCC点的特征谐波的系统侧和负荷侧等效谐波阻抗参数。

6. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:所述步骤S4中,特征谐波的谐波有功功率P和谐波无功功率Q趋势图为:对PCC点的特征谐波的谐波有功功率和谐波无功功率进行24小时以上时间测量,将该测量值保存,得到PCC点的特征谐波有功功率和谐波无功功率趋势图。

7. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:所述步骤S5中,根据判据1、3、4相互验证特征谐波源定位的准确性。

8. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:所述步骤S5中,根据判据2、5、6相互验证特征谐波源定位的准确性。

9. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:所述步骤S6中,如果特征谐波的系统侧等效阻抗、负荷侧等效阻抗、PCC点谐波有功功率和谐波无功功率同时满足:(1) $R_c \geq R_u > 0$, (2) $X_c \geq X_u > 0$, (3) $P < 0$, (4) $Q < 0$,那么,负荷侧的特征谐波源为主要谐波源;否则,系统侧的特征谐波源为主要谐波源。

10. 根据权利要求1所述的一种PCC点的特征谐波源定位方法,其特征在于:步骤S2中,K为2-50,通过比较各次谐波幅值95%大值的大小,选取95%大值中幅值最大的前10次谐波中的h次谐波作为该PCC点的特征谐波。

一种PCC点的特征谐波源定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及治理谐波污染以及谐波源定位的技术领域,尤其涉及一种PCC点的特征谐波源定位法。

背景技术

[0002] 由于非线性负荷大规模接入电网,大量谐波注入公共电网,给电网和用户造成了巨大的影响。为了实现谐波责任的准确划分,进而对谐波污染进行有效治理,需要对谐波源进行准确定位。

[0003] 谐波源定位可分为两种情况:一种是PCC点谐波源定位和主谐波源定位;另一种就是对整个系统网络用谐波状态估计的方法,计算出系统各个节点的谐波电压以及支路的谐波电流,从而判断那条支路上含有谐波源,称之为多线路的定位法。

[0004] PCC点谐波源定位指:当PCC点出现谐波问题时,需要界定该谐波问题源自系统侧(供电侧)还是负荷侧。

[0005] PCC点主谐波源定位指:当PCC点出现谐波问题时,如果系统侧和负荷侧均存在谐波源,需要界定系统侧还是负荷侧是PCC点谐波问题的主要来源。

[0006] 针对PCC点的谐波源定位,依据谐波源责任量化与否,谐波源定位法又可分为定量分析法和定性分析法。

[0007] 定量分析法目的在于明确得出系统和负荷侧对于PCC点谐波问题的贡献率,参考阻抗法是业界最知名的谐波源定位的定量分析法之一(W.Xu and Y.Liu,“A method for determining customer and utility harmonic contributions at the point of common coupling,”IEEE Trans.Power Del.,vol.15,pp.804-811,Apr.2000.),该法提出系统和负荷侧参考阻抗的概念,依据此概念并结合诺顿等效电路模型,通过电路线性叠加理论可得出系统和负荷侧对于PCC点谐波问题的贡献率。该方法最大的优点为:系统和负荷侧对于PCC点谐波问题的贡献率是解耦的,即当系统或负荷侧谐波特性(阻抗和谐波电压)不变时,其在PCC点谐波问题的贡献率不变。但该法需要知道系统和负荷侧的参考谐波阻抗。

[0008] 谐波源定位定量分析法中有一个重要分支,该分支讨论的核心问题在于系统侧谐波阻抗的求解。根据测量方式的不同,该研究分支的方法又可分为侵入式和非侵入式。

[0009] 侵入式的特点在于:对系统有影响,主要通过往系统中注入某一频次的谐波电流或投切开关。侵入式方法得到的系统侧谐波阻抗精度相对较高,但会影响一次系统的正常运行。

[0010] 非侵入式方法对一次系统没有影响,通过对PCC点参数的测量,可实现系统侧谐波阻抗连续测量。主要的方法有波动量法,线性回归法,随机向量自相关特性法,数据筛选法,和独立变量分析法。该方法不影响一次系统,但在实际应用中或存在精度不高,或计算复杂,又或稳定性较差。

[0011] 定性分析法的目的是:明确PCC点谐波问题占主导贡献的到底是系统侧还是负荷

侧。主要包括有功功率方向法,无功功率方向法。

[0012] 谐波有功功率方向法一度是电力工程界谐波源识别的主要方法。谐波有功功率方向法认为:PCC的h次谐波有功功率为负是h次谐波主要来自负荷侧的充分必要条件。h次谐波主要来自负荷侧(或系统侧)意味着负荷侧(或系统侧)是主要h次谐波源。显然,谐波有功功率方向法是基波有功功率方向法的简单复制。文献(W.Xu,X.Liu and Y.Liu“An investigation on the validity of power direction method for harmonic source determination,”IEEE Trans.Power Delivery,vol.18,no.1,pp.214-219,2003.)发现谐波源与基波源有一个根本的区别:同一个系统的各个(同次)谐波源之间可能存在 0° — 360° 的相角差,当这个相角差比较大时谐波有功功率方向法存在原理性错误。

[0013] 文献(C.Li,W.Xu,and T.Tayjasantant“A critical impedance base method for identifying harmonic sources,”IEEE Trans.Power Delivery,vol.19,no.2,pp.671-678,2004.)提出无功功率定位法,通过无功功率方向判断两侧谐波源的相对大小,对主谐波源进行定位。可以证明:谐波无功功率功率与谐波源的函数关系与谐波有功功率与谐波源的函数关系是完全对偶的。所以,与谐波有功功率符号一样,谐波无功功率功率符号同样不能确定主要谐波源来自何方。

[0014] 中国专利数据库中,申请号201810077489.0,公开日2018年7月13日,公开了基于改进有功功率方向法的主谐波源确定方法及装置。该方法是一种谐波源识别的定性分析法,用于PCC点主谐波源识别。根据采样点谐波电压幅值与采样点谐波电流幅值之间阻抗角的大小,以及根据预设的系统侧阻抗性质和预设的负荷侧阻抗性质,而确定出电力系统中的主谐波源处于系统侧或负荷侧。该方法不仅需要测量PCC点谐波等效阻抗相角的大小,还需要知道系统侧和负荷侧谐波阻抗相角的大小。而且该方法成立,理论上还必须满足一些基本条件 $|Z_c| > |Z_u|$, $|X_c| > |R_c|$, $|X_u| > |R_u|$,导致其实际应用非常困难。

[0015] 中国专利数据库中,申请号201710244036.8,公开日2018年8月18日,公开了一种谐波源定位方法。该方法是一种谐波源识别的定性分析法,基于IEEE标准1459-2010功率理论,分别计算公共电网中系统侧和负荷侧的k阶谐波视在功率,根据谐波视在功率大小来定位谐波源。该方法需要在系统侧和负荷侧谐波源单独作用时进行视在功率的测量,实际应用非常困难,而且理论上不够严谨。

[0016] 中国专利申请,申请号201610248382.9,公开日2016年8月17日,公开了一种基于畸变功率的谐波源识别和责任分摊方法。该方法是一种多线路谐波源定量分析法,认为电网中谐波源与非谐波源的畸变功率有明显区别,进而利用IEEE标准1459-2014功率理论中的畸变功率来量化谐波责任,避免了现有方法所需谐波阻抗估计。但该方法需要测量各条线路的畸变功率,而且理论上不够严谨。

[0017] 定量分析法实际应用的关键在于系统侧和负荷侧等效谐波阻抗的精确测量。理论上,如果能够实现PCC点谐波源定位的定量分析,定性分析法将失去其存在的意义。但实际电网系统侧和负荷侧谐波阻抗是时变的,要得到精确的谐波阻抗非常困难,导致该方法工程应用非常困难。

[0018] 定性分析法则不需要精确的谐波阻抗参数,但现有的方法不仅理论上不严谨,而且实际应用也比较困难。

发明内容

[0019] 本发明的目的是提供一种PCC点的特征谐波源定位方法,该方法克服了现有定性分析法理论不严谨的缺陷,不需要精确的谐波阻抗即可进行分析判断,方便了工程应用。

[0020] 本发明采用以下方案实现:一种PCC点的特征谐波源定位方法,具体包括以下步骤:

[0021] 步骤S1、搭建公共电网的电力系统谐波源戴维南等效电路原理图;

[0022] 步骤S2、计算出PCC点的K次谐波电流幅值,其中K为正整数,K通常取值为1-50,通过比较各次谐波幅值95%大值的大小,选取95%大值中幅值最大的前若干次(如前10次)谐波中的某一次(如h次)谐波作为该PCC点的特征谐波;

[0023] 步骤S3、测量出PCC点的特征谐波的系统侧和负荷侧谐波等效阻抗参数;

[0024] 步骤S4、得到PCC点的特征谐波的谐波有功功率和谐波无功功率趋势图;

[0025] 步骤S5、判断谐波源存在于系统侧还是负荷侧;

[0026] 步骤S6、当系统侧和负荷侧均有谐波源时,判断主谐波源是否来源于负荷侧。所述步骤S1中,用于谐波源识别的系统用户等效电路为戴维南等效电路。

[0027] 进一步的,所述步骤S1中,根据谐波源识别的系统用户戴维南等效电路,推导出PCC点h次谐波有功功率P和无功功率Q为

$$[0028] \quad P = \frac{R_c E_u (E_u - E_c \cos \delta) + R_u E_c (E_u \cos \delta - E_c) - (X_u + X_c) E_u E_c \sin \delta}{(R_u + R_c)^2 + (X_u + X_c)^2} \quad (1)$$

$$[0029] \quad Q = \frac{X_c E_u (E_u - E_c \cos \delta) + X_u E_c (E_u \cos \delta - E_c) + (R_u + R_c) E_u E_c \sin \delta}{(R_u + R_c)^2 + (X_u + X_c)^2} \quad (2)$$

[0030] 其中, E_u 是系统侧等效谐波源电动势幅值, R_u 和 X_u 是系统侧等效谐波电阻和电抗, E_c 是负荷侧等效谐波源电动势幅值, R_c 和 X_c 是负荷侧等效谐波电阻和电抗, δ 为负荷侧等效谐波源电动势相对系统侧谐波源电动势的相对相位差。

[0031] 进一步的,所述步骤S2中,得到PCC点各次谐波电流幅值:通过对200ms时间窗电流采样值进行傅里叶变换。

[0032] 进一步的,所述步骤S2中,得到PCC点的特征谐波:经过24小时以上时间监测,得到监测时间内各次谐波电流的95%大值,比较各次谐波电流的95%大值,选取95%大值中幅值最大的前10次谐波中的某一次(如h次)谐波作为该PCC点的特征谐波。

[0033] 进一步的,所述步骤S3中,在进行谐波源定位时,暂时断开所有功率因素补偿电容器,得到测量出PCC点的特征谐波(h次谐波)的系统侧和负荷侧等效谐波阻抗值的定性信息,包括两类信息:

[0034] (1) 系统等效谐波电抗和电阻的符号,也就是 X 、 X_c 、 X_u 、 R 、 R_c 、 R_u 的符号,其中 R_u 和 X_u 是系统侧等效谐波电抗和电阻, R_c 和 X_c 是负荷侧等效谐波电抗和电阻, $X = X_u + X_c$, $R = R_u + R_c$ 。

[0035] (2) 系统等效谐波电抗和电阻的相对大小,例如, $X_c > X_u$ 还是 $X_c < X_u$ 、 $R_c > R_u$ 还是 $R_c < R_u$ 。

[0036] 进一步的,所述步骤S4中,得到PCC点的特征谐波的谐波有功功率和谐波无功功率趋势图:对PCC点的特征谐波(h次谐波)的谐波有功功率和谐波无功功率进行24小时以上时间测量,将该测量值保存,得到谐波有功功率和谐波无功功率趋势图。

[0037] 进一步的,所述步骤S5中,判断负荷侧和系统侧是否存在h次谐波源,负荷侧存在h

次谐波源等价 $E_c \neq 0$, 系统侧存在h次谐波源等价 $E_u \neq 0$ 。

[0038] 进一步的, 所述步骤S5中, 判断谐波源存在于系统侧还是负荷侧, 依据如下判据1-6中的一种或一种以上予以判定,

[0039] 判据1: 若负荷侧特征谐波等效电阻 $R_c > 0$ 且PCC点的特征谐波有功功率 $P < 0$, 则负荷侧一定存在特征谐波源。

[0040] 进一步的, 所述步骤S5中, 用反证法证明, 假设在 $R_c > 0$ 且 $P < 0$ 的前提下, 负荷侧不存在h次谐波源——即 $E_c = 0$ 。将 $E_c = 0$ 代入公式(1)得:

$$[0041] \quad P = \frac{R_c E_u^2}{(R_u + R_c)^2 + (X_u + X_c)^2} \quad (3)$$

[0042] 因为 $R_c > 0$, 从式(3)得到 $P \geq 0$, 这与前提条件 $P < 0$ 矛盾。所以, 负荷侧一定存在h次谐波源;

[0043] 判据2: 若系统侧特征谐波等效电阻 $R_u > 0$ 且PCC点的特征谐波有功功率 $P > 0$, 则系统侧一定存在特征谐波源。

[0044] 判据3: 若负荷侧特征谐波等效电抗 $X_c > 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q < 0$, 则负荷侧一定存在特征谐波源。

[0045] 判据4: 若负荷侧特征谐波等效电抗 $X_c < 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q > 0$, 则负荷侧一定存在特征谐波源。

[0046] 判据5: 若系统侧特征谐波等效电抗 $X_u > 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q > 0$, 则系统侧一定存在特征谐波源。

[0047] 判据6: 若负荷侧特征谐波等效电抗 $X_u < 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q < 0$, 则系统侧一定存在特征谐波源。

[0048] 进一步的, 所述步骤S6中, 如果负荷侧和系统侧都存在h次谐波源, 负荷侧h次谐波源是主要谐波源等价 $E_c > E_u$, 系统侧h次谐波源是主要谐波源等价 $E_u > E_c$ 。

[0049] 进一步的, 所述步骤S6中, 如果特征谐波的系统侧等效阻抗、负荷侧等效阻抗、PCC点谐波有功功率和谐波无功功率同时满足: (1) $R_c \geq R_u > 0$, (2) $X_c \geq X_u > 0$, (3) $P < 0$, (4) $Q < 0$, 那么, 负荷侧的特征谐波源一定是主要谐波源。

[0050] 本发明理论严谨, 工程应用方便, 区别已有同类产品的突出优点: 该方法是一种定性分析法, 基于谐波源识别的戴维南等效电路, 用严格的数学推导, 首先得出PCC点谐波有功功率、谐波无功功率与谐波源参数的精确函数关系。克服了已有的定性分析法不严谨的缺陷, 给出了PCC点谐波源定位的6个充分条件和PCC点主导谐波源定位的1个充分条件。本发明仅需要得到PCC点的特征谐波的系统侧和负荷侧谐波等效阻抗值的定性信息, 该定性信息远比定量信息容易得到, 可通过暂时断开所有功率因素补偿电容器方便的得到, 工程应用方便。本发明采用了特征谐波的谐波有功功率P和谐波无功功率Q趋势图, 使其工程应用更加稳定。

附图说明

[0051] 图1是本发明的流程图。

[0052] 图2是本发明的220kv变电站主接线图。

[0053] 图3是本发明的谐波源戴维南等效电路原理图。

- [0054] 图4是本发明的变电站线路1的谐波源戴维南等效电路。
 [0055] 图5是本发明的某相谐波电流频谱图。
 [0056] 图6是本发明的各线路35次谐波有功功率趋势图。
 [0057] 图7是本发明的各线路35次谐波无功功率趋势图。

具体实施方式

[0058] 下面结合附图及某一220KV变电站PCC点谐波源定位实施例对本发明做进一步说明,如图1所示,一种PCC点的特征谐波源定位方法,按以下步骤进行:

[0059] 步骤S1、搭建公共电网的电力系统谐波源戴维南等效电路原理图。

[0060] 根据谐波源识别的系统用户戴维南等效电路,推导出PCC点h次谐波有功功率P和无功功率Q为

$$[0061] \quad P = \frac{R_c E_u (E_u - E_c \cos \delta) + R_u E_c (E_u \cos \delta - E_c) - (X_u + X_c) E_u E_c \sin \delta}{(R_u + R_c)^2 + (X_u + X_c)^2} \quad (1)$$

$$[0062] \quad Q = \frac{X_c E_u (E_u - E_c \cos \delta) + X_u E_c (E_u \cos \delta - E_c) + (R_u + R_c) E_u E_c \sin \delta}{(R_u + R_c)^2 + (X_u + X_c)^2} \quad (2)$$

[0063] 其中, E_u 是系统侧等效谐波源电动势幅值, R_u 和 X_u 是系统侧等效谐波电阻和电抗, E_c 是负荷侧等效谐波源电动势幅值, R_c 和 X_c 是负荷侧等效谐波电阻和电抗, δ 为负荷侧等效谐波源电动势相对系统侧谐波源电动势的相对相位差。

[0064] 步骤S2、计算出PCC点各次(2-50次)谐波电流幅值,通过比较各次谐波幅值95%大值的大小,选取95%大值中幅值最大的前10次谐波中的某一次(如h次)谐波作为该PCC点的特征谐波。

[0065] 步骤S2中,得到PCC点的特征谐波:经过24小时以上时间监测,得到监测时间内各次谐波电流的95%大值,比较各次谐波电流的95%大值,选取95%大值中幅值最大的前10次谐波中的某一次(如h次)谐波作为该PCC点的特征谐波。该步骤S2中,得到PCC点各次谐波电流幅值,是通过200ms时间窗电流采样值进行傅里叶变换获得。

[0066] 步骤S3、测量出PCC点的特征谐波的系统侧和负荷侧谐波等效阻抗参数。

[0067] 步骤S3中,在进行谐波源定位时,暂时断开所有功率因素补偿电容器,得到PCC点的特征谐波(h次谐波)的系统侧和负荷侧等效谐波阻抗值的定性信息,包括两类信息:

[0068] (1) 系统等效谐波电抗和电阻的符号,也就是 X 、 X_c 、 X_u 、 R 、 R_c 、 R_u 的符号,其中 R_u 和 X_u 是系统侧等效谐波电抗和电阻, R_c 和 X_c 是负荷侧等效谐波电抗和电阻, $X = X_u + X_c$, $R = R_u + R_c$ 。

[0069] (2) 系统等效谐波电抗和电阻的相对大小,例如, $X_c > X_u$ 还是 $X_c < X_u$ 、 $R_c > R_u$ 还是 $R_c < R_u$

[0070] 步骤S4、得到PCC点的特征谐波的谐波有功功率和谐波无功功率趋势图。

[0071] 该步骤S4中,得到PCC点的特征谐波的谐波有功功率和谐波无功功率趋势图:对PCC点的特征谐波(h次谐波)的谐波有功功率和谐波无功功率进行24小时以上时间测量,将该测量值保存,得到谐波有功功率和谐波无功功率趋势图。

[0072] 步骤S5、判断谐波源存在于系统侧还是负荷侧。

[0073] 判断依据包括如下判据中的一种或多种,

[0074] 判据1:若负荷侧特征谐波(h次谐波)等效电阻 $R_c > 0$ 且PCC点的特征谐波有功功率

$P < 0$, 则负荷侧一定存在特征谐波源 (h次谐波源);

[0075] 判据2:若系统侧特征谐波 (h次谐波) 等效电阻 $R_u > 0$ 且PCC点的特征谐波有功功率 $P > 0$, 则系统侧一定存在特征谐波源 (h次谐波源);

[0076] 判据3:若负荷侧特征谐波 (h次谐波) 等效电抗 $X_c > 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q < 0$, 则负荷侧一定存在特征谐波源 (h次谐波源);

[0077] 判据4:若负荷侧特征谐波 (h次谐波) 等效电抗 $X_c < 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q > 0$, 则负荷侧一定存在特征谐波源 (h次谐波源);

[0078] 判据5:若系统侧特征谐波 (h次谐波) 等效电抗 $X_u > 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q > 0$, 则系统侧一定存在特征谐波源 (h次谐波源);

[0079] 判据6:若负荷侧特征谐波 (h次谐波) 等效电抗 $X_u < 0$ 且PCC点的特征谐波无功功率 $Q < 0$, 则系统侧一定存在特征谐波源 (h次谐波源)。

[0080] 可根据判据1、3、4相互验证谐波源定位的准确性。还可根据判据2、5、6相互验证谐波源定位的准确性。

[0081] 步骤S6、当系统侧和负荷侧均有谐波源时,判断主谐波源是否来源于负荷侧。如果特征谐波 (h次谐波) 的系统侧等效阻抗、负荷侧等效阻抗、PCC点谐波有功功率和谐波无功功率同时满足: (1) $R_c \geq R_u > 0$, (2) $X_c \geq X_u > 0$, (3) $P < 0$, (4) $Q < 0$, 那么, 负荷侧的特征谐波源为主要谐波源; 否则, 系统侧的特征谐波源为主要谐波源。

[0082] 具体而言:

[0083] 步骤S1中, 该变电站主接线图如图2所示, 其中220kV母线有7条出线 (1~7号线), 110kV母线有6条出线 (8~13号线), 35kV母线只接有补偿电容器。进一步的, 所述步骤S1中, 电力系统谐波源戴维南等效电路原理图如图3所示。其中, E_u 是系统侧等效谐波源电动势幅值, R_u 和 X_u 是系统侧等效谐波电阻和电抗, E_c 是负荷侧等效谐波源电动势幅值, R_c 和 X_c 是负荷侧等效谐波电阻和电抗, δ 为负荷侧等效谐波源电动势相对系统侧谐波源电动势的相对相位差, \dot{V} 是PCC的谐波电压, \dot{i} 是PCC的谐波电流, \dot{V} 、 \dot{i} 的正方向如图3所示。

[0084] 步骤S1中, 可得到变电站线路1的谐波源戴维南等效电路原理图, 如图4所示, 同理亦可得到其它线路的谐波源戴维南等效电路原理图。

[0085] 步骤S2中, 在该变电站每条出线 (共13条) 与母线的连接点 (PCC) 都安装了一个专用电能质量监测终端, 同步记录每个连接点的谐波电流。经过长期测量 (一个月) 记录到该变电站高次谐波电流异常, 其中, 35次谐波最为严重, 选取35次谐波作为该PCC点的特征谐波, 如图5所示。

[0086] 步骤S3中, 在进行谐波源定位时, 暂时断开所有功率因素补偿电容器, 得到PCC点的系统侧和负荷侧35次谐波等效阻抗值的定性信息。

[0087] 步骤S4中, 得到监测时间内变电站各条线路35次谐波的有功和无功趋势图, 分别如图6和图7所示。

[0088] 步骤S5中, 从图6可以看到, 4号线PCC的35次谐波有功功率在整个时间段内全为负, 2号线和7号线PCC的35次谐波有功功率在部分时间段为负, 由所述步骤S3可知4号线、2号线和7号线的负荷侧35次等效谐波电阻 $R_c > 0$, 根据判据1可得: 在整个时间段内4号线的负荷侧一定存在35次谐波源, 在部分时间段内2号线和7号线的负荷侧也一定存在35次谐波源。

[0089] 步骤S6中,从图6和图7可以看到,4号线PCC的35次谐波有功功率和无功功率在整个时间段内同时为负,由所述步骤S3可知4号线35次等效谐波阻抗参数满足 $R_c \geq R_u > 0$ 和 $X_c \geq X_u > 0$,根据判据7可得:在整个时间段内4号线的负荷侧的35次谐波源是主要谐波源。

[0090] 步骤S6中,经过调查,发现4号线上有一个十分繁忙的牵引变电站,这个牵引变电站供电的电气化铁路运行着许多和谐号电力机车,和谐号电力机车采用的是‘交-直-交’调速方式,这种调速方式让低次谐波得到明显抑制、高次谐波则往往偏大,其特征谐波往往在35次附近,表明本方法的有效性。

[0091] 本发明并不局限于上述实施例,以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,对于本领域的技术人员来说,其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

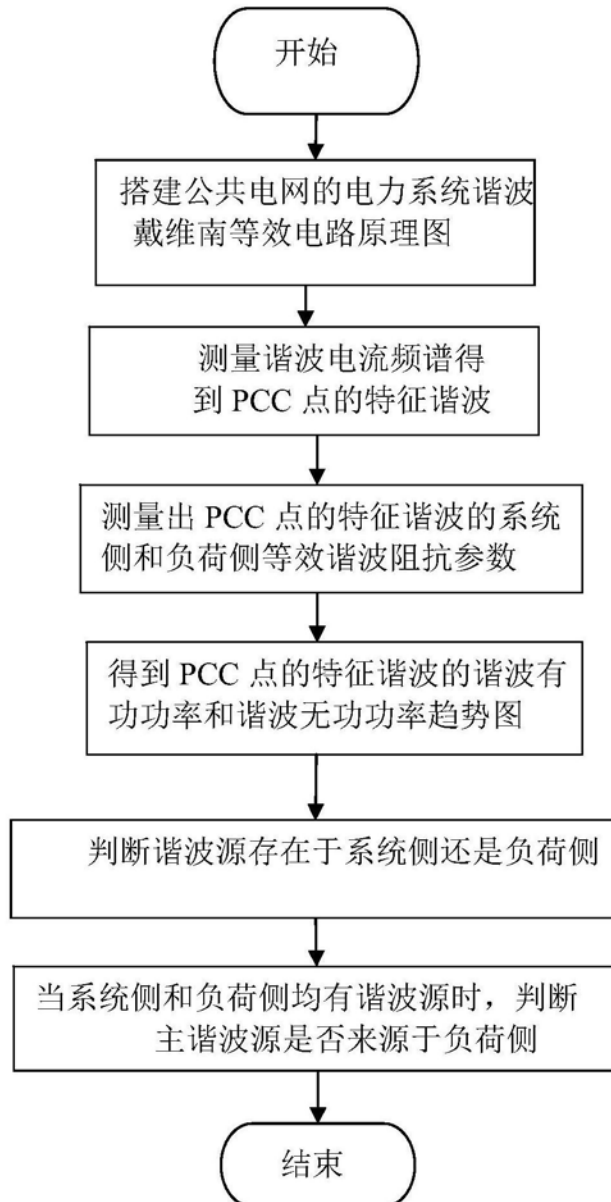


图1

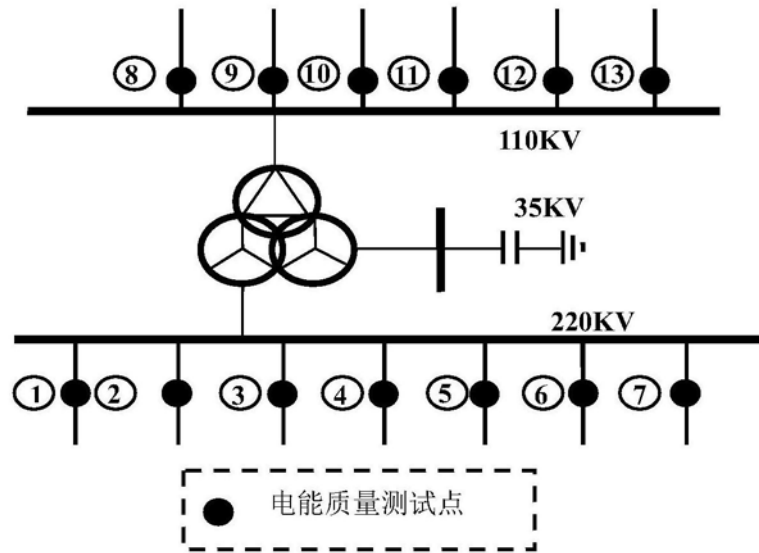


图2

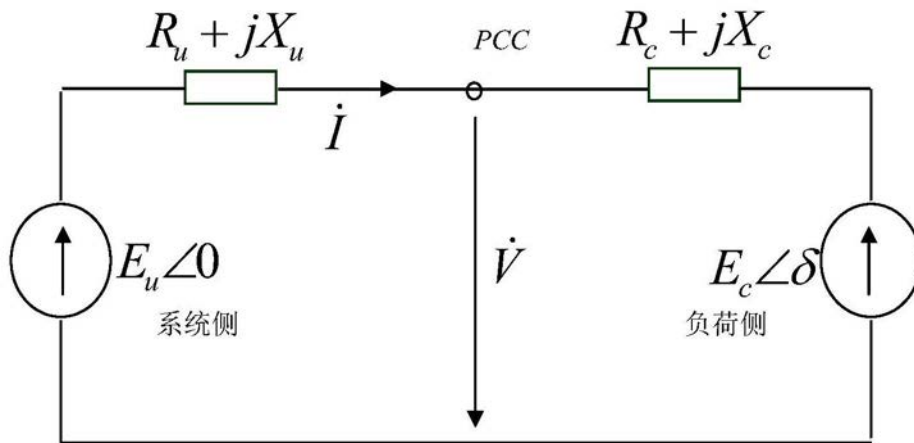


图3

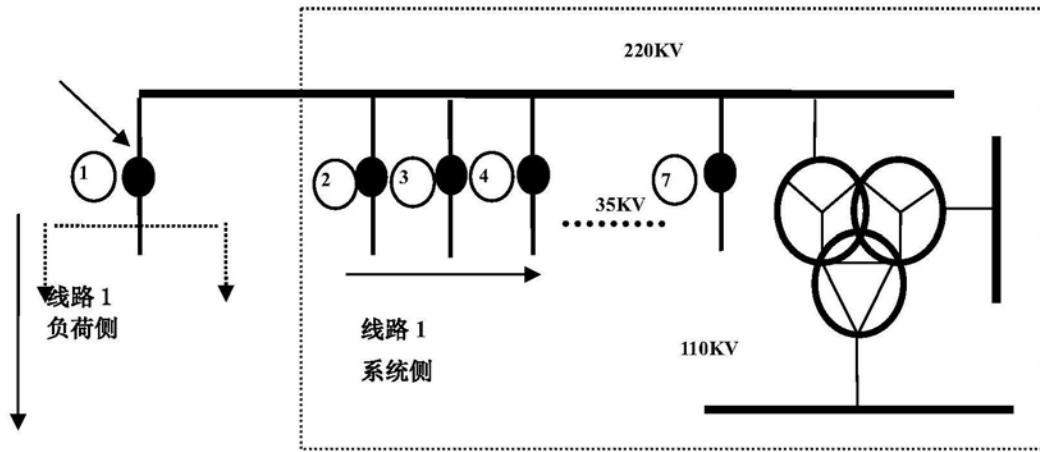


图4

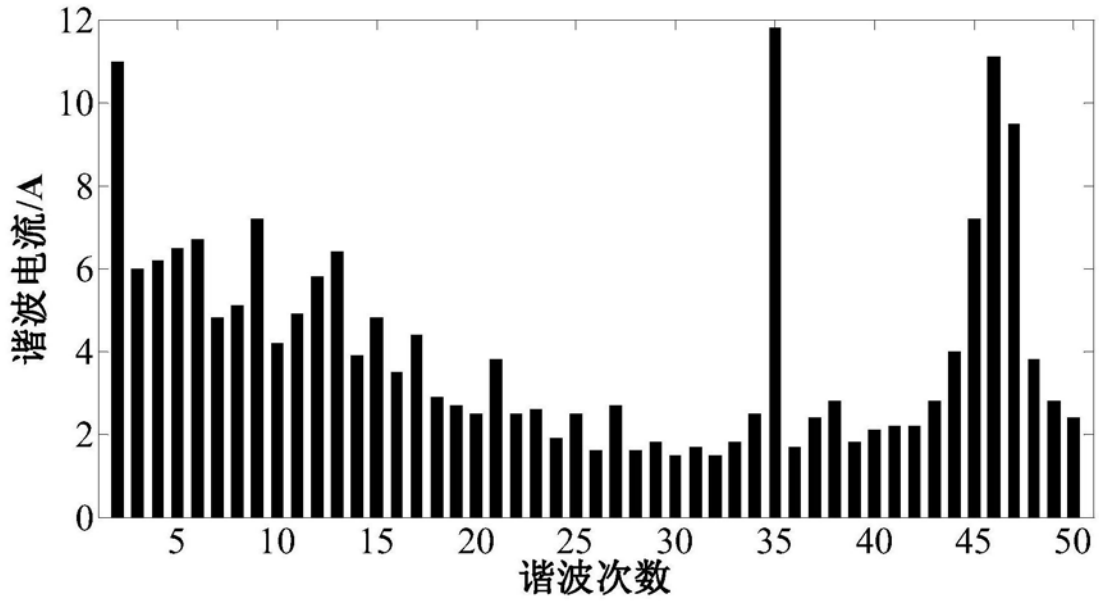


图5

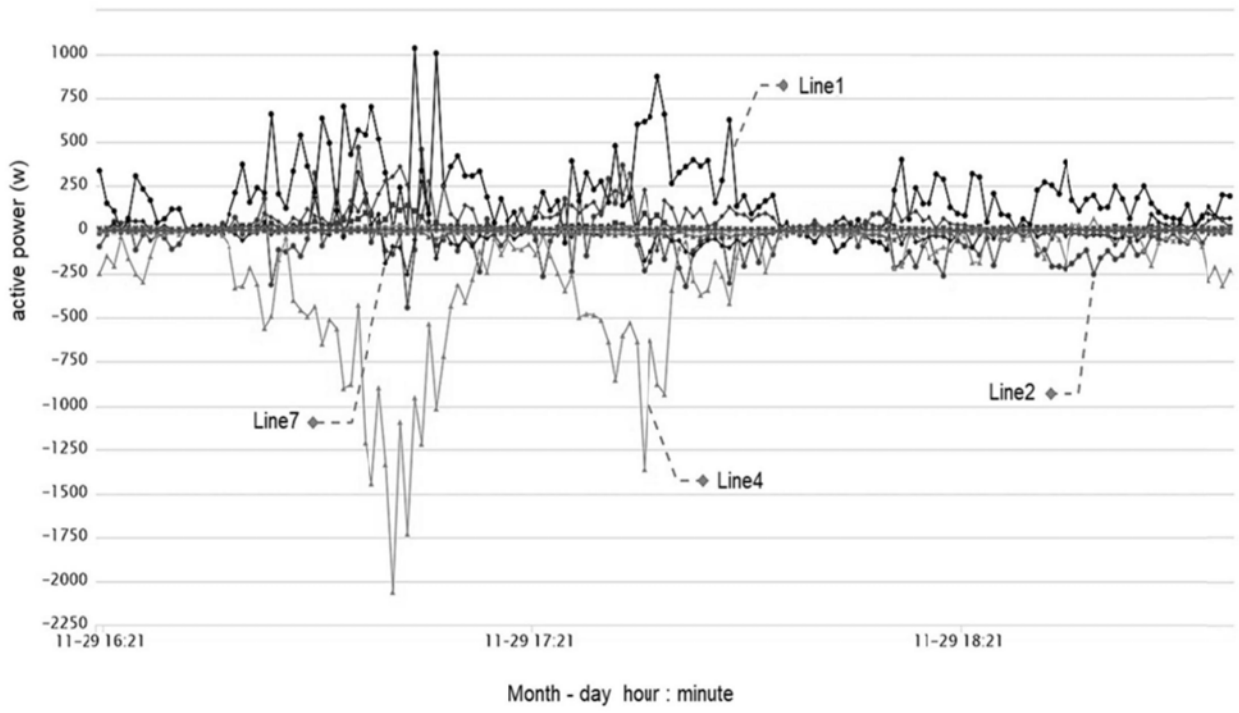


图6

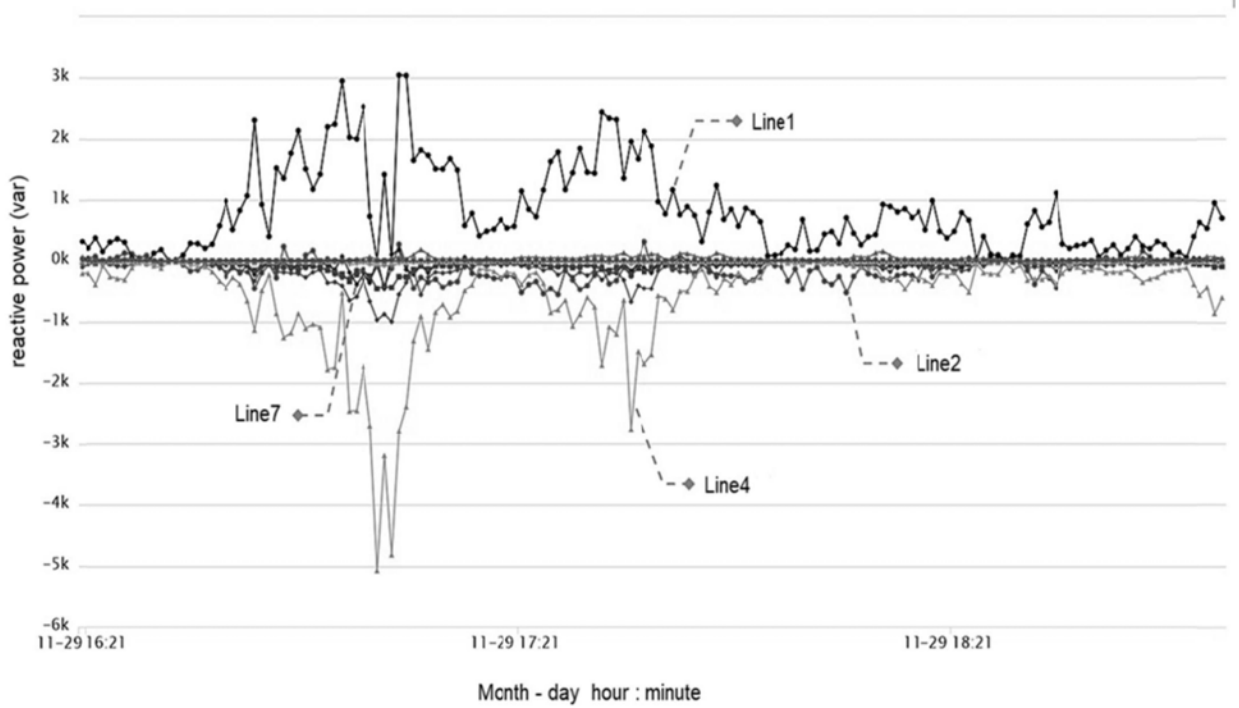


图7