



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108306418 B

(45) 授权公告日 2022. 03. 18

(21) 申请号 201810016156.7
(22) 申请日 2018.01.08
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108306418 A

(43) 申请公布日 2018.07.20
(30) 优先权数据
15/405,236 2017.01.12 US

(73) 专利权人 江森自控科技公司
地址 美国威斯康星州

(72) 发明人 穆罕默德·N·埃尔布萨特
迈克尔·J·文策尔
罗伯特·D·特尼

(74) 专利代理机构 上海脱颖律师事务所 31259
代理人 脱颖

(51) Int.Cl.
H02J 15/00 (2006.01)
H02J 7/35 (2006.01)
G06Q 10/04 (2012.01)
G06Q 50/06 (2012.01)

(56) 对比文件
US 2011018502 A1,2011.01.27
US 2011018502 A1,2011.01.27
US 2013274937 A1,2013.10.17
CN 102315672 A,2012.01.11
CN 105958549 A,2016.09.21
CN 102856930 A,2013.01.02
US 2016377306 A1,2016.12.29
WO 2012145563 A1,2012.10.26

审查员 赵烨

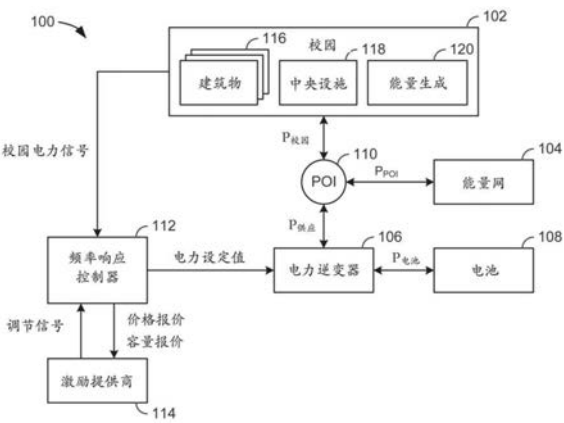
权利要求书5页 说明书42页 附图13页

(54) 发明名称

具有多需量计费型成本优化的建筑物能量
存储系统

(57) 摘要

一种能量储存系统,包括电池和能量储存控制器。所述电池被配置用于储存从公共事业单位购买的电能并且释放所储存的电能以用于满足建筑物能量负载。所述能量储存控制器被配置用于生成包括多需量计费的成本函数。所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能的最大量来限定成本。所述控制器被配置用于通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数。当计算所述需量计费的值时,所述需量计费掩码使所述控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能。



1. 一种用于建筑物的能量储存系统,所述系统包括:

电池,所述电池被配置用于储存从公共事业单位购买的电能并且释放所储存的电能以用于满足建筑物能量负载;以及

能量储存控制器,所述能量储存控制器被配置用于:

生成包括多个需量计费以及用于所述多个需量计费中的每一个的非线性最大值函数的成本函数,所述多个需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能的最大量来限定成本,其中所述成本是一个或多个决策变量的函数,所述决策变量表示在优化时段内的每个时间步长期间存储在所述电池中或从所述电池中释放的所述电能的量;

通过用辅助需量计费变量代替每个非线性最大值函数来将所述成本函数线性化;

通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数,其中,当计算所述需量计费的值时,所述需量计费掩码使所述能量储存控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能;并且

通过优化经修改的成本函数来为所述优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间储存在所述电池中或从所述电池中释放的电量的最优量,其中优化所述经修改的成本函数包括执行优化过程以确定对所述经修改的成本函数所定义的所述成本进行优化的所述决策变量的最佳值。

2. 如权利要求1所述的能量储存系统,其中,所述能量储存控制器被配置用于为所述多个需量计费中的每一个创建所述需量计费掩码,每个需量计费掩码限定在相应需量计费时段内发生的一个或多个时间步长。

3. 如权利要求2所述的能量储存系统,其中,每个需量计费掩码包括具有二进制值的向量,所述二进制值中的每一个与在所述优化时段内发生的时间步长相对应并且指示在相应时间步长期间所述需量计费有效还是无效。

4. 如权利要求1所述的能量储存系统,其中,所述能量储存控制器被配置用于对每个辅助需量计费变量施加优化约束,每个优化约束要求所述辅助需量计费变量大于或等于在相应需量计费时段内发生的每个时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能的量。

5. 如权利要求1所述的能量储存系统,其中,所述能量储存控制器被配置用于将加权因子应用于所述成本函数中的所述多个需量计费中的每一个,每个加权因子将相应需量计费缩放到所述优化时段。

6. 如权利要求5所述的能量储存系统,其中,所述能量储存控制器被配置用于基于在所述优化时段内相应需量计费为有效的时间步长的数量以及在所述优化时段之外相应需量计费为有效的时间步长的数量来计算每个加权因子。

7. 如权利要求5所述的能量储存系统,其中,所述能量储存控制器被配置用于通过以下方式计算每个加权因子:

确定在所述优化时段和相应需量计费时段两者内发生的时间步长第一数量;

确定在相应需量计费时段但不在所述优化时段内发生的时间步长第二数量;并且

计算所述时间步长第一数量与所述时间步长第二数量之比。

8. 如权利要求1所述的能量储存系统,其中,所述能量储存控制器被配置成基于分配到每一个时间步长的确定的所述最优量来操作所述电池以储存或释放电能。

9. 如权利要求8所述的能量储存系统, 其中一个或多个电力约束被施加在所述成本函数上以确保不以超过最大电池充电或放电速率的速率对所述电池进行充电或放电, 并且其中一个或多个容量约束被施加在所述成本函数上以确保所述电池的充电状态维持在可接受的下限和上限内。

10. 如权利要求9所述的能量储存系统, 其中所述能量储存系统由建筑物管理系统服务, 所述公共事业单位被配置成为所述能量储存系统提供资源以满足所述建筑物能量负载, 所述能量储存控制器被配置用于:

从所述建筑物管理系统接收指示所述建筑物的一个或多个测量状态以及发电机子设施的一个或多个状态的数据, 所述发电机子设施被配置成消耗由所述公共事业单位提供的资源、从所述电池取回的资源、和/或从另一发电机子设施产生的资源, 以满足所述建筑物能量负载;

针对在优化时段中的每一个时间步长来预测预测的建筑物能量负载;

接收并储存来自所述公共事业单位的需量计费;

基于所述预测的建筑物能量负载和从所述公共事业单位接收的需量计费, 通过为所述优化时段中的每一个时间步长确定控制决策的最优集合来执行优化过程, 以优化所述能量储存系统的性能, 其中执行所述优化过程进一步包括通过优化所述经修改的成本函数来为所述优化时段内的多个时间步长中的每一个确定控制决策的最优集合, 其中所述控制决策包括针对所述优化时段中的所述多个时间步长中的每一个来分配储存在所述电池中或从所述电池释放的电能的最优量; 以及

将所述控制决策提供到所述建筑物管理系统。

11. 如权利要求10所述的能量储存系统, 其中所述能量储存控制器被配置为通过所述能量储存控制器的需求响应优化器的高级优化器来执行高级优化过程, 以通过基于所述预测的建筑物能量负载和从所述公共事业单位接收的所述需量计费确定所述优化时段中的每一个时间步长的控制决策的最优集合来优化所述能量储存系统的性能, 并且其中所述能量储存控制器的所述需求响应优化器的低级优化器被配置为通过基于子设施负载以及天气状况运行低级优化过程来生成子设施曲线, 其中所述高级优化器的子设施曲线合并器被配置成修改所述高级优化过程以将所述子设施曲线合并入所述优化。

12. 一种用于在能量储存系统中分配电池资产的方法, 所述方法包括:

生成包括多个需量计费以及用于所述多个需量计费中的每一个的非线性最大值函数的成本函数, 所述多个需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从公共事业单位购买的电能的最大量来限定成本, 其中所述成本是一个或多个决策变量的函数, 所述决策变量表示在优化时段内的每个时间步长期间存储在所述电池中或从所述电池中释放的所述电能的量;

通过用辅助需量计费变量代替每个非线性最大值函数来将所述成本函数线性化;

通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数;

计算经修改的成本函数中的所述多个需量计费中的每一个的值, 其中, 当计算相应需量计费的值时, 每个需量计费掩码使在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述电能被忽略;

通过优化所述经修改的成本函数来为所述优化时段内的多个时间步长中的每一个分

配将在所述时间步长期间储存在所述电池中或从所述电池中释放的电能的最优量,其中优化所述经修改的成本函数包括执行优化过程以确定对所述经修改的成本函数所定义的所述成本进行优化的所述决策变量的最佳值;以及

基于分配给每个时间步长的电能的所述最优量来操作所述电池以储存从所述公共事业单位购买的电能并且释放所储存的电能。

13.如权利要求12所述的方法,进一步包括:为所述多个需量计费中的每一个创建所述需量计费掩码,每个需量计费掩码限定在相应需量计费时段内发生的一个或多个时间步长。

14.如权利要求13所述的方法,其中,每个需量计费掩码包括具有二进制值的向量,所述二进制值中的每一个与在所述优化时段内发生的时间步长相对应并且指示在相应时间步长期间所述需量计费有效还是无效。

15.如权利要求12所述的方法,其中,将所述成本函数线性化包括对每个辅助需量计费变量施加优化约束,每个优化约束要求所述辅助需量计费变量大于或等于在相应需量计费时段内发生的每个时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能的量。

16.如权利要求12所述的方法,进一步包括将加权因子应用于所述成本函数中的所述多个需量计费中的每一个,每个加权因子将相应需量计费缩放到所述优化时段。

17.如权利要求16所述的方法,进一步包括基于在所述优化时段内相应需量计费为有效的时间步长的数量以及在所述优化时段之外相应需量计费为有效的时间步长的数量来计算每个加权因子。

18.如权利要求16所述的方法,进一步包括通过以下方式计算每个加权因子:

确定在所述优化时段和相应需量计费时段两者内发生的时间步长第一数量;

确定在相应需量计费时段但不在所述优化时段内发生的时间步长第二数量;并且

计算所述时间步长第一数量与所述时间步长第二数量之比。

19.一种用于建筑物的能量成本优化系统,所述系统包括:

HVAC设备,所述HVAC设备被配置用于消耗从公共事业单位购买的能量以用于满足建筑物能量负载;以及

控制器,所述控制器被配置用于:

生成包括多个需量计费以及用于所述多个需量计费中的每一个的非线性最大值函数的成本函数,所述多个需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的能量的最大量来限定成本,其中所述成本是一个或多个决策变量的函数,所述决策变量表示在优化时段内的每个时间步长期间被所述HVAC设备消耗的所述能量的量;

用辅助需量计费变量代替每个非线性最大值函数来将所述成本函数线性化;

通过将需量计费掩码应用于所述多个需量计费中的每一个来修改所述成本函数,其中,当计算所述需量计费的值时,所述需量计费掩码使所述控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述能量;并且

通过优化经修改的成本函数来为优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间由所述HVAC设备消耗的能量的最优量,其中优化所述经修改的成本函数包括执行优化过程以确定对所述经修改的成本函数所定义的所述成本进行优化的所述决策

变量的最佳值。

20. 如权利要求19所述的能量成本优化系统,其中,所述控制器被配置用于为所述多个需量计费中的每一个创建所述需量计费掩码,每个需量计费掩码限定在相应需量计费时段内发生的一个或多个时间步长。

21. 如权利要求19所述的能量成本优化系统,

其中,所述控制器被配置用于对每个辅助需量计费变量施加优化约束,每个优化约束要求所述辅助需量计费变量大于或等于在相应需量计费时段内发生的每个时间步长期间从所述公共事业单位购买的能量的量。

22. 如权利要求19所述的能量成本优化系统,其中,所述控制器被配置用于将加权因子应用于所述成本函数中的所述多个需量计费中的每一个,每个加权因子将相应需量计费缩放到所述优化时段。

23. 一种用于建筑物的能量储存系统,所述系统包括:

电池,所述电池被配置用于储存从公共事业单位购买的电能并且释放所储存的电能以用于满足建筑物能量负载;以及

能量储存控制器,所述能量储存控制器被配置用于:

生成包括多个需量计费的成本函数,所述多个需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能的最大量来限定成本,其中所述成本是一个或多个决策变量的函数,所述决策变量表示在优化时段内的每个时间步长期间存储在所述电池中或从所述电池中释放的所述电能的数量;

将加权因子应用于所述成本函数中的所述多个需量计费中的每一个,每个加权因子将相应需量计费缩放到所述优化时段;

通过以下方式计算每个加权因子:

确定在所述优化时段和相应需量计费时段两者内发生的时间步长第一数量;

确定在相应需量计费时段但不在所述优化时段内发生的时间步长第二数量;并且

计算所述时间步长第一数量与所述时间步长第二数量之比;

通过将需量计费掩码应用于所述多个需量计费中的每一个来修改所述成本函数,其中,当计算所述需量计费的值时,所述需量计费掩码使所述能量储存控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能;并且

通过优化经修改的成本函数来为所述优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间储存在所述电池中或从所述电池中释放的电量的最优量,其中优化所述经修改的成本函数包括执行优化过程以确定对所述经修改的成本函数所定义的所述成本进行优化的所述决策变量的最佳值。

24. 一种用于在能量储存系统中分配电池资产的方法,所述方法包括:

生成包括多个需量计费的成本函数,所述多个需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从公共事业单位购买的电能的最大量来限定成本,其中所述成本是一个或多个决策变量的函数,所述决策变量表示在优化时段内的每个时间步长期间存储在所述电池中或从所述电池中释放的所述电能的数量;

将加权因子应用于所述成本函数中的所述多个需量计费中的每一个,每个加权因子将

相应需量计费缩放到所述优化时段；

通过以下方式计算每个加权因子：

确定在所述优化时段和相应需量计费时段两者内发生的时间步长第一数量；

确定在相应需量计费时段但不在所述优化时段内发生的时间步长第二数量；并且

计算所述时间步长第一数量与所述时间步长第二数量之比；

通过将需量计费掩码应用于所述多个需量计费中的每一个来修改所述成本函数；

计算经修改的成本函数中的所述多个需量计费中的每一个的值，其中，当计算相应需量计费的值时，每个需量计费掩码使在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述电能被忽略；

通过优化所述经修改的成本函数来为所述优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间储存在所述电池中或从所述电池中释放的电能的最优量，其中优化所述经修改的成本函数包括执行优化过程以确定对所述经修改的成本函数所定义的所述成本进行优化的所述决策变量的最佳值；以及

基于分配给每个时间步长的电能的所述最优量来操作所述电池以储存从所述公共事业单位购买的电能并且释放所储存的电能。

25. 一种用于建筑物的能量储存系统，包括权利要求23中的任一项技术特征或技术特征的任意组合。

26. 一种用于在能量储存系统中分配电池资产的方法，包括权利要求24中的任一项技术特征或技术特征的任意组合。

具有多需量计费型成本优化的建筑物能量存储系统

[0001] 相关专利申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年1月12日提交的第15/405,236号美国专利申请的权益和优先权,所述美国专利申请的全部披露通过援引并入本文。

技术领域

[0003] 本披露总体上涉及一种被配置成用于储存和释放能量以便满足建筑物或校园的能量负载的能量储存系统。本披露更具体地涉及一种能量系统,所述能量系统在处理多需量计费时最优地分配能量储存资产(例如,电池、热能储存设备)。

背景技术

[0004] 需量计费是由公共事业单位基于在各需量计费时段期间从公共事业单位购买的资源的峰值消耗(即,在可适用的需量计费时段的任何时间步长期间从公共事业单位购买的资源的峰值量)而收取的费用。例如,电力公共事业单位可以定义一个或多个需量计费时段,并且可以基于在每个需量计费时段期间的峰值电力消耗来收取单独的需量计费。电能储存设备可以通过在能耗低时将电力储存在电池中并且在能耗高时从电池释放所储存的电力来帮助减少峰值消耗,由此减少在需量计费时段的任何时间步长期间从公共事业单位购买的峰值电力。在存在多需量计费的情况下最优地分配能量储存资产可能是困难且具有挑战性的。

发明内容

[0005] 本披露的一种实施方式是一种用于建筑物的能量储存系统。所述能量储存系统包括电池和能量储存控制器。所述电池被配置用于储存从公共事业单位购买的电能并且释放所储存的电能以用于满足建筑物能量负载。所述能量储存控制器被配置用于生成包括多需量计费的成本函数。所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能的最大量来限定成本。所述控制器被配置用于通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数。当计算所述需量计费的值时,所述需量计费掩码使所述能量储存控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能。所述控制器被配置用于通过优化经修改的成本函数来为优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间储存在所述电池中或从所述电池中释放的电能的最优量。

[0006] 在一些实施例中,所述能量储存控制器被配置用于为所述多需量计费中的每一个创建所述需量计费掩码。每个需量计费掩码可以限定在相应需量计费时段内发生的一个或多个时间步长。在一些实施例中,每个需量计费掩码包括具有二进制值的向量。所述二进制值中的每一个可以与在所述优化时段内发生的时间步长相对应并且指示在相应时间步长期间所述需量计费有效还是无效。

[0007] 在一些实施例中,所述成本函数包括所述多需量计费中的每一个的非线性最大值

函数。所述能量储存控制器可以被配置用于通过用辅助需量计费变量代替每个非线性最大值函数来将所述成本函数线性化。在一些实施例中,所述能量储存控制器被配置用于对每个辅助需量计费变量施加优化约束。每个优化约束可以要求所述辅助需量计费变量大于或等于在相应需量计费时段内发生的每个时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能的数量。

[0008] 在一些实施例中,所述能量储存控制器被配置用于将加权因子应用于所述成本函数中的所述多需量计费中的每一个。每个加权因子可以将相应需量计费缩放到所述优化时段。在一些实施例中,所述能量储存控制器被配置用于基于在所述优化时段内相应需量计费为有效的时间步长的数量以及在所述优化时段之外相应需量计费为有效的时间步长的数量来计算每个加权因子。

[0009] 在一些实施例中,所述能量储存控制器被配置用于通过以下方式计算每个加权因子:确定在所述优化时段和相应需量计费时段两者内发生的时间步长第一数量;确定在相应需量计费时段但不在所述优化时段内发生的时间步长第二数量;并且计算所述时间步长第一数量与所述时间步长第二数量之比。

[0010] 本披露的另一种实施方式是一种用于在能量储存系统中分配电池资产的方法。所述方法包括生成包括多需量计费的成本函数。所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从公共事业单位购买的电能的最大量来限定成本。所述方法包括通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数并且计算所述经修改成本函数中的所述多需量计费中的每一个的值。当计算相应需量计费的值时,每个需量计费掩码使在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述电能被忽略。所述方法包括通过优化经修改的成本函数来为优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间储存在电池中或从所述电池中释放的电能的最优量。所述方法包括基于分配给每个时间步长的电能的所述最优量来操作所述电池以储存从所述公共事业单位购买的电能并且释放所储存的电能。

[0011] 在一些实施例中,所述方法包括为所述多需量计费中的每一个创建所述需量计费掩码,每个需量计费掩码限定在相应需量计费时段内发生的一个或多个时间步长。在一些实施例中,每个需量计费掩码包括具有二进制值的向量。所述二进制值中的每一个可以与在所述优化时段内发生的时间步长相对应并且指示在相应时间步长期间所述需量计费有效还是无效。

[0012] 在一些实施例中,所述成本函数包括所述多需量计费中的每一个的非线性最大值函数。所述方法可以进一步包括通过用辅助需量计费变量代替每个非线性最大值函数来将所述成本函数线性化。在一些实施例中,将所述成本函数线性化包括对每个辅助需量计费变量施加优化约束。每个优化约束可以要求所述辅助需量计费变量大于或等于在相应需量计费时段内发生的每个时间步长期间从所述公共事业单位购买的电能的数量。

[0013] 在一些实施例中,所述方法包括将加权因子应用于所述成本函数中的所述多需量计费中的每一个,每个加权因子将相应需量计费缩放到所述优化时段。在一些实施例中,所述方法包括基于在所述优化时段内相应需量计费为有效的时间步长的数量以及在所述优化时段之外相应需量计费为有效的时间步长的数量来计算每个加权因子。在所述优化时段

之外相应需量计费为有效的时间步长的数量可以是在所述优化时段结束之后所述需量计费为有效的时间步长的剩余数量。

[0014] 在一些实施例中,所述方法包括通过以下方式计算每个加权因子:确定在所述优化时段和相应需量计费时段两者内发生的时间步长第一数量;确定在相应需量计费时段但不在所述优化时段内发生的时间步长第二数量;并且计算所述时间步长第一数量与所述时间步长第二数量之比。

[0015] 本披露的另一种实施方式是一种用于建筑物的能量成本优化系统。所述系统包括HVAC设备和控制器。所述HVAC设备被配置用于消耗从公共事业单位购买的能量以用于满足建筑物能量负载。所述控制器被配置用于生成包括多需量计费的成本函数。所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的能量的最大量来限定成本。所述控制器被配置用于通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数。当计算所述需量计费的值时,所述需量计费掩码使所述控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述能量。所述控制器被配置用于通过优化经修改的成本函数来为优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间由所述HVAC设备消耗的能量的最优量。

[0016] 在一些实施例中,所述控制器被配置用于为所述多需量计费中的每一个创建所述需量计费掩码。每个需量计费掩码可以限定在相应需量计费时段内发生的一个或多个时间步长。

[0017] 在一些实施例中,所述成本函数包括所述多需量计费中的每一个的非线性最大值函数。所述控制器可以被配置用于通过用辅助需量计费变量代替每个非线性最大值函数来将所述成本函数线性化并且对每个辅助需量计费变量施加优化约束。每个优化约束可以要求所述辅助需量计费变量大于或等于在相应需量计费时段内发生的每个时间步长期间从所述公共事业单位购买的能量的量。

[0018] 在一些实施例中,所述控制器被配置用于将加权因子应用于所述成本函数中的所述多需量计费中的每一个。每个加权因子可以将相应需量计费缩放到所述优化时段。

[0019] 本披露的另一种实施方式是一种用于建筑物、建筑物群或中央设施的能源储存系统。所述能源储存系统包括一个或多个能源储存装置以及控制器。所述能源储存装置被配置用于储存一种或多种能源资源(例如,电力、热水或冷水、天然气、热能等)并且释放所储存的能源资源以用于满足所述建筑物、建筑物群或所述中央设施的能源负载。所述能源资源可以包括从公共事业单位购买的一种或多种能源资源和/或由所述能源储存系统生成的能源资源。所述能源储存控制器被配置用于生成包括多需量计费的成本函数。所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的能源资源的最大量来限定成本。所述控制器被配置用于通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数。当计算所述需量计费的值时,所述需量计费掩码使所述能源储存控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述能源资源。所述控制器被配置用于通过优化经修改的成本函数来为优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间储存在所述能源储存装置中或从所述能源储存装置中释放的每种能源资源的最

优量。

[0020] 本披露的另一种实施方式是一种用于在建筑物、建筑物群或中央设施的能量储存系统中分配一个或多个能量储存装置的方法。所述方法包括生成包括多需量计费的成本函数。所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从公共事业单位购买的能量资源(例如,电力、热水或冷水、天然气、热能等)的最大量来限定成本。所述方法包括通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数并且计算所述经修改成本函数中的所述多需量计费中的每一个的值。当计算相应需量计费的值时,每个需量计费掩码使在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述能量资源被忽略。所述方法包括通过优化经修改的成本函数来为优化时段内的多个时间步长中的每一个分配将在所述时间步长期间储存在能量储存装置中或从所述能量储存装置中释放的能量资源的最优量。所述方法包括基于分配给每个时间步长的所述能量资源的所述最优量来操作所述能量储存装置以储存从所述公共事业单位购买的能量资源并且释放所储存的电能。在一些实施例中,所述方法包括分配除了从所述公共事业单位购买的所述能量资源之外的一种或多种能量资源(例如,由中央设施生成的能量资源)并且基于分配给每个时间步长的所述能量资源的所述最优量来操作其他能量储存装置以储存其他能量资源并释放所储存的能量资源。

[0021] 本披露的另一种实施方式是一种用于建筑物、建筑物群或中央设施的能量成本优化系统。所述系统包括能耗设备和控制器。所述设备被配置用于消耗一种或多种能量资源(例如,电力、热水或冷水、天然气、热能等)以用于满足所述建筑物、建筑物群或所述中央设施的能量负载。所述能量资源可以包括从公共事业单位购买的一种或多种能量资源和/或由所述从中央设施生成的能量资源。所述控制器被配置用于生成包括多需量计费的成本函数。所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述能量资源的最大量来限定成本。所述控制器被配置用于通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改所述成本函数。当计算所述需量计费的值时,所述需量计费掩码使所述控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从所述公共事业单位购买的所述能量资源。所述控制器被配置用于通过优化经修改的成本函数来为优化时段内的多个时间步长中的每一个分配用于在所述时间步长期间由所述HVAC设备消耗的每种能量资源的最优量。

[0022] 本领域的技术人员将理解,所述概述仅是说明性的并且不旨在以任何方式进行限制。在此描述的如仅由权利要求所限定的装置和/或过程的其他方面、创造性特征、以及优点将在本文中陈述并结合附图进行的详细说明中变得清楚。

附图说明

[0023] 图1是根据示例性实施例的频率响应优化系统的框图。

[0024] 图2是根据示例性实施例的可以提供给图1的系统的调节信号以及可以由图1的系统生成的频率响应信号的曲线图。

[0025] 图3是根据示例性实施例的被配置用于在将电池的电量状态维持在期望范围内时同时执行斜坡速率控制和频率调节两者的光伏能量系统的框图。

[0026] 图4是图示,展示了根据示例性实施例的供应给能量网的电力以及来自能量网的

必须被平衡以便维持电网频率的电力需求。

[0027] 图5是根据示例性实施例的包括热能储存设备和电能储存设备的能量储存系统的框图。

[0028] 图6是根据示例性实施例的可以用于操作图5的能量储存系统的能量储存控制器的框图。

[0029] 图7是根据示例性实施例的可以用于确定投资电池资产的收益并计算与投资相关的各种财务度量的规划工具的框图。

[0030] 图8是图示,展示了根据示例性实施例的图7的规划工具的操作。

[0031] 图9A是框图,更加详细地展示了根据示例性实施例的图5的能量储存控制器的高级优化器。

[0032] 图9B是框图,更加详细地展示了根据示例性实施例的图9A的需量计费模块。

[0033] 图10是根据示例性实施例的用于分配能量储存的过程的流程图,所述分配可以由图5的能量储存控制器执行。

[0034] 图11是根据示例性实施例的没有热能储存设备或电能储存设备的能量成本优化系统的框图。

[0035] 图12是根据示例性实施例的可以用于操作图11的能量成本优化系统的控制器的框图。

[0036] 图13是根据示例性实施例的用于优化能量成本的过程的流程图,所述优化可以由图12的控制器执行。

具体实施方式

[0037] 概述

[0038] 总体上参照附图,根据各种示例性实施例,示出了具有多需量计费型成本优化的能量储存系统及其部件。能量储存系统可以在优化时段内确定能量储存资产(例如,电池、热能储存设备等)的最优分配。最优能量分配可以包括从公共事业单位购买的能量的量、储存于或取出自能量储存设备的能量的量和/或卖给能量购买者或用于参与基于激励的需求响应(IBDR)计划的能量的量。在一些实施例中,最优分配使操作能量储存系统的经济价值最大化,同时满足建筑物或校园的预计负载并从IBDR计划中创造收入。

[0039] 需量计费是由公共事业单位基于在各需量计费时段期间从公共事业单位购买的资源的峰值消耗(即,在可适用的需量计费时段的任何时间步长期间从公共事业单位购买的资源的峰值量)而收取的费用。例如,电力公共事业单位可以定义一个或多个需量计费时段,并且可以基于在每个需量计费时段期间的峰值电力消耗来收取单独的需量计费。电能储存设备可以通过在能耗低时将电力储存在电池中并且在能耗高时从电池释放所储存的电力来帮助减少峰值消耗,由此减少在需量计费时段的任何时间步长期间从公共事业单位购买的峰值电力。

[0040] 在一些实施例中,能量储存控制器用于优化对电池资产的利用。电池资产可以用于参与产生收入的IBDR计划并且用于降低能量成本以及多需量计费所产生的费用。能量储存控制器可以执行用于最优地分配电池资产(例如,通过最优地对电池进行充电和放电)以使其总价值最大化的优化过程。在规划工具框架中,能量储存控制器可以迭代地执行优化

以便确定整个模拟期间(例如,整年)的最优电池资产分配。优化过程可以被扩展为包括经济负载需求响应(ELDR)并且可以处理多需量计费。能量储存控制器可以在给定优化时段内的每个时间步长(例如,每小时)处分配电池资产,从而使得能量和需量费用被最小化并且频率调节(FR)收入被最大化。

[0041] 在一些实例中,从公共事业单位购买的资源中的一种或多种资源受制于一个或多个需量计费。存在多种类型的潜在需量计费,因为存在不同类型的能量费率结构。最常见的能量费率结构为固定定价、分时计价(TOU)和实时定价(RTP)。每种需量计费可以与需量计费有效的需量计费时段相关联。需量计费时段可以与彼此和/或与优化时段部分地或完全地重叠。需量计费时段可以包括相对长的时段(例如,每月、每季节、每年等)或相对短的时段(例如,每天、每小时等)。这些时段中的每个时段可以被分成包括非高峰、部分高峰和/或高峰期的若干子时段。一些需量计费时段是连续的(例如,开始于2017年1月1日并且结束于2017年1月31日),而其他需量计费时段是不连续的(例如,某月的每天从上午11:00到下午1:00)。

[0042] 在给定优化时段内,一些需量计费可以在优化时段内发生的一些时间步长期间有效并且在优化时段期间发生的其他时间步长期间无效。一些需量计费可以在优化时段内发生的所有时间步长内有效。一些需量计费可以适用于在优化时段期间发生的一些时间步长以及在优化时段之外(例如,在优化时段之前或之后)发生的其他时间步长。在一些实施例中,需量计费时段的持续时间显著不同于优化时段的持续时间。

[0043] 有利地,能量储存控制器可以被配置用于处理优化过程中的需量计费。在一些实施例中,能量储存控制器使用需量计费掩码和需量计费费率加权因子将需量计费合并到优化问题和成本函数 $J(x)$ 中。每个需量计费掩码可以与特定需量计费相对应并且可以指示相应需量计费有效的时间步长和/或需量计费无效的时间步长。当计算需量计费的值时,需量计费掩码可以使能量储存控制器忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从公共事业单位购买的电能。每个费率加权因子还可以与特定需量计费相对应并且可以将相应需量计费率缩放到优化时段的时间尺度。

[0044] 本披露的以下章节更加详细地描述了多需量计费型成本优化技术以及可以使用成本优化技术的若干能量储存系统。例如,所述多需量计费型成本优化技术可以用于具有电能储存设备的频率响应优化系统中。参照图1和图2描述了频率响应优化系统。所述多需量计费型成本优化技术还可以用于光伏(PV)能量系统中,所述光伏能量系统使用电能储存设备同时执行频率调节和斜坡速率控制。参照图3和图4描述了PV能量系统。

[0045] 多需量计费型成本优化技术还可以用于能量储存系统中,所述能量储存系统使用热能储存设备和/或电能储存设备来执行负载转移并优化能量成本。参照图5和图6描述了能量储存系统。所述多需量计费型成本优化技术还可以用于规划工具中,所述规划工具确定投资电池资产的收益并且计算与投资相关联的各种财务度量。参照图7和图8描述了规划工具。参照图9和图10更加详细地描述了所述多需量计费型成本优化技术。

[0046] 频率响应优化

[0047] 现在参照图1,根据示例性实施例,示出了频率响应优化系统100。系统100被示出为包括校园102和能量网104。校园102可以包括从能量网104接收电力的一个或多个建筑物116。建筑物116可以包括在操作期间耗电的设备或装置。例如,建筑物116可以包括HVAC设

备、照明设备、安全设备、通信设备、自动售货机、计算机、电子器件、电梯或其他类型的建筑物设备。

[0048] 在一些实施例中,建筑物116由建筑物管理系统(BMS)服务。BMS通常是被配置用于对建筑物或建筑物区域之中或周围的设备进行控制、监测和管理的装置系统。例如,BMS可以包括HVAC系统、安全系统、照明系统、火情报警系统、和/或能够管理建筑物功能或装置的任何其他系统。在2015年5月20日提交的第14/717,593号美国专利申请中描述了可以用于监测并控制建筑物116的示例性建筑物管理系统,所述美国专利申请的全部披露通过援引并入本文。

[0049] 在一些实施例中,校园102包括中央设施118。中央设施118可以包括一个或多个子设施,所述一个或多个子设施消耗来自公共事业单位的资源(例如,水、天然气、电力等)以满足建筑物116的负载。例如,中央设施118可以包括加热器子设施、热回收冷却器子设施、冷却器子设施、冷却塔子设施、高温热能储存(TES)子设施和低温热能储存(CES)子设施、蒸汽子设施、和/或被配置用于服务建筑物116的任何其他类型的子设施。子设施可以被配置用于将输入资源(例如,电力、水、天然气等)转换成提供给建筑物116的输出资源(例如,冷水、热水、冷却的空气、加热的空气等)。在2015年2月27日提交的第14/634,609号美国专利申请中描述了可以用于满足建筑物116的负载的示例性中央设施,所述美国专利申请的全部披露通过援引并入本文。

[0050] 在一些实施例中,校园102包括能量生成120。能量生成120可以被配置用于生成能量,所述能量可以被建筑物116使用、被中央设施118使用和/或被提供给能量网104。在一些实施例中,能量生成120产生电。例如,能量生成120可以包括电力设施、光伏能量场、或产生电的其他类型的系统或装置。由能量生成120产生的电可以由校园102内部使用(例如,由建筑物116和/或中央设施118使用)以便减少校园102从外部资源(如能量网104或电池108)接收的电量。如果由能量生成120产生的电量超过校园102的电力需求,则过量电力可以提供给能量网104或储存在电池108中。在图1中,校园102的电力输出被示出为 $P_{\text{校园}}$ 。 $P_{\text{校园}}$ 可以在校园102输出电力时为正或者在校园102接收电力时为负。

[0051] 仍然参照图1,系统100被示出为包括电力逆变器106和电池108。电力逆变器106可以被配置用于在直流(DC)与交流(AC)之间转换电力。例如,电池108可以被配置用于储存并输出DC电力,而能量网104和校园102可以被配置用于消耗并产生AC电力。电力逆变器106可以用于将来自电池108的DC电力转换成与能量网104的电网频率同步的正弦AC输出。电力逆变器106还可以用于将来自校园102或能量网104的AC电力转换成可以储存在电池108中的DC电力。电池108的电力输出被示出为 $P_{\text{电池}}$ 。 $P_{\text{电池}}$ 可以在电池108向电力逆变器106提供电力时为正或者在电池108接收来自电力逆变器106的电力时为负。

[0052] 在一些实施例中,电力逆变器106接收来自电池108的DC电力输出并且将DC电力输出转换成AC电力输出。AC电力输出可以用于满足校园102的能量负载和/或可以被提供给能量网104。电力逆变器106可以使用本地振荡器来使AC电力输出的频率与能量网104的频率同步(例如,50Hz或60Hz)并且可以将AC电力输出的电压限制为不高于电网电压。在一些实施例中,电力逆变器106为谐振逆变器,所述谐振逆变器包括或使用用于从简单方波中去除谐波的LC电路以便实现与能量网104的频率相匹配的正弦波。在各个实施例中,电力逆变器106可以使用高频变压器、低频变压器或不使用变压器来进行操作。低频变压器可以将来自

电池108的DC输出直接转换成提供给能量网104的AC输出。高频变压器可以采用多步过程,所述多步过程涉及将DC输出转换成高频AC,然后转换回DC,并且最终转换成提供给能量网104的AC输出。

[0053] 系统100被示出为包括互连点(POI) 110。POI 110是校园102、能量网104和电力逆变器106电连接的点。从电力逆变器106供应给POI 110的电力被示出为 $P_{\text{供应}}$ 。 $P_{\text{供应}}$ 可以被定义为 $P_{\text{电池}} + P_{\text{损耗}}$,其中, $P_{\text{电池}}$ 是电池电力,并且 $P_{\text{损耗}}$ 是电池系统中的电力损耗(例如,电力逆变器106和/或电池108中的损耗)。 $P_{\text{电池}}$ 和 $P_{\text{供应}}$ 可以在电力逆变器106向POI 110提供电力时为正或者在电力逆变器106接收来自POI 110的电力时为负。 $P_{\text{校园}}$ 和 $P_{\text{供应}}$ 在POI 110处组合以便形成 P_{POI} 。 P_{POI} 可以被定义为从POI 110提供给能量网104的电力。 P_{POI} 可以在POI 110向能量网104提供电力时为正或者在POI 110接收来自能量网104的电力时为负。

[0054] 仍然参照图1,系统100被示出为包括频率响应控制器112。控制器112可以被配置用于生成并向电力逆变器106提供电力设定值。电力逆变器106可以使用电力设定值来控制提供给POI 110或从POI 110中汲取的电量 $P_{\text{供应}}$ 。例如,电力逆变器106可以被配置用于响应于从控制器112接收负电力设定值而从POI 110汲取电力并将电力储存在电池108中。相反地,电力逆变器106可以被配置用于响应于从控制器112接收正电力设定值而从电池108汲取电力并向POI 110提供电力。电力设定值的大小可以限定提供给电力逆变器106或从其中提供的电量 $P_{\text{供应}}$ 。控制器112可以被配置用于生成并提供在时间范围内优化操作系统100的值的电力设定值。

[0055] 在一些实施例中,频率响应控制器112使用电力逆变器106和电池108来执行对能量网104的频率调节。频率调节是维持电网频率稳定性的过程(例如,美国为60Hz)。只要能量网104的总电力供应与需求平衡,电网频率就可以保持稳定和平衡。与所述平衡的任何偏差可以导致电网频率与其期望值的偏差。例如,需求增大可以引起电网频率减小,而供应增大可以引起电网频率增大。频率响应控制器112可以被配置用于通过使电力逆变器106将来自电池108的能量供应给能量网104(例如,以补偿电网频率的减小)或将来自能量网104的能量储存在电池108中(例如,以补偿电网频率的增大)来补偿电网频率的波动。

[0056] 在一些实施例中,频率响应控制器112使用电力逆变器106和电池108来执行对校园102的负载转移。例如,控制器112可以使电力逆变器106在能量价格较低时将能量储存在电池108中并且在能量价格较高时从电池108中取回能量以便降低向校园102供电所需要的电力成本。负载转移还可以允许系统100降低所产生的需量计费。需量计费是一些公共事业单位提供商基于可适用需量计费时段期间的最大电力消耗而收取的附加电费。例如,需量计费费率可以以每单位电力美元数(例如,\$/kW)来指定,并且可以乘以需量计费时段期间的峰值电力使用量(例如,kW)来计算需量计费。负载转移可以允许系统100通过从电池108中汲取能量来平滑掉校园102的电力需求中的瞬时峰值以便减少从能量网104中汲取的峰值电力,由此降低所产生的需量计费。

[0057] 仍然参照图1,系统100被示出为包括激励提供商114。激励提供商114可以是公共事业单位(例如,电力公共事业单位)、区域传输组织(RTO)、独立系统运营商(ISO)或提供激励以便执行频率调节的任何其他实体。例如,激励提供商114可以向系统100提供货币激励以便参与频率响应计划。为了参与频率响应计划,系统100可以维持可以被提供给能量网104的已储存能量(例如,在电池108中)的预留容量。系统100还可以维持用于从能量网104

汲取能量并将能量储存在电池108中的容量。可以通过管理电池108的电量状态来完成对这两个容量的预留。

[0058] 频率响应控制器112可以向激励提供商114提供价格报价和容量报价。价格报价可以包括用于预留或储存允许系统100参与由激励提供商114提供的频率响应计划的电力的每单位电力价格(例如,\$/MW)。由频率响应控制器112报出的每单位电力价格在本文中指“容量价格”。价格报价还可以包括实际性能的价格,在本文中指“性能价格”。容量报价可以限定系统100将预留或储存在电池108中以便执行频率响应的电量(例如,MW),在本文中指“容量报价”。

[0059] 激励提供商114可以向频率响应控制器112提供与容量价格、性能价格和容量报价分别对应的容量结算价格 $CP_{\text{容量}}$ 、性能结算价格 $CP_{\text{性能}}$ 和调节奖励 $Reg_{\text{奖励}}$ 。在一些实施例中, $CP_{\text{容量}}$ 、 $CP_{\text{性能}}$ 和 $Reg_{\text{奖励}}$ 与由控制器112给出的相应报价相同。在其他实施例中, $CP_{\text{容量}}$ 、 $CP_{\text{性能}}$ 和 $Reg_{\text{奖励}}$ 可能与由控制器112给出的报价不同。例如,可以由激励提供商114基于从频率响应计划中的多个参与者接收到的报价来生成 $CP_{\text{容量}}$ 、 $CP_{\text{性能}}$ 和 $Reg_{\text{奖励}}$ 。控制器112可以使用 $CP_{\text{容量}}$ 、 $CP_{\text{性能}}$ 和 $Reg_{\text{奖励}}$ 来执行频率调节。

[0060] 频率响应控制器112被示出为从激励提供商114接收调节信号。调节信号可以指定调节奖励 $Reg_{\text{奖励}}$ 的频率响应控制器112将添加或从能量网104中移除的一部分。在一些实施例中,调节信号是指定 $Reg_{\text{奖励}}$ 的比例的归一化信号(例如,在-1与1之间)。调节信号的正值可以指示添加到能量网104的电量,而调节信号的负值可以指示从能量网104移除的电量。

[0061] 频率响应控制器112可以通过生成电力逆变器106的最优电力设定值来响应调节信号。最优电力设定值可以考虑来自参与频率响应计划的潜在收入和参与成本两者。参与成本可以包括例如电池劣化的货币化成本以及将产生的能量和需量计费。可以使用序列二次规划、动态规划或任何其他优化技术来执行优化。

[0062] 在一些实施例中,控制器112使用电池寿命模型来将电池劣化量化和货币化为提供给电力逆变器106的电力设定值的函数。有利地,电池寿命模型允许控制器112执行权衡参与频率响应计划的收入产生潜能和电池劣化成本以及其他参与成本(例如,可用于校园102的较少的电池电力、增加的电力成本等)的优化。参照图2更加详细地描述了示例性调节信号和电力响应。

[0063] 现在参照图2,根据示例性实施例,示出了频率响应曲线图对200和250。曲线图200展示了作为时间的函数的调节信号 $Reg_{\text{信号}}$ 202。 $Reg_{\text{信号}}$ 202被示出为范围从-1到1的归一化信号(即, $-1 \leq Reg_{\text{信号}} \leq 1$)。 $Reg_{\text{信号}}$ 202可以由激励提供商114生成并提供给频率响应控制器112。 $Reg_{\text{信号}}$ 202可以定义控制器112将相对于被称为中点b256的基线值而添加或从能量网104中移除的调节奖励 $Reg_{\text{奖励}}$ 254的比例。例如,如果 $Reg_{\text{奖励}}$ 254的值为10MW,则调节信号值0.5(即, $Reg_{\text{信号}} = 0.5$)可以指示系统100被请求相对于中点b在POI 110处添加5MW电力(例如, $P_{POI}^* = 10MW \times 0.5 + b$),而调节信号值-0.3可以指示系统100被请求相对于中点b从POI 110中移除3MW电力(例如, $P_{POI}^* = 10MW \times -0.3 + b$)。

[0064] 曲线图250展示了作为时间的函数的期望互连电力 P_{POI}^* 252。 P_{POI}^* 252可以由频率响应控制器112基于 $Reg_{\text{信号}}$ 202、 $Reg_{\text{奖励}}$ 254和中点b256来计算。例如,控制器112可以

使用以下等式来计算 P_{POI}^* 252:

$$[0065] \quad P_{POI}^* = Reg_{奖励} \times Reg_{信号} + b$$

[0066] 其中, P_{POI}^* 表示在POI 110处期望的电力(例如, $P_{POI}^* = P_{供应} + P_{校园}$) 并且b为中点。中点b可以由控制器112定义(例如, 设定或优化) 并且可以表示调节的中点, 围绕所述中点, 负载响应于 $Reg_{信号}$ 202而被修改。对中点b的最优调节可以允许控制器112积极地参与频率响应市场, 同时还考虑将产生的能量和需量计费。

[0067] 为了参与频率响应市场, 控制器112可以执行若干任务。控制器112可以生成包括容量价格和性能价格的价格报价(例如, \$/MW)。在一些实施例中, 控制器112在每天的大约15:30向激励提供商114发送价格报价, 并且价格报价在第二天的全天保持有效。在开始频率响应时段之前, 控制器112可以生成容量报价(例如, MW) 并向激励提供商114发送容量报价。在一些实施例中, 控制器112在频率响应时段开始前大约1.5小时生成容量报价并将其发送至激励提供商114。在示例性实施例中, 每个频率响应时段具有一小时持续时间; 然而, 设想频率响应时段可以具有任意持续时间。

[0068] 在每个频率响应时段开始处, 控制器112可以生成中点b, 围绕所述中点, 控制器112计划执行频率调节。在一些实施例中, 控制器112生成将使电池108维持在恒定的电量状态(SOC)的中点b(即, 将导致电池108在频率响应时段开始和结束时具有相同SOC的中点)。在其他实施例中, 控制器112使用优化计划来生成中点b, 所述优化计划允许电池108的SOC在频率响应时段开始和结束时具有不同值。例如, 控制器112可以将电池108的SOC用作取决于中点b的约束变量, 以便优化考虑频率响应收入、能量成本和电池劣化成本的价值函数。在2016年8月25日提交的第15/247,883号美国专利申请、2016年8月25日提交的第15/247,885号美国专利申请以及2016年8月25日提交的第15/247,886号美国专利申请中详细描述了用于在恒定SOC情境和可变SOC情境下计算和/或优化中点b的示例性技术。这些专利申请中的每一个的完整披露通过援引并入本文。

[0069] 在每个频率响应时段期间, 控制器112可以周期性地生成电力逆变器106的电力设定值。例如, 控制器112可以生成频率响应时段内的每个时间步长的电力设定值。在一些实施例中, 控制器112使用以下等式生成电力设定值:

$$[0070] \quad P_{POI}^* = Reg_{奖励} \times Reg_{信号} + b$$

[0071] 其中, $P_{POI}^* = P_{供应} + P_{校园}$ 。 P_{POI}^* 的正值指示从POI 110流向能量网104的能量。 $P_{供应}$ 和 $P_{校园}$ 的正值指示分别从电力逆变器106和校园102流向POI 110的能量。

[0072] 在其他实施例中, 控制器112使用以下等式生成电力设定值:

$$[0073] \quad P_{POI}^* = Reg_{奖励} \times Res_{FR} + b$$

[0074] 其中, Res_{FR} 为通过优化价值函数而生成的最优频率响应。控制器112可以从 P_{POI}^* 中减去 $P_{校园}$ 以便生成电力逆变器106的电力设定值(即, $P_{供应} = P_{POI}^* - P_{校园}$)。电力逆变器106的电力设定值指示电力逆变器106将添加到POI 110(如果电力设定值为正) 或从POI 110中移除(如果电力设定值为负)的电量。在2016年8月25日提交的第15/247,793号美国专

利申请、2016年8月25日提交的第15/247,784号美国专利申请以及2016年8月25日提交的第15/247,777号美国专利申请中详细描述了可以由控制器112用于计算电力逆变器设定值的示例性技术。这些专利申请中的每一个的完整披露通过援引并入本文。

[0075] 具有频率调节和斜坡速率控制的光伏能量系统

[0076] 现在参照图3和图4,根据示例性实施例,示出了使用电池储存设备来同时执行斜坡速率控制和频率调节两者的光伏能量系统300。斜坡速率控制是补偿落在由监管能量网的电力局确定的顺应极限之外的斜坡速率(即,增大或减小能量系统(如光伏能量系统)的电力输出)的过程。斜坡速率控制通常需要使用能量源,所述能量源允许通过将附加电力供应给电网或从电网消耗更多电力来补偿斜坡速率。在一些实例中,设施被损坏从而无法遵守斜坡速率要求。

[0077] 频率调节是维持电网频率稳定性的过程(例如,美国为60Hz)。如图4中所示出的,只要来自能量网的需求与对能量网的供应之间平衡,电网频率就可以在60Hz处保持平衡。需求增大导致电网频率的减小,而供应增大导致电网频率增大。在电网频率的波动期间,系统300可以通过从能量网中汲取更多能量(例如,如果电网频率太高)或者通过向能量网提供能量(例如,如果电网频率太低)来补偿波动。有利地,系统300在同时遵守斜坡速率要求和将电池储存设备的电量状态维持在预定期望范围内的同时可以使用电池储存设备结合光伏电力来执行频率调节。

[0078] 具体地参照图3,系统300被示出为包括光伏(PV)场302、PV场电力逆变器304、电池306、电池电力逆变器308、互连点(POI)310和能量网312。PV场302可以包括许多光伏电池单元。光伏电池单元被配置用于使用光伏材料(如单晶硅、多晶硅、非晶硅、碲化镉、硒化/硫化铜铟镓或展现光伏效果的其他材料)来将太阳能(即,太阳光)转换成电。在一些实施例中,光伏电池单元包含在形成太阳能板的封装组件内。每个太阳能板可以包括多个相链接的光伏电池单元。太阳能板可以组合来形成光伏阵列。

[0079] PV场302可以具有各种大小和/或位置中的任何大小和/或位置。在一些实施例中,PV场302是能够向大量消费者提供能量供应的大型光伏电站(例如,太阳能发电园区或农场)。当实施为大型系统的一部分时,PV场302可以覆盖多公顷并且可以具有几十或几百兆瓦的电力输出。在其他实施例中,PV场302可以覆盖更小的区域并且可以具有相对较小的电力输出(例如,在一兆瓦与十兆瓦之间、小于一兆瓦等)。例如,PV场302可以是能够提供足够的电力来对单个家庭或建筑物供电的屋顶安装式系统。如可能在不同实施方式中令人期待的,设想PV场302可以具有任意大小、尺寸和/或电力输出。

[0080] PV场302可以生成直流(DC)输出,所述直流输出取决于太阳能板所暴露于的太阳光的强度和/或直射率。太阳光的直射率可以取决于太阳光相对于太阳能板表面的入射角。太阳光的强度可以受各种环境因素(如每天的时间(例如,日出和日落))和天气变化(如在PV场302上透射阴影的云)的影响。当PV场302部分或全部被阴影覆盖时,PV场302的电力输出(即,PV场电力 P_{PV})可以由于太阳能强度的降低而下降。

[0081] 在一些实施例中,PV场302被配置用于使太阳能收集最大化。例如,PV场302可以包括太阳跟踪器(例如,GPS跟踪器、太阳光传感器等),所述太阳跟踪器调节太阳能板的角度,从而使得太阳能板直接瞄准整天的太阳。太阳跟踪器可以允许太阳能板接收一天的大部分时间的直射太阳光,并且可以增加由PV场302产生的电力的总量。在一些实施例中,PV场302

包括被配置用于将太阳光指导和/或集中到太阳能板上的许多反射镜、透镜或太阳能集中器。由PV场302产生的能量可以储存在电池306中或提供给能量网312。

[0082] 仍然参照图3,系统300被示出为包括PV场电力逆变器304。电力逆变器304可以被配置用于将PV场302的DC输出 P_{PV} 转换成可以馈送至能量网312或由本地(例如,离网型)电力网络使用的交流(AC)输出。例如,电力逆变器304可以是太阳能逆变器或市电并联逆变器,所述太阳能逆变器或市电并联逆变器被配置用于将来自PV场302的DC输出转换成与能量网312的电网频率同步的正弦AC输出。在一些实施例中,电力逆变器304接收来自PV场302的累积的DC输出。例如,电力逆变器304可以是串型逆变器或集中式逆变器。在其他实施例中,电力逆变器304可以包括连接至每个太阳能板或太阳能电池单元的许多微型逆变器。PV场电力逆变器304可以将DC电力输出 P_{PV} 转换成AC电力输出 u_{PV} 并且向POI 310提供AC电力输出 u_{PV} 。

[0083] 电力逆变器304可以接收来自PV场302的DC电力输出 P_{PV} 并且将DC电力输出转换成可以馈送至能量网312的AC电力输出。电力逆变器304可以使用本地振荡器来使AC电力输出的频率与能量网312的频率同步(例如,50Hz或60Hz)并且可以将AC电力输出的电压限制为不高于电网电压。在一些实施例中,电力逆变器304为谐振逆变器,所述谐振逆变器包括或使用用于从简单方波中去除谐波的LC电路以便实现与能量网312的频率相匹配的正弦波。在各个实施例中,电力逆变器304可以使用高频变压器、低频变压器或不使用变压器来进行操作。低频变压器可以将来自PV场302的DC输出直接转换成提供给能量网312的AC输出。高频变压器可以采用多步过程,所述多步过程涉及将DC输出转换成高频AC,然后转换回DC,并且最终转换成提供给能量网312的AC输出。

[0084] 电力逆变器304可以被配置用于执行最大电力点跟踪和/或反孤岛。最大电力点跟踪可以允许电力逆变器304产生来自PV场302的最大可能AC电力。例如,电力逆变器304可以从PV场302中对DC电力输出进行抽样并且应用可变电阻来找到最优最大电力点。反孤岛是当与耗电负载的连接不再存在时立即关掉电力逆变器304(即,防止电力逆变器304产生AC电力)的保护机制。在一些实施例中,PV场电力逆变器304通过限制由PV场302生成的电力来执行斜坡速率控制。

[0085] 仍然参照图3,系统300被示出为包括电池电力逆变器308。电池电力逆变器308可以被配置用于从电池306中汲取DC电力 $P_{\text{电池}}$ 、将DC电力 $P_{\text{电池}}$ 转换成AC电力 $u_{\text{电池}}$ 并且向POI 310提供AC电力 $u_{\text{电池}}$ 。电池电力逆变器308还可以被配置用于从POI 310中汲取AC电力 $u_{\text{电池}}$ 、将AC电力 $u_{\text{电池}}$ 转换成DC电池电力 $P_{\text{电池}}$ 并且将DC电池电力 $P_{\text{电池}}$ 储存在电池306中。DC电池电力 $P_{\text{电池}}$ 可以在电池306向电池电力逆变器308提供电力(即,如果电池306正放电)时为正或者在电池306接收来自电池电力逆变器308的电力(即,如果电池306正充电)时为负。类似地,AC电池电力 $u_{\text{电池}}$ 可以在电池电力逆变器308向POI 310提供电力时为正或者在电池电力逆变器308接收来自POI 310的电力时为负。

[0086] AC电池电力 $u_{\text{电池}}$ 被示出为包括用于频率调节的电量(即, u_{FR})以及用于斜坡速率控制的电量(即, u_{RR}),两者一起形成AC电池电力(即, $u_{\text{电池}} = u_{FR} + u_{RR}$)。DC电池电力 $P_{\text{电池}}$ 被示出为包括 u_{FR} 和 u_{RR} 以及表示电池306和/或电池电力逆变器308中的电力损耗的附加项 $P_{\text{损耗}}$ (即, $P_{\text{电池}} = u_{FR} + u_{RR} + P_{\text{损耗}}$)。PV场电力 u_{PV} 和电池电力 $u_{\text{电池}}$ 在POI 110处组合以便形成表示提供给能量网312的电量的 P_{POI} (即, $P_{POI} = u_{PV} + u_{\text{电池}}$)。 P_{POI} 可以在POI 310向能量网312提供电力时为正或

者在POI 310接收来自能量网312的电力时为负。

[0087] 仍然参照图3,系统300被示出为包括控制器314。控制器314可以被配置用于生成PV场电力逆变器304的PV电力设定值 u_{pv} 以及电池电力逆变器308的电池电力设定值 $u_{\text{电池}}$ 。贯穿本披露,变量 u_{pv} 用于指由控制器314生成的PV电力设定值以及PV场电力逆变器304的AC电力输出,因为这两个量具有同一值。类似地,变量 $u_{\text{电池}}$ 用于指由控制器314生成的电池电力设定值以及电池电力逆变器308的AC电力输出/输入,因为这两个量具有同一值。

[0088] PV场电力逆变器304使用PV电力设定值 u_{pv} 来控制用于提供给POI 110的PV场电力的量 P_{pv} 。 u_{pv} 的大小可以与 P_{pv} 的大小相同或者小于 P_{pv} 的大小。例如,如果控制器314确定PV场电力逆变器304将向POI 310提供光伏电力 P_{pv} 中的所有光伏电力,则 u_{pv} 可以与 P_{pv} 相同。然而,如果控制器314确定PV场电力逆变器304将向POI 310提供小于光伏电力 P_{pv} 中的所有光伏电力,则 u_{pv} 可以小于 P_{pv} 。例如,控制器314可以确定PV场电力逆变器304向POI 310提供小于光伏电力 P_{pv} 中的所有光伏电力以便防止超过斜坡速率和/或防止POI 310处的电力超过电力极限是令人期望的。

[0089] 电池电力逆变器308使用电池电力设定值 $u_{\text{电池}}$ 来控制由电池306充电或放电的电量。电池电力设定值 $u_{\text{电池}}$ 可以在控制器314确定电池电力逆变器308将从电池306中汲取电力时为正或者在控制器314确定电池电力逆变器308将储存电力到电池306中时为负。 $u_{\text{电池}}$ 的大小控制能量被电池306充电或放电的速率。

[0090] 控制器314可以基于各种不同变量(包括例如来自PV场302的电力信号(例如, P_{pv} 的当前值和先前值)、电池306的当前电量状态、最大电池电力极限、POI 310处的最大电力极限、斜坡速率极限、能量网312的电网频率和/或可以由控制器314用于执行斜坡速率控制和/或频率调节的其他变量)来生成 u_{pv} 和 $u_{\text{电池}}$ 。有利地,控制器314生成将PV电力的斜坡速率维持在斜坡速率顺应极限内的 u_{pv} 和 $u_{\text{电池}}$ 的值,同时参与对电网频率的调节并将电池306的SOC维持在预定的期望范围内。

[0091] 在2016年8月25日提交的第15/247,869号美国专利申请、2016年8月25日提交的第15/247,844号美国专利申请、2016年8月25日提交的第15/247,788号美国专利申请、2016年8月25日提交的第15/247,872号美国专利申请、2016年8月25日提交的第15/247,880号美国专利申请以及2016年8月25日提交的第15/247,873号美国专利申请中详细地描述了可以被用作控制器314的示例性控制器以及可以由控制器314执行以生成PV电力设定值 u_{pv} 和电池电力设定值 $u_{\text{电池}}$ 的示例性过程。这些专利申请中的每一个的完整披露通过援引并入本文。

[0092] 具有热能和电能量储存设备的能量储存系统

[0093] 现在参照图5,根据示例性实施例,示出了能量储存系统500的框图。能量储存系统500被示出为包括建筑物502。建筑物502可以与如参照图1所描述的建筑物116相同或类似。例如,建筑物502可以配备有HVAC系统和/或操作用于控制建筑物502内的状况的建筑物管理系统。在一些实施例中,建筑物502包括能量储存系统500所服务的多个建筑物(即,校园)。建筑物502可能需要包括例如高温热能(例如,热水)、低温热能(例如,冷水)和/或电能等各种资源。这些资源可能是被建筑物502内的设备或子系统或者被为建筑物502提供服务(例如,加热、冷却、空气循环、照明、电力等)的外部系统需要的。能量储存系统500操作用于满足与建筑物502相关联的资源需求。

[0094] 能量储存系统500被示出为包括多个公共事业单位510。公共事业单位510可以为

能量储存系统500提供资源,如电力、水、天然气或可以由能量储存系统500用于满足建筑物502的需求的任何其他资源。例如,公共事业单位510被示出为包括电力公共事业单位511、水力公共事业单位512、天然气公共事业单位513以及公共事业单位M 514,其中,M是公共事业单位510的总数量。在一些实施例中,公共事业单位510是可从其购买资源以及其他类型的商品的商品供应商。从公共事业单位510购买的资源可以由发电机子设施520用于生产所生成的资源(例如,热水、冷水、电力、蒸汽等),储存在储存子设施530中以供以后使用,或直接提供给建筑物502。例如,公共事业单位510被示出为直接向建筑物502和储存子设施530提供电力。

[0095] 能量储存系统500被示出为包括多个发电机子设施520。发电机子设施520被示出为包括加热器子设施521、冷却器子设施522、热回收冷却器子设施523、蒸汽子设施524、电力子设施525以及子设施N,其中,N是发电机子设施520的总数量。发电机子设施520可以被配置用于通过对发电机子设施520内的设备的操作来将一种或多种输入资源转换成一种或多种输出资源。例如,加热器子设施521可以被配置用于通过使用电或天然气对水进行加热来产生高温热能(例如,热水)。冷却器子设施522可以被配置用于通过使用电对水进行冷却来产生低温热能(例如,冷水)。热回收冷却器子设施523可以被配置用于通过从一个水源移除热量并且将所述热量添加到另一个水源来产生高温热能和低温热能。蒸汽子设施524可以被配置用于通过使用电或天然气煮沸水来产生蒸汽。电力子设施525可以被配置用于使用机械发电机(例如,蒸汽涡轮机、燃气发电机等)或其他类型的发电设备(例如,光伏设备、水力发电设备等)来产生电。

[0096] 发电机子设施520所使用的输入资源可以由公共事业单位510提供、从储存子设施530取回和/或由其他发电机子设施520产生。例如,蒸汽子设施524可以产生蒸汽作为输出资源。电力子设施525可以包括蒸汽涡轮机,所述蒸汽涡轮机使用蒸汽子设施524所产生的蒸汽作为输入资源以产生电。发电机子设施520所产生的输出资源可以储存在储存子设施530中、被提供给建筑物502、被出售给能量购买者504和/或被其他发电机子设施520使用。例如,电力子设施525所产生的电可以储存在电能储存设备533中、被冷却器子设施522用于产生低温热能、被提供给建筑物502和/或被出售给能量购买者504。

[0097] 能量储存系统500被示出为包括储存子设施530。储存子设施530可以被配置用于储存能量以及其他类型的资源以供以后使用。储存子设施530中的每一个可以被配置用于储存不同类型的资源。例如,储存子设施530被示出为包括高温热能储存设备531(例如,一个或多个热水储存罐)、低温热能储存设备532(例如,一个或多个低温热能储存罐)、电能储存设备533(例如,一个或多个电池)、以及资源类型P储存设备534,其中,P是储存子设施530的总数量。储存在子设施530中的资源可以直接从公共事业单位510购买或由发电机子设施520产生。

[0098] 在一些实施例中,储存子设施530由能量储存系统500用于利用基于价格的需求响应(PBDR)计划。PBDR计划鼓励消费者在生成、传输和分配成本较高时减少消耗。PBDR计划通常以根据时间而改变的能量价格的形式(例如,由公共事业单位510)来实施。例如,公共事业单位510可以提高高峰使用小时期间的电单位价格以鼓励消费者在高峰时间期间减少电力消耗。一些公共事业单位还基于在预定的需量计费时段期间的任何时间的电力消耗的最大费率来向消费者收取单独的需量计费。

[0099] 有利的是,将能量以及其他类型的资源储存在子设施530中允许资源在资源相对不太昂贵(例如,在非高峰用电小时期间)时被购买并且被储存以在资源相对较昂贵(例如,在高峰用电小时期间)时使用。将资源储存在子设施530中还允许建筑物502的资源需求及时转移。例如,资源可以在对加热或冷却的需求较低时从公共事业单位510购买并且立即被发电机子设施520转换成高温热能或低温热能。热能可以储存在储存子设施530中并且在加热或冷却的需求较高时被取回。这允许能量储存系统500平滑建筑物502的资源需求并且减小发电机子设施520的最大所需容量。平滑所述需求还允许能量储存系统500减少高峰电力消耗,这产生了较低的需量计费。

[0100] 在一些实施例中,储存子设施530由能量储存系统500用于利用基于激励的需求响应(PBDR)计划。IBDR计划根据请求为有容量储存能量、产生能量或缩减能量使用的消费者提供激励。激励通常以由公共事业单位510或者由独立的服务运营商(ISO)支付的货币收入的形式提供。IBDR计划利用用于修改需量负载曲线的附加选项补充了传统公共事业单位所拥有的生成、传输和分配资产。例如,所储存的能量可以被出售给能量购买者504(例如,能量网)以补充公共事业单位510所生成的能量。在一些实例中,用于参与IBDR计划的激励基于系统可以多快响应改变功率输出/消耗的请求而改变。更快的响应可在更高级别得到补偿。有利的是,电能储存设备533允许系统500通过将所储存的电能迅速释放给能量购买者504来快速响应对电力的请求。

[0101] 仍然参照图5,能量储存系统500被示出为包括能量储存控制器506。能量储存控制器506可以被配置用于控制能量储存系统500中资源的分配、生产、储存和使用。在一些实施例中,能量储存控制器506执行优化过程以确定优化时段内的每个时间步长的控制决策的最优集合。控制决策可以包括例如将从公共事业单位510购买的每种资源的最优量、将使用发电机子设施520产生或转换的每种资源的最优量、将储存或从储存子设施530移除的每种资源的最优量、将出售给能量购买者504的每种资源的最优量和/或将提供给建筑物502的每种资源的最优量。在一些实施例中,控制决策包括发电机子设施520中的每一个的每种输入资源和输出资源的最优量。

[0102] 控制器506可以被配置用于在优化时段的持续时间内使操作能量储存系统500的经济价值最大化。经济价值可以由将经济价值表达为控制器506所作出的控制决策的函数的价值函数来定义。价值函数可以处理从公共事业单位510购买的资源的成本、通过将资源出售给能量购买者504而产生的收入、以及操作能量储存系统500的成本。在一些实施例中,操作能量储存系统500的成本包括由于对电能储存设备533进行充电和放电所产生的电池容量的损耗成本。操作能量储存系统500的成本还可以包括优化时段期间过多设备启动/停止的成本。

[0103] 子设施520至530中的每一个可以包括可被能量储存控制器506控制用于优化能量储存系统500的性能的设备。子设施设备可以包括例如加热装置、冷却器、热回收热交换器、冷却塔、能量储存装置、泵、阀门和/或子设施520至530的其他装置。可以开启或关掉发电机子设施520的单独装置以调节每个发电机子设施的资源生产。在一些实施例中,可以根据从能量储存控制器506接收的操作设定值以可变容量来操作发电机子设施520的单独装置(例如,以10%的容量或60%的容量来操作冷却器)。

[0104] 在一些实施例中,子设施520至530中的一个或多个子设施包括被配置用于控制相

应子设施的设备的子设施级控制器。例如,能量储存控制器506可以确定子设施设备的开/关配置和全局操作设定值。响应于开/关配置和接收到的全局操作设定值,子设施控制器可以开启或关掉其相应设备的单独装置,并且实施特定操作设定值(例如,阻尼器位置、叶片位置、风扇速度、泵速度等)以达到或维持全局操作设定值。

[0105] 在一些实施例中,控制器506在参与PBDR计划、IBDR计划或同时参与PBDR计划和IBDR计划两者时使能量储存系统500的生命周期经济价值最大化。对于IBDR计划,控制器506可以使用对过去的结算价格、里程比和事件概率的统计估计来确定将所储存的能量出售给能量购买者504的收入产生潜能。对于PBDR计划,控制器506可以使用对所安装的设备的环境状况、设施热负载和热力学模型的预测来估计子设施520的资源消耗。控制器506可以使用对资源消耗的预测来将运行设备的成本货币化。

[0106] 控制器506可以自动确定(例如,在没有人类干预的情况下)将在优化时段内参与以使经济价值最大化的PBDR和/或IBDR计划的组合。例如,控制器506可以考虑将会由于参与IBDR计划和PBDR计划的各种组合而产生的IBDR计划的收入产生潜能、PBDR计划的成本降低可能性以及设备维护/更换成本。控制器506可以权衡参与的收益与参与的成本以确定要参与的计划的最优组合。有利的是,这允许控制器506确定使操作能量储存系统500的总体价值最大化的控制决策的最优集合。

[0107] 在一些实例中,控制器506可以确定,在收入产生潜能较高和/或参与成本较低时参与IBDR计划将会是有益的。例如,控制器506可以从IBDR计划接收同步预留事件的通知,所述通知要求能量储存系统500卸除预定量的电力。控制器506可以确定,如果低温热能储存设备532具有足够的容量来在降低冷却器子设施522上的负载以卸除预定量的电力的同时为建筑物502提供冷却,则参与IBDR计划是最优的。

[0108] 在其他实例中,控制器506可以确定,当要求参与的资源在别处被更好地分配时参与IBDR计划将不是有益的。例如,如果建筑物502接近于设定将会大大增加PBDR成本的新峰值需求,则控制器506可以确定将把储存在电能储存设备533中的电能的仅一小部分出售给能量购买者504以便参与频率响应市场。控制器506可以确定将把电能的剩余部分用于向冷却器子设施522供电以防止设定新的峰值需求。

[0109] 在一些实施例中,能量储存系统500和控制器包括以下美国专利申请中所描述的部件和/或特征中的部分或全部:在2016年8月25日提交的第15/247,875号美国专利申请、在2016年8月25日提交的第15/247,879号美国专利申请以及在2016年8月25日提交的第15/247,881号美国专利申请。这些专利申请中的每一个的完整披露通过援引并入本文。

[0110] 能量储存控制器

[0111] 现在参照图6,根据示例性实施例,示出了更加详细地展示能量储存控制器506的框图。能量储存控制器506被示出为向建筑物管理系统(BMS) 606提供控制决策。在一些实施例中,BMS 606与参照图1所描述的BMS相同或类似。向BMS 606提供的控制决策可以包括公共事业单位510的资源购买量、发电机子设施520的设定值和/或储存子设施530的充电/放电速率。

[0112] BMS 606可以被配置用于监测受控建筑物或建筑物区域内的状况。例如,BMS 606可以从分布在建筑物各处的各个传感器(例如,温度传感器、湿度传感器、气流传感器、电压传感器等)接收输入并且可以向能量储存控制器506报告建筑物状况。建筑物状况可以包括

例如建筑物或建筑物区域的温度、建筑物的功耗(例如,电负载)、建筑物内被配置用于影响受控状态的一个或多个致动器的状态、或者与受控建筑物有关的其他类型的信息。BMS606可以操作子设施520至530以影响建筑物内所监测的状况并服务建筑物的热能负载。

[0113] BMS 606可以从能量储存控制器506接收指定子设施的开/关状态、充电/放电速率和/或设定值的控制信号。BMS 606可以根据能量储存控制器506所提供的控制信号来控制设备(例如,经由致动器、功率继电器等)。例如,BMS 606可以使用闭环控制来操作设备以实现能量储存控制器506所指定的设定值。在各个实施例中,BMS 606可以与能量储存控制器506组合或可以是单独建筑物管理系统的一部分。根据示例性实施例,BMS 606是由江森自控有限公司(Johnson Controls, Inc)出售的METASYS®牌建筑物管理系统。

[0114] 能量储存控制器506可以使用从BMS 606接收到的信息来监测受控建筑物的状态。能量储存控制器506可以被配置用于预测建筑物的在优化时段中的多个时间步长的热能负载(例如,加热负载、冷却负载等)(例如,使用来自天气服务604的天气预报)。能量储存控制器506还可以使用来自激励计划602的激励事件历史(例如,过去的结算价格、里程比、事件概率等)来预测IBDR计划的收入产生潜能。能量储存控制器506可以产生对在受制于对优化过程的约束(例如,能量均衡约束、负载满意约束等)的优化时段的持续时间内操作能量储存系统500的经济价值进行优化的控制决策。下面更详细地描述了能量储存控制器506所执行的优化过程。

[0115] 根据示例性实施例,能量储存控制器506被集成在单个计算机(例如,一个服务器、一个外壳等)内。在各个其他示例性实施例中,能量储存控制器506可以跨多个服务器或计算机(例如,其可以存在于分布式位置中)分布。在另一个示例性实施例中,能量储存控制器506可以与管理多个建筑物系统的智能建筑物管理器集成和/或与BMS 606组合。

[0116] 能量储存控制器506被示出为包括通信接口636和处理电路607。通信接口636可以包括用于与各种系统、装置或网络进行数据通信的有线或无线接口(例如,插座、天线、发射器、接收器、收发器、电线端子等)。例如,通信接口636可以包括用于经由基于以太网的通信网络发送和接收数据的以太网卡和端口和/或用于经由无线通信网络进行通信的WiFi收发器。通信接口636可以被配置用于经由局域网或广域网(例如,互联网、建筑物WAN等)进行通信并且可以使用各种通信协议(例如,BACnet、IP、LON等)。

[0117] 通信接口636可以是配置用于促进能量储存控制器506与各种外部系统或装置(例如,BMS 606、子设施520至530、公共事业单位510等)之间的电子数据通信的网络接口。例如,能量储存控制器506可以从BMS 606接收指示受控建筑物的一个或多个测得的状态(例如,温度、湿度、电负载等)以及子设施520至530的一个或多个状态(例如,设备状态、功耗、设备可用性等)的信息。通信接口636可以从BMS 606和/或子设施520至530接收输入并且可以经由BMS 606向子设施520至530提供操作参数(例如,开/关决策、设定值等)。操作参数可以使子设施520至530激活、去激活或调整其各个装置的设定值。

[0118] 仍然参照图6,处理电路607被示出为包括处理器608和存储器610。处理器608可以是通用或专用处理器、专用集成电路(ASIC)、一个或多个现场可编程门阵列(FPGA)、一组处理部件或其他合适的处理部件。处理器608可以被配置用于执行存储在存储器610中或从其他计算机可读介质(例如,CDROM、网络存储设备、远程服务器等)接收到的计算机代码或指令。

[0119] 存储器610可以包括用于存储数据和/或计算机代码以完成和/或促进本披露中所描述的各个过程的一个或多个装置(例如,存储器单元、存储器装置、存储装置等)。存储器610可以包括随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、硬盘驱动器存储设备、临时存储设备、非易失性存储器、闪存、光学存储器、或用于存储软件对象和/或计算机指令的任何其他合适的存储器。存储器610可以包括数据库组件、目标代码组件、脚本组件、或用于支持本披露中所描述的各种活动和信息结构的任何其他类型的信息结构。存储器610可以经由处理电路607可通信地连接至处理器608并且可以包括用于(例如,由处理器608)执行本文中所描述的一个或多个过程的计算机代码。

[0120] 存储器610被示出为包括建筑物状态监测器624。能量储存控制器506可以接收关于待经由建筑物状态监测器624被系统500加热或冷却的总体建筑物或建筑物空间的数据。在示例性实施例中,建筑物状态监测器624可以包括图形用户界面组件,所述图形用户界面组件被配置用于为用户提供用于选择建筑物要求(例如,整体温度参数、针对建筑物选择日程、针对不同的建筑物区域选择不同的温度水平等)的图形用户界面。

[0121] 能量储存控制器506可以确定开/关配置和操作设定值以便满足从建筑物状态监测器624接收到的建筑物要求。在一些实施例中,建筑物状态监测器624接收、收集、存储和/或传输冷却负载要求、建筑物温度设定值、占用数据、天气数据、能量数据、日程数据以及其他建筑物参数。在一些实施例中,建筑物状态监测器624存储关于能量成本的数据,如可从公共事业单位510获得的定价信息(能量收费、需量计费等)。

[0122] 仍然参照图6,存储器610被示出为包括负载/费率预测器622。负载/费率预测器622可以被配置用于预测优化时段的每个时间步长 k (例如, $k=1\cdots n$)的建筑物或校园的热能负载($\hat{\ell}_k$)。负载/费率预测器622被示出为从天气服务604接收天气预报。在一些实施例中,负载/费率预测器622根据天气预报来预测热能负载 $\hat{\ell}_k$ 。在一些实施例中,负载/费率预测器622使用来自BMS 606的反馈来预测负载 $\hat{\ell}_k$ 。来自BMS 606的反馈可以包括各种类型的传感器输入(例如,温度、流量、湿度、焓等)或与受控建筑物有关的其他数据(例如,来自HVAC系统、照明控制系统、安全系统、水力系统等输入)。

[0123] 在一些实施例中,负载/费率预测器622(例如,经由建筑物状态监测器624)从BMS 606接收测得的电负载和/或之前测得的负载数据。负载/费率预测器622可以根据给定天气预报($\hat{\phi}_w$)、日期类型(day)、当日时间(t)以及之前测得的负载数据(Y_{k-1})来预测负载 $\hat{\ell}_k$ 。这种关系通过以下等式来表达:

$$[0124] \quad \hat{\ell}_k = f(\hat{\phi}_w, day, t | Y_{k-1})$$

[0125] 在一些实施例中,负载/费率预测器622使用从历史负载数据训练出的确定性加随机性模型来预测负载 $\hat{\ell}_k$ 。负载/费率预测器622可以使用各种预测方法中的任何预测方法(例如,确定性部分的线性回归和随机性部分的AR模型)来预测负载 $\hat{\ell}_k$ 。负载/费率预测器622可以预测建筑物或校园的一个或多个不同类型的负载。例如,负载/费率预测器622可以预测在预测窗口内的每个时间步长内 k 的热水负载 $\hat{\ell}_{热,k}$ 和冷水负载 $\hat{\ell}_{冷,k}$ 。在一些实施例中,负载/费率预测器622使用第14/717,593号美国专利申请中所描述的技术来作出负载/费率

预测。

[0126] 负载/费率预测器622被示出为从公共事业单位510接收公共事业单位费率。公共事业单位费率可以指示公共事业单位510在预测窗口中的每个时间步长 k 处所提供的资源(例如,电力、天然气、水等)的成本或单位价格。在一些实施例中,公共事业单位费率是时变费率。例如,电价可能在一周的一天或多天的某些时间(例如,在高需求时段期间)较高并且在本周的这天或这些天的其他时间(例如,在低需求时段期间)较低。公共事业单位费率可以限定多个时段以及资源在每个时段期间的单位成本。公共事业单位费率可以从公共事业单位510接收到的实际费率或负载/费率预测器622所估计的经预测的公共事业单位费率。

[0127] 在一些实施例中,公共事业单位费率包括公共事业单位510所提供的一种或多种资源的需量计费。需量计费可以限定公共事业单位510基于需量计费时段期间特定资源的最大用量(例如,最大能耗)而收取的单独费用。公共事业单位费率可以限定各个需量计费时段以及每个需量计费时段相关联的一个或多需量计费。在一些实例中,需量计费时段可以彼此和/或与预测窗口部分或全部重叠。有利地,需求响应优化器630可以被配置用于在由高级优化器632执行的高级优化过程中处理需量计费。公共事业单位510可以通过时变(例如,每小时的)价格、最高服务水平(例如,物理基础设施或合同所允许的最大消耗费率)以及(在电力情况下)某个时段内的需量计费或对峰值消耗费率的收费来限定。负载/费率预测器622可以将经预测的负载 $\hat{\ell}_k$ 和公共事业单位费率存储在存储器610中和/或将预测负载 $\hat{\ell}_k$ 和公共事业单位费率提供给需求响应优化器630。

[0128] 仍然参照图6,存储器610被示出为包括激励估计器620。激励估计器620可以被配置用于对参与各种基于激励的需求响应(IBDR)计划的收入产生潜能进行估计。在一些实施例中,激励估计器620从激励计划602接收激励事件历史。激励事件历史可以包括来自激励计划602的过去的IBDR事件的历史。IBDR事件可以包括参与IBDR计划以便交换货币激励的来自激励计划602的邀请。激励事件历史可以指示过去的IBDR事件所发生的时间以及描述IBDR事件的属性(例如,结算价格、里程比、参与要求等)。激励估计器620可以使用激励事件历史来估计优化时段期间的IBDR事件概率。

[0129] 激励估计器620被示出为向需求响应优化器630提供激励预测。激励预测可以包括所估计的IBDR概率、所估计的预测要求、来自参与所估计的IBDR事件的收入的估计量和/或经预测的IBDR事件的任何其他属性。需求响应优化器630可以使用激励预测连同来自负载/费率预测器622的经预测的负载 $\hat{\ell}_k$ 和公共事业单位费率来确定优化时段内每个时间步长的控制决策的最优集合。

[0130] 仍然参照图6,存储器610被示出为包括需求响应优化器630。需求响应优化器630可以执行级联优化过程以便优化能量储存系统500的性能。例如,需求响应优化器630被示出为包括高级优化器632和低级优化器634。高级优化器632可以控制级联优化的外部(例如,子设施级)循环。高级优化器632可以确定预测窗口中的每个时间步长的控制决策的最优集合以便优化(例如,最大化)操作能量储存系统500的价值。高级优化器632所作出的控制决策可以包括例如发电机子设施520中的每一个的负载设定值、储存子设施530中的每一个的充电/放电速率、从公共事业单位510购买的每种类型的资源的资源购买量和/或出售

给能量购买者504的每种资源的量。换句话说,控制决策可以限定每个时间步长处的资源分配。高级优化器632所作出的控制决策是基于各个IBDR事件的激励事件概率和收入产生潜能的统计估计以及负载和费率预测。

[0131] 低级优化器634可以控制级联优化的内部(例如,设备级)循环。低级优化器634可以确定如何在由高级优化器632确定的负载设定值处最好地运行每个子设施。例如,低级优化器634可以确定子设施设备的各个装置的开/关状态和/或操作设定值,以便在满足子设施的资源分配设定值的同时优化(例如,最小化)每个子设施的能耗。在一些实施例中,低级优化器634从激励计划602接收实际激励事件。低级优化器634可以基于高级优化器632所设定的资源分配来判定是否参与激励事件。例如,如果已由高级优化器632将不充足的资源分配给特定的IBDR计划或者如果所分配的资源已被使用,则低级优化器634可以确定能量储存系统500将不参与IBDR计划并且可以忽略IBDR事件。然而,如果所需资源已分配给IBDR计划并且在储存子设施530中可用,则低级优化器634可以确定系统500将响应于IBDR事件而参与IBDR计划。在第15/247,885号美国专利申请中更详细地描述了需求响应优化器630所执行的级联优化过程。

[0132] 仍然参照图6,存储器610被示出为包括子设施控制模块628。子设施控制模块628可以存储关于子设施520至530的过去的操作状态、过去的操作设定值以及用于计算和/或实施控制参数的指令的历史数据。子设施控制模块628还可以接收、存储和/或传输关于子设施设备的单独装置的状况的数据,如操作效率、设备劣化、自最后服务起日期、使用寿命参数、状况等级或其他装置特定数据。子设施控制模块628可以经由通信接口636从子设施520至530和/或BMS 606接收数据。子设施控制模块628还可以从低级优化器634接收和存储开/关状态和操作设定值。

[0133] 数据和处理由需求响应优化器630产生,子设施控制模块628或能量储存控制器506的其他模块可以通过监测与报告应用626来访问(或被推送至所述监测与报告应用)。监测与报告应用626可以被配置用于生成可由用户(例如,系统工程师)观察和操纵的实时“系统健康”仪表板。例如,监测与报告应用626可以包括基于网络的监测应用,所述基于网络的监测应用具有用于向图形用户界面(GUI)的用户显示关键性能指标(KPI)或其他信息的若干GUI元件(例如,小窗口、仪表板控件、窗口等)。另外,GUI元件可以概述跨不同的建筑物(真实的或建模的)、不同的校园等中的能量储存系统的相对能量使用和强度。可以基于允许用户跨来自一个屏幕的一个或多个能量储存系统来访问性能的可用数据而生成和示出其他GUI元件或报告。用户界面或报告(或底层数据引擎)可以被配置用于按建筑物、建筑物类型、设备类型等来对操作状况进行聚集和分类。GUI元件可以包括允许用户在视觉上分析能量储存系统的装置的操作参数和功耗的图表或直方图。

[0134] 仍然参照图6,能量储存控制器506可以包括用于支持监测与报告应用626的一个或多个GUI服务器、网络服务612或GUI引擎614。在各个实施例中,应用626、网络服务612和GUI引擎614可被提供为能量储存控制器506外部的单独部件(例如,作为智能建筑物管理器的一部分)。能量储存控制器506可以被配置用于维持相关数据的详细历史数据库(例如,关系数据库、XML数据库等)并且包括连续地、频繁地或不频繁地查询、聚集、变换、搜索或以其他方式处理详细数据库中所维持的数据的计算机代码模块。能量储存控制器506可以被配置用于向其他数据库、表、XML文件或其他数据结构提供任何这种处理的结果以供例如外部

监测与报告应用进行进一步查询、计算或访问。

[0135] 能量储存控制器506被示出为包括配置工具616。配置工具616可以允许用户限定(例如,经由图形用户界面、经由提示驱动的“向导(wizard)”等)能量储存控制器506应如何对能量储存子系统中变化的状况作出反应。在示例性实施例中,配置工具616允许用户构建和存储可以跨多个能量储存系统装置、多个建筑物系统以及多个企业控制应用(例如,工作订单管理系统应用、实体资源规划应用等)的状况响应场景。例如,配置工具616可以为用户提供使用各种条件逻辑来组合数据(例如,来自子系统的数据、来自事件历史的数据)的能力。在不同的示例性实施例中,条件逻辑的范围可以从条件之间简单的逻辑运算符(例如,AND、OR、XOR等)变化到伪代码结构或复杂的编程语言功能(允许更复杂的交互、条件语句、循环等)。配置工具616可以呈现用于构造这种条件逻辑的用户界面。用户界面可以允许用户图形地限定策略和响应。在一些实施例中,用户界面可以允许用户选择预存储或预构造策略并适配其或使得其能够与其系统一起使用。

[0136] 规划工具

[0137] 现在参照图7,根据示例性实施例,示出了规划系统700的框图。出于规划、预算和/或设计考虑,规划系统700可以被配置用于使用需求响应优化器630作为规划工具702的一部分来模拟中央设施在预定时间段(例如,某天、某月、某周、某年等)内的操作。当在规划工具702中实施时,需求响应优化器630可以采用与参照图6所描述的方式类似的方式进行操作。例如,需求响应优化器630可以使用建筑物负载和公共事业单位费率来确定最优资源分配以便最小化模拟时段上的成本。然而,规划工具702可以不负责对建筑物管理系统或中央设施的实时控制。

[0138] 规划工具702可以被配置用于确定投资电池资产的收益以及与所述投资相关联的财务度量。这种财务度量可以包括例如内部回报率(IRR)、净现值(NPV)和/或静态回收期(SPP)。规划工具702还可以辅助用户确定产生最优财政度量(如最大NPV或最小SPP)的电池的大小。在一些实施例中,规划工具702允许用户指定电池大小并且在执行PBDR的同时自动确定来自参与所选IBDR计划的电池资产的收益,如参照图5所描述的。在一些实施例中,考虑到所选IBDR计划以及执行PBDR的要求,规划工具702被配置用于确定使SPP最小化的电池大小。在一些实施例中,考虑到所选IBDR计划以及执行PBDR的要求,规划工具702被配置用于确定使NPV最大化的电池大小。

[0139] 在规划工具702中,高级优化器632可以接收整个模拟时段内的规划负载和公共事业单位费率。所规划的负载和公共事业单位费率可以通过经由客户端装置722(例如,用户限定的、用户选择的等)从用户接收到的和/或从规划信息数据库726检索到的输入来限定。高级优化器632使用所规划的负载和公共事业单位费率结合来自低级优化器634的子设施曲线来确定模拟时段的一部分内的最优资源分配(即,最优调度日程)。

[0140] 高级优化器632优化资源分配的模拟时段的一部分可以由在时间范围处结束的预测窗口来限定。对于每次优化迭代,预测窗口向前移动并且调度日程的不再处于预测窗口中的部分被接受(例如,被存储或输出为模拟的结果)。负载和费率预测可以针对整个模拟进行预定义并且可以在每次迭代中不经受调节。然而,及时将预测窗口向前移动可以在预测窗口结束时为新添加的时间片引入附加规划信息(例如,所规划的负载和/或公共事业单位费率)。由于预测窗口的仅一小部分随每次迭代而改变,因此新规划信息可能对最优调度

日程并无重大影响。

[0141] 在一些实施例中,高级优化器632请求在模拟开始时来自低级优化器634的在模拟中使用的子设施曲线中的所有子设施曲线。由于所规划的负载和环境状况在整个模拟时段是已知的,因此高级优化器632可以检索模拟开始时相关子设施曲线中的所有子设施曲线。在一些实施例中,当将子设施曲线提供给高级优化器632时,低级优化器634生成将子设施生产映射到设备级生产和资源使用的功能。这些子设施到设备功能可用于基于模拟的结果来计算单独设备生产和资源使用(例如,在后处理模块中)。

[0142] 仍然参照图7,规划工具702被示出为包括通信接口704和处理电路706。通信接口704可以包括用于与各种系统、装置或网络进行数据通信的有线或无线接口(例如,插座、天线、发射器、接收器、收发器、电线端子等)。例如,通信接口704可以包括用于经由基于以太网的通信网络发送和接收数据的以太网卡和端口和/或用于经由无线通信网络进行通信的WiFi收发器。通信接口704可以被配置用于经由局域网或广域网(例如,互联网、建筑物WAN等)进行通信并且可以使用各种通信协议(例如,BACnet、IP、LON等)。

[0143] 通信接口704可以是配置用于促进规划工具702与各个外部系统或装置(例如,客户端装置722、结果数据库728、规划信息数据库726等)之间的电子数据通信的网络接口。例如,规划工具702可以经由通信接口704从客户端装置722和/或规划信息数据库726接收所规划的负载和公共事业单位费率。规划工具702可以使用通信接口704将模拟的结果输出到客户端装置722和/或将结果存储在结果数据库728中。

[0144] 仍然参照图7,处理电路706被示出为包括处理器710和存储器712。处理器710可以是通用或专用处理器、专用集成电路(ASIC)、一个或多个现场可编程门阵列(FPGA)、一组处理部件或其他合适的处理部件。处理器710可以被配置用于执行存储在存储器712中或从其他计算机可读介质(例如,CDROM、网络存储设备、远程服务器等)接收到的计算机代码或指令。

[0145] 存储器712可以包括用于存储数据和/或计算机代码以完成和/或促进本披露中所描述的各个过程的一个或多个装置(例如,存储器单元、存储器装置、存储装置等)。存储器712可以包括随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、硬盘驱动器存储设备、临时存储设备、非易失性存储器、闪存、光学存储器、或用于存储软件对象和/或计算机指令的任何其他合适的存储器。存储器712可以包括数据库组件、目标代码组件、脚本组件、或用于支持本披露中所描述的各种活动和信息结构的任何其他类型的信息结构。存储器712可以经由处理电路706可通信地连接至处理器710并且可以包括用于(例如,由处理器710)执行本文中所描述的一个或多个过程的计算机代码。

[0146] 仍然参照图7,存储器712被示出为包括GUI引擎716、网络服务714和配置工具718。在示例性实施例中,GUI引擎716包括被配置用于向用户提供图形用户界面以用于选择或限定模拟的规划信息(例如,所规划的负载、公共事业单位费率、环境状况等)的图形用户界面组件。网络服务714允许用户经由网络入口和/或从远程系统或装置(例如,企业控制应用)与规划工具702进行交互。

[0147] 配置工具718可以允许用户限定(例如,经由图形用户界面、经由提示驱动的“向导”等)模拟的各种参数,如子设施的数量和类型、每个子设施内的装置、子设施曲线、装置特定的效率曲线、模拟的持续时间、预测窗口的持续时间、每个时间步长的持续时间和/或

与模拟有关的各种其他类型的规划信息。配置工具718可以呈现用于构建模拟的用户界面。用户界面可以允许用户图形地限定模拟参数。在一些实施例中,用户界面允许用户选择预存储或预构造的模拟设施和/或规划信息(例如,来自规划信息数据库726的规划信息)并适配其或使得其能够用于模拟。

[0148] 仍然参照图7,存储器712被示出为包括需求响应优化器630。需求响应优化器630可以使用所规划的负载和公共事业单位费率来确定预测窗口内的最优资源分配。需求响应优化器630的操作可以与之前参照图6至图8所描述的操作相同或类似。对于优化过程的每次迭代,需求响应优化器630可以将预测窗口向前移动并将最优资源分配应用到模拟时段的不再处于预测窗口中的部分。需求响应优化器630可以使用预测窗口结束时的新规划信息来执行优化过程的下一次迭代。需求响应优化器630可以将所应用的资源分配输出到报告应用730以便向客户端装置722展示(例如,经由用户界面724)或存储在结果数据库728中。

[0149] 仍然参照图7,存储器712被示出为包括报告应用730。报告应用730可以从需求响应优化器630接收所优化的资源分配以及在一些实施例中与所优化的资源分配相关联的成本。报告应用730可以包括具有用于向图形用户界面(GUI)的用户显示关键性能指标(KPI)或其他信息的若干GUI元件(例如,小窗口、仪表板控件、窗口等)的基于网络的报告应用。另外,GUI元件可以跨各个设施、子设施等来概述相对能量使用和强度。可以基于允许用户访问模拟的结果的可用数据而生成和示出其他GUI元件或报告。用户界面或报告(或底层数据引擎)可以被配置用于对资源分配和与其相关联的成本进行聚集和分类并经由GUI将结果提供给用户。GUI元件可以包括允许用户在视觉上分析模拟结果的图表或直方图。图8中示出了可以由报告应用730生成的示例性输出。

[0150] 现在参照图8,根据示例性实施例,示出了展示对规划工具702的操作的多个图800。对于优化过程的每次迭代,规划工具702选择执行优化的优化时段(即,模拟时段的一部分)。例如,规划工具702可以选择优化时段802以用于第一次迭代。一旦已经确定了最优资源分配810,规划工具702就可以选择资源分配810的一部分818来发送给设施调度830。部分818可以是资源分配810的第一b时间步长。规划工具702可以及时将优化时段802向前移动,从而产生优化时段804。预测窗口移动的量可以与时间步长b的持续时间相对应。

[0151] 规划工具702可以重复优化时段804的优化过程以确定最优资源分配812。规划工具702可以选择资源分配812的一部分820发送给设施调度830。部分820可以是资源分配812的第一b时间步长。规划工具702然后可以及时将预测窗口向前移动,从而产生优化时段806。可以在每个随后的优化时段(例如,优化时段806,808等)重复此过程以生成更新后的资源分配(例如,资源分配814,816等)并选择每个资源分配的部分(例如,部分822,824)发送到设施调度830。设施调度830包括来自优化时段802至808中的每个优化时段的第一b个时间步长818至824。一旦针对整个模拟时段对最优资源分配进行编译,就可以将结果发送给报告应用730、结果数据库728和/或客户端装置722,如参照图7所描述的。

[0152] 资源分配优化

[0153] 现在参照图9A,根据示例性实施例,示出了更加详细地展示高级优化器632的框图。高级优化器632可以从负载/费率预测器622接收负载和费率预测,从激励估计器620接收激励预测并且从低级优化器634接收子设施曲线。高级优化器632可以根据负载和费率预

测、激励预测以及子设施曲线来确定跨能量储存系统500的最优资源分配。最优资源分配可以包括从公共事业单位510购买的每种资源的量、发电机子设施520的每种输入和输出资源的量、从储存子设施530中储存或取出的每种资源的量和/或出售给能量购买者504的每种资源的量。在一些实施例中,最优资源分配在满足建筑物或校园的经预测负载时使操作能量储存系统500的经济价值最大化。

[0154] 高级优化器632可以被配置用于优化对如电池108、电池306和/或电能储存子设施533等电池资产的利用。电池资产可以用于参与产生收入的IBDR计划并且用于降低能量成本以及多需量计费所产生的费用。高级优化器632可以使用优化算法来最优地分配电池资产(例如,通过最优地对电池进行充电和放电)以使其总价值最大化。在规划工具框架中,高级优化器632可以迭代地执行优化以便确定整个模拟时段(例如,整年)的最优电池资产分配,如参照图8所描述的。优化过程可以被扩展为包括经济负载需求响应(ELDR)并且可以处理多需量计费。高级优化器632可以在给定范围内在每个时间步长(例如,每小时)分配电池资产,从而使得能量和需求成本最小化并使频率调节(FR)收入最大化。下面详细地描述了高级优化器632的这些以及其他特征。

[0155] 成本函数

[0156] 仍然参照图9A,高级优化器632被示出为包括成本函数模块902。成本函数模块902可以生成表示系统在时间范围(例如,一个月、一年、一天等)内的总操作成本的成本函数或目标函数。系统可以包括之前所描述的系统(例如,频率响应优化系统100、光伏能量系统300、能量储存系统500、规划系统700等)中的任何系统或在其中实施高级优化器632的任何其他系统。在一些实施例中,成本函数一般可用以下等式表示:

$$[0157] \quad \arg \min_x J(x)$$

[0158] 其中, $J(x)$ 被如下定义:

$$[0159] \quad J(x) = \sum_{\text{源}} \sum_{\text{范围}} \text{成本}(\text{购买}_{\text{资源,时间}}) - \sum_{\text{激励范围}} \sum_{\text{范围}} \text{收入}(\text{预留量})$$

[0160] 之前等式中的第一项表示在优化范围内购买的所有资源的总成本。资源可以包括例如水、电力、天然气或从公共事业单位或其他外部实体购买的其他类型的资源。等式中的第二项表示在优化范围内通过参与激励计划(例如,IBDR计划)而产生的总收入。收入可以是基于为参与激励计划预留的电量。因而,总成本函数表示所购买的资源的总成本减去参与激励计划而产生的任何收入。

[0161] 高级优化器632可以优化受制于以下约束的成本函数 $J(x)$,这保证了在优化范围内所购买、产生、释放、消耗和请求的资源之间的平衡:

$$[0162] \quad \sum_{\text{源}} \text{购买}_{\text{资源,时间}} + \sum_{\text{子设施}} \text{产生}(x_{\text{内部,时间}}, x_{\text{外部,时间}}, v_{\text{不受控,时间}}) - \sum_{\text{子设施}} \text{消耗}(x_{\text{内部,时间}}, x_{\text{外部,时间}}, v_{\text{不受控,时间}}) + \sum_{\text{储存}} \text{释放}_{\text{资源}}(x_{\text{内部,时间}}, x_{\text{外部,时间}}) - \sum_{\text{汇点}} \text{请求}_{\text{资源}} = 0 \quad \forall \text{资源}, \forall \text{时间} \in \text{范围}$$

[0163] 其中, $x_{\text{内部,时间}}$ 和 $x_{\text{外部,时间}}$ 是内部和外部决策变量并且 $v_{\text{不受控,时间}}$ 包括不受控变量。

[0164] 之前等式中的第一项表示在优化范围内从每个源(例如,公共事业单位510)购买的每种资源(例如,电力、水、天然气等)的总量。第二项表示在优化范围内系统(例如,发电

机子设施520)内的每种资源的总消耗。第三项表示在优化范围内从储存设备(例如,储存子设施530)释放的每种资源的总量。正值指示从储存设备释放资源,而负值指示资源被充入或储存。第四项表示在优化范围内各种资源汇点(例如,建筑物502、能量购买者504或其他资源消费者)所请求的每种资源的总量。因而,这个约束确保了,从储存设备购买、产生或释放的每种资源的总量等于所消费、储存或提供给资源汇点的每种资源的量。

[0165] 在一些实施例中,成本函数模块902将一种或多种资源的购买成本分为多个项。例如,成本函数模块902可以将资源的购买成本分为与所购买的资源的单位成本(例如,电为\$/kWh,水为\$/升等)相对应的第一项以及与一个或多个需量计费相对应的第二项。需量计费是对资源消耗的单独收费,这取决于给定时段(即,需量计费时段)内的最大或峰值资源消耗。成本函数模块902可以用以下等式来表达成本函数:

$$[0166] \quad J(x) = \sum_{s \in \text{源}} \left[\sum_{q \in \text{需求}} w_{\text{需求},s,q} r_{\text{需求},s,q} \max_{i \in \text{需求}_{s,q}} (\text{购买}_{s,i}) + \sum_{\text{范围}} r_{s,i} \text{购买}_{s,i} \right] - \sum_{\text{激励范围}} \text{收入}(\text{预留量})$$

[0167] 其中, $r_{\text{需求},s,q}$ 是与需量计费时段内源s所提供的资源的峰值需求相关联的第q个需量计费, $w_{\text{需求},s,q}$ 是与源s相关联的第q个需量计费的加权调节,并且 $\max()$ 项指示在需量计费时段期间的任何时间步长i处从源s购买的资源的最大量。变量 $r_{s,i}$ 指示从源s购买的资源的单位成本,并且变量 $\text{购买}_{s,i}$ 指示在优化时段的第i个时间步长期间从源s购买的资源的量。

[0168] 在一些实施例中,在其中实施高级优化器632的能量系统包括被配置用于储存和释放电力的电池资产(例如,一个或多个电池)。如果电池资产是唯一类型的能量储存,则成本函数模块902可以将成本函数J(x)简化为以下等式:

$$[0169] \quad J(x) = - \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{e_i} P_{\text{电池}_i} - \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{FR_i} P_{FR_i} + \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{s_i} |P_{\text{电池}_i} - P_{\text{电池}_{i-1}}| + w_d r_d \max_i (-P_{\text{电池}_i} + \text{电负载}_i)$$

[0170] 其中,h是优化范围的持续时间, $P_{\text{电池}_i}$ 是用于减少从电力公共事业单位购买的电量的在优化范围的第i个时间步长期间从电池资产释放的电量(例如,kW), r_{e_i} 是在时间步长i处的电价(例如,\$/kWh), $P_{FR,i}$ 是在时间步长i期间致力于频率调节参与的电池电力(例如,kW), $r_{FR,i}$ 是在时间步长i期间参与频率调节的激励费率(例如,\$/kWh), r_d 是与相应的需量计费时段期间的最大电力消耗相关联的适用需量计费(例如,\$/kWh), w_d 是范围内需量计费的加权调节,并且 $\max()$ 项选择在适用需量计费时段的任何时间步长i期间从电力公共事业单位购买的最大电量(例如,kW)。

[0171] 在成本函数J(x)的之前表达式中,第一项表示为满足设施的电力需求而使用电池电力所产生的相对于当从电力公共事业单位购买电时将会产生的成本的成本节约。第二项表示从参与频率调节计划获得的收入量。第三项表示被收取用于在连续的时间步长之间切换电池电力 $P_{\text{电池}}$ 的切换罚款。第四项表示与从电力公共事业单位购买的最大电量相关联的

需量计费。所购买的电量可以等于在时间步长 i 处设施的电负载 $P_{电负载_i}$ (即,所需要的总电量)与在时间步长 i 处从电池资产释放的电量 $P_{电池_i}$ 的之间的差。在规划工具框架中,所述范围上的电负载的历史数据可被提供为已知输入。在操作模式中,电负载可针对优化时段的每个时间步长进行预测。

[0172] 优化约束

[0173] 仍然参照图9A,高级优化器632被示出为包括电力约束模块904。电力约束模块904可以被配置用于对目标函数 $J(x)$ 施加一个或多个电力约束。在一些实施例中,电力约束模块904生成并施加以下约束:

$$P_{电池_i} + P_{FR_i} \leq P_{有效} \quad [0174]$$

$$-P_{电池_i} + P_{FR_i} \leq P_{有效} \quad [0175]$$

$$P_{电池_i} + P_{FR_i} \leq P_{电负载_i} \quad [0176]$$

其中, $P_{电池_i}$ 是用于满足电力需求并降低需量计费的在时间步长 i 处从电池释放的电量, P_{FR_i} 是在时间步长 i 处致力于频率调节的电池电量, $P_{有效}$ 是可用的有效功率(例如,可对电池进行充电或放电的最大速率),并且 $P_{电负载_i}$ 是在时间步长 i 处的总电力需求。

[0177] 前两个电力约束确保不以超过最大电池充电/放电速率 $P_{有效}$ 的速率对电池进行充电或放电。如果系统包括光伏(PV)发电,则可用的有效功率 $P_{有效}$ 可以计算如下:

$$P_{有效} = P_{额定} - P_{PV加固预留} \quad [0178]$$

其中, $P_{额定}$ 是电池的额定容量,并且 $P_{PV加固预留}$ 是PV加固预留功率。第三个电力约束确保不将储存在电池中的能量出售或出口给能量网。在一些实施例中,如果将能量卖回给能量网是系统的期望特征或行为,则电力约束模块904可以移除第三个电力约束。

[0180] 仍然参照图9A,高级优化器632被示出为包括容量约束模块906。容量约束模块906可以被配置用于对目标函数 $J(x)$ 施加一个或多个容量约束。容量约束可用于使在每个时间步长期间充电或放电的电池电力 $P_{电池}$ 与电池的容量和电量状态(SOC)相关。容量约束可以确保将电池的SOC维持在可接受的下限和上限内并且可将足够的电池容量用于频率调节。在一些实施例中,下限和上限是基于在每个时间步长 i 期间预留致力于频率调节的电量 P_{FR_i} 所需的电池容量。

[0181] 在一些实施例中,容量约束模块906生成两个容量约束集合。一个容量约束集合可以在每个时间步长 i 结束时应用到边界条件,而另一个容量约束集合可以在下一时间步长 $i+1$ 开始时应用到边界条件。例如,如果电池容量的第一量是为时间步长 i 期间的频率调节预留的并且电池容量的第二量是为时间步长 $i+1$ 期间的频率调节预留的,则时间步长 i 与 $i+1$ 之间的边界点可能需要满足对时间步长 i 和时间步长 $i+1$ 两者的容量约束。这确保,针对在当前时间步长 i 和下一时间步长 $i+1$ 期间致力于频率调节的电力而作出的决策表示电池的SOC的持续改变。

[0182] 在一些实施例中,容量约束模块906生成以下容量约束:

$$[0183] \quad \begin{cases} C_a - \sum_{n=k}^i P_{\text{电池}_n} \leq C_{\text{有效}} - C_{FR} P_{FR_i} \\ C_a - \sum_{n=k}^i P_{\text{电池}_n} \geq C_{FR} P_{FR_i} \end{cases} \quad \forall i = k \dots k+h-1$$

$$[0184] \quad \begin{cases} C_a - \sum_{n=k}^i P_{\text{电池}_n} \leq C_{\text{有效}} - C_{FR} P_{FR_{i+1}} \\ C_a - \sum_{n=k}^i P_{\text{电池}_n} \geq C_{FR} P_{FR_{i+1}} \end{cases} \quad \forall i = k \dots k+h-2$$

[0185] 其中, C_a 是可变电池容量 (例如, kWh), C_{FR} 是将致力于频率调节的电池电量 P_{FR} 转化成预留所需的能量的量的频率调节预留容量 (例如, kWh/kW), 并且 $C_{\text{有效}}$ 是电池的有效容量。

[0186] 第一约束集合确保将每个时间步长 i 结束时的电池容量 (即, 可用容量 C_a 减去通过时间步长 i 释放的电池电力) 维持在时间步长 i 的容量下限 $C_{FR} P_{FR_i}$ 与容量上限 $C_{\text{有效}} - C_{FR} P_{FR_i}$ 之间。容量下限 $C_{FR} P_{FR_i}$ 表示为时间步长 i 期间的频率调节预留所需要的最小容量 P_{FR_i} , 而容量上限 $C_{\text{有效}} - C_{FR} P_{FR_i}$ 表示为时间步长 i 期间的频率调节预留所需要的最大容量 P_{FR_i} 。类似地, 第二约束集合确保将每个时间步长 i 结束时的电池容量 (即, 可用容量 C_a 减去通过时间步长 i 释放的电池电力) 维持在时间步长 $i+1$ 的容量下限 $C_{FR} P_{FR_{i+1}}$ 与容量上限 $C_{\text{有效}} - C_{FR} P_{FR_{i+1}}$ 之间。容量下限 $C_{FR} P_{FR_{i+1}}$ 表示为时间步长 $i+1$ 期间的频率调节预留所需要的最小容量 $P_{FR_{i+1}}$, 而容量上限 $C_{\text{有效}} - C_{FR} P_{FR_{i+1}}$ 表示为时间步长 $i+1$ 期间的频率调节预留所需要的最大容量 $P_{FR_{i+1}}$ 。

[0187] 在一些实施例中, 容量约束模块 906 将电池的有效容量 $C_{\text{有效}}$ 计算为电池的额定容量的百分比。例如, 如果频率调节和光伏发电均被启动并且 SOC 控制裕量是非零的, 则容量约束模块 906 可以使用以下等式来计算电池的有效容量 $C_{\text{有效}}$:

$$[0188] \quad C_{\text{有效}} = 91 - C_{FR} - 2C_{\text{socCM}} C_{\text{额定}} - C_{\text{PV加固预留}}$$

[0189] 其中, C_{socCM} 是控制裕量, 并且 $C_{\text{PV加固预留}}$ 是为光伏加固预留的容量。

[0190] 仍然参照图 9A, 高级优化器 632 被示出为包括切换约束模块 908。切换约束模块 908 可以被配置用于对成本函数 $J(x)$ 施加一个或多个切换约束。如之前所描述的, 成本函数 $J(x)$ 可以包括以下切换项:

$$[0191] \quad \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{s_i} |P_{\text{电池}} - P_{\text{电池}_{i-1}}|$$

[0192] 所述切换项用作在连续的时间步长 i 与 $i-1$ 之间切换电池功率 $P_{\text{电池}}$ 的罚款。值得注意的是, 作为绝对值函数的结果, 切换项是非线性的。

[0193] 切换约束模块 908 可以采用线性格式施加表示非线性切换项的约束。例如, 切换约

束模块908可以引入辅助切换变量 s_i 并将所述辅助切换变量约束为大于在时间步长 i 处的电池电力 $P_{\text{电池}_i}$ 与在时间步长 $i-1$ 处的电池电力 $P_{\text{电池}_{i-1}}$ 之间的差,如以下等式中所示出的:

$$\begin{aligned} s_i &> P_{\text{电池}_i} - P_{\text{电池}_{i-1}} \\ s_i &> P_{\text{电池}_{i-1}} - P_{\text{电池}_i} \end{aligned} \quad \forall i = k \dots k+h-1$$

[0195] 切换约束模块908可以用以下经线性化的项来代替成本函数 $J(x)$ 中的非线性切换项:

$$\sum_{i=k}^{k+h-1} r_{s_i} s_i$$

[0197] 所述经线性化的项可使用受制于对辅助切换变量 s_i 的约束的各种线性优化技术(例如,线性编程)中的任何线性优化技术来进行优化。

[0198] 需量计费合并

[0199] 现在参照图9A和图9B,高级优化器632被示出为包括需量计费模块910。需量计费模块910可以被配置用于修改成本函数 $J(x)$ 和优化约束来处理一个或多个需量计费。如之前所描述的,需量计费是由公共事业单位510基于在各需量计费时段期间来自公共事业单位510的资源的峰值消耗(即,在适用的需量计费时段的任何时间步长期间从公共事业单位购买的资源的峰值量)而收取的费用。例如,电力公共事业单位可以定义一个或多个需量计费时段,并且可以基于在每个需量计费时段期间的峰值电力消耗来收取单独的需量计费。电能储存设备可以通过在能耗低时将电力储存在电池中并且在能耗高时从电池释放所储存的电力来帮助减少峰值消耗,由此减少在需量计费时段的任何时间步长期间从公共事业单位购买的峰值电力。

[0200] 在一些实例中,从公共事业单位510购买的资源中的一种或多种资源受制于一个或多个需量计费。存在多种类型的潜在需量计费,因为存在不同类型的能量费率结构。最常见的能量费率结构为固定定价、分时计价(TOU)和实时定价(RTP)。每种需量计费可以与需量计费有效的需量计费时段相关联。需量计费时段可以与彼此和/或与优化时段部分地或完全地重叠。需量计费时段可以包括相对长的时段(例如,每月、每季节、每年等)或相对短的时段(例如,每天、每小时等)。这些时段中的每个时段可以被分成包括非高峰、部分高峰和/或高峰期的若干子时段。一些需量计费时段是连续的(例如,开始于2017年1月1日并且结束于2017年1月31日),而其他需量计费时段是不连续的(例如,某月的每天从上午11:00到下午1:00)。

[0201] 在给定优化时段内,一些需量计费可以在优化时段内发生的一些时间步长期间有效并且在优化时段期间发生的其他时间步长期间无效。一些需量计费可以在优化时段内发生的所有时间步长内有效。一些需量计费可以适用于在优化时段期间发生的一些时间步长以及在优化时段之外(例如,在优化时段之前或之后)发生的其他时间步长。在一些实施例中,需量计费时段的持续时间显著不同于优化时段的持续时间。

[0202] 有利地,需量计费模块910可以被配置用于在由高级优化器632执行的高级优化过程中处理需量计费。在一些实施例中,需量计费模块910使用需量计费掩码和需量计费费率加权因子将需量计费合并到优化问题和成本函数 $J(x)$ 中。每个需量计费掩码可以与特定需量计费相对应并且可以指示相应需量计费有效的时间步长和/或需量计费无效的时间步

长。每个费率加权因子还可以与特定需量计费相对应并且可以将相应需量计费费率缩放到优化时段的时间尺度。

[0203] 如以上所描述的,成本函数 $J(x)$ 的需量计费项可以表示为:

$$[0204] \quad J(x) = \dots \sum_{s \in \text{源}q} \sum_{q \in \text{需求}_s} w_{\text{需求}_s, q} r_{\text{需求}_s, q} \max_{i \in \text{需求}_s, q} (\text{购买}_{s, i}) \dots$$

[0205] 其中, $\max()$ 函数选择在优化时段期间发生的任何时间步长 i 期间从源 s 购买的资源的最大量。然而,与需量计费 q 相关联的需量计费时段可能不覆盖在优化时段期间发生的时间步长中的所有时间步长。为了仅在需量计费 q 有效的时间步长期间应用需量计费 q ,需量计费模块910可以将需量计费掩码添加到需量计费项,如以下等式中示出的:

$$[0206] \quad J(x) = \dots \sum_{s \in \text{源}q} \sum_{q \in \text{需求}_s} w_{\text{需求}_s, q} r_{\text{需求}_s, q} \max_{i \in \text{需求}_s, q} (g_{s, q, i} \text{购买}_{s, i}) \dots$$

[0207] 其中, $g_{s, q, i}$ 为需量计费掩码的元素。

[0208] 具体地,参照图9B,需量计费模块910被示出为包括需量计费掩码发生器942。在一些实施例中,需量计费掩码发生器942从公共事业单位510接收关于需量计费时段的信息。这种信息可以包括对每个需量计费时段是何时开始、结束和/或有效的指示。需量计费掩码发生器942可以被配置用于基于从公共事业单位510接收到的需量计费时段信息来生成每个需量计费 q 的需量计费掩码。每个需量计费掩码可以指示相应需量计费有效的时间步长。

[0209] 由需量计费掩码发生器942生成的每个需量计费掩码可以是逻辑向量,所述逻辑向量包括在优化时段期间发生的每个时间步长 i 的元素 $g_{s, q, i}$ 。需量计费掩码的每个元素 $g_{s, q, i}$ 可以包括二进制值(例如,一或零),所述二进制值指示源 s 的需量计费 q 在优化时段的相应时间步长 i 期间是否有效。例如,元素 $g_{s, q, i}$ 可以在需量计费 q 在时间步长 i 期间有效时具有值一(即, $g_{s, q, i} = 1$)并且在需量计费 q 在时间步长 i 期间无效时具有值零(即, $g_{s, q, i} = 0$)。在以下等式中示出了需量计费掩码的示例:

$$[0210] \quad g_{s, q} = [0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 1]^T$$

[0211] 其中, $g_{s, q, 1}$ 、 $g_{s, q, 2}$ 、 $g_{s, q, 3}$ 、 $g_{s, q, 8}$ 、 $g_{s, q, 9}$ 和 $g_{s, q, 10}$ 具有值零,而 $g_{s, q, 4}$ 、 $g_{s, q, 5}$ 、 $g_{s, q, 6}$ 、 $g_{s, q, 7}$ 、 $g_{s, q, 11}$ 和 $g_{s, q, 12}$ 具有值一。这指示需量计费 q 在时间步长 $i = 1, 2, 3, 8, 9, 10$ 期间无效(即, $g_{s, q, i} = 0 \forall i = 1, 2, 3, 8, 9, 10$)并且在时间步长 $i = 4, 5, 6, 7, 11, 12$ 期间有效(即, $g_{s, q, i} = 1 \forall i = 4, 5, 6, 7, 11, 12$)。因此, $\max()$ 函数内的项 $g_{s, q, i} \text{购买}_{s, i}$ 可以在需量计费 q 无效的所有时间步长期间具有值零。

[0212] 在一些实施例中,需量计费模块910包括最大需量选择器940。最大需量选择器940可以被配置用于确定在每个需量计费时段期间来自每个源 s 的最大购买。在一些实施例中,最大需量选择器940从需量计费掩码发生器942接收需量计费掩码。最大需量选择器940可以使用需量计费掩码来确定期间每种需量计费有效的时间步长。最大需量选择器940还可以从负载/速率预测器622接收每个时间步长的负载预测和/或速率预测。在一些实施例中,最大需量选择器940使用负载预测来预测每个时间步长期间的资源购买。最大需量选择器940可以使用所预测的资源购买量结合需量计费掩码来选择性地遮蔽在相应需量计费时段之外发生的资源购买。

[0213] 在一些实施例中,最大需量选择器940将每个资源购买量乘以相应需量计费掩码

的元素(例如,值一或零)来选择性地仅遮蔽在适用的需量计费时段之外发生的资源购买。对于剩余的未遮蔽资源购买(例如,在应用需量计费掩码时乘以值一的那些资源购买),最大需量选择器940可以选择最大值。这使得最大需量选择器940选择来自源s的仅在需量计费q有效的时间步长期间发生的最大购买。在一些实施例中,最大需量选择器940向需量计费项发生器950提供在每个需量计费时段期间的最大资源购买以用于生成成本函数J(x)中的需量计费项。在其他实施例中,最大需量选择器940向需量计费约束模块946提供在每个需量计费时段期间的最大资源购买以用于生成并约束辅助需量计费变量。以下详细描述了这两个选项。

[0214] 仍然参照图9B,需量计费模块910被示出为包括加权因子发生器948。在一些实施例中,加权因子发生器948计算成本函数J(x)中的每种需量计费q的加权因子 $w_{需求,s,q}$ 。加权因子 $w_{需求,s,q}$ 可以是在优化时段期间相应需量计费q为有效的时间步长的数量与在优化时段结束之后的剩余需量计费时段(如果有)内相应需量计费q为有效的时间步长的数量之比。例如,加权因子发生器948可以使用以下等式计算加权因子 $w_{需求,s,q}$:

$$[0215] \quad w_{需求,s,q} = \frac{\sum_{i=k}^{k+h-1} g_{s,q,i}}{\sum_{i=k+h}^{时段_结束} g_{s,q,i}}$$

[0216] 其中,分子是在优化时段内需量计费q有效的时间步长(即,从时间步长k到时间步长k+h-1)的数量,并且分母是在优化时段之后发生的需量计费时段的一部分内需量计费q有效的时间步长(即,从时间步长k+h到需量计费时段结束)的数量。可以将加权因子提供给需量计费项发生器950以用于生成成本函数J(x)中的需量计费项。

[0217] 在一些实施例中,需量计费模块910包括速率因子发生器944。速率因子发生器944可以被配置用于生成成本函数J(x)中的每种需量计费q的速率因子 $r_{d,q}$ 。每个速率因子 $r_{d,q}$ 可以指示与相应需量计费q相关联的需量计费速率。例如,速率因子 $r_{d,q}$ 可以定义从公共事业单位510购买的电力的单位成本(例如,\$/kW)、从公共事业单位510购买的水的单位成本(例如,\$/加仑)等等。每个速率因子 $r_{d,q}$ 可以乘以在适用的需量计费时段期间的最大资源购买来确定相应需量计费q的总成本。可以将速率因子提供给需量计费项发生器950以用于生成成本函数J(x)中的需量计费项。

[0218] 仍然参照图9B,需量计费模块910被示出为包括需量计费项发生器950。需量计费项发生器950可以被配置用于生成将被添加至成本函数J(x)的一个或多需量计费项。以下示例展示了需量计费项发生器950可以如何将多需量计费合并到成本函数J(x)中。在此示例中,考虑具有适用于电力源的多需量计费(即, $q=1 \cdots N$,其中,N是需量计费的总数)的单一电力源(例如,电网)。系统包括电池资产,所述电池资产可以通过在各个时间步长期间对电池充电或放电来在优化时段内被分配。对电池充电增加从电网购买的电量,而对电池放电减少从电网购买的电量。

[0219] 需量计费项发生器950可以修改成本函数J(x)以便处理N个需量计费,如以下等式中所示出的:

$$\begin{aligned}
 J(x) = & \dots + w_{d_1} r_{d_1} \max_i \left(g_{1_i} \left(-P_{\text{电池}_i} + \text{电负载}_i \right) \right) + \dots + \\
 [0220] \quad & w_{d_q} r_{d_q} \max_i \left(g_{q_i} \left(-P_{\text{电池}_i} + \text{电负载}_i \right) \right) + \dots + \\
 & w_{d_N} r_{d_N} \max_i \left(g_{N_i} \left(-P_{\text{电池}_i} + \text{电负载}_i \right) \right)
 \end{aligned}$$

[0221] 其中,项 $-P_{\text{电池}_i} + \text{电负载}_i$ 表示在时间步长 i 期间从电网购买的电力的总量(即,总电力负载 电负载_i 减去从电池释放的电力 $P_{\text{电池}_i}$)。可以通过包括针对 N 个需量计费中的每一个的单独 $\max()$ 函数来在成本函数 $J(x)$ 中单独处理每个需量计费 $q=1 \dots N$ 。参数 r_{d_q} 指示与第 q 个需量计费相关联的需量计费速率(例如,\$/kW),并且加权因子 w_{d_q} 指示应用于第 q 个需量计费的权重。

[0222] 需量计费项发生器950可以使用相应需量计费的需量计费掩码的元素 g_{q_i} 来增大每个 $\max()$ 函数。每个需量计费掩码可以是具有二进制值的逻辑向量,所述逻辑向量指示在优化时段的每个时间步长 i 处相应需量计费有效还是无效。因此,每个 $\max()$ 函数可以选择仅在相应需量计费有效的时间步长期间的最大电力购买。每个 $\max()$ 函数可以乘以相应需量计费速率 r_{d_q} 和相应需量计费加权因子 w_{d_q} 来确定由优化时段持续时间内的电池分配 $P_{\text{电池}}$ 所产生的总需量计费。

[0223] 在一些实施例中,需量计费项发生器950通过针对每个需量计费 q 引入辅助变量 d_q 来使成本函数 $J(x)$ 的需量计费项线性化。在先前示例的情况下,这将导致 N 个辅助变量 $d_1 \dots d_N$ 被引入为成本函数 $J(x)$ 中的决策变量。需量计费项发生器950可以将成本函数 $J(x)$ 修改为包括线性化的需量计费项,如以下等式中所示出的:

$$[0224] \quad J(x) = \dots + w_{d_1} r_{d_1} d_1 + \dots + w_{d_q} r_{d_q} d_q + \dots + w_{d_N} r_{d_N} d_N$$

[0225] 在一些实施例中,需量计费模块910包括需量计费约束发生器946。需量计费约束发生器946可以对辅助需量计费变量 $d_1 \dots d_N$ 施加以下约束来确保每个辅助需量计费变量表示在适用的需量计费时段期间从电力公共事业单位购买的电力的最大量:

$$\begin{aligned}
 [0226] \quad d_1 & \geq g_{1_i} \left(-P_{\text{电池}_i} + \text{电负载}_i \right) \quad \forall i = k \dots k + h - 1, g_{1_i} \neq 0 \\
 d_1 & \geq 0 \quad \vdots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [0227] \quad d_q & \geq g_{q_i} \left(-P_{\text{电池}_i} + \text{电负载}_i \right) \quad \forall i = k \dots k + h - 1, g_{q_i} \neq 0 \\
 d_q & \geq 0 \quad \vdots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [0228] \quad d_N & \geq g_{N_i} \left(-P_{\text{电池}_i} + \text{电负载}_i \right) \quad \forall i = k \dots k + h - 1, g_{N_i} \neq 0 \\
 d_N & \geq 0
 \end{aligned}$$

[0229] 在一些实施例中,与每个需量计费 q 相对应的约束的数量取决于有多少在优化时段期间需量计费 q 有效的时间步长。例如,需量计费 q 的约束的数量可以等于需量计费掩码 g_q 的非零元素的数量。此外,优化的每次迭代处的辅助需量计费变量 d_q 的值可以充当下一次

迭代处的辅助需量计费变量 d_q 的值的下界。需量计费约束发生器946可以向需量计费项发生器950提供辅助需量计费变量。需量计费约束可以用于约束由高级优化器632执行的优化中的辅助需量计费变量。

[0230] 考虑以下多需量计费结构的示例。在此示例中,电力公共事业单位收取三个每月需量计费。第一需量计费为适用于整个月内的任何时间的每月全时需量计费15.86\$/kWh。第二需量计费为适用于每天从12:00到18:00的每月高峰期需量计费1.56\$/kWh。第三需量计费为适用于每天从9:00到12:00以及从18:00到22:00的每月部分高峰期需量计费0.53\$/kWh。

[0231] 对于一天的优化时段和一小时的时间步长(即, $i=1\cdots 24$),需量计费模块910可以引入三个辅助需量计费变量。第一辅助需量计费变量 d_1 与每月全时需量计费相对应;第二辅助需量计费变量 d_2 与每月高峰期需量计费相对应;并且第三辅助需量计费变量 d_3 与每月部分高峰期需量计费相对应。需量计费模块910可以使用上述不等式约束来将每个辅助需量计费变量约束为大于或等于相应需量计费有效的小时期间的最大电力购买。

[0232] 需量计费模块910可以生成三个需量计费(即, $q=1\cdots 3$)中的每一个的需量计费掩码 g_q ,其中, g_q 包括优化时段的每个时间步长的元素(即, $g_q = [g_{q_1} \cdots g_{q_{24}}]$)。三个需量计费掩码可以如下定义:

$$[0233] \quad g_{1_i} = 1 \quad \forall i = 1 \cdots 24$$

$$[0234] \quad g_{2_i} = 1 \quad \forall i = 12 \cdots 18$$

$$[0235] \quad g_{3_i} = 1 \quad \forall i = 9 \cdots 12, 18 \cdots 22$$

[0236] 其中,需量计费掩码的所有其他元素等于零。在此示例中,明显的是多于一个需量计费约束将在与多需量计费时段重叠的小时段期间有效。而且,如之前所描述的,每个需量计费在优化时段内的权重可以基于需量计费有效的小时数而变化。

[0237] 在一些实施例中,当将多需量计费合并到成本函数 $J(x)$ 和优化约束中时,需量计费模块910考虑若干不同需量计费结构。需量计费结构可以从一个公共事业单位变化到另一个公共事业单位,或者公共事业单位可以提供若干需量计费选项。为了将多需量计费合并到优化框架内,可以如之前描述的定义通用框架。需量计费模块910可以将任何需量计费结构转换成此框架。例如,需量计费模块910可以通过速率、需量计费时段开始、需量计费时段结束和有效小时来表征每个需量计费。有利地,这允许需量计费模块910将多需量计费合并到通用格式中。

[0238] 以下是需量计费模块910可以如何将多需量计费合并到成本函数 $J(x)$ 中的另一个示例。例如,考虑具有全时、高峰期、部分高峰期和非高峰期的每月需量计费。在这种情况下,存在四种需量计费结构,其中,每个需量计费由十二个每月速率、十二个需量计费时段开始(例如,每月的开始)、十二个需量计费时段结束(例如,每月的结束)以及有效小时来表征。有效小时是逻辑向量,在所述逻辑向量中,一年内需量计费有效的小时被设置为一。当运行给定范围内的优化时,需量计费模块910可以使用有效小时掩码、相关时段和相应速率来实现适用的需量计费。

[0239] 在每年需量计费的情况下,需量计费模块910可以将需量计费时段开始和时段结束设置为一年的开始和结束。对于每年需量计费,需量计费模块910可以应用单一的每年速

率。有效小时需量计费掩码可以表示需量计费有效的小时。对于每年需量计费,如果存在全时、高峰期、部分高峰期和/或非高峰期,则这转换成具有同一时段开始和结束但是不同有效小时和不同速率的最多四个每年需量计费。

[0240] 在每季节需量计费(例如,在所指示的季节时段内确定最大峰值的需量计费)的情况下,需量计费模块910可以将需量计费表示为每年需量计费。需量计费模块910可以将需量计费时段开始和结束设置为一年的开始和结束。需量计费模块910可以在属于季节的小时期间将有效小时设置为一,并且在其他情况下设置为零。对于每季节需量计费,如果存在全时、高峰期、部分高峰期和/或非高峰期,则这转换成具有同一时段开始和结束但是不同有效小时和不同速率的最多四个每季节需量计费。

[0241] 在当前月的最大值的平均值以及前十一个月的最大值的平均值的情况下,需量计费模块910可以将需量计费结构转换成每月需量计费和每年需量计费。每月需量计费的速率可以是给定每月速率的一半,并且每年速率可以是给定每月速率之和除以二。

[0242] 激励计划合并

[0243] 再次参照图9A,高级优化器632被示出为包括激励计划模块912。激励计划模块912可以修改优化问题来处理参与基于激励的需求响应(IBDR)计划所产生的收入。IBDR计划可以包括任何类型的基于激励的计划,所述基于激励的计划提供作为交换资源(例如,电力)的收入或者降低对这种资源的需求。例如,能量储存系统500可以作为频率响应计划(例如,PJM频率响应)的一部分向能量网或独立服务运营商提供电力或者向同步的预留市场提供电力。在频率响应计划中,参与者与供电商签订合同以通过跟踪所供应的信号来维持可以从能量网供应或移除的预留电力容量。根据维持预留所需的电力容量的量来向参与者支付。在其他类型的IBDR计划中,作为减载计划的一部分,能量储存系统500可以减少其对来自公共事业单位的资源的需求。设想能量储存系统500可以参与任何数量和/或类型的IBDR计划。

[0244] 在一些实施例中,激励计划模块912将成本函数 $J(x)$ 修改为包括由参与经济负载需求响应(ELDR)计划而产生的收入。ELDR是一种类型的IBDR计划并且类似于频率调节。在ELDR中,目标是使由计划产生的收入最大化,同时使用电池来参与其他计划并执行需求管理和能量成本降低。为了处理ELDR计划参与,激励计划模块912可以将成本函数 $J(x)$ 修改为包括以下项:

$$[0245] \quad \min_{b_i, P_{\text{电池}_i}} \left(- \sum_{i=k}^{k+h-1} b_i r_{ELDR_i} \left(\text{adjCBL}_i - \left(\text{电负载}_i - P_{\text{电池}_i} \right) \right) \right)$$

[0246] 其中, b_i 是指示是否在时间步长 i 期间参与ELDR计划的二进制决策变量, r_{ELDR_i} 是补偿参与的ELDR激励速率,并且 adjCBL_i 是对基线负载的对称附加调节(SAA)。先前表达式可以被重写为:

$$[0247] \quad \min_{b_i, P_{\text{电池}_i}} \left(- \sum_{i=k}^{k+h-1} b_i r_{ELDR_i} \left(\sum_{l=1}^4 \frac{e_{li}}{4} + \sum_{p=m-4}^{m-2} \frac{1}{3} \left(\text{电负载}_p - P_{\text{电池}_p} - \sum_{l=1}^4 \frac{e_{lp}}{4} \right) - \left(\text{电负载}_i - P_{\text{电池}_i} \right) \right) \right)$$

[0248] 其中, e_{1i} 和 e_{1p} 是操作日的第1小时的电负载。

[0249] 在一些实施例中, 激励计划模块912将对ELDR的整合处理成作为具有两个乘法决策变量的双线性问题的优化问题。为了将成本函数 $J(x)$ 线性化并且将EPDR问题定制成优化框架, 可以作出若干假设。例如, 激励计划模块912可以假设ELDR参与仅在实时市场中、平衡操作预留费用和整体支付被忽略、在范围内使用日前价格、实时价格用于在优化算法作出决策之后计算来自ELDR的总收入并且提前作出参与ELDR的决策并将其传送至优化算法, 其中, 基于所述优化算法分配电池资产。

[0250] 在一些实施例中, 激励计划模块912如下所示计算参与向量 b_i :

$$[0251] \quad b_i = \begin{cases} 1 & \forall i / r_{DA_i} \geq NBT_i \text{ 且 } i \in S \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

[0252] 其中, r_{DA_i} 是第 i 小时的日前每小时价格, NBT_i 是与相应小时所属月相对应的净收益, 并且 S 是非事件日集合。当年的非事件天可以通过选择在给定天类型的 (数量天中每隔具有最高日前价格的 x 数量天进行参与来确定。这种方法可以确保当计算事件天的CBL时, 在给定事件天之前的45天中存在非事件天。

[0253] 给出激励计划模块912所采用的这些假设和方法来确定何时参与ELDR, 激励计划模块912可以如下调节成本函数 $J(x)$:

$$[0254] \quad J(x) = - \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{e_i} P_{\text{电池}_i} - \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{FR_i} P_{FR_i} + \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{s_i} s_i + w_d r_d d - \sum_{i=k}^{k+h-1} b_i r_{DA_i} \left(\sum_{p=m-4}^{m-2} -\frac{1}{3} P_{\text{电池}_p} + P_{\text{电池}_i} \right)$$

[0255] 其中, b_i 和 m 在给定范围上已知。与ELDR相对应的所产生的项示出第 i 参与小时处的速率被加倍, 并且与SAA相对应的速率被降低。这意味着期望高级优化器632将趋向于在SAA小时期间对电池充电并且在参与小时期间对电池放电。值得注意的是, 即使给定小时被设置为ELDR参与小时, 高级优化器632也可能不决定在所述小时期间分配任何电池资产。这是由于在那一瞬间参与另一个激励计划或执行需求管理可能更有益的事实。

[0256] 电池尺寸设定

[0257] 仍然参照图9A, 高级优化器632被示出为包括电池尺寸设定模块914。电池尺寸设定模块914可以被配置用于确定最小化或最大化给定财务度量所需要的最优电池大小 (例如, 能量容量和/或逆变器电力)。这种度量包括SPP、IRR和/或NPV。电池的有效容量 $C_{\text{有效}}$ 和有效电力 $P_{\text{有效}}$ 参数在之前所描述的容量约束和电力约束中线性地出现。因此, 在不影响其线性特性的情况下, 电池尺寸设定模块914可以将这些参数处理为待优化的变量。

[0258] 尽管主要关于电池系统的尺寸设定而描述这种方法, 但是所述方法可以被扩展为对设备 (如冷却器或加热器) 进行尺寸设定。有效电力 $P_{\text{有效}}$ 和容量 $C_{\text{有效}}$ 可以被解释为对资产的

需求,其中,期望资产的成本最小化。电池尺寸设定方法确定最优电池大小,同时最小化能量和需求成本,同时最大化来自激励计划的收入。与电池系统相关联的成本包括能量成本、电力成本和固定成本。固定成本可以是与电池系统有关的独立于能量容量和电力容量的任何成本。此成本仅在能量容量非零时产生。因此,整数决策变量(例如,具有值一或零)可以在优化问题中考虑电池尺寸设定时使用。在一些实施例,电池尺寸设定模块914使用混合的整数线性规划来解决优化问题。

[0259] 以下示例展示了电池尺寸设定技术的实施方式,其中,成本函数 $J(x)$ 包括单一需量计费 and FR 参与。电池尺寸设定模块914可以如以下等式所示出的来调整成本函数:

$$J(x) = - \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{e_i} P_{\text{电池}_i} - \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{FR_i} P_{FR_i} \\ + \sum_{i=k}^{k+h-1} r_{s_i} s_i + w_d r_d d + w_{EUC} r_{EUC} C_{\text{有效}} \\ + w_{PUC} r_{PUC} P_{\text{有效}} + w_{\text{电池}} r_{\text{电池}} v$$

[0260]

[0261] 其中, r_{EUC} 和 w_{EUC} 为能量单位成本(例如,\$/kWh)和优化时段内的相应权重调节, r_{PUC} 和 w_{PUC} 为电力单位成本(例如,\$/kW)和优化时段内的相应权重调节, $r_{\text{电池}}$ 和 $w_{\text{电池}}$ 为固定成本(例如,\$)及其优化时段内的相应权重调节,并且 v 为逻辑决策变量。

[0262] 电池尺寸设定模块914可以生成并对优化问题施加以下约束:

$$P_{\text{电池}_i} \leq P_{\text{有效}}$$

[0263]

$$-P_{\text{电池}_i} \leq P_{\text{有效}}$$

[0264]

$$C_{\text{有效}} - Mv \leq 0$$

[0265]

$$P_{\text{有效}} - C_{\text{费率}} C_{\text{有效}} \leq 0$$

[0266]

[0267] 其中, M 被设置为大数量(例如,一万),并且 $C_{\text{费率}}$ 是电力与能量比。可以基于期望的应用来添加最终约束以限制电池的大小。在一些实施例中,有效容量 $C_{\text{有效}}$ 和有效电力 $P_{\text{有效}}$ 可以被视为需量计费。当优化被解决并且范围被及时转移时,容量的值可以被结转。

[0268] 子设施曲线合并

[0269] 仍然参照图9A,高级优化器632被示出为包括子设施曲线模块930。在最简单的情况下,可以假设每个子设施的资源消耗是子设施所产生的热能负载的线性函数。然而,这个假设对一些子设施设备而言可能并不真实,对整个子设施而言更不真实。子设施曲线模块930可以被配置用于修改高级优化问题以便处理在资源消耗与负载生产之间有非线性关系的子设施。

[0270] 子设施曲线模块930被示出为包括子设施曲线更新器932、子设施曲线数据库934、子设施曲线线性化器936以及子设施曲线合并器938。子设施曲线更新器932可以被配置用于向低级优化器634请求子设施520至530中的每一个的子设施曲线。每个子设施曲线可以根据子设施负载来指示特定子设施所消耗的资源量(例如,以kW测得的用电量、以L/s测得的用水量等)。

[0271] 在一些实施例中,低级优化器634通过运行用于子设施负载和天气状况的各种组合的低级优化过程而生成子设施曲线从而生成多个数据点。低级优化器634可以将曲线拟合到数据点以便生成子设施曲线并将子设施曲线提供给子设施曲线更新器932。在其他实施例中,低级优化器634将数据点提供给子设施曲线更新器932并且子设施曲线更新器932使用数据点来生成子设施曲线。子设施曲线更新器932可以将子设施曲线存储在子设施曲线数据库934中以用于高级优化过程。

[0272] 在一些实施例中,子设施曲线通过结合子设施的单独装置的效率曲线来生成。装置效率曲线可以指示装置消耗的作为负载的函数的资源量。装置效率曲线可以由装置制造商提供或使用实验数据生成。在一些实施例中,装置效率曲线是基于装置制造商所提供的且使用实验数据更新的初始效率曲线。装置效率曲线可以存储在设备模型618中。对于一些装置,装置效率曲线可以指示,资源消耗是负载的U形函数。因而,当多个装置效率曲线被结合到整个子设施的子设施曲线中时,所产生的子设施曲线可以是波浪形曲线。这些波是由在为满足子设施负载而开启另一个装置更有效之前加载的单个装置引起的。

[0273] 子设施曲线线性化器936可以被配置用于将子设施曲线转换成凸曲线。凸曲线是连接曲线上的任意两点的线通常在曲线之上或沿着曲线(即,不在曲线之下)的曲线。凸曲线可能对用于高级优化中是有利的,因为它们允许相对于使用非凸函数的优化过程在计算上较不昂贵的优化过程。子设施曲线线性化器936可以被配置用于将子设施曲线分裂成分段线性段,所述分段线性段组合形成分段定义的凸曲线。子设施曲线线性化器936可以将经线性化子设施曲线存储在子设施曲线数据库934中。

[0274] 子设施曲线合并器938可以被配置用于修改高级优化问题以便将子设施曲线合并到优化中。在一些实施例中,子设施曲线合并器938将决策变量修改为包括表示每个子设施的资源消耗的一个或多个决策向量。子设施曲线合并器938可以修改不等式约束以确保适当数量的每种资源被消耗来服务预计的热能负载。在一些实施例中,子设施曲线合并器938用公式表示不等式约束,所述不等式约束将每种资源的资源使用情况强加到相应经线性化子设施曲线的上镜图中。例如,冷却器子设施522可以具有经线性化子设施曲线,所述经线性化子设施曲线指示作为冷却器子设施522的冷水生产(即,输出资源 out_1)的函数的冷却器522的用电情况(即,输入资源 in_1)。经线性化子设施曲线可以包括连接点 $[u_1, Q_1]$ 与点 $[u_2, Q_2]$ 的第一线段、连接点 $[u_2, Q_2]$ 与点 $[u_3, Q_3]$ 的第二线段以及连接点 $[u_3, Q_3]$ 与点 $[u_4, Q_4]$ 的第三线段。

[0275] 子设施曲线合并器938可以用公式表示每个分段子设施曲线段的约束决策变量值的不等式约束,所述决策变量值表示将大于或等于由冷水生产的相应值的线段定义的用电量的冷却器用电情况。可以用公式表示其他子设施曲线的类似不等式约束。例如,子设施曲线合并器938可以使用将冷却器子设施522的耗水量的经线性化子设施曲线定义为冷水生产的函数的点来生成冷却器子设施522的耗水量的一组不等式约束。在一些实施例中,冷却器子设施522的耗水量等于冷水生产,并且耗水量的经线性化子设施曲线包括连接点 $[u_5, Q_5]$ 与点 $[u_6, Q_6]$ 的单一线段。子设施曲线合并器938可以针对中央设施的冷却器子设施522和其他子设施的每条子设施曲线来重复此过程以便定义每条子设施曲线的一组不等式约束。

[0276] 由子设施曲线合并器938生成的不等式约束确保高级优化器632保持资源消耗在

相应子设施曲线的线段中的所有线段之上。在大多数情况下,由于与资源消耗相关联的经济成本,高级优化器632没有理由选择高于相应子设施曲线的资源消耗值。因此可以期望高级优化器632选择位于相应子设施曲线上而不是高于其的资源消耗值。

[0277] 此一般规则的例外是热回收冷却器子设施523。热回收冷却器子设施523的等式约束提供了热回收冷却器子设施523与子设施的冷水生成加上子设施的用电情况相等的速率生产热水。由热回收冷却器子设施523的子设施曲线合并器838生成的不等式约束允许高级优化器632过度用电以便产生更多热水而不需要增加冷水生产量。这种行为是极度低效率的并且仅当对热水的需求很高并且使用更有效的技术无法满足时才变成现实可能性。然而,这并不是热回收冷却器子设施523实际上如何运行的。

[0278] 为了防止高级优化器632过度用电,子设施曲线合并器838可以检查热回收冷却器子设施523的所计算用电量(由优化算法确定)是否高于相应子设施曲线。在一些实施例中,所述检查在优化算法的每次迭代之后执行。如果热回收冷却器子设施523的所计算用电量高于子设施曲线,则子设施曲线合并器838可以确定高级优化器632正过度用电。响应于确定高级优化器632正过度用电,子设施曲线合并器838可以将热回收冷却器子设施523的生产约束为其当前值并且将子设施523的用电情况约束为子设施曲线上的相应值。高级优化器632然后可以使用新等式约束来重新运行优化。

[0279] 能量储存分配过程

[0280] 现在参照图10,根据示例性实施例,示出了用于分配能量储存设备的过程1000的流程图。可以由频率响应优化系统100、光伏能量系统300、能量储存系统500、规划系统700、或任何其他类型的能量储存系统的一个或多个部件执行过程1000。在一些实施例中,由能量储存控制器506执行过程1000,如参照图5至图9所描述的。

[0281] 过程1000被示出为包括生成包括多需量计费的成本函数(步骤1002)。在一些实施例中,所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从公共事业单位购买的能量的最大量来限定成本。在一些实施例中,步骤1002由成本函数模块902执行。步骤1002中生成的成本函数可以与参照图9A和图9B所描述的成本函数 $J(x)$ 中的任何成本函数相同或类似。

[0282] 过程1000被示出为包括通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改成本函数(步骤1004)。在一些实施例中,需量计费掩码由需量计费模块910产生,如参照图9A和图9B所描述的。每个需量计费掩码可以限定在相应需量计费时段内发生的一个或多个时间步长。在一些实施例中,每个需量计费掩码包括具有二进制值的向量。所述二进制值中的每一个可以与在所述优化时段内发生的时间步长相对应并且可以指示在相应时间步长期间所述需量计费有效还是无效。

[0283] 过程1000被示出为包括基于需量计费掩码来计算经修改成本函数中的多需量计费中的每一个的值(步骤1006)。在一些实施例中,步骤1006作为优化过程的一部分由高级优化器632执行。在计算相应需量计费的值时,需量计费掩码可以使高级优化器632忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从公共事业单位购买的能量。

[0284] 过程1000被示出为包括向优化时段中多个时间步长中的每一个分配将储存在能量储存设备中或从所述能量储存设备中释放的能量的最优量(步骤1008)。步骤1008可以包括优化步骤1004中生成的经修改成本函数以便确定将在每个时间步长中储存或释放的能

量的最优量。在一些实施例中,能量是电能,并且能量储存设备是电池资产。在其他实施例中,能量是热能,并且能量储存设备包括热能储存罐。

[0285] 过程1000被示出为包括操作能量储存设备以便储存和释放在优化时段期间分配给每个时间步长的能量的最优量(步骤1010)。储存能量和其他类型的资源允许在资源相对较便宜的时间(例如,非高峰用电小时期间)购买资源并且将其储存以供在资源相对较昂贵的时间(例如,高峰用电小时期间)使用。储存资源还允许及时转移建筑物的资源需求。例如,可以在用于加热或冷却需求较低时从公共事业单位购买资源,并且立即将其转换为高温热能或低温热能(例如,通过发电机子设施520)。可以储存热能,并在加热或冷却需求高时将其取回。这允许能量储存控制器506对建筑物的资源需求进行平滑处理,并且减小发电机子设施520的最大所需容量。对需求进行平滑处理还允许能量储存控制器506减小在适用的需量计费时段期间从公共事业单位购买的电能的峰值量,这导致较低需量计费。

[0286] 能量成本优化系统

[0287] 现在参照图11,根据示例性实施例,示出了能量成本优化系统1100的框图。能量成本优化系统1100被示出为包括除了储存子设施530之外与(参照图5所描述的)能量储存系统500相同的部件中的许多部件。系统1100是不具有热能或电能储存设备的系统的示例,在所述系统中,可以实施多种需量计费成本优化技术。

[0288] 能量成本优化系统1100被示出为包括建筑物502。建筑物502可以与如参照图1所描述的建筑物116相同或类似。例如,建筑物502可以配备有HVAC系统和/或操作用于控制建筑物502内的状况的建筑物管理系统。在一些实施例中,建筑物502包括由能量成本优化系统1100服务的多个建筑物(即,校园)。建筑物502可能需要包括例如高温热能(例如,热水)、低温热能(例如,冷水)和/或电能等各种资源。这些资源可能是被建筑物502内的设备或子系统或者被为建筑物502提供服务(例如,加热、冷却、空气循环、照明、电力等)的外部系统需要的。能量成本优化系统1100操作用于满足与建筑物502相关联的资源需求。

[0289] 能量成本优化系统1100被示出为包括多个公共事业单位510。公共事业单位510可以为系统1100提供资源,如电力、水、天然气或者可以由系统1100用于满足建筑物502的需求的任何其他资源。例如,公共事业单位510被示出为包括电力公共事业单位511、水力公共事业单位512、天然气公共事业单位513以及公共事业单位M 514,其中,M是公共事业单位510的总数量。在一些实施例中,公共事业单位510是可从其购买资源以及其他类型的商品的商品供应商。从公共事业单位510购买的资源可以由发电机子设施520用于生产所生成的资源(例如,热水、冷水、电力、蒸汽等)或直接提供给建筑物502。例如,公共事业单位510被示出为直接向建筑物502提供电力。

[0290] 能量成本优化系统1100被示出为包括多个发电机子设施520。发电机子设施520被示出为包括加热器子设施521、冷却器子设施522、热回收冷却器子设施523、蒸汽子设施524、电力子设施525以及子设施N,其中,N是发电机子设施520的总数量。发电机子设施520可以被配置用于通过对发电机子设施520内的设备的操作来将一种或多种输入资源转换成一种或多种输出资源。例如,加热器子设施521可以被配置用于通过使用电或天然气对水进行加热来产生高温热能(例如,热水)。冷却器子设施522可以被配置用于通过使用电对水进行冷却来产生低温热能(例如,冷水)。热回收冷却器子设施523可以被配置用于通过从一个水源移除热量并且将所述热量添加到另一个水源来产生高温热能和低温热能。蒸汽子设施

524可以被配置用于通过使用电或天然气煮沸水来产生蒸汽。电力子设施525可以被配置用于使用机械发电机(例如,蒸汽涡轮机、燃气发电机等)或其他类型的发电设备(例如,光伏设备、水力发电设备等)来产生电。

[0291] 发电机子设施520所使用的输入资源可以由公共事业单位510提供和/或由其他发电机子设施520生成。例如,蒸汽子设施524可以产生蒸汽作为输出资源。电力子设施525可以包括蒸汽涡轮机,所述蒸汽涡轮机使用蒸汽子设施524所产生的蒸汽作为输入资源以产生电。发电机子设施520所产生的输出资源可以提供给建筑物502、出售给能量购买者504和/或被其他发电机子设施520使用。例如,电力子设施525所产生的电可以被冷却器子设施522用于生成低温热能、提供给建筑物502和/或出售给能量购买者504。

[0292] 仍然参照图11,能量成本优化系统1100被示出为包括控制器1102。控制器1102可以被配置用于控制系统1100中资源的分配、生产以及使用。在一些实施例中,控制器1102执行优化过程以确定优化时段内的每个时间步长的控制决策的最优集合。控制决策可以包括例如将从公共事业单位510购买的每种资源的最优量、将使用电动机子设施520产生或转换的每种资源的最优量、将出售给能量购买者504的每种资源的最优量和/或将提供给建筑物502的每种资源的最优量。在一些实施例中,控制决策包括发电机子设施520中的每一个的每种输入资源和输出资源的最优量。

[0293] 控制器1102可以被配置用于在优化时段的持续时间内使操作能量成本优化系统1100的经济价值最大化。经济价值可以由将经济价值表达为控制器1102所作出的控制决策的函数的价值函数来定义。价值函数可以处理从公共事业单位510购买的资源的成本、通过将资源出售给能量购买者504而产生的收入、以及操作系统1100的成本。在一些实施例中,操作系统1100的成本包括优化时段期间过多设备启动/停止的成本。

[0294] 子设施520中的每一个可以包括可被控制器1102控制用于优化系统1100的性能的设备。子设施设备可以包括例如加热装置、冷却器、热回收热交换器、冷却塔、泵、阀门和/或子设施520的其他装置。可以开启或关掉发电机子设施520的单独装置以调节每个发电机子设施的资源生产。在一些实施例中,可以根据从控制器1102接收的操作设定值以可变容量来操作发电机子设施520的单独装置(例如,以10%的容量或60%的容量来操作冷却器)。

[0295] 在一些实施例中,子设施520中的一个或多个子设施包括被配置用于控制相应子设施的设备的子设施级控制器。例如,控制器1102可以确定子设施设备的开/关配置和全局操作设定值。响应于开/关配置和接收到的全局操作设定值,子设施控制器可以开启或关掉其相应设备的单独装置,并且实施特定操作设定值(例如,阻尼器位置、叶片位置、风扇速度、泵速度等)以达到或维持全局操作设定值。

[0296] 在一些实施例中,能量成本优化系统1100和控制器1102包括以下美国专利申请中所描述的部件和/或特征中的部分或全部:在2016年8月25日提交的第15/247,875号美国专利申请、在2016年8月25日提交的第15/247,879号美国专利申请以及在2016年8月25日提交的第15/247,881号美国专利申请。这些专利申请中的每一个的完整披露通过援引并入本文。

[0297] 能量成本优化控制器

[0298] 现在参照图12,根据示例性实施例,示出了更加详细地展示控制器1102的框图。控制器1102被示出为向建筑物管理系统(BMS) 606提供控制决策。在一些实施例中,BMS 606与

参照图1所描述的BMS相同或类似。提供给BMS 606的控制决策可以包括公共事业单位510的资源购买量和/或发电机子设施520的设定值。

[0299] BMS 606可以被配置用于监测受控建筑物或建筑物区域内的状况。例如,BMS 606可以从分布在建筑物各处的各个传感器(例如,温度传感器、湿度传感器、气流传感器、电压传感器等)接收输入并且可以向控制器1102报告建筑物状况。建筑物状况可以包括例如建筑物或建筑物区域的温度、建筑物的功耗(例如,电负载)、建筑物内被配置用于影响受控状态的一个或多个致动器的状态、或者与受控建筑物有关的其他类型的信息。BMS 606可以操作子设施520以影响建筑物内所监测的状况并服务建筑物的热能负载。

[0300] BMS 606可以从控制器1102接收指定子设施的开/关状态、和/或设定值的控制信号。BMS 606可以根据控制器1102所提供的控制信号来控制设备(例如,经由致动器、功率继电器等)。例如,BMS 606可以使用闭环控制来操作设备以实现能量储存控制器1102所指定的设定值。在各个实施例中,BMS 606可以与控制器1102组合或可以是单独建筑物管理系统的一部分。根据示例性实施例,BMS 606是由江森自控有限公司(Johnson Controls, Inc)出售的METASYS®牌建筑物管理系统。

[0301] 控制器1102可以使用从BMS 606接收到的信息来监测受控建筑物的状态。控制器1102可以被配置用于预测建筑物的在优化时段中的多个时间步长的热能负载(例如,加热负载、冷却负载等)(例如,使用来自天气服务604的天气预报)。控制器1102可以产生对在受制于对优化过程的约束(例如,能量均衡约束、负载满意约束等)的优化时段的持续时间内操作系统1100的经济价值进行优化的控制决策。下面更详细地描述了控制器1102所执行的优化过程。

[0302] 控制器1102被示出为包括通信接口636和具有处理器608和存储器610的处理电路607。这些部件可以与参照图6所描述的部件相同。例如,控制器1102被示出为包括需求响应优化器630。需求响应优化器630可以执行级联优化过程以便优化系统1100的性能。例如,需求响应优化器630被示出为包括高级优化器632和低级优化器634。高级优化器632可以控制级联优化的外部(例如,子设施级)循环。高级优化器632可以确定预测窗口中的每个时间步长的控制决策的最优集合以便优化(例如,最大化)操作能量储存系统500的价值。高级优化器632所作出的控制决策可以包括例如发电机子设施520中的每一个的负载设定值、从公共事业单位510购买的每种类型的资源的资源购买量和/或出售给能量购买者504的每种资源的量。换句话说,控制决策可以限定每个时间步长处资源的分配。

[0303] 低级优化器634可以控制级联优化的内部(例如,设备级)循环。低级优化器634可以确定如何在由高级优化器632确定的负载设定值处最好地运行每个子设施。例如,低级优化器634可以确定子设施的各个装置的开/关状态和/或操作设定值,以便在满足子设施的资源分配设定值的同时优化(例如,最小化)每个子设施的能耗。在第15/247,885号美国专利申请中更详细地描述了需求响应优化器630所执行的级联优化过程。控制器1102的这些或其他部件可以与之前参照图6所描述的相同。

[0304] 能量成本优化过程

[0305] 现在参照图13,根据示例性实施例,示出了用于优化具有多需量计费的能量成本的过程1300的流程图。可以由频率响应优化系统100、光伏能量系统300、规划系统700、能量成本优化系统1100、或任何其他类型的能量系统的一个或多个部件执行过程1300。在一些

实施例中,过程1300由如参照图10至图12所描述的控制器1102执行。

[0306] 过程1300被示出为包括生成包括多需量计费的成本函数(步骤1302)。在一些实施例中,所述需量计费中的每一个与需量计费时段相对应并且基于在相应需量计费时段内的任何时间步长期间从公共事业单位购买的能量的最大量来限定成本。在一些实施例中,步骤1302由成本函数模块902执行。步骤1302中生成的成本函数可以与参照图9A和图9B所描述的成本函数 $J(x)$ 中的任何成本函数相同或类似。

[0307] 过程1300被示出为包括通过将需量计费掩码应用于所述多需量计费中的每一个来修改成本函数(步骤1304)。在一些实施例中,需量计费掩码由需量计费模块910产生,如参照图9A和图9B所描述的。每个需量计费掩码可以限定在相应需量计费时段内发生的一个或多个时间步长。在一些实施例中,每个需量计费掩码包括具有二进制值的向量。所述二进制值中的每一个可以与在所述优化时段内发生的时间步长相对应并且可以指示在相应时间步长期间所述需量计费有效还是无效。

[0308] 过程1300被示出为包括基于需量计费掩码来计算经修改成本函数中的多需量计费中的每一个的值(步骤1306)。在一些实施例中,步骤1306作为优化过程的一部分由高级优化器632执行。在计算相应需量计费的值时,需量计费掩码可以使高级优化器632忽略在相应需量计费时段之外发生的任何时间步长期间从公共事业单位购买的能量。

[0309] 过程1300被示出为包括向优化时段中多个时间步长中的每一个分配将被HVAC设备消耗的能量的最优量(步骤1308)。步骤1308可以包括优化步骤1304中生成的经修改成本函数以便确定将消耗和/或从公共事业单位购买的能量的最优量。在一些实施例中,由HVAC设备消耗的能量的量可以等于从公共事业单位购买的能量的量。在其他实施例中,由HVAC设备在给定时间步长中消耗的能量的量可以小于从公共事业单位购买的能量的量。例如,从公共事业单位购买的一些电力可以被直接提供给建筑物以满足建筑物的电负载,而从公共事业单位购买的剩余电力可以由HVAC设备消耗。在一些实施例中,步骤1308包括确定将从公共事业单位购买的能量的最优量以及将由HVAC设备在优化时段中的每个时间步长期间消耗的能量的最优量。

[0310] 过程1300被示出为包括操作HVAC设备以便消耗在优化时段期间分配给每个时间步长的能量的最优量(步骤1310)。步骤1310可以包括对发电机子设施520中的任何发电机子设施进行操作以便消耗所购买的资源和/或生成可被提供给建筑物502的资源。在一些实施例中,步骤1310包括将从公共事业单位购买的能量的一部分提供给建筑物502。例如,在每个时间步长中购买的能量的量可以由发电机子设施520使用以便生成各种资源(例如,高温热能、低温热能等)或直接提供给建筑物502(例如,将所购买的电力提供给建筑物502)。

[0311] 示例性实施例的配置

[0312] 如各示例性实施例中所示出的系统和方法的构造和安排仅是说明性的。尽管本披露中仅详细描述了几个实施例,但是许多修改是可能的(例如,各种元件的大小、规模、结构、形状和比例、参数的值、安装安排、材料的使用、颜色、取向等的变化)。例如,元件的位置可以颠倒或以其他方式变化,并且离散元件的性质或数量或位置可以更改或变化。因此,所有这类修改旨在被包括在本披露的范围之中。可以根据替代实施例对任何过程或方法步骤的顺序或序列进行改变或重新排序。在不脱离本披露范围的情况下,可以在示例性实施例的设计、操作条件和安排方面作出其他替代、修改、改变、和省略。

[0313] 本披露假设任何机器可读介质上的用于完成各操作的方法、系统和程序产品。可以使用现有计算机处理器或由结合于此目的或另一目的的适当系统的专用计算机处理器或由硬接线系统来实施本披露的实施例。本披露范围内的实施例包括程序产品,所述程序产品包括用于携带或具有存储在其上的机器可执行指令或数据结构的机器可读介质。这种机器可读介质可以是可由通用或专用计算机或具有处理器的其他机器存取的任何可用介质。通过示例,这类计算机可读介质可以包括RAM、ROM、EPROM、EEPROM、CD-ROM或其他光盘存储设备、磁盘存储设备或其他磁存储设备等,或者可以用来以机器可执行指令或数据结构的形式的形式携带或存储所期望的程序代码并且可以由通用或专用计算机或具有处理器的其他机器访问的任何其他介质。上述内容的组合也包括在机器可读介质的范围内。机器可执行指令包括例如使得通用计算机、专用计算机或专用处理机执行特定功能或功能组的指令和数据。

[0314] 尽管附图示出了指定顺序的方法步骤,但是步骤的顺序可以不同于所描绘的。还可以同时或部分同时地执行两个或更多个步骤。这种变型将取决于所选软件和硬件系统以及设计者的选择。所有这种变型都在本披露的范围内。同样地,可以用具有基于规则的逻辑和用以实现各连接步骤、处理步骤、比较步骤和判定步骤的其他逻辑的标准编程技术来实现软件实施方式。

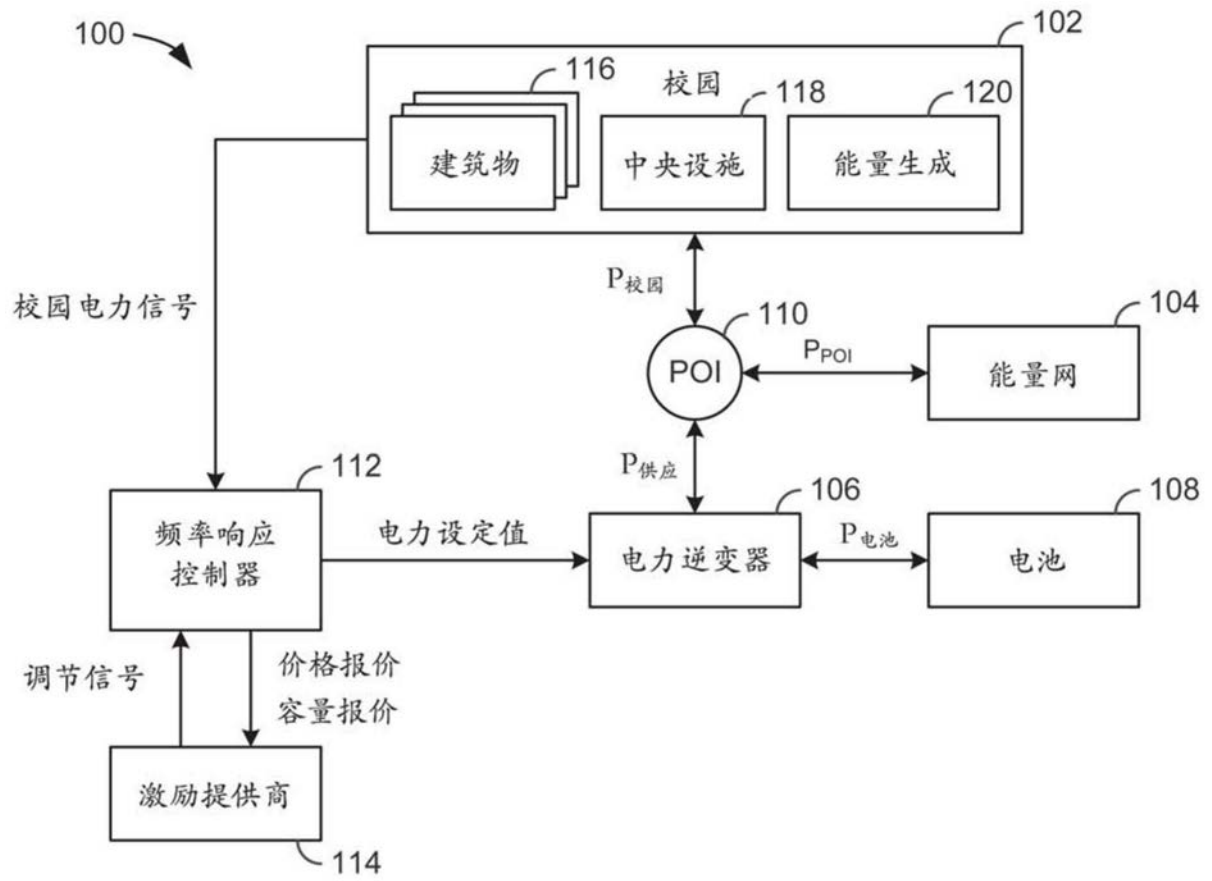


图1

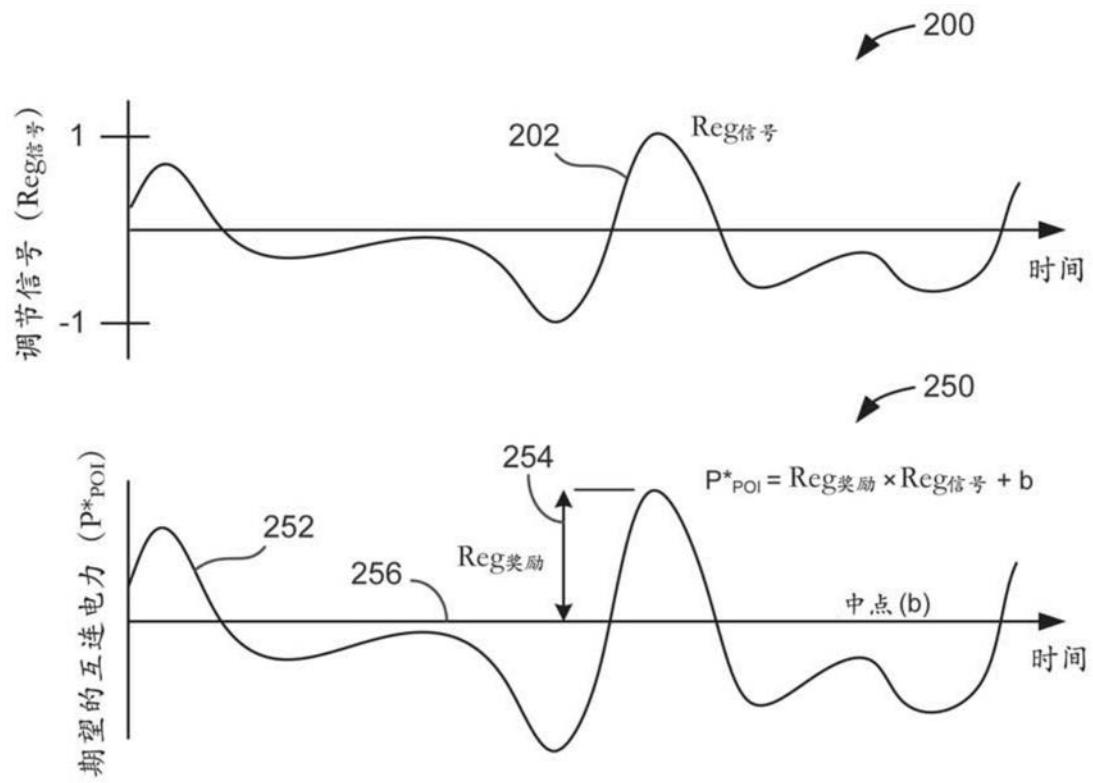


图2

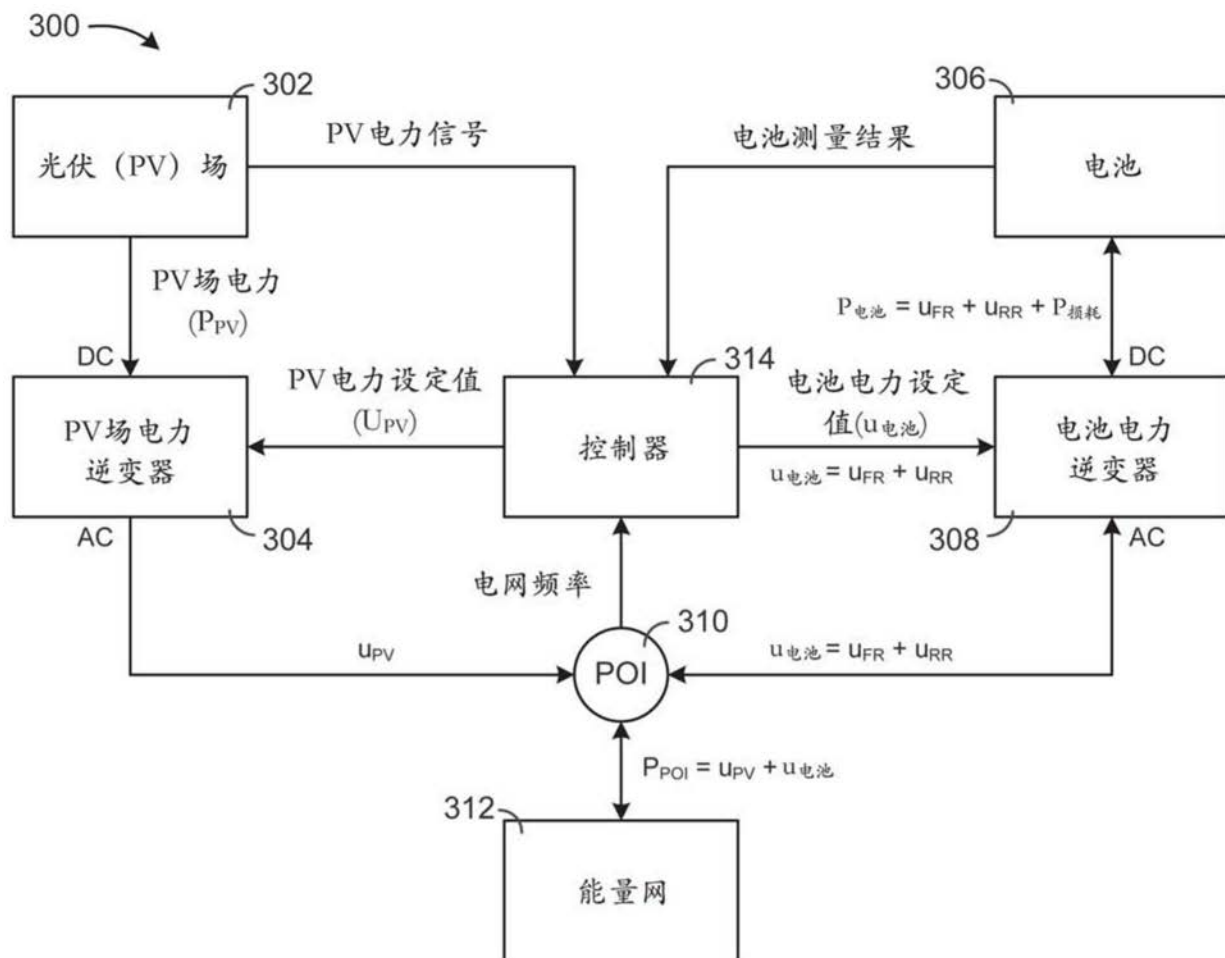


图3

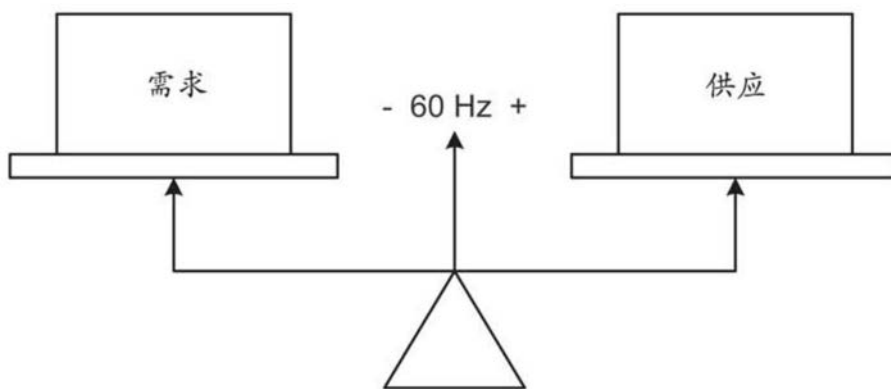


图4

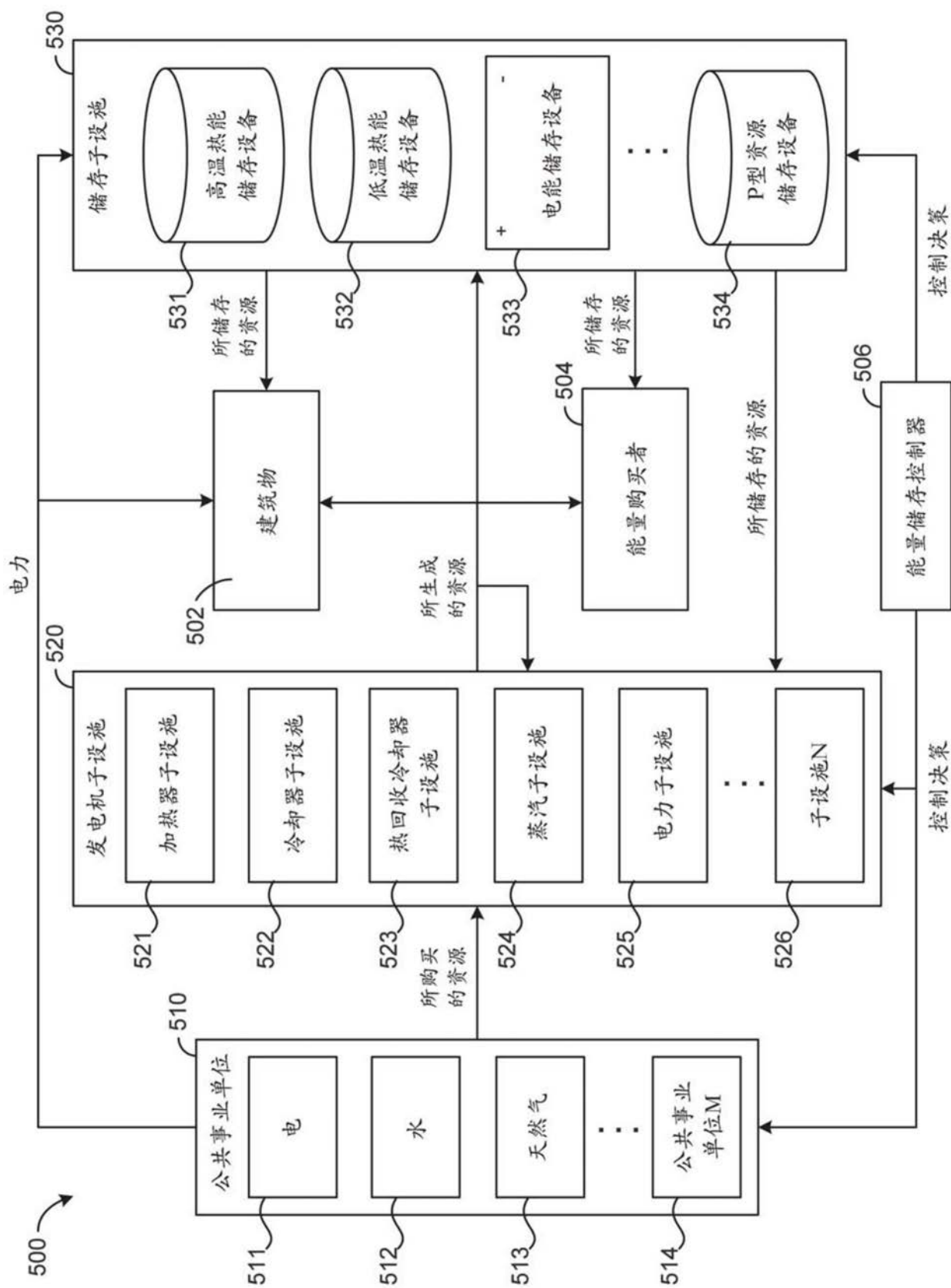


图5

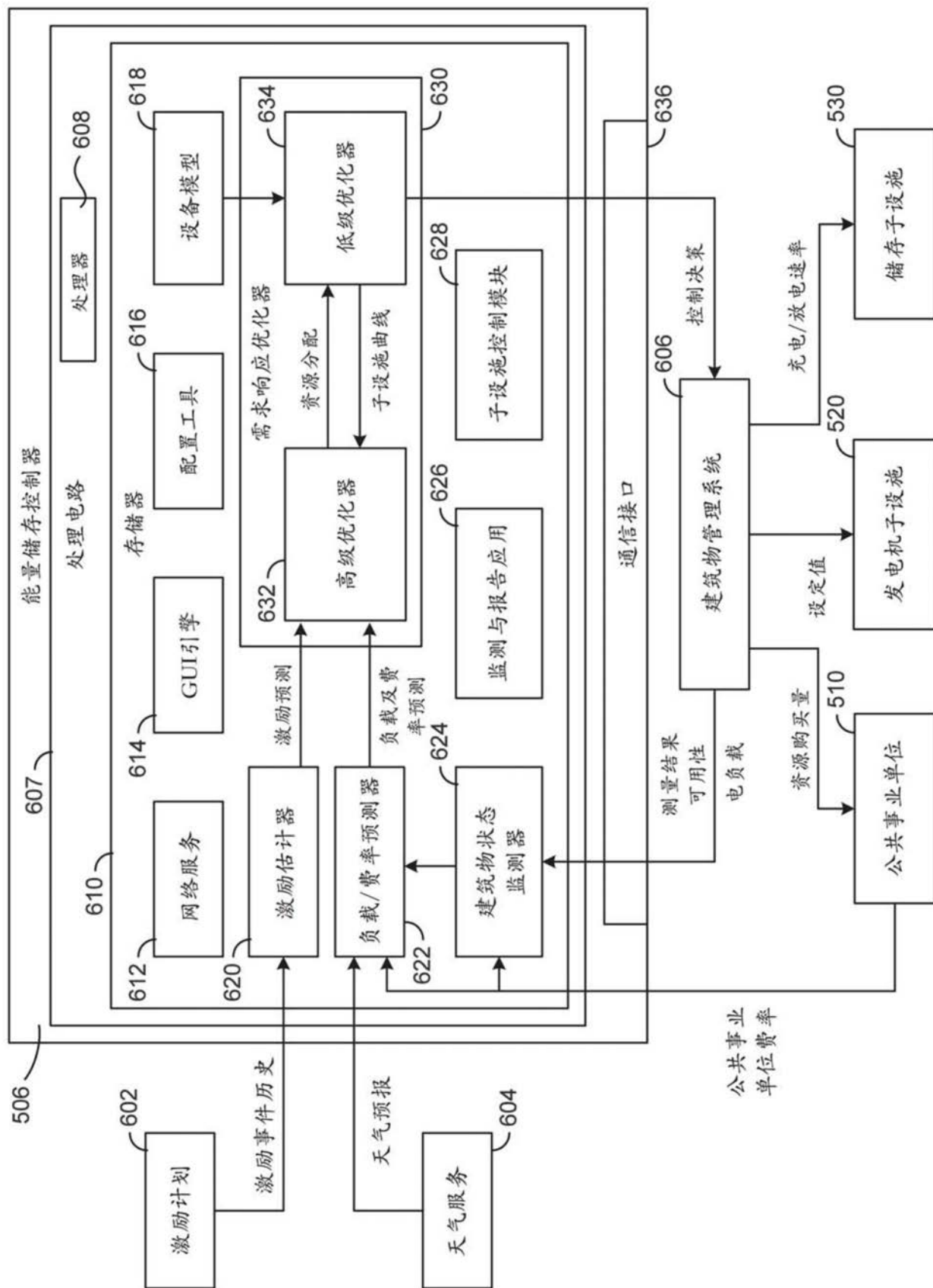


图6

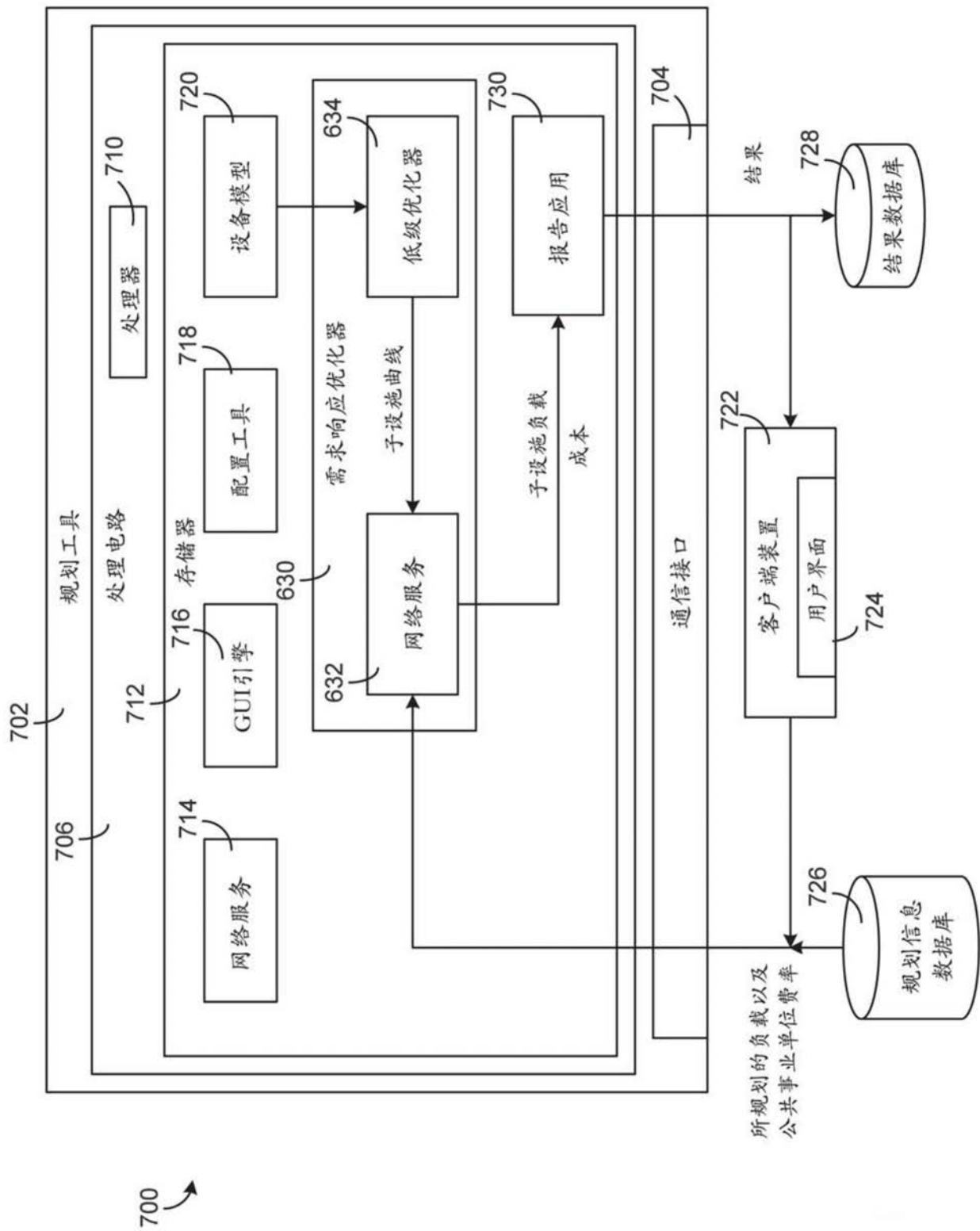


图7

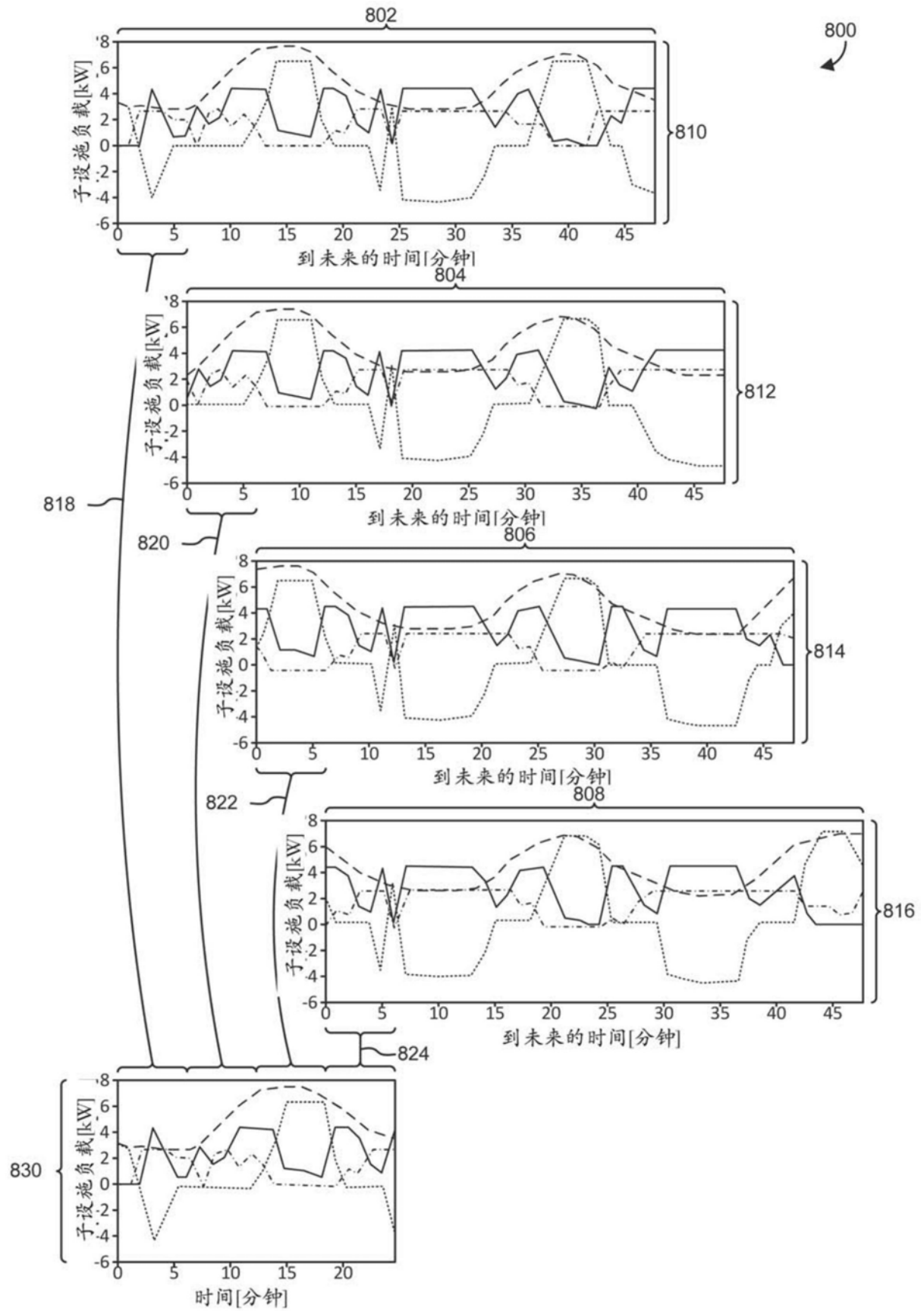


图8

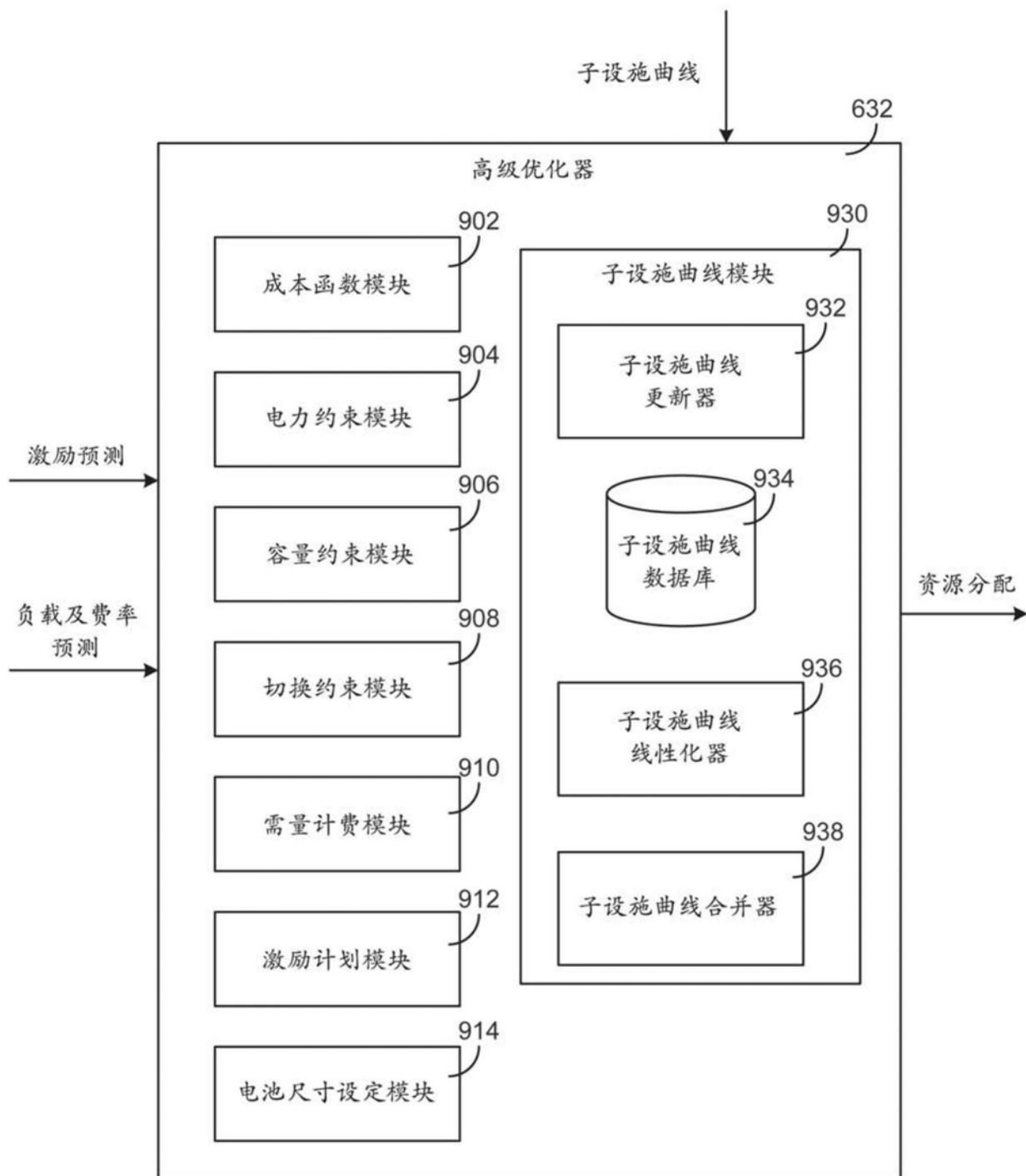


图9A

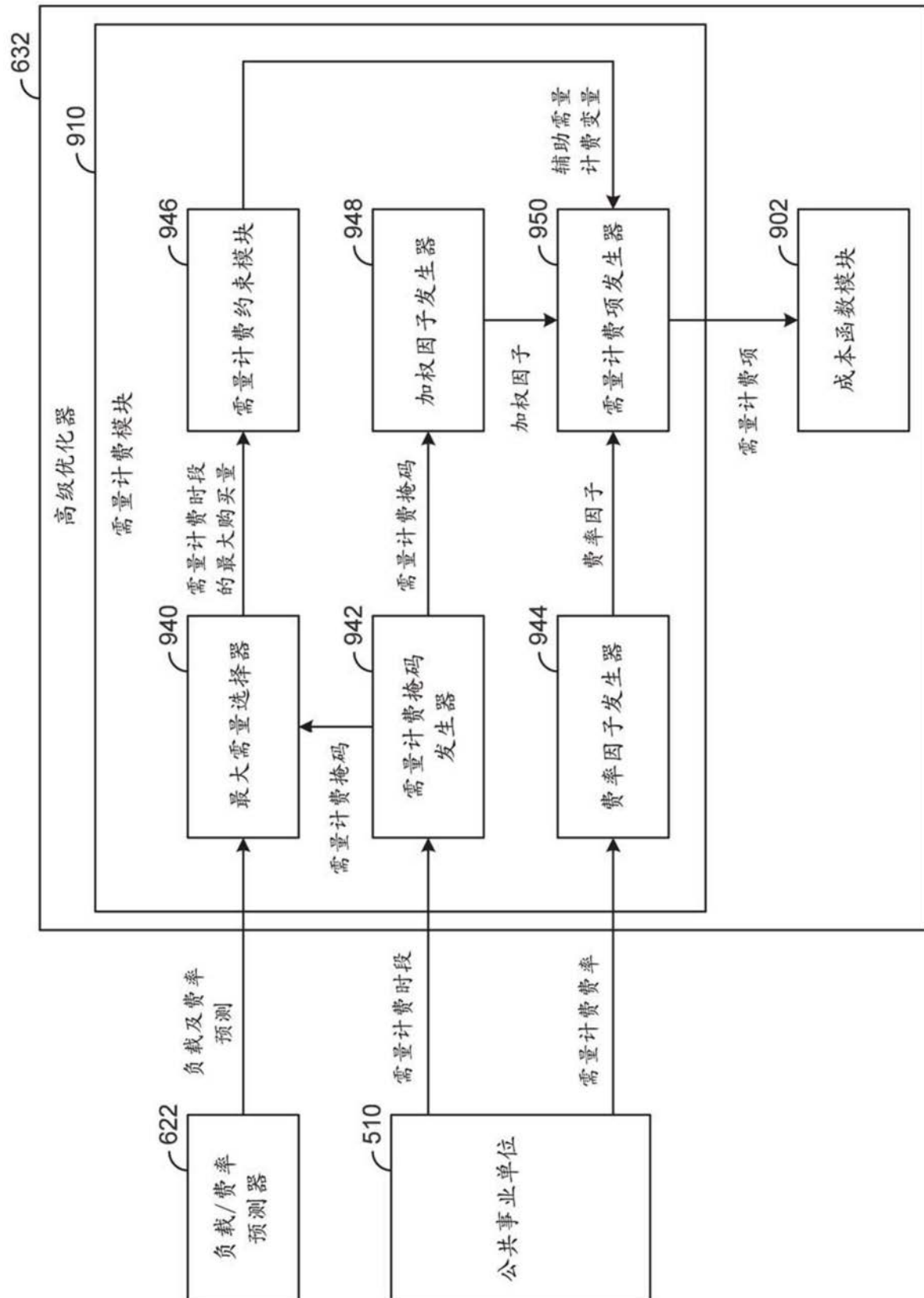


图9B

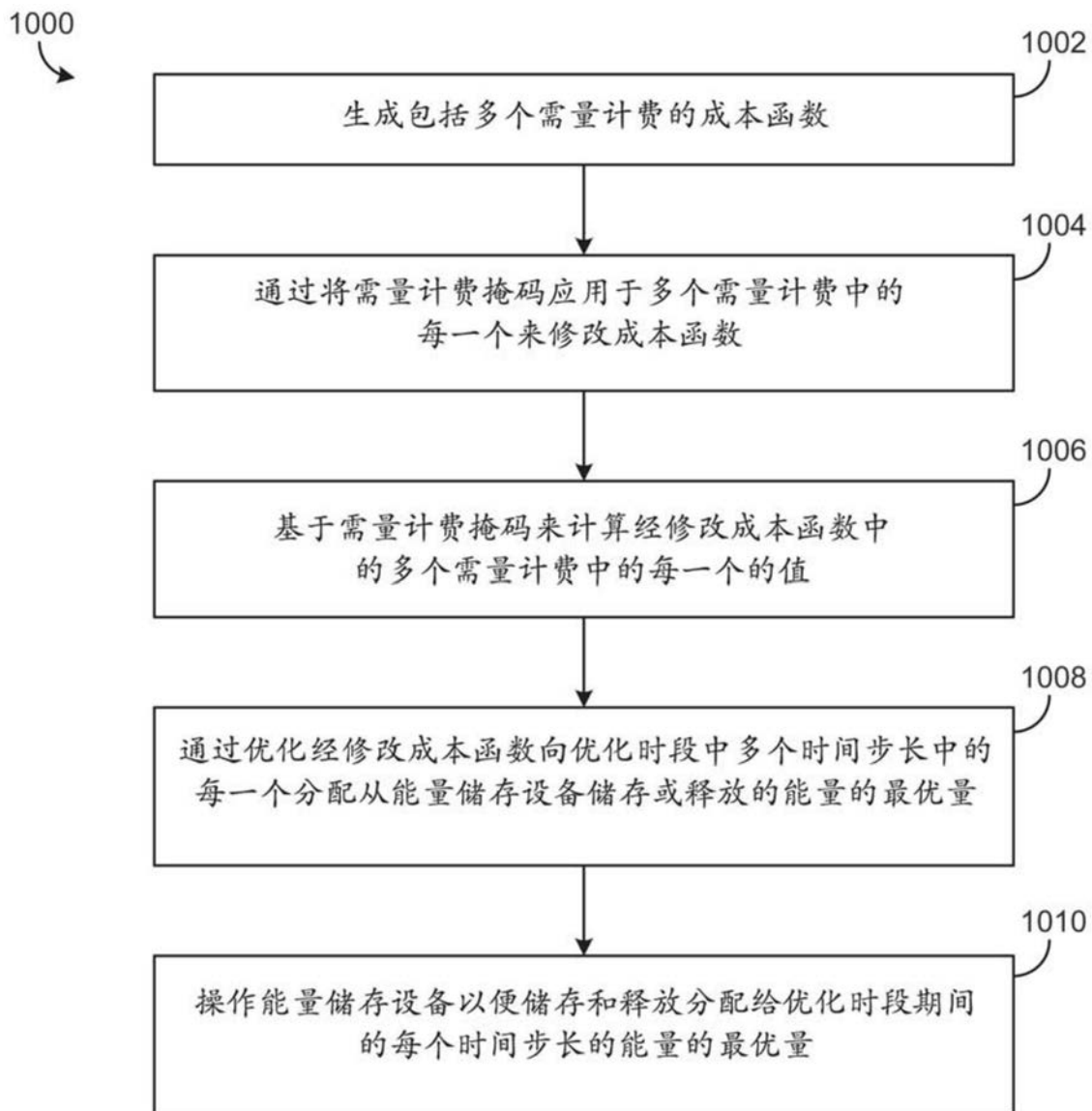


图10

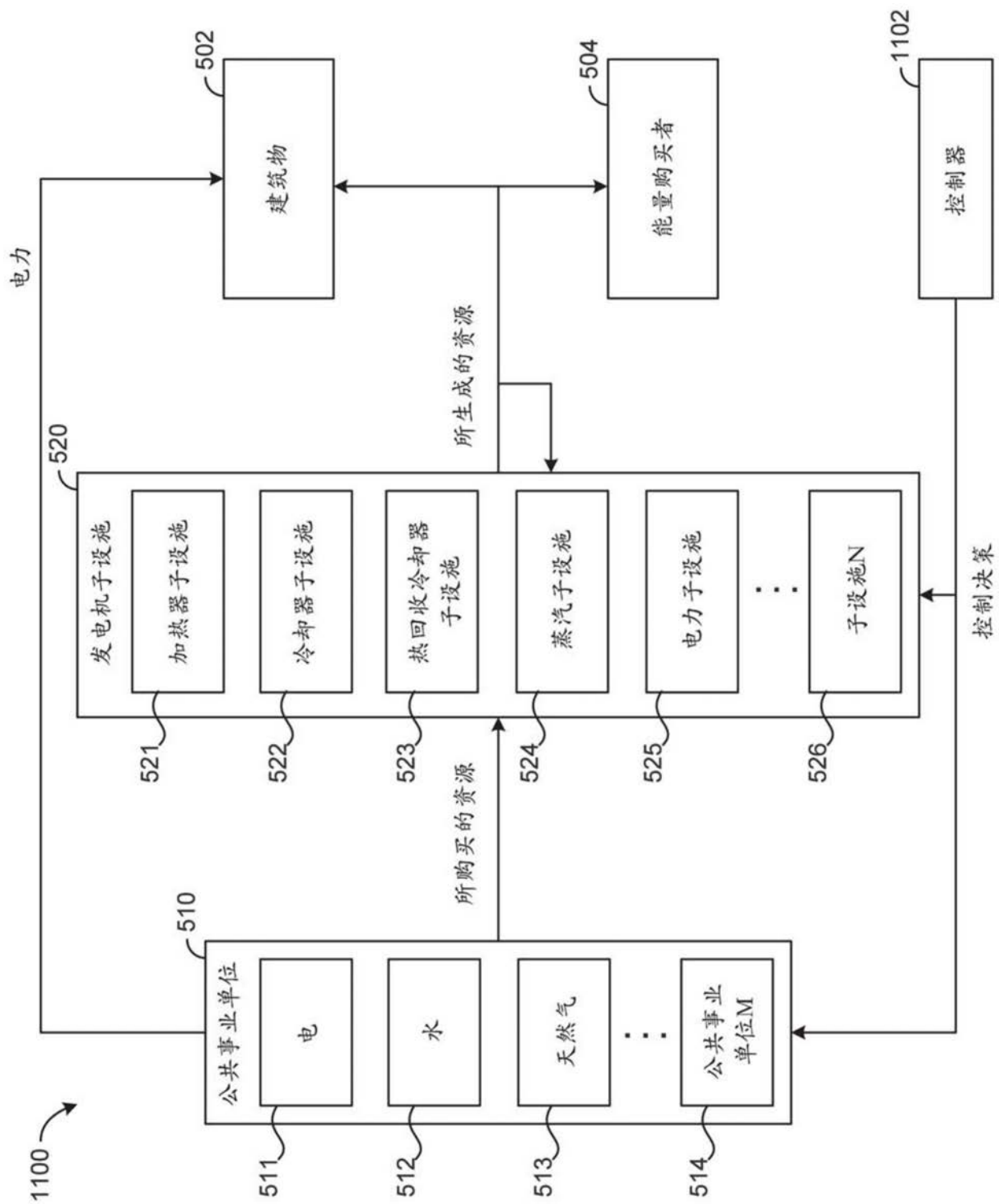


图11

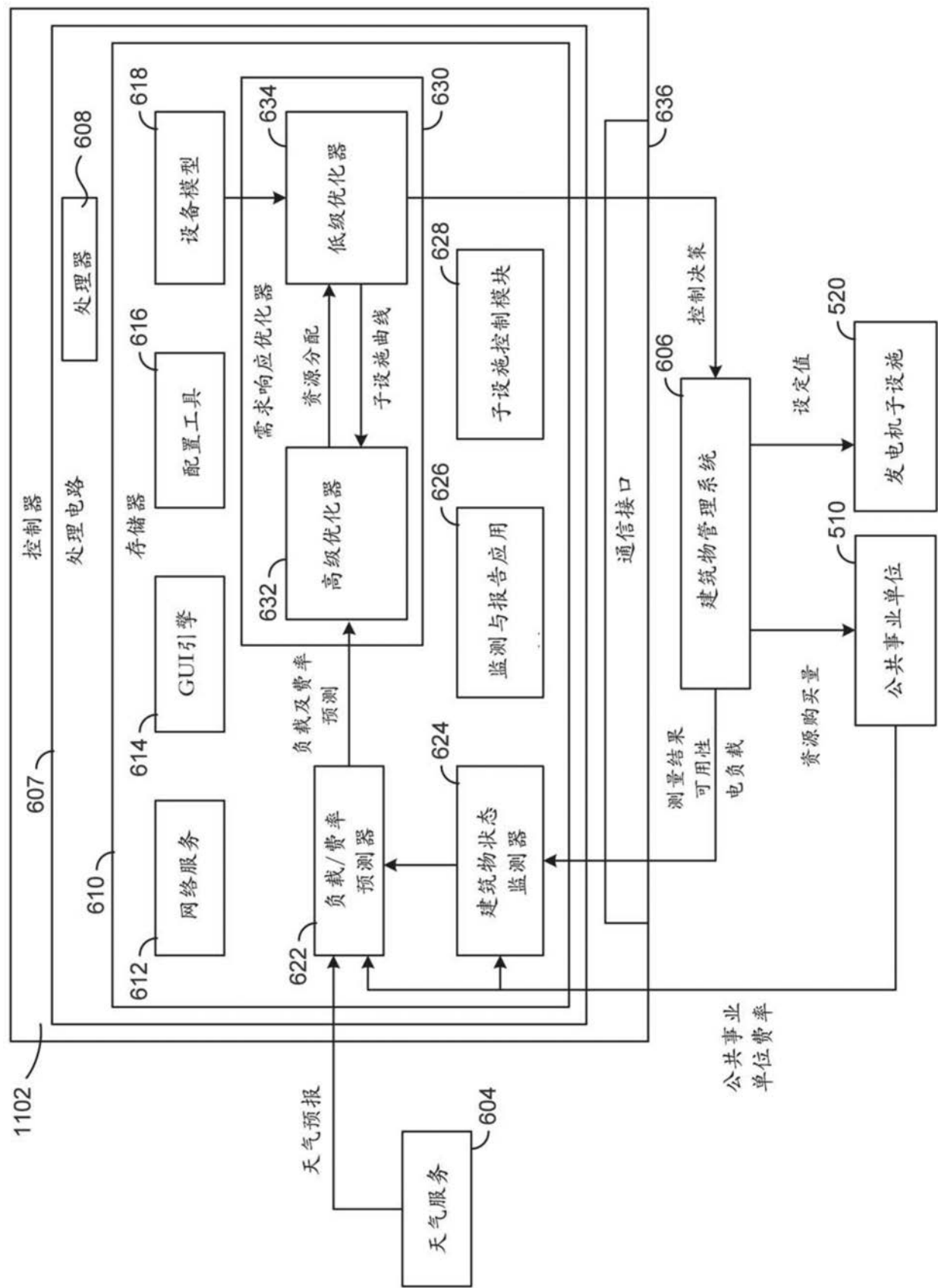


图12

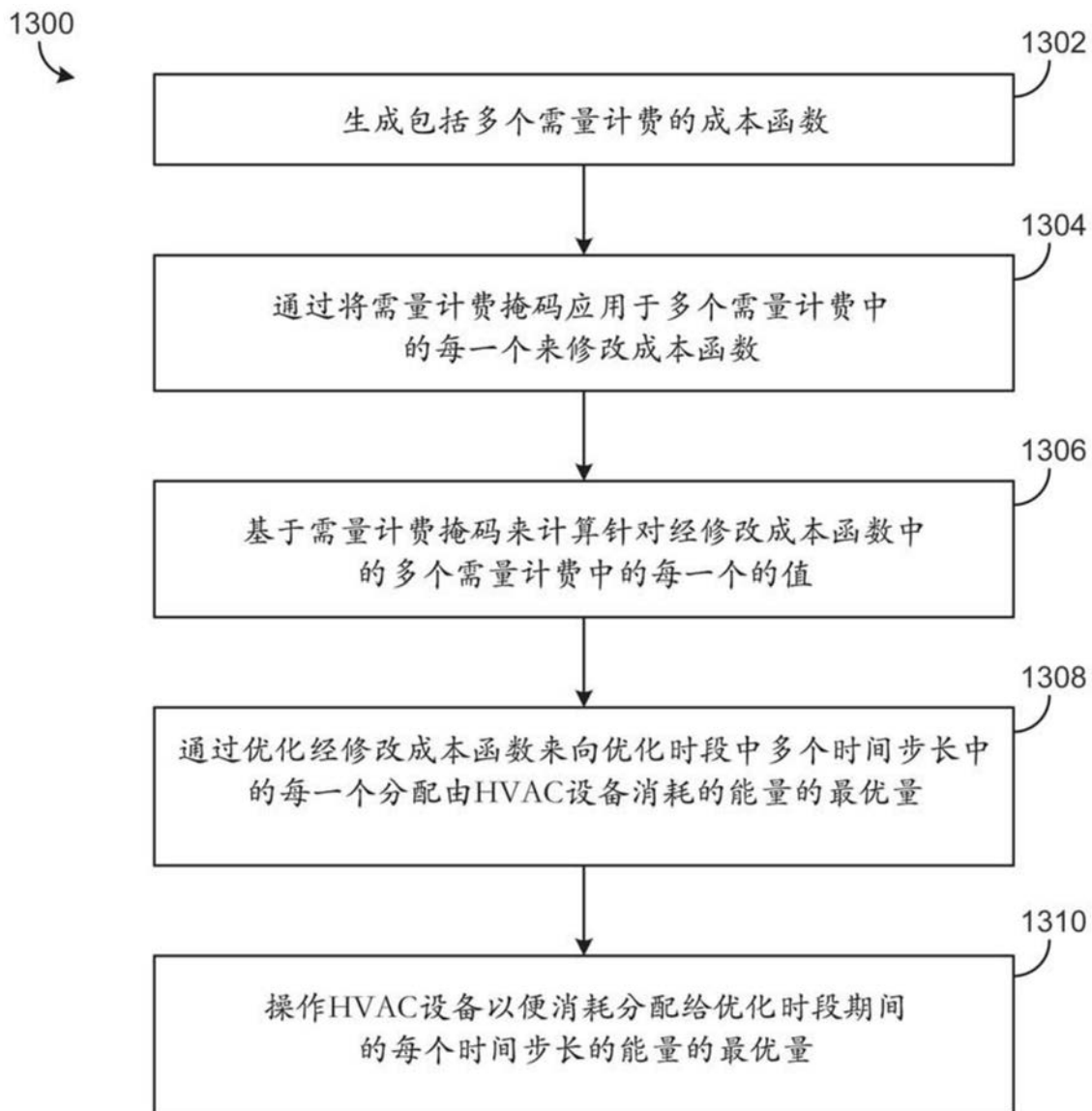


图13