



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108599141 B

(45) 授权公告日 2021.04.27

(21) 申请号 201810110562.X

(22) 申请日 2018.02.05

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108599141 A

(43) 申请公布日 2018.09.28

(73) 专利权人 西交利物浦大学  
地址 215123 江苏省苏州市工业园区独墅  
湖高等教育区仁爱路111号  
专利权人 国投白银风电有限公司

(72) 发明人 赵进堂 魏刚 赵传志 吴春潮  
薛飞 卢少锋 徐晓彤

(74) 专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有  
限公司 32103  
代理人 范晴 丁浩秋

(51) Int.Cl.  
H02J 3/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104050536 A, 2014.09.17

CN 102983570 A, 2013.03.20

CN 104505820 A, 2015.04.08

CN 104810853 A, 2015.07.29

CN 106026092 A, 2016.10.12

CN 107017618 A, 2017.08.04

CN 107492887 A, 2017.12.19

WO 0161820 A1, 2001.08.23

WO 2010057947 A2, 2010.05.27

Fei Xue et al. Fractional converter for high efficiency high power battery energy storage system.《2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)》.2017,

薛飞等. 能源互联网的网络化能源集成探讨.《电力系统自动化》.2016, 第40卷(第1期),

审查员 苏建明

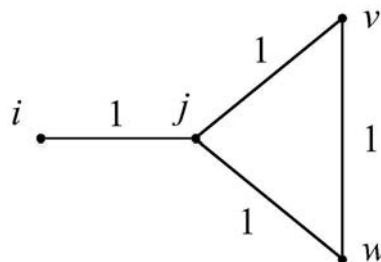
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

多能源局域网快速动态自适应识别方法

(57) 摘要

本发明公开了一种能源局域网自适应识别方法,包括以下步骤:根据配电网络的结构特性,确定配电网络中节点间电气关联强度;根据节点间电气关联强度,将电气关联强的子区域划分为虚拟微网,根据虚拟微网构造能源局域网;通过电气模块化数值对能源局域网进行识别,所述电气模块化为在不同的虚拟微网中,所有母线之间的电气关联强度在已知网络与随机网络中的差异。可以根据网络的结构特点,快速地给出最合理的边界划分方案。



1. 一种能源局域网自适应识别方法,其特征在於,包括以下步骤:

S01:根据配电网的结构特性,确定配电网中节点间电气关联强度,取电气距离和传输容量这两个特征量来定义任意两个母线v和母线w间的等效电气关联强度;

S02:根据节点间电气关联强度,将电气关联强的子区域划分为虚拟微网,根据虚拟微网构造能源局域网;

S03:通过电气模块化数值对能源局域网进行识别,选择电气模块化数值最大的组合方式作为能源局域网的最优组合方式,所述电气模块化数值为在不同的虚拟微网中,所有母线之间的电气关联强度在已知网络与随机网络中的差异;所述电气模块化数值为

$$K = \sum_{vw} \left[ \frac{A_{vw}}{2M} - \frac{A_v}{2M} \cdot \frac{A_w}{2M} \right] \delta(C_v, C_w),$$
 若 $C_v = C_w$ ,则 $\delta(C_v, C_w) = 1$ ,否则, $\delta(C_v, C_w) = 0$ , $A_{vw}$ 为电气关联强度矩阵, $M = \frac{1}{2} \sum_{vw} A_{vw}$ 为全网电气关联总量, $A_v$ 、 $A_w$ 为母线v、w的电气关联总量, $C_v$ 和 $C_w$ 分别代表母线v和母线w各自所属区域。

2. 根据权利要求1所述的能源局域网自适应识别方法,其特征在於,所述节点间电气关联强度通过以节点间等效阻抗以及有效传输容量作为参数,通过相量构造复合权重,并以相量模表征。

3. 根据权利要求2所述的能源局域网自适应识别方法,其特征在於,所述步骤S01中,还包括计算节点间电气关联强度,构成配电网的电气关联强度矩阵。

4. 根据权利要求1所述的能源局域网自适应识别方法,其特征在於,所述虚拟微网边界的划分通过比较边界内节点间电气关联强度分布的概率与对应随机网络内分布概率之差进行评价。

5. 根据权利要求1所述的能源局域网自适应识别方法,其特征在於,所述步骤S03中,将电气关联矩阵中电气关联强度数值进行排序,以每个节点为一个虚拟微网作为起始条件,根据电气关联强度数值的顺序,逐步合并各点,并计算相应的电气模块化数值,直到所有节点划分为一个虚拟微网。

6. 一种具有动态边界的能源局域网的构造方法,其特征在於,对已确定边界的能源局域网进行重新组合;

对于不同区域个数的组合方式,以电气模块化数值最大为依据寻找分区方式的最优解,确定能源局域网的动态边界,所述电气模块化数值为在不同的能源局域网中,所有母线之间的电气关联强度在已知网络与随机网络中的差异;

所述电气模块化数值为
$$K = \sum_{vw} \left[ \frac{A_{vw}}{2M} - \frac{A_v}{2M} \cdot \frac{A_w}{2M} \right] \delta(C_v, C_w),$$
 若 $C_v = C_w$ ,则 $\delta(C_v, C_w) = 1$ ,否则, $\delta(C_v, C_w) = 0$ , $A_{vw}$ 为电气关联强度矩阵, $M = \frac{1}{2} \sum_{vw} A_{vw}$ 为全网电气关联总量, $A_v$ 、 $A_w$ 为母线v、w的电气关联总量, $C_v$ 和 $C_w$ 分别代表母线v和母线w各自所属区域。

## 多能源局域网快速动态自适应识别方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于能源互联网控制与电气技术领域,具体涉及一种多能源局域网快速动态自适应识别方法。

### 背景技术

[0002] 近来,继智能电网之后,能源互联网成为人们关注的热门话题。美国著名学者杰里米·里夫金在其著作《第三次工业革命》一书中,首先提出了能源互联网的愿景,获得了国内外能源领域学术界和工程界的广泛关注。但是,基于不同行业以及不同目标,对于能源互联网的解读及其与智能电网的关系众说纷纭。尽管尚未形成对能源互联网的一致定义和技术方案,但多数研究的基本思路是仿照信息互联网,通过将能源局域网互联互通集成,实现其相互间自由灵活能量交互的目标。但是,对于如何界定能源局域网及其基本特征,尚存在很大争议,但基本可归纳为其具有可预测、可控制和可调度的自治运行和控制能力,进而可以灵活多变的结构和状态彼此互联交互。

[0003] 与此同时,在智能电网技术的推动下,分布式可再生能源发电以及储能设备和电动汽车等新的负荷资源已经成为未来配电网发展的主要特征。然而,基于全局的分析和评估,在电网中构建能源局域网所面临的最大挑战可能来自于历史长期发展过程中已经形成的庞大传统配电网。为适应能源互联网新的挑战和要求,需要对传统配电网进行改造和规划,逐步将其发展为具备自治、灵活、自由交互等优点的内部互联的能源局域网。为实现这一目标,首要的任务就是找到一种合适的方法完成对能源局域网边界的界定。目前,尚未有人根据电网的结构特点,提出可以快速自适应地识别能源局域网边界的方法。

### 发明内容

[0004] 针对上述存在的技术问题,本发明目的是:提供一种多能源局域网快速动态自适应识别方法,可以根据网络的结构特点,快速地给出最合理的边界划分方案。

[0005] 本发明的技术方案是:

[0006] 一种能源局域网自适应识别方法,包括以下步骤:

[0007] S01:根据配电网的结构特性,确定配电网中节点间电气关联强度;

[0008] S02:根据节点间电气关联强度,将电气关联强的子区域划分为虚拟微网,根据虚拟微网构造能源局域网;

[0009] S03:通过电气模块化数值对能源局域网进行识别,所述电气模块化为在不同的虚拟微网中,所有母线之间的电气关联强度在已知网络与随机网络中的差异。

[0010] 优选的,所述节点间电气关联强度通过以节点间等效阻抗以及有效传输容量作为参数,通过相量构造复合权重,并以相量模表征。

[0011] 优选的,所述步骤S01中,还包括计算节点间电气关联强度,构成配电网的电气关联强度矩阵。

[0012] 优选的,所述电气模块化为  $K = \sum_{vw} \left[ \frac{A_{vw}}{2M} - \frac{A_v}{2M} \cdot \frac{A_w}{2M} \right] \delta(C_v, C_w)$ , 若  $C_v = C_w$ , 则  $\delta(C_v, C_w) = 1$ , 否则,  $\delta(C_v, C_w) = 0$ ,  $A_{vw}$  为电气关联强度矩阵,  $M = \frac{1}{2} \sum_{vw} A_{vw}$  为全网

电气关联总量,  $A_v$ 、 $A_w$  为母线  $v$ 、 $w$  的电气关联总量,  $C_v$  和  $C_w$  分别代表母线  $v$  和母线  $w$  各自所属区域。

[0013] 优选的,所述虚拟微网边的界划分通过比较边界内节点间电气关联强度分布的概率与对应随机网络内分布概率之差进行评价。

[0014] 优选的,所述步骤S03中,将电气关联矩阵中电气关联强度数值进行排序,以每个节点为一个虚拟微网作为起始条件,根据电气关联强度数值的顺序,逐步合并各点,并计算相应的电气模块化数值,直到所有节点划分为一个虚拟微网。

[0015] 本发明还公开了一种具有动态边界的能源局域网的构造方法,对已确定边界的能源局域网进行重新组合;

[0016] 对于不同区域个数的组合方式,以电气模块化数值最大为依据寻找分区方式的最优解,确定能源局域网的动态边界,所述电气模块化为在不同的能源局域网中,所有母线之间的电气关联强度在已知网络与随机网络中的差异。

[0017] 优选的,所述电气模块化为  $K = \sum_{vw} \left[ \frac{A_{vw}}{2M} - \frac{A_v}{2M} \cdot \frac{A_w}{2M} \right] \delta(C_v, C_w)$ ,

[0018] 若  $C_v = C_w$ , 则  $\delta(C_v, C_w) = 1$ , 否则,  $\delta(C_v, C_w) = 0$ ,  $A_{vw}$  为电气关联强度矩阵,  $M = \frac{1}{2} \sum_{vw} A_{vw}$  为全网电气关联总量,  $A_v$ 、 $A_w$  为母线  $v$ 、 $w$  的电气关联总量,  $C_v$  和  $C_w$  分别代表母线  $v$  和母线  $w$  各自所属区域。

[0019] 与现有技术相比,本发明的优点是:

[0020] 本发明提出了改进的电气关联强度定义,可以根据网络的结构特点,自动快速地给出最合理的边界划分方案。可以对传统配电网进行改造与规划,提高配电网的灵活性、自愈性,以便适应未来能源互联网的功能与需求。

## 附图说明

[0021] 下面结合附图及实施例对本发明作进一步描述:

[0022] 图1为电气关联强弱网络示意图。

## 具体实施方式

[0023] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明了,下面结合具体实施方式并参照附图,对本发明进一步详细说明。应该理解,这些描述只是示例性的,而并非要限制本发明的范围。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本发明的概念。

[0024] 实施例:

[0025] 本发明提出了改进的电气关联强度定义。

[0026] 1. 电气关联强度

[0027] 为了描述母线间电气联系的大小,取电气距离和传输容量这两个特征量来定义任意两个母线v和母线w间的等效电气关联强度:

$$[0028] \quad \overline{E}_{vw} = \left| \alpha \overline{Y}_{vw} + j\beta \overline{C}_{vw} \right| \quad (\alpha + \beta = 1)$$

$$[0029] \quad \overline{Y}_{vw} = \frac{1/Z_{vw}}{\overline{Y}}$$

$$[0030] \quad \overline{C}_{vw} = \frac{C_{vw}}{\overline{C}}$$

[0031] 其中,  $Z_{vw}$  表示母线v和母线w之间的电气距离,  $C_{vw}$  表示母线v和母线w之间的传输容量,  $\overline{Y}$  和  $\overline{C}$  分别表示指定配电网中所有电气距离和传输容量的平均值。

[0032] 因为电能在电网中的流动不仅仅局限于最短路径之间,而是几乎所有的路径都会不同程度的参与。如图1所示,假设在这个网络中,所有线路的容量相同,阻抗都为1,连接节点i和j的线路可以表示为 $l_{i-j}$ 。那么,线路 $l_{i-j}$ 和线路 $l_{j-v}$ 的电气参数相同。但是,在电网中,对于节点j和节点v,电能不仅仅在这两点之间流动,还可以通过连接节点w的两条线路 $l_{j-w}$ ,  $l_{w-v}$ 间接传输。显而易见,考虑到节点j和w的并联线路,节点j和v之间的等效阻抗小于1。那么,节点j和v之间的电气关联强度要大于节点i和j之间的电气关联强度。

[0033] 所以,将等效的电气距离和传输容量定义为:

$$[0034] \quad Z_{vw} = Z'_{vv} - 2Z'_{vw} + Z'_{ww}$$

$$[0035] \quad C_{vw} = \min \left( \frac{P_{l_{\max}}}{|F'_{vw}|} \right)$$

[0036] 其中,  $Z'_{vv}$  ( $Z'_{ww}$ ) 为阻抗矩阵第v(w)行第v(w)列的元素,  $Z'_{vw}$  为阻抗矩阵第v行第w列的元素。  $P_{l_{\max}}$  表示在正常情况下输电线路l允许输送的最大功率, F表示功率传输分布因子(Power Transfer Distribution Factor),  $F'_{vw}$  表示当单位功率的电能从母线v流入并从母线w流出时,输电线路l上的潮流变化。

[0037] 由此,基于两点间电气关联强度的定义,对于一个给定的电网G,可以得到描述其电气结构特性的电气关联强度矩阵A,  $A_{vw} = E_{vw}$  即代表矩阵A中的元素。与邻接矩阵的定义不同,该矩阵中的所有非对角元素都是非零元素,因为任意两点间的电气关联强度都不为零。

[0038] 2. 电气关联总量

[0039] 根据电气关联强度矩阵的定义,将全网电气关联总量定义为:

$$[0040] \quad M = \frac{1}{2} \sum_{vw} A_{vw}$$

[0041] 对于母线v,其电气关联总量为:

$$[0042] \quad A_v = \sum_w A_{vw}$$

[0043] w为电网中任意其它母线节点(直接或间接相连)。

[0044] 对于给定电网X,若将全网络划分为若干子区域,  $C_v$  和  $C_w$  分别代表母线v和母线w各自所属区域,那么,描述划分方式的电气模块化可定义为:

$$[0045] \quad K = \sum_{vw} \left[ \frac{A_{vw}}{2M} - \frac{A_v}{2M} \cdot \frac{A_w}{2M} \right] \delta(C_v, C_w)$$

[0046] 若 $C_v = C_w$ , 则 $\delta(C_v, C_w) = 1$ , 否则,  $\delta(C_v, C_w) = 0$ 。

[0047] 电气模块化的物理含义可以理解为: 对于给定网络X, 如果在所有关联强度中随机抽取一个单位的电气关联强度, 则这个单位的电气关联强度连接母线v和母线w的概率取决于两个事件:

[0048] 该单位电气关联强度起始于母线v;

[0049] 该单位电气关联强度终止于母线w。

[0050] 对于母线v, 其电气关联总量为 $A_v$ , 则事件a的概率为 $A_v/2M$ 。由于在给定网络X中, 母线v和母线w之间的电气关联强度已知, 则事件a和事件b不是完全独立事件。当事件a为真时, 事件b的概率为 $A_{vw}/A_v$ 。那么, 随机抽取的该单位电气关联强度从母线v连接到母线w的概率应为 $(A_v/2M) \cdot (A_{vw}/A_v) = A_{vw}/2M$ 。

[0051] 对应的, 对于另外一个随机网络Y, 其母线和电气关联总量与网络X相同, 每个母线的电气关联强度总量也与网络X相同, 但是具有不同电气关联强度的线路在网络Y中随机分布。则随机抽取一个单位电气关联强度, 且该单位电气关联强度从母线v连接到母线w的概率仍然取决于a、b两个事件。与其在网络X中的情况类似, 事件a的概率为 $A_v/2M$ 。但是, 由于在网络Y中, 线路是随机分布的, 所以母线v和母线w之间的电气关联强度不能作为已知条件, 事件a和事件b是完全独立事件, 则事件b的概率为 $A_w/2M$ 。因此, 随机抽取的该单位电气关联强度从母线v连接到母线w的概率为 $(A_v/2M) \cdot (A_w/2M)$ 。

[0052] 由此可以看出, 电气模块化描述的是: 对于同一区域而言, 所有母线之间的电气关联强度在已知网络与随机网络中的差异。如果这个差异越大, 则证明母线之间的电气联系越紧密。那么, 将这些母线划分到一个区域的方式就越合理。所以, 电气模块化的定义可以作为衡量能源局域网划分方式合理性的依据。若电气模块化的数值越大, 则证明能源局域网的划分方式越合理, 那么, 寻找最优的划分方式便等同于寻求K最大的划分结果。

[0053] 3. 动态自适应识别方法

[0054] 为满足能源局域网建设的不同要求, 本发明提出了一种快速识别能源局域网边界的方法。

[0055] 假设某电网有B条母线, 则其可以划分为B, (B-1), (B-2), ..., 1个能源局域网, 最多共有B种可能的区域个数。而对于不同区域个数的划分方案, 其网络组成方式又是多种多样的。基于电气模块化的定义, 可以通过分析在区域个数不同的情况下, 所有可能的网络组合方式, 找出每种情况下具有最大区域模块化的组合方式, 多层次自动识别电网分区的相互关系。定义N为代表能源局域网个数的变量, 则快速动态自适应识别方法可归纳为:

[0056] (1) 当 $N=B$ 时, 即每个节点单独构成一个局域网, 计算此种方式下的电气模块化 $K_N$ 。

[0057] (2) 当 $N=N-1$ 时, 根据电气关联矩阵中电气关联强度数值的大小, 优先将电网中关联最强的母线两两组合, 计算不同组合方式下的电气模块化 $K_{N-1}$ 。

[0058] (3) 选择 $K_{N-1}$ 最大的组合方式作为(N-1)个能源局域网的最优组合方式。

[0059] (4) 重复步骤(2)至步骤(3), 直到 $N=1$ , 并计算 $K_1$ 。

[0060] 按照以上方法, 可以得到B种能源局域网的划分结果, 其中, 每种结果都为能源局

域网个数一定的条件下的最优组合方式。该方法利用节点的逐步合并,从而可以全面地考虑所有可能的组合方式。因此,我们可以从得到的分区结果中选出电气模块化最大的结果,并依据此结果来确定能源局域网的边界,电气工程师也可根据不同的设计和运行要求,选择其他的划分方式。

[0061] 根据选定的能源局域网的边界条件,我们可以进一步对该能源局域网进行组合,构造具有动态边界的能源局域网,其构造方法可以解释为:假设已确定边界的能源局域网有 $J$ 个区域( $J < N$ ),那么,参考能源局域网的构造方法,对 $J$ 个区域的能源局域网重新进行组合。对于不同区域个数的组合方式,仍以电气模块化 $K$ 最大为依据寻找分区方式的最优解,最后选择 $K$ 值满足要求的一系列解来确定能源局域网的动态边界,使能源局域网可根据实际运行需求切换不同的运行模式,提高系统的灵活性和自愈性。

[0062] 具体步骤如下:

[0063] 首先改进电气关联强度矩阵定义,选取任意两点间等效阻抗以及有效传输容量作为参数,通过相量构造复合权重,并以相量模表征两点间电气关联强度。

[0064] 然后,计算两点间电气关联强弱程度,以衡量电网结构的紧密度。将内部结构紧密度高,对外结构紧密度低的子区域划分为虚拟微网,并以此为基础构造能源局域网。

[0065] 基于所定义电气关联强度,可计算每一个节点电气关联总量以及全网电气关联总量。任意节点的电气关联总量等于该点与所有其它节点(直接或间接相连)等效电气关联强度之和。全网电气关联总量等于全网节点电气关联总量之和的一半。

[0066] 对于某特定的配电网,对于给定的基于虚拟微网的能源局域网划分方法,可用前述电气模块化数值 $k$ 对其进行量化评价,数值越高表示该划分越合理。对特定的虚拟微网边界划分方法,通过比较边界内节点间电气关联强度分布的概率与对应随机网络内分布概率之差,来评价划分方案。该概率差值越大,则划分方式越好。

[0067] 在起始阶段以 $J$ 个虚拟微网开始,通过依次不断合并电气关联强度较大的微网,检测电气模块化数值的变化确定最优划分方案。对应最大 $k$ 值的划分方案即为最优方案。具体计算过程为:

[0068] 定义 $N$ 为代表能源局域网个数的变量,则快速动态自适应识别方法可归纳为:

[0069] (1) 当 $N=J$ 时,计算此种方式下的电气模块化 $K_N$ 。

[0070] (2) 当 $N=N-1$ 时,根据电气关联矩阵中电气关联强度数值的大小,优先将电网中关联最强的微网两两组合,计算不同组合方式下的电气模块化 $K_{N-1}$ 。

[0071] (3) 选择 $K_{N-1}$ 最大的组合方式作为 $(N-1)$ 个能源局域网的最优组合方式。

[0072] (4) 重复步骤(2)至步骤(3),直到 $N=1$ ,并计算 $K_1$ 。

[0073] 应当理解的是,本发明的上述具体实施方式仅仅用于示例性说明或解释本发明的原理,而不构成对本发明的限制。因此,在不偏离本发明的精神和范围的情况下所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。此外,本发明所附权利要求旨在涵盖落入所附权利要求范围和边界、或者这种范围和边界的等同形式内的全部变化和修改例。

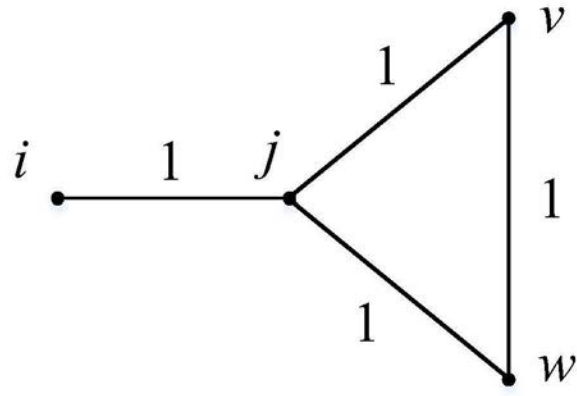


图1