



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112836998 B

(45) 授权公告日 2022.06.24

(21) 申请号 202110329611.0

(22) 申请日 2021.03.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112836998 A

(43) 申请公布日 2021.05.25

(73) 专利权人 国网河北省电力有限公司电力科学
研究院

地址 050031 河北省石家庄市裕华区体育
南大街238号国网河北省电力有限公
司电力科学研究院

专利权人 国家电网有限公司
国网河北能源技术服务有限公司

(72) 发明人 孟良 李铁成 胡文平 周文
苏灿 杨少波 胡雪凯 李宣义

(74) 专利代理机构 石家庄新世纪专利商标事务
所有限公司 13100

专利代理师 张晓佩

(51) Int.Cl.
G06Q 10/06 (2012.01)
G06Q 50/06 (2012.01)

(56) 对比文件
CN 111552925 A, 2020.08.18
CN 107316118 A, 2017.11.03

审查员 耿玲

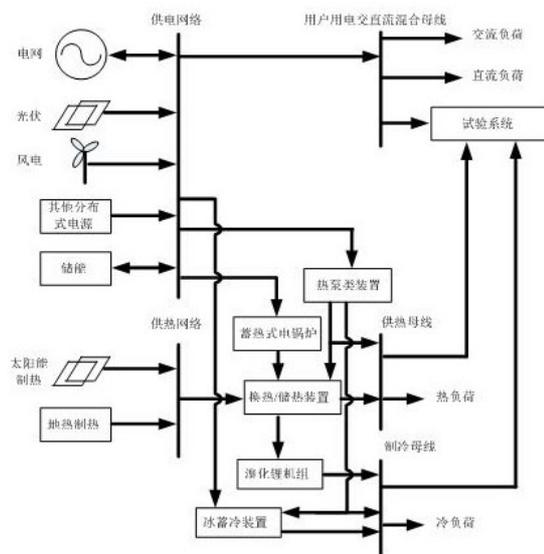
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价方法

(57) 摘要

本发明涉及一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价方法,通过结构灵活性指标、能源转换率指标、系统响应性指标和系统支撑性指标对微能网进行系统能效评价。本发明设计了一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价指标体系,该体系涵盖了多个指标体系,使用范围较广。本发明充分考虑了多种功率紧急响应模式,实现了对紧急状态下的有功功率、无功功率紧急响应能力评价,提高了系统对大电网的支撑能力。



1. 一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价方法,其特征在于,通过结构灵活性指标、能源转换率指标、系统响应性指标和系统支撑性指标对微能网进行系统能效评价;所述结构灵活性指标包括供电网络并离网运行能力指标、供热网络向其他能源系统供热能力指标和供电网络离网运行时间指标;

所述供电网络并离网运行能力指标:

供电网络并离网运行能力 K_{11} 评估微能网系统中核心的交直流混合微电网是否可实现离网运行;

$$K_{11} = P_{11} \times P_{12} \times P_{13}$$

设置并离网切换时间 T_{11} 为交直流混合微电网离网动作时间至系统电压恢复至90%额定电压时间, T_{11} 小于40ms即认为系统具备实现离网运行能力,其中, P_{11} 为交直流混合微电网能否离网运行,指标具体定义如下:

$$P_{11} = \begin{cases} 1, & \text{系统可离网运行} \\ 0, & \text{系统只能并网运行} \end{cases}$$

P_{12} 为交直流混合微电网并离网切换时电压冲击幅度,为并离网切换时最高电压幅值和最低电压幅值中偏离基准值的最大值,指标具体定义如下:

$$P_{12} = \frac{1}{U_1/U}$$

其中, U_1 为电压冲击幅值, U 为交直流混合微电网额定运行线电压幅值;

P_{13} 为交直流混合微电网冲击电流幅度,为微电网离网转并网切换时电流最大冲击幅值,指标具体定义如下:

$$P_{13} = \frac{1}{I_1/I}$$

其中, I_1 为微电网以一半容量正常离网转并网运行时并的冲击电流幅值, I 为交直流混合微电网微电网以一半容量正常时的电流幅值;

供热网络向其他能源系统供热能力指标:

供热网络向其他能源系统供热能力 K_{12} 指标为系统是否具有供热网络与其他能源系统的供热系统接口,系统供热网络是否能满足本系统供热需求;

$$K_{12} = R_1 \times R_2$$

其中,当系统具有接口时, R_1 为1,否则为0.5; R_2 定义为:

$$R_2 = \frac{R_3}{R_4}$$

其中, R_3 为系统供热能力, R_4 为系统正常运行时所需热负荷,系统供热面积、单位面积热负荷计算;

供电网络离网运行时间指标:

供电网络离网运行时间 K_{13} 指标为交直流混合微电网离网运行时间;在此指标设置时只考虑供电网络离网运行时间,在具体计算时取微电网中主储能系统额定运行小时数:

$$K_{13} = t$$

其中, t 为离网运行时间;

综上所述,结构灵活性指标 K_1 为:

$$K_1 = K_{11} \times K_{12} \times K_{13};$$

能源转换率指标 K_2 评估微能网系统中供电网络中交流、直流转换次数;供热网络中热能转换次数及热能转换方式,包括交流、直流转换能力指标和供热网络转换能力指标;

交流、直流转换能力指标 K_{21} 为:

$$K_{21} = \frac{P_1}{P} \times X_1 + \frac{P_2}{P} \times X_2 + \dots + \frac{P_N}{P} \times X_N$$

其中, P 为交直流混合微电网额定运行功率, P_1 为第一台电力电子变换器功率, X_1 为第一台电力电子变换器转换效率, P_N 为第 N 台电力电子变换器功率, X_N 为第 N 台电力电子变换器转换效率;

供热网络转换能力指标 K_{22} 为:

$$K_{22} = \frac{H_1}{R_4} \times L_{11} \times L_{12} + \frac{H_2}{R_4} \times L_{21} \times L_{22} + \dots + \frac{H_N}{R_N} \times L_{N1} \times L_{N2}$$

其中, H_1 是第一台供热装置供热容量, H_N 是第 N 台供热装置供热容量, L_{11} 是第1台供热装置供热效率, L_{N1} 是第 N 台供热装置供热效率, L_{12} 是第1台供热装置供热转换方式,如果是由电能转换为热能,则设置为1,如果是采用地源热泵、空气源热泵方式进行转换,则设置为该装置整体能效,地源热泵设置为4,空气源热泵设置为3;

能源转换率指标 K_2 为:

$$K_2 = K_{21} \times K_{22};$$

系统响应性指标:

系统响应指标 K_3 为交直流混合微电网功率响应能力,公式为:

$$K_3 = \frac{1}{T_2}$$

其中, T_2 为指令下发时间至功率响应至90%预定值时所用时间,计时时间单位为s,根据系统实际响应时间取值;

系统支撑性指标 K_4 设置为:

$$K_4 = \frac{P_{Z20}}{P_Z} \times 20 + \frac{P_{Z150}}{P_Z} \times 10 + \frac{P_{Z1000}}{P_Z}$$

其中, P_Z 为交直流混合微电网额定运行功率, P_{Z20} 为从指令下发至20ms内交直流混合微电网响应功率, P_{Z150} 为从指令下发至150ms内交直流混合微电网响应功率, P_{Z1000} 为从指令下发至1000ms内交直流混合微电网响应功率;

交直流混合微电网为核心的微能网能效评价指标 K 为:

$$K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$$

根据此指标对微能网能效进行综合评价。

一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价方法

技术领域

[0001] 本发明属于分布式电源、储能和综合能源领域,特别涉及一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价方法。

背景技术

[0002] 随着我国经济社会的发展,工业园区、广大农村地区、城市等均对高效、清洁、经济的供电、供暖、制冷、供气等能源服务需求日益剧增。一方面,爆发式增长的分布式电源需要就地高效消纳,解决其并网难题;另一方面,用户急需在提高供电可靠性的同时,提供多样式的能源服务,特别是冬季供暖服务,对广大农村地区而言至关重要。我国推进的“煤改气”工程,在带来高额消费的同时,也增加了能源保障难度;“煤改电”工程解决了能源保障和环境污染问题,但是其消费仍然较常规燃煤取暖消费高。同时其电网改造、用户设备购置、维护等费用也较高。我国农村地区在一定程度上面临着冬季高质量供暖需求与清洁但高消费现实矛盾。

[0003] 综合能源是解决上述问题的最佳方式,综合能源是以电为核心,提供多种能源服务的供能系统。微能网是综合能源的一种实现方式,是综合利用综合能源技术和交直流混合微电网技术,在用户侧开展能源互联网建设的最佳方式,可为综合能源系统提供较高的供电可靠性和灵活的工作模式。交直流混合微电网可以工作在并网和离网模式下,当大电网故障时,可以迅速的由并网运行模式转换为离网运行模式,因此赋予了系统较高的供电可靠性。同时,系统中同时存在交流、直流等多种供电模式,可以方便的实现分布式电源的即插即用,在提高系统对高渗透率分布式电源消纳能力的同时,也可以减少系统转化层级,进而提高系统的经济性和运行稳定性、可靠性。

[0004] 相对于交直流混合微电网,综合能源扩展了常规的能源供应内涵,其有两层含义:一是提供综合能源服务,涵盖多种能源,在提供电力服务的同时,可以提供燃气和供暖、制冷等服务;二是综合服务,能够为用户提供模式多样的经济化合同能源管理等服务。

[0005] 但是微能网在提供模式多样能源服务的同时,也面临着能源转化层级多、转化形式繁杂、多能流耦合复杂等问题,急需一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价指标体系,对微能网、综合能源的能效进行系统性评价,实现电、气、冷、热多能互补,源、网、荷、储互动优化,提高系统整体的经济性。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是提供一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价方法,可以实现对以多种能源综合供应、冷、热、电多能互补、交直流混合微电网并网切换等为特征的微能网能效综合评价,从而为系统能效提升提供技术基础。

[0007] 本发明的技术方案:

[0008] 本发明的以交直流混合微电网为核心的综合能源试验系统结构简图如图1所示。

[0009] 如图1所示,系统由供电网络、供热网络等组成,系统能量来源主要为大电网及分

布式电源、储能、太阳能制热、地热等多种分布式能源形式。系统输出主要为交流负荷、直流负荷、热负荷、冷负荷等,并可将供电网络、供热网络、制冷网络、负荷等组成试验系统,系统以供电网络为核心,可以实现与大电网的并网、离网运行。

[0010] 微能网系统中,主要分为供电网络、供热网络、制冷网络、集热网络等主要的能源供应网络。其中,供电网络是交直流混合多级微电网,供热网络主要为地源热泵、空气源热泵、中央空调、电锅炉等制热装置,制冷网络主要为溴化锂机组、中央空调等设备。

[0011] 所述装置,当产生热能、冷能时,可以通过集热装置进行蓄能,并进行能量的分配。

[0012] 微能网系统具有如下特点:

[0013] 1) 能源转化灵活。系统具有多路交流/直流输入、交流/直流输出,可以分别接入不同交流电网、交流分布式电源或交流负载,接入不同电压等级的直流电网、直流分布式电源或直流负载等;

[0014] 2) 实现不同电网、电源或负荷的隔离;

[0015] 3) 实现交直流系统柔性互联;

[0016] 4) 采用类航空插头式接口,具备电气接口和通讯接口,能够与接入分布式电源、储能单元等进行信息交互,进而实现即插即用功能。

[0017] 5) 系统分为供电网络、供热网络等能源供应网络,为交流负荷、直流负荷、热负荷、冷负荷等多种负荷提供能源供应服务。

[0018] 6) 在系统中设置了供电母线、供热母线、制冷母线等能源供应母线,实现了多能流汇集、分配功能,提高了系统对能源整体的利用效率,可以方便的实现多能互补。

[0019] 综合能源系统中多能流分布如图2所示。

[0020] 在对微能网进行系统能效评价指标体系评价时,将指标分解为五大类,分别为结构灵活性指标、能源转换率指标、系统响应性指标、系统支撑性指标,如图3所示。

[0021] (1) 结构灵活性指标

[0022] 其中,设置结构灵活性指标为 k_1 ,则 k_1 可分解为供电网络并离网运行能力 k_{11} 、供热网络向其他能源系统供热能力 k_{12} 、供电网络离网运行时间 k_{13} 等三大类,如图4所示:

[0023] 1) 供电网络并离网运行能力指标

[0024] 供电网络并离网运行能力 k_{11} 主要评估微能网系统中核心的交直流混合微电网是否可实现离网运行。

$$[0025] \quad K_{11} = P_{11} \times P_{12} \times P_{13}$$

[0026] 设置并离网切换时间 T_{11} 为交直流混合微电网离网动作时间至系统电压恢复至90%额定电压时间, T_{11} 小于40ms即认为系统具备实现离网运行能力,其中, P_{11} 为交直流混合微电网能否离网运行,指标具体定义如下:

$$[0027] \quad P_{11} = \begin{cases} 1, & \text{系统可离网运行} \\ 0, & \text{系统只能并网运行} \end{cases}$$

[0028] P_{12} 为交直流混合微电网并离网切换时电压冲击幅度,为并离网切换时最高电压幅值和最低电压幅值中偏离基准值的最大值,指标具体定义如下:

$$[0029] \quad P_{12} = \frac{1}{U_1/U}$$

[0030] 其中, U_1 为电压冲击幅值, U 为交直流混合微电网额定运行线电压幅值。

[0031] P_{13} 为交直流混合微电网冲击电流幅度, 为微电网离网转并网切换时电流最大冲击幅值, 指标具体定义如下:

$$[0032] \quad P_{13} = \frac{1}{I_1/I}$$

[0033] 其中, I_1 为微电网以一半容量正常离网转并网运行时并的冲击电流幅值, I 为交直流混合微电网微电网以一半容量正常时的电流幅值。

[0034] 2) 供热网络向其他能源系统供热能力指标

[0035] 供热网络向其他能源系统供热能力 k_{12} 指标主要为系统是否具有供热网络与其他能源系统的供热系统接口, 系统供热网络是否能满足本系统供热需求。

$$[0036] \quad K_{12} = R_1 \times R_2$$

[0037] 其中, 当系统具有接口时, R_1 为 1, 否则为 0.5。 R_2 定义为:

$$[0038] \quad R_2 = \frac{R_3}{R_4}$$

[0039] 其中, R_3 为系统供热能力, R_4 为系统正常运行时所需热负荷, 一般可按照系统供热面积、单位面积热负荷计算。

[0040] 3) 供电网络离网运行时间指标

[0041] 供电网络离网运行时间 k_{13} 指标主要为交直流混合微电网离网运行时间。在此指标设置时只考虑供电网络离网运行时间, 因为供热网络、制冷网络在系统短暂离网或因其他故障暂停能源供给时, 可以维持较长时间工作而不影响用户。在具体计算时可取微电网中主储能系统额定运行小时数。

$$[0042] \quad K_{13} = t$$

[0043] 其中, t 为离网运行时间。

[0044] 综上所述, 结构灵活性指标 K_1 为:

$$[0045] \quad K_1 = K_{11} \times K_{12} \times K_{13}$$

[0046] (2) 能源转换率指标

[0047] 能源转换率指标 k_2 主要评估微能网系统中供电网络中交流、直流转换次数; 供热网络中热能转换次数及热能转换方式等, 如图 5 所示。

[0048] 1) 交流、直流转换能力指标

[0049] 交流、直流转换能力指标 K_{21} 为:

$$[0050] \quad K_{21} = \frac{1}{\frac{P_1}{P \times X_1} + \frac{P_2}{P \times X_2} + \dots + \frac{P_N}{P \times X_N}}$$

[0051] 其中, P 为交直流混合微电网额定运行功率, P_1 为第一台电力电子变换器功率, X_1 为第一台电力电子变换器转换效率, P_N 为第 N 台电力电子变换器功率, X_N 为第 N 台电力电子变换器转换效率。

[0052] 2) 供热网络转换能力指标

[0053] 供热网络转换能力指标 K_{22} 为:

$$[0054] \quad K_{22} = \frac{H_1}{R_3} \times L_{11} \times L_{12} + \frac{H_2}{R_3} \times L_{21} \times L_{22} + \dots + \frac{H_N}{R_3} \times L_{N1} \times L_{N2}$$

[0055] 其中, H_1 是第一台供热装置供热容量, H_N 是第 N 台供热装置供热容量, L_{11} 是第 1 台供热装置供热效率, L_{N1} 是第 N 台供热装置供热效率, L_{12} 是第 1 台供热装置供热转换方式, 如果是由电能转换为热能, 则设置为 1, 如果是采用地源热泵、空气源热泵等方式进行转换, 则设置为该装置整体能效, 一般情况下, 地源热泵可以设置为 4, 空气源热泵可以设置为 3。

[0056] 综上所述, 能源转换率指标 K_2 为:

$$[0057] \quad K_2 = K_{21} \times K_{22}$$

[0058] (3) 系统响应性指标

[0059] 系统响应指标 k_3 主要为交直流混合微电网功率响应能力, 公式为:

$$[0060] \quad K_3 = \frac{1}{T_2}$$

[0061] 其中, T_2 为指令下发时间至功率响应至 90% 预定值时所用时间, 计时单位为 s, 可根据系统实际响应时间取值。

[0062] (4) 系统支撑性指标

[0063] 系统支撑性指标主要为支撑其他系统, 包括大电网时的供电网络有功功率、无功功率响应能力。主要是指电力电子变换器的 ms 级快速响应服务, 供热、制冷等服务可以承受短时间的中断而不影响供能质量。当外部大电网出现对有功功率、无功功率的紧急需求时, 可以通过干接点控制电力电子变换器, 迅速实现功率的快速响应。

[0064] 在微能网系统中, 分别设置信息采集终端和紧急响应终端两种终端。信息采集终端与综合能源系统中所有的电力电子变换器通讯接口相连接, 进行正常采样速率的数据采集与指令响应。紧急响应终端与电力电子变换器的干接点相连接, 下发开关量控制信号, 电力电子变换器通过干接点收到信号后满功率充电或放电, 从而实现快速的功率响应功能。

[0065] 当正常运行条件下, 微能网主控系统通过信息采集终端实时监测电力电子变换器的运行工况, 并举行分析、整理。当需要电力电子变换器进行紧急功率响应时, 微能网主控系统通过紧急响应终端直接向电力电子变换器下达指令信号, 从而实现 ms 级的功率响应能力。

[0066] 系统支撑性指标 k_4 设置为:

$$[0067] \quad K_4 = \frac{P_{Z20}}{P_Z} \times 20 + \frac{P_{Z150}}{P_Z} \times 10 + \frac{P_{Z1000}}{P_Z}$$

[0068] 其中, P_Z 为交直流混合微电网额定运行功率, P_{Z20} 为从指令下发至 20ms 内交直流混合微电网响应功率, P_{Z150} 为从指令下发至 150ms 内交直流混合微电网响应功率, P_{Z1000} 为从指令下发至 1000ms 内交直流混合微电网响应功率。

[0069] 因此, 交直流混合微电网为核心的微能网能效评价指标 K 为:

$$[0070] \quad K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$$

[0071] 可根据此指标对微能网能效进行综合评价。

[0072] 本发明的优点:

[0073] 1. 本发明设计了一种以交直流混合微电网为核心的微能网能效评价指标体系, 该

体系涵盖了多个指标体系,使用范围较广。

[0074] 2.本发明充分考虑了多种功率紧急响应模式,实现了对紧急状态下的有功功率、无功功率紧急响应能力评价,提高了系统对大电网的支撑能力。

[0075] 3.本发明设计评价指标,在区分供电可靠性和供能可靠性的基础上,注重提高用户的供电可靠性,较符合用户用能实际。

附图说明

[0076] 图1综合能源系统结构简图;

[0077] 图2综合能源系统多能流分布简图;

[0078] 图3微能网能效评价指标体系简图;

[0079] 图4结构灵活性指标体系简图;

[0080] 图5能源转换率指标体系简图。

具体实施方式

[0081] 如图1-5所示,以某交直流混合微电网为核心的微能网为例,微电网额定运行电压为380V,线电压幅值为537V,额定运行功率为400kW,其中交流子微电网储能装置容量为300kW/2h、直流子微电网储能电池容量为100kW/2h,电池均为磷酸铁锂电池,微电网额定运行电流为607.8A,电流幅值为859.7A。微能网含地源热泵供热/制冷装置,地源热泵包括1台螺杆式热泵机组,额定制冷量为630kW,耗电功率为104kW;额定制热量为550kW,耗电功率为163kW,额定供热效率为0.8。微能网安装地区供电可靠性为99.82%,微电网并离网切换时间为30ms,微电网离网转并网切换时电压冲击最大幅值为610V,并网转离网切换时电压冲击最低幅值为376V,当微电网以一半容量正常运行时,额定电流幅值为429.9A,以一半容量正常运行时在离网转并网切换最大电流冲击幅值为547A。应用结构灵活性指标、能源转换率指标、系统响应性指标、系统支撑性指标对微能网进行系统能效评价指标体系评价,计算过程如下:

[0082] (1) 结构灵活性指标计算

[0083] 根据公式 $P_{11} = \begin{cases} 1, & \text{系统可离网运行} \\ 0, & \text{系统只能并网运行} \end{cases}$ 因为并离网切换时间小于40ms,因此 $P_{11} = 1$ 。

[0084] 根据公式 $P_{12} = \frac{1}{U_1/U}$, 则微电网并离网切换时偏离基准值分别为 $(610-537=73V)$ 、

$(537-376=161V)$, 因此计算为 $P_{12} = \frac{1}{161/537} = 3.34$ 。

[0085] 根据公式 $P_{13} = \frac{1}{I_1/I}$, 因此计算为 $P_{13} = \frac{1}{429.9/547} = 1.27$ 。

[0086] 因此,根据公式 $K_{11} = P_{11} \times P_{12} \times P_{13}$, 计算 $K_{11} = 1 \times 3.34 \times 1.27 = 4.24$ 。

[0087] 在本微能网系统中,系统供热网络并不具备与其他能源系统的供热系统接口,因此 R_1 为0.5,微能网系统最大供热能力为550kW,微能网最大供热面积为6000m²,单位面积

热负荷按照80W计算,则系统正常运行时所需热负荷为480kW,因此根据公式 $R_2 = \frac{R_3}{R_4}$,计算

$R_2 = \frac{550}{480} = 1.15$,因此,根据公式 $K_{12} = R_1 \times R_2$,计算 $K_{12} = 0.5 \times 1.15 = 0.575$ 。

[0088] k_{13} 指标主要为交直流混合微电网离网运行时间,因此,根据公式 $K_{13} = t$,计算 $K_{13} = t = 2$ 。

[0089] 因此,根据 K_1 公式 $K_1 = K_{11} \times K_{12} \times K_{13}$,计算结构灵活性指标 $K_1 = 4.24 \times 0.575 \times 2 = 4.876$ 。

[0090] (2) 能源转换率指标计算

[0091] 在交直流混合微电网中主要包含3台电力电子变换器,一台主DC/AC变换器,额定运行功率为300kW,转换效率为0.98;一台直流子微电网DC/AC变换器,额定运行功率为100kW,转换效率为0.975;一台分布式光伏逆变器,额定运行功率为200kW,转换效率为0.986。

[0092] 因此,根据 $K_{21} = \frac{P_1}{P} \times X_1 + \frac{P_2}{P} \times X_2 + \dots + \frac{P_N}{P} \times X_N$,计算

$K_{21} = \frac{300}{400} \times 0.98 + \frac{100}{400} \times 0.975 + \dots + \frac{200}{400} \times 0.986 = 1.47$ 。

[0093] 根据公式 $K_{22} = \frac{H_1}{R_4} \times L_{11} \times L_{12} + \frac{H_2}{R_4} \times L_{21} \times L_{22} + \dots + \frac{H_N}{R_N} \times L_{N1} \times L_{N2}$,因为微能网采用地源

热泵形式供暖,所以计算 $K_{22} = \frac{550}{480} \times 0.8 \times 4 = 3.67$ 。

[0094] 因此,计算能源转换率指标 $K_2 = K_{21} \times K_{22} = 1.47 \times 3.67 = 5.39$ 。

[0095] (3) 系统响应性指标计算

[0096] 微电网系统中当指令下发时间至功率响应至90%预定值时所用时间为150ms,即

0.15s,因此根据公式 $K_3 = \frac{1}{T_2}$,计算 $K_3 = \frac{1}{0.15} = 6.67$ 。

[0097] (4) 系统支撑性指标计算

[0098] 当动作指令下达时, P_{z20} 为从指令下发至20ms内交直流混合微电网响应功率,为40kW; P_{z150} 为从指令下发至150ms内交直流混合微电网响应功率,为360kW; P_{z1000} 为从指令下发至1000ms内交直流混合微电网响应功率,为400kW;因此,根据公式 $K_4 = \frac{P_{z20}}{P_z} \times 20 + \frac{P_{z150}}{P_z} \times 10 + \frac{P_{z1000}}{P_z}$,

计算 $K_4 = \frac{40}{400} \times 20 + \frac{360}{400} \times 10 + \frac{400}{400} = 12$ 。

[0099] (5) 交直流混合微电网为核心的微能网能效评价指标计算

[0100] 因此,根据公式 $K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$,计算 $K = 4.876 \times 5.39 \times 6.67 \times 12 = 2103.6$ 。在实际操作中,可以根据项目不同投资、不同能效评价指标,评价项目投入产出比,综合比较、分析后选取投资较低、能效比最高的方案。

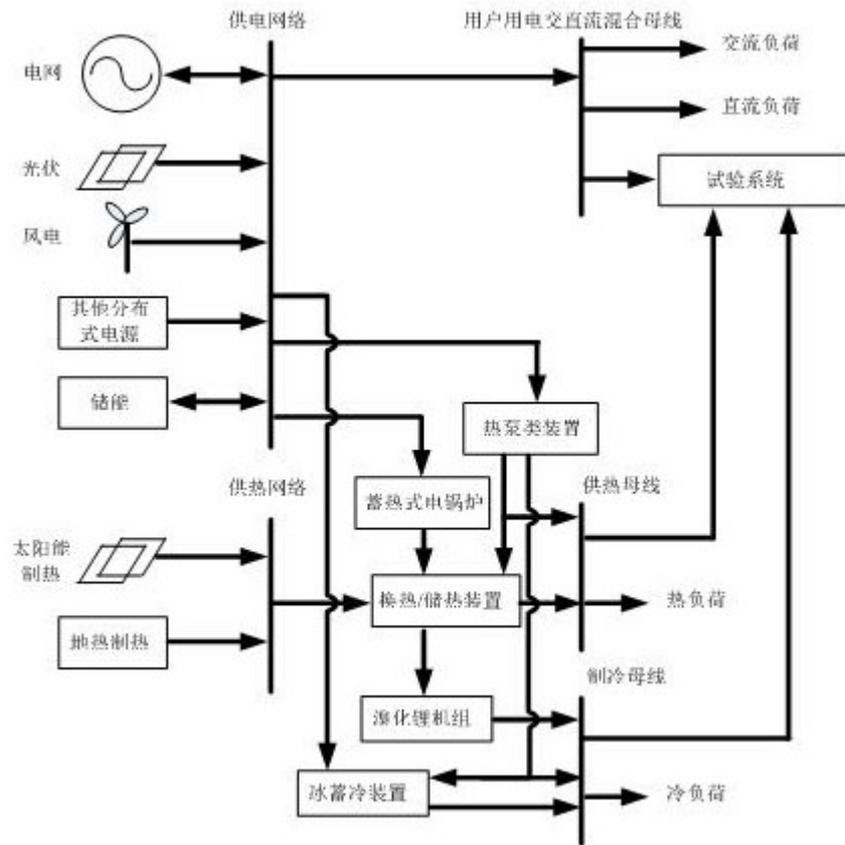


图1

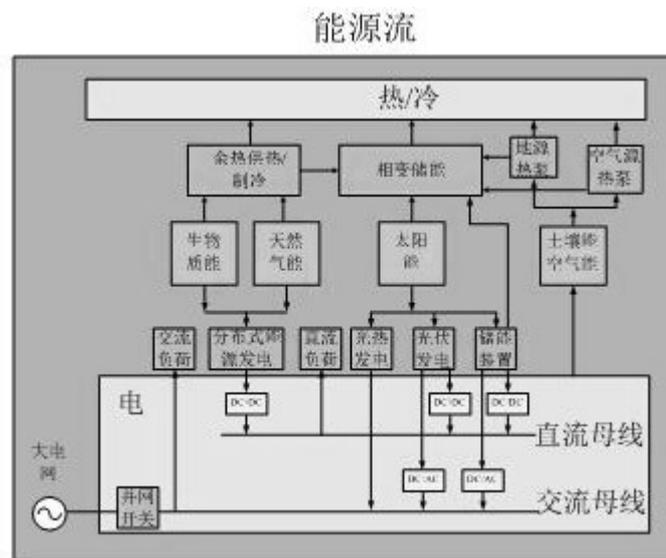


图2

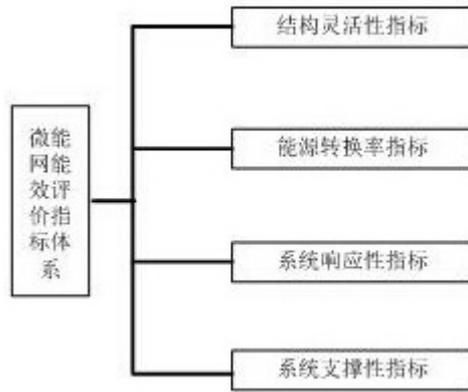


图3

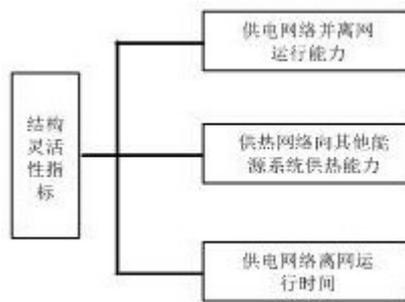


图4

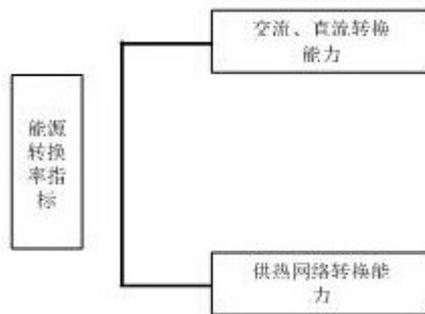


图5