



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103299511 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 11

(21) 申请号 201180063374. 2

(74) 专利代理机构 北京北翔知识产权代理有限公司 11285

(22) 申请日 2011. 10. 19

代理人 于妙妙 杨勇

(30) 优先权数据

12/915, 703 2010. 10. 29 US

(51) Int. Cl.

H02J 13/00 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 06. 28

H02J 3/46 (2006. 01)

(86) PCT申请的申请数据

PCT/CA2011/001165 2011. 10. 19

(87) PCT申请的公布数据

W02012/055011 EN 2012. 05. 03

(71) 申请人 哈茨有限公司

地址 加拿大安大略

(72) 发明人 G·德隆 R·海因斯 J·简森

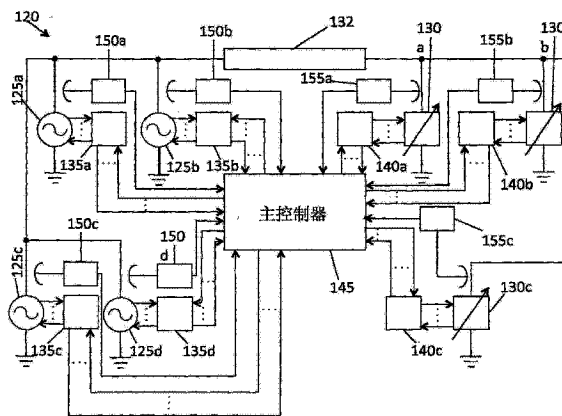
权利要求书4页 说明书21页 附图16页

## (54) 发明名称

将自备发电设施的控制与冶炼设施的控制集成的方法

## (57) 摘要

一种用于组合的发电和冶炼装置设施的控制系统,集成了发电机侧和负载侧控制,以提供这两个过程的经协调的运行。该发电设施包括一个或多个发电机单元,该冶炼装置设施包括一个或多个可控负载。所述一个或多个负载的运行特性通过主控制器反馈到所述一个或多个发电机单元,以确定用于所述一个或多个发电机单元的输入控制参数。类似地,所述一个或多个发电机的控制信号和运行特性通过该主控制器前馈到所述一个或多个负载,以确定用于所述一个或多个负载的输入控制参数。使用前馈及反馈回路来交换发电机输出和负载设定点信息,将发电机单元与受控负载之间的电力平衡维持在运行包络内。



1. 一种用于协调电力系统的运行的控制系统,所述电力系统包括至少一个发电机和由所述至少一个发电机供电的至少一个可控负载,所述控制系统包括:

发电机控制器,与所述至少一个发电机中的每个发电机关联,并且响应于用于控制所述至少一个发电机的发电机控制参数以实现总体发电机输出;

负载控制器,与所述至少一个负载中的每个负载关联,并且响应于用于控制所述至少一个负载的负载控制参数以实现总体负载设定点;以及

主系统控制器,通信链接至所述发电机控制器和所述负载控制器,并且被配置为通过基于所述至少一个发电机的运行特性产生所述负载控制参数以实现所述总体负载设定点,以及通过基于所述至少一个负载的运行特性产生所述发电机控制参数以实现所述总体发电机输出,来协调所述至少一个发电机与所述至少一个负载的运行。

2. 根据权利要求1所述的控制系统,其中所述发电机控制器和所述负载控制器每个都使用相应的双向数据通信线路链接至所述主系统控制器,以向所述主系统控制器提供所述至少一个发电机的运行特性和所述至少一个负载的运行特性。

3. 根据权利要求1所述的控制系统,进一步包括:至少一个发电机传感器,链接至所述主系统控制器,并且与所述至少一个发电机中的每个发电机关联,以监测所述至少一个发电机的运行特性;以及至少一个负载传感器,链接至所述主系统控制器,并且与所述至少一个负载中的每个负载关联,以监测所述至少一个负载的运行特性。

4. 根据权利要求3所述的控制系统,其中所述控制系统包括至少两个发电机和至少两个可控负载,并且其中所述主系统控制器被配置为:对于所述至少两个负载中的每个负载,进一步基于所述至少两个负载中的另一个负载的运行特性产生所述负载控制参数;并且对于所述至少两个发电机中的每个发电机,进一步基于所述至少两个发电机中的另一个发电机的运行特性产生所述发电机控制参数。

5. 根据权利要求1所述的控制系统,其中所述至少一个发电机中的每个发电机都基本与电网隔离。

6. 根据权利要求1所述的控制系统,其中所述至少一个负载包括冶炼装置。

7. 根据权利要求6所述的控制系统,其中所述冶炼装置包括至少一个电弧炉和/或至少一个钢包炉。

8. 根据权利要求1所述的控制系统,其中所述至少一个负载的运行特性包括:对于至少一个负载,相应的功率设定点或负载功率汲取。

9. 根据权利要求1所述的控制系统,其中所述负载控制参数包括:对于至少一个负载,相应的发电机能力限制、正升降速率限制、负升降速率限制、设定点阻挡增大或设定点阻挡减小。

10. 根据权利要求1所述的控制系统,其中所述至少一个发电机的运行特性包括:对于至少一个发电机,正升降速率限制、负升降速率限制、功率输出阻挡增大、功率输出阻挡减小或功率输出。

11. 根据权利要求1所述的控制系统,其中所述发电机控制参数包括:对于至少一个发电机,相应的功率需求。

12. 根据权利要求1所述的控制系统,其中所述主系统控制器被配置为:联合产生所述负载控制参数和所述发电机控制参数,以维持所述电力系统内的功率产生与功率消耗之间

的平衡。

13. 一种电力系统,包括:

至少一个发电机,响应于发电机控制参数以运行在总体发电机输出;

至少一个可控负载,由所述至少一个发电机供电,并且响应于负载控制参数以运行在总体负载设定点;以及

主系统控制器,被联接至并且被配置为通过基于所述至少一个发电机的运行特性产生所述负载控制参数以实现所述总体负载设定点,以及通过基于所述至少一个负载的运行特性产生所述发电机控制参数以实现所述总体发电机输出,来协调所述至少一个发电机与所述至少一个负载的运行。

14. 根据权利要求 13 所述的电力系统,其中所述至少一个发电机和所述至少一个负载每个都使用相应的双向数据通信线路链接至所述主系统控制器,以向所述主系统控制器提供所述至少一个发电机的运行特性和所述至少一个负载的运行特性。

15. 根据权利要求 13 所述的电力系统,进一步包括:至少一个发电机传感器,链接至所述主系统控制器,并且与所述至少一个发电机中的每个发电机关联,以监测所述至少一个发电机的运行特性;以及至少一个负载传感器,链接至所述主系统控制器,并且与所述至少一个负载中的每个负载关联,以监测所述至少一个负载的运行特性。

16. 根据权利要求 15 所述的电力系统,其中所述电力系统包括至少两个发电机和至少两个负载,并且其中所述主系统控制器被配置为:对于所述至少两个负载中的每个负载,进一步基于所述至少两个负载中的另一个负载的运行特性产生所述负载控制参数;并且对于所述至少两个发电机中的每个发电机,进一步基于所述至少两个发电机中的另一个发电机的运行特性产生所述发电机控制参数。

17. 根据权利要求 13 所述的电力系统,其中所述电力系统基本与电网隔离。

18. 根据权利要求 13 所述的电力系统,其中所述至少一个负载包括冶炼装置。

19. 根据权利要求 18 所述的电力系统,其中所述冶炼装置包括至少一个电弧炉和/或至少一个钢包炉。

20. 根据权利要求 13 所述的电力系统,其中所述至少一个负载的运行特性包括:对于至少一个负载,相应的功率设定点或负载功率汲取。

21. 根据权利要求 13 所述的电力系统,其中所述负载控制参数包括:对于至少一个负载,相应的发电机能力限制、正升降速率限制、负升降速率限制、设定点阻挡增大或设定点阻挡减小。

22. 根据权利要求 13 所述的电力系统,其中所述至少一个发电机的运行特性包括:对于至少一个发电机,正升降速率限制、负升降速率限制、功率输出阻挡增大、功率输出阻挡减小或功率输出。

23. 根据权利要求 13 所述的电力系统,其中所述发电机控制参数包括:对于至少一个发电机,相应的功率需求。

24. 根据权利要求 13 所述的电力系统,其中所述主系统控制器被配置为:联合产生所述负载控制参数和所述发电机控制参数,以维持所述电力系统内的功率产生与功率消耗之间的平衡。

25. 一种用于协调电力系统的运行的方法,所述电力系统包括至少一个发电机和由所

述至少一个发电机供电的至少一个可控负载,所述方法包括:

监测所述至少一个发电机的运行特性;

监测所述至少一个负载的运行特性;以及

通过基于所述至少一个发电机的运行特性产生负载控制参数以实现总体负载设定点,以及通过基于所述至少一个负载的运行特性产生发电机控制参数以实现总体发电机输出,来协调所述至少一个发电机和所述至少一个负载的运行。

26. 根据权利要求 25 所述的方法,其中所述电力装置系统包括至少两个发电机和至少两个可控负载,并且其中所述方法还包括:对于所述至少两个负载中的每个负载,进一步基于所述至少两个负载中的另一个负载的运行特性产生负载控制参数;并且对于所述至少两个发电机中的每个发电机,进一步基于所述至少两个发电机中的另一个发电机的运行特性产生发电机控制参数。

27. 根据权利要求 26 所述的方法,进一步包括:对于所述至少两个负载中的每个负载,产生相应的负载控制参数以实现所述至少两个负载的相应负载设定点;对于所述至少两个发电机中的每个发电机,产生相应的发电机设定点以实现所述至少两个发电机的相应发电机输出。

28. 根据权利要求 25 所述的方法,其中所述至少一个发电机中的每个发电机都基本与电网隔离。

29. 根据权利要求 25 所述的方法,其中所述至少一个负载包括冶炼装置。

30. 根据权利要求 29 所述的方法,其中所述冶炼装置包括至少一个电弧炉和/或至少一个钢包炉。

31. 根据权利要求 25 所述的方法,其中所述至少一个负载的运行特性包括:对于至少一个负载,相应的功率设定点或负载功率汲取。

32. 根据权利要求 25 所述的方法,其中所述负载控制参数包括:对于至少一个负载,相应的发电机能力限制、正升降速率限制、负升降速率限制、设定点阻挡增大或设定点阻挡减小。

33. 根据权利要求 25 所述的方法,其中所述至少一个发电机的运行特性包括:对于至少一个发电机,正升降速率限制、负升降速率限制、功率输出阻挡增大、功率输出阻挡减小或功率输出。

34. 根据权利要求 25 所述的方法,其中所述发电机控制参数包括:对于至少一个发电机,相应的功率需求。

35. 根据权利要求 25 所述的方法,进一步包括:联合产生所述负载控制参数和所述发电机控制参数,以维持所述电力系统内的功率产生与功率消耗之间的平衡。

36. 一种用于协调电力系统的运行的控制器,所述电力系统包括至少一个发电机和由所述至少一个发电机供电的至少一个可控负载,所述控制器包括:

发电机接口,用于接收表征所述至少一个发电机的运行特性的信号,并且用于向与所述至少一个发电机关联的发电机控制器提供发电机控制参数,所述发电机控制器响应于所述发电机控制参数以实现所述至少一个发电机的总体发电机输出;

负载接口,用于接收表征所述至少一个负载的运行特性的信号,并且用于向与所述至少一个负载关联的负载控制器提供负载控制参数,所述负载控制器响应于所述负载控制参

数以实现所述至少一个负载的总体负载设定点；以及

处理器，被配置通过基于所述至少一个发电机的运行特性确定所述负载控制参数以实现所述总体负载设定点，以及通过基于所述至少一个负载的运行特性确定所述发电机控制参数以实现所述总体发电机输出，来提供对所述至少一个发电机和所述至少一个负载的集成控制。

37. 一种电力装置，包括：

至少一个发电机，被配置为向至少一个可控负载供电，所述至少一个发电机响应于发电机控制参数以运行在总体发电机输出，并且所述至少一个可控负载响应于负载控制参数以运行在总体负载设定点；以及

主系统控制器，被联接至并且被配置为通过基于所述至少一个发电机的运行特性产生所述负载控制参数以实现所述总体负载设定点，以及通过基于所述至少一个负载的运行特性产生所述发电机控制参数以实现所述总体发电机输出，来协调所述至少一个发电机与所述至少一个负载的运行。

## 将自备发电设施的控制与冶炼设施的控制集成的方法

### 技术领域

[0001] 所描述的实施方案总体涉及用于受控的电负载和发电机的集成控制系统,更具体地涉及用于自备发电(captive power generation)和冶炼设施的集成控制系统。

### 背景技术

[0002] 实用电力装置通常基于被设计为调节发电单元功率输出的控制方案来运行,以满足为一个或多个负载选择的功率需求设定点,从而维持该电系统中的总体功率平衡。为了提供发电机功率调节,已开发了一些控制策略,它们将一个单元的锅炉和涡轮发电机的自动运行联系起来以按照协调方式运行,并且响应于功率需求的长期变化。已在发电行业中变得相对标准的这些控制策略通常包括在涡轮电平执行一种频率控制。通过监测该涡轮发电机的转动频率的偏差,通过该锅炉提供的机械能的相应变化,以反作用方式匹配了电功率需求的变化。从而,保持了该系统中的总体功率平衡。

[0003] 用于应对功率需求的短期趋势或其他未预料到的电负载瞬变的响应系统也已被开发出,并且集成在一些实用电力装置中。由于负载需求的减少,诸如抛载或断开等瞬变可要求立即的涡轮响应。高压和低压旁通系统可被用于通过将来自该发电单元的锅炉的过剩蒸汽传送到冷凝器(绕过该涡轮)以减少电输出,直到该锅炉(以它通常的高的热惯性)有时间响应并且降低它的机械输出以匹配该涡轮的减少的蒸汽需求。如果没有安装高压或低压旁通系统,则可替代地使用机电安全阀(ERV),以响应于压力积累将过剩蒸汽释放到大气中,从而减少供应至该涡轮的蒸汽以满足需求。然而,向大气释放蒸汽可因能量损失而降低总体装置效率。对于增加功率需求的瞬变,诸如负载接通,可使用类似的旁通系统来将附加蒸汽传送到该涡轮,假设该旁通系统内已纳入并且目前使能了可用蒸汽源,直到该锅炉有时间弥补其蒸汽输出以满足增加的需求。

### 发明内容

[0004] 在一个广义方面,一些实施方案提供了用于协调电力系统的运行的控制系统,所述电力系统包括至少一个发电机和至少一个可控负载。所述控制系统包括:发电机控制器,与所述至少一个发电机中的每个发电机关联,并且响应于发电机控制参数来控制所述至少一个发电机以实现总体发电机输出;负载控制器,与所述至少一个负载中的每个负载关联,并且响应于负载控制参数来控制所述至少一个负载以实现总体负载设定点;以及主系统控制器,通信链接至所述发电机控制器和所述负载控制器,并且被配置为通过基于所述至少一个发电机的运行特性产生所述负载控制参数以实现所述总体负载设定点,以及通过基于所述至少一个负载的运行特性产生所述发电机控制参数以实现所述总体发电机输出,来协调所述至少一个发电机与所述至少一个负载的运行。

[0005] 在另一个广义方面,一些实施方案提供了电力系统,所述电力系统包括:至少一个发电机,响应于发电机控制参数以运行在总体发电机输出;至少一个负载,响应于负载控制参数以运行在总体负载设定点;以及主系统控制器,被联接至并且被配置为通过基于所述

至少一个发电机的运行特性产生所述负载控制参数以实现所述总体负载设定点,以及通过基于所述至少一个负载的运行特性产生所述发电机控制参数以实现所述总体发电机输出,来协调所述至少一个发电机与所述至少一个负载的运行。

[0006] 在另一个广义方面,一些实施方案提供了用于协调电力系统的运行的方法,所述电力系统包括至少一个发电机和至少一个可控负载。所述方法包括:监测所述至少一个发电机的运行特性;监测所述至少一个负载的运行特性;以及通过基于所述至少一个发电机的运行特性产生负载控制参数以实现所述总体负载设定点,以及通过基于所述至少一个负载的运行特性产生发电机控制参数以实现所述总体发电机输出,来协调所述至少一个发电机与所述至少一个负载的运行。

[0007] 在另一个广义方面,一些实施方案提供了用于协调电力系统的运行的控制器,所述电力系统包括至少一个发电机和由所述至少一个发电机供电的至少一个可控负载。所述控制器包括:发电机接口,用于接收表征所述至少一个发电机的运行特性的信号,并且用于向与所述至少一个发电机关联的发电机控制器提供发电机控制参数,所述发电机控制器响应于所述发电机控制参数以实现所述至少一个发电机的总体发电机输出;负载接口,用于接收代表所述至少一个负载的运行特性的信号,并且用于向与所述至少一个负载关联的负载控制器提供负载控制参数,所述负载控制器响应于所述负载控制参数以实现所述至少一个负载的总体负载设定点;以及处理器,被配置为通过基于所述至少一个发电机的运行特性确定所述负载控制参数以实现所述总体负载设定点,以及通过基于所述至少一个负载的运行特性确定所述发电机控制参数以实现总体发电机输出,来提供对所述至少一个发电机和所述至少一个负载的集成控制。

[0008] 在另一个广义方面,一些实施方案提供了电力装置,所述电力装置包括:至少一个发电机,被配置为向至少一个可控负载供电,所述至少一个发电机响应于发电机控制参数以运行在总体发电机输出,并且所述至少一个负载响应于负载控制参数以运行在总体负载设定点;以及主系统控制器,被联接至并且被配置为通过基于所述至少一个发电机的运行特性产生所述负载控制参数以实现所述总体负载设定点,以及通过基于所述至少一个负载的运行特性产生所述发电机控制参数以实现总体发电机输出,来协调所述至少一个发电机与所述至少一个负载的运行。

[0009] 这些及其他方面在本文中被阐述。

#### 附图说明

[0010] 本文下面参照以下附图提供了对实施方案(包括优选实施方案)的详细描述,在附图中:

[0011] 图 1 以简化的电路图示出了一个具有集成的发电机侧和负载侧的功率控制的系统;

[0012] 图 2 以简化的电路图示出了另一个具有集成的发电机侧和负载侧的功率控制的系统;

[0013] 图 3 以示意图示出了用于图 3 所示的系统的控制系统的概观;

[0014] 图 4 以示意图更详细地示出了图 3 所示的电弧炉控制器;

[0015] 图 5 以示意图更详细地示出了图 3 所示的钢包炉(ladle furnace)控制器;

- [0016] 图 6A 以示意图更详细地示出了图 3 所示的单元协调器；
- [0017] 图 6B 以示意图更详细地示出了图 6A 所示的阻挡增大(block increase)控制和阻挡减小(block decrease)控制；
- [0018] 图 6C 以示意图更详细地示出了图 6A 所示的回转控制模块(runback control module)；
- [0019] 图 7 以示意图更详细地示出了图 3 所示的 CTG 主控制器；
- [0020] 图 8A 以示意图更详细地示出了图 3 所示的主系统控制器的一部分；
- [0021] 图 8B 以示意图更详细地示出了图 3 所示的主系统控制器的另一部分；
- [0022] 图 8C 以示意图更详细地示出了图 3 所示的主系统控制器的另一部分；
- [0023] 图 8D 以示意图更详细地示出了图 3 所示的主系统控制器的另一部分；
- [0024] 图 8E 以示意图更详细地示出了图 3 所示的主系统控制器的另一部分；
- [0025] 图 8F 以示意图更详细地示出了图 3 所示的主系统控制器的另一部分；
- [0026] 图 9 以流程图示出了使用图 3 所示的控制系统执行电极滑移(slip)或更换的方法。
- [0027] 应理解,这些图仅是示例性的。对这些图的所有参考都仅为了例示目的,而不旨在以任何方式限制本文下面描述的实施方案的范围。为了方便,也可在全部图中重复参考数字(有或没有支系)以表示类似的部件或特征。

### 具体实施方式

[0028] 大型冶炼装置和设施,诸如在熔炼及其他金属矿石处理中使用的,可代表对于发电设施的显著的且有挑战性的负载。这些设施的一些实例包括电弧炉(EAF)和钢包炉(LMF)。电弧炉的功率汲取(power draw)通常是大的、无功的(reactive)(但也可包括有功(real)分量),并且是高度可变的。如果该冶炼装置连接至大的且鲁棒的电网,则甚至在运行期间该电弧炉处大的功率波动,也仅代表从供应该电网的发电机看来小的总体扰动。结果,即使在负载侧没有任何电力调节,协调的发电机控制也可足以稳定该电网、限制频率漂移并且避免灾难性的设备故障。

[0029] 然而,负载功率稳定仍被实施以维持良好的功率平衡和高效的冶炼装置运行。用于电弧炉(直流和三相)的控制方案在例如美国专利 No. 6, 603, 795、美国专利 No. 7, 212, 561、美国专利 No. 7, 212, 562 和美国专利 No. 7, 257, 146 中描述,这些专利中的每个专利的全部内容都特此通过引用纳入。这些控制方案利用了一个或多个不同技术来将功率消耗稳定在设定点附近,包括可变反应器控制、输入反馈控制和电极高度调节。还描述了用于在该电力系统中运行的所有负载上将多个电弧炉调节到一个总体功率设定点的控制方案。如果通过所描述的方案之一,该负载(或多个负载)可被调节到期望的功率设定点,则系统功率需求的长期趋势(例如设定点变化)可随后在该发电机侧匹配到处于可接受的性能指标内,例如,使用涡轮电平频率控制并且(如果需要则)使用上述旁通方案。

[0030] 然而,许多冶炼设施都建在可能不总是方便接入电网甚至根本不可能接入电网的偏远地点。在这些情况下,可建造完全隔离于该电网的“自备(captive)”或“岛式(islanded)”发电设施,并将它们用作该冶炼设施的唯一电力源。维持自备发电设施中的发电与耗电之间的平衡对于该装置的可靠运行可以是重要的。发电机输出和负载功率设定点

的显著失配可导致大的频率漂移,从而引起谐波和系统总线上的其他失真,这都会降低该电力装置的总体效率,并且趋于增加设备磨损和毁坏,从而导致长期的维护成本增加。在可能最不利情况下,该装置的显著足够的功率失衡可导致发电机停工(shutdown)和装置功率的全部损失,以及其他形式的发电机故障,从而引起该冶炼装置的完全停工。对于仅由自备发电机供电的冶炼设施,传统的在发电机运转上的协调控制,与针对负载上涨的功率稳定技术一起(但不集成),可能不足以应对大型冶炼电力装置会遇到的满标度(full range)的功率瞬变。协调的发电机控制可能本身没有快到,在不动摇该装置的总体功率平衡的前提下满足变化的负载需求。

[0031] 本文描述的实施方案提供了一种用于将发电设施的控制与冶炼装置的控制集成在一起从而协调这两个过程的运行的系统。在该协调控制系统中,一个或多个负载的控制信号和/或运行特性(可包括功率设定点)通过主系统控制器被中继至安装在该电力系统中的一个或多个发电机单元,以确定用于所述一个或多个发电机单元的输入控制参数。通过接收所述输入控制参数,关联的发电机控制器可随后调节所述一个或多个发电机单元,以实现期望的发电机输出。类似地,所述一个或多个发电机的控制信号和/或运行特性(可包括功率输出能力)通过所述主系统控制器被中继至所述一个或多个负载,以确定用于所述一个或多个负载的输入控制参数。再度,通过接收所述输入控制参数,关联的负载控制器可随后调节所述一个或多个负载,以实现总体负载功率设定点。所述发电机与所述冶炼装置设施之间的前向和后向控制环都可用于自动协调每个设施在相应的稳定包络(stability envelopes)内的运行。所述发电机与负载之间的运行特性及其他控制信息的主动交换提高了预测性控制的水平,以补充上述无功控制方案。

[0032] 尽管本文描述的实施方案主要提及冶炼设施和工业涡轮发电机,但应意识到,这些实施方案还可应用至任何使用至少一个发电机来为至少一个受控的电力负载(可以是大的并且高度可变的)供电的设施。这些实施方案还主要在自备发电设施的语境中被描述,但也可适于其他工业应用。

[0033] 尽管本文描述的实施方案主要提及由自备发电设施供电的负载,但这些实施方案还可用在混合电源的系统中,包括补充从电网或其他电源获得的电力或者被从电网或其他电源获得的电力补充的本地或自备发电设施。尽管该电网中的部件可被适配为抵抗由负载的变化导致的故障,但可能期望将对负载的控制与对本地或自备发电设施的控制集成在一起以降低本地或自备发电设施发生故障的风险。

[0034] 现在参照图 1,其示出了具有集成的发电机侧和负载侧电力控制的电力系统 20 的简化电路图。在一些实施方案中,电力系统 20 可代表自备发电机和冶炼装置设施。电力系统 20 包括发电机 25,发电机 25 经由系统总线 32 联接至受控的电力负载 30,系统总线 32 可既具有电阻性分量也具有电感性分量。发电机 25 是任何工业级电力发电机,诸如循环流化床(CFB)锅炉/蒸汽涡轮发电机(STG)或燃气涡轮发电机(CTG),它被单元协调器 35 控制以在不超过最大输出能力的不同功率输出水平的范围内运行。例如,单元协调器 35 可控制该发电机涡轮的阀位置以调节功率输出。同时,单元协调器 35 还可与所述阀位置同步地控制锅炉水位(boiler level),以协调发电机 25 的运行。除了有功功率输出控制,发电机 25 还可实施涡轮电平频率控制和/或高压和低压旁通系统,以基于电力系统 20 内变化的需求来调节输出。这些形式的总体无功控制补充了由单元协调器 35 执行的有功输出水平控

制。发电机 25 可连接至电网(未示出),但在至少一些实施方案中,发电机 25 可以是基本与主电网隔离的“自备”或“岛式”发电机。在一些实施方案中,发电机 25 可用作负载 30 的唯一或主要电源,而在其他实施方案中,发电机 25 可以是参与向负载 30 供电的许多发电单元之一。

[0035] 负载 30 可以是具有大的且高度可变的功率汲取的大型冶炼装置,诸如直流或三相电弧炉(EAF)或钢包炉(LMF)。负载 30 汲取的功率可既包括有功功率分量又包括无功功率分量,并且在至少一些情况下可包括大的无功分量(如果未经调节)。负载 30 被关联的负载控制器 40 控制,以根据负载控制器 40 应用的控制参数运行在一个或多个不同的负载设定点。所述负载控制参数可包括负载 30 待被调节的参考水平,以及其他影响负载 30 的瞬变性能的控制参数。例如,负载控制器 40 可实施美国专利 No. 6,603,795 中描述的控制方案之一,该美国专利通过引用纳入本文。作为一些非限制性实施例,负载控制器 40 可在下列中的每一个上调节负载 30:复功率设定点(单相或三相)、有功或无功功率设定点(单相或三相)、功率角设定点、电流设定点(单相或三相)、电压设定点(单相或三相)、阻抗设定点,等等。负载 30 可以是三相负载,诸如交流电弧炉,但替代地可以是单相负载,诸如直流电弧炉。如贯穿本文使用的,应理解术语“设定点”可指负载控制器 40 试图实现的针对负载 30 的参考或调节水平(与瞬时测量水平成对比)。因此,在负载控制器 40 的影响下并且响应于提供给负载控制器 40 的控制参数,负载 30 可被调节至一个或多个不同的设定点。

[0036] 主系统控制器 45 提供了在单元协调器 35 与负载控制器 40 之间的双向通信和数据交换,以协调发电机 25 的运行与负载 30 的运行。发电机传感器 50 监测发电机 25 的一个或多个运行特性并且联接至中央控制器 40,中央控制器 40 被配置为从发电机传感器 50 接收运行特性信息。例如,发电机传感器 50 可提供对发电机输出功率、电源电压、电源电流、功率因数、有功和 / 或无功功率、系统频率、谐波含量的瞬时测量。可选地,发电机传感器 50 中还可包括一个或多个数模转换器(未示出),以对所测得的数据进行采样并且数字化。发电机传感器 50 还可监测包括在发电机 25 中的不同设备的运行状态,以确定发电机供电能力。例如,取决于在发电机 25 中设计了多大冗余,在冗余系统故障或脱机的情况下发电机供电能力可极微地降低。

[0037] 负载传感器 55 监测负载 30 的一个或多个运行特性,并且向主系统控制器 45 提供负载 30 的运行特性信息,主系统控制器 45 联接至负载传感器 55。所监测的运行特性可包括,例如,负载复功率、有功功率、无功功率、负载电压、负载电流、功率角等的瞬时测量值。可选地,负载传感器 55 中还可包括一个或多个数模转换器(未示出),以对所测得的数据进行采样和数字化。

[0038] 主系统控制器 45 使用数据通信线路 60 链接至单元协调器 35,并且借助数据通信线路 65 链接至负载控制器 40。数据通信线路 60 和 65 每个都可在每个方向上包括多个数据通道,没有限制,使得在主系统控制器 45 的协调下,在单元协调器 35 与负载控制器 40 之间可双向交换所要求的任何数目的系统参数。使用双向数据通信线路 60,主系统控制器 45 向单元协调器 35 提供相应的输入控制参数来控制发电机 25 的运行以实现期望的发电机输出。主系统控制器 45 基于负载 30 的一个或多个运行特性(诸如功率设定点、所测得的值或其他控制信号)来确定所述发电机控制参数。以平行方式,主系统控制器 45 向负载控制器 40 提供相应的输入控制参数来控制负载 30 的运行以实现期望的负载设定点,并且基于发

电机 25 的一个或多个运行特性(诸如输出能力或升降速率限制、所测得的值或其他控制信号)来确定所述负载控制参数。

[0039] 可选地,主系统控制器 45 还包括外部输入 70,用于接收,例如,用户输入控制指令或参数或者其他控制信息。在这样的情况下,也可基于外部接收的用户输入控制指令来确定用于单元协调器 35 和负载控制器 40 的控制输入参数。

[0040] 主系统控制器 45 可被配置为根据电力系统 20 的要求或特定应用来为单元协调器 35 和负载控制器 40 产生不同的控制参数。例如,在一些实施方案中,主系统控制器 45 基于负载 30 的功率设定点来确定发电机 25 的单元功率需求。数据通信线路 60 用于将该单元功率需求提供给单元协调器 35,单元协调器 35 则控制发电机 25 中的锅炉水位和涡轮阀位置,以调节发电机 25 的功率输出从而匹配指定的单元功率需求。由于负载 30 的功率设定点被改变,负载控制器 40 将新的功率设定点前馈至主系统控制器 45(借助数据通信线路 65)。主系统控制器 45 接收该运行特性信息,并且将该运行特性信息中继至单元协调器 35,经过或不经调整,使得发电机 25 的功率输出可匹配至新的负载功率消耗。负载 30 的功率设定点可根据计划变化而被改变,但也可在未预料到的抛载(load rejections)的情况下根据需要来调整。

[0041] 另外,在一些实施方案中,主系统控制器 45 还可使用传感器 55 来监测负载 30 的瞬时功率消耗。作为基于该负载功率设定点执行对发电机输出的有功前馈控制的单元协调器 35 的附加或替代,单元协调器 35 还可基于所测得的瞬时负载功率执行无功控制(例如频率控制)。该频率控制可与该前馈控制同步执行并且补充该前馈控制,这是因为该频率控制不需要必然是鲁棒的或攻击性的。

[0042] 单元协调器 35 还使用数据通信线路 60 向主系统控制器 45 提供单元功率能力限制,这代表发电机 25 在运行期间的最大可用功率输出。通常,发电机 25 将被设计为在连续的正常运行期间具有最大功率输出能力。然而,发电机 25 的输出能力因设备故障而在运行期间可改变。单元协调器 35 监测发电机 25 内的不同设备或安全系统,以确定该设备或系统是否正常工作,并且基于该反馈来确定发电机 25 的目前输出能力。在一些情况下,在发电机 25 内可设立冗余,使得如果某一个设备发生故障,则一个或多个冗余系统仍会就位并且可运行。结果,发动机输出会仅略微下降。例如,如果两个冷却风扇之一发生故障,则发电机输出能力可下降一半,而不是下降至零(如果没有设立该冗余的情形)。

[0043] 在任何情况下,单元协调器 35 监测发电机设备以确定发电机 25 的输出能力。在已从单元协调器 35 接收到发电机输出能力时,主系统控制器 45 则对负载 30 的功率设定点设置有效的运行限制。因此,如果负载控制器 40 选择的负载功率设定点高于发电机输出能力(这可在发电机输出能力突然下降时发生),则主系统控制器 45 将该负载设定点自动降低到处于发电机 25 的单元能力限制内。否则,如果所选择的负载功率设定点已处于发电机 25 的单元能力限制内,则主系统控制器 45 不采取行动。

[0044] 为了确保发电机 25 对变化的负载功率需求的反应时间足够快,主系统控制器 45 还对负载控制器 40 可升高或降低负载 30 的不同设定点(诸如功率设定点)的速率施加了限制(下文称为“升降速率限制”)。正升降速率限制(positive ramp rate limits)(即,该负载设定点被增大的最大速率)可不必然等于负升降速率限制(negative ramp rate limits)(即,该负载设定点被减小的最大速率),并且基于施加至发电机 25 的功率输出的相应的升

降速率限制在单元协调器 35 处产生。为了确保发电机 25 和负载 30 在运行设定点变化期间的协调运行,施加至负载 30 的升降速率限制通常会(尽管不必然)对应于发电机 25 的有效升降速率限制。在一些实施方案中,主系统控制器 45 可基于发电机 25 的升降速率限制来为负载 30 产生升降速率限制。在一些实施方案中,操作者输入也可用于指定发电机升降速率限制。然而,单元协调器 35 也可基于发电机 25 的监测运行特性(诸如锅炉水位或涡轮应力限制)来确定或调整发电机升降速率限制。主系统控制器 45 接收发该电机升降速率限制,并且将该发电机升降速率限制中继至负载控制器 40,以应用至负载 30。因此,在负载设定点变化期间,负载控制器 40 将根据规定的速率限制来升高或降低负载设定点,从而影响负载 30 的瞬时行为。这样做允许了单元控制器 35 同步地调整发电机输出,从而在电力系统 20 内维持适当的功率稳定性包络。

[0045] 在一些实施方案中,主系统控制器 45 还被配置为协调施加至负载 30 的升降增大保持(ramp increase hold)或升降减小保持(ramp decrease hold)。通过监测发电机 25 的不同运行特性,单元协调器 35 可确定,目前进行中的负载设定点的升降应被暂停。这可在,例如,发电机 25 的监测运行特性偏离规定的运行范围时发生。在一些情况下,该运行特性可超出最大安全值,而在另一些情况下,该运行特性可降到最小安全值以下。在任一情况下,单元协调器 35 都确定,进行中的负载设定点升降变化应被暂停,直到故障清除并且所监测的运行特性恢复至规定的安全运行范围。可施加保持以阻挡负载 30 的功率设定点增大(而同时允许减小,如果负载控制器 40 要求的话),或者替代地阻挡负载 30 的功率设定点减小(而同时允许增大)。替代地,主系统控制器 45 可同时阻挡负载 30 的功率设定点增大和减小。例如,如果该负载设定点被增大并且单元协调器 35 确定锅炉鼓筒(drum)水位过低,则可对升高施加保持,直到鼓筒水位恢复到安全水位。如果单元协调器 35 不对升高施加阻挡,则锅炉鼓筒水位会降到足以导致完全的锅炉故障或其他损坏。

[0046] 主系统控制器 45 可使用硬件和/或软件部件的组合实施。例如,主系统控制器 45 可在可编程处理设备被实施,该可编程处理设备诸如:微处理器或微控制器、可编程逻辑控制器(PLC)、中央处理单元(CPU)、数字信号处理器(DSP)、现场可编程门阵列(FPGA)、通用目的处理器等。该可编程处理设备可联接至程序存储器,该程序存储器存储用于对所述可编程处理设备进行编程,以执行主系统控制器 45 的功能和/或例行事务。该程序存储器可包括易失性和非易失性的非暂态存储介质,并且包括随机存取存储器(RAM)、动态随机存取存储器(DRAM)、静态随机存取存储器(SRAM)、只读存储器(ROM)、可编程只读存储器(PROM)、可擦可编程只读存储器(EPROM)、电可擦可编程只读存储器(EEPROM)、闪存、磁性介质以及光学介质。

[0047] 尽管已就发电机 25 和负载 30 的一些具体的运行特性和控制参数描述了电力系统 20,但应意识到,主系统控制器 45 不必然仅限于那些具体描述的。主系统控制器 45 的配置可被扩展,以确定并且向发电机和/或负载 30 提供未具体描述的附加控制参数,这些附加控制参数也可基于未具体描述的其他运行特性、设定点、和/或逻辑/参考值。

[0048] 现在参照图 2,其示出了具有集成的发电机侧和负载侧功率控制的电力系统 120 的简化电路图。电力系统 120 与电力系统 20 类似,但包括多个发电机和多个负载,这与单个发电机 25 和单个负载 30 (图 1)成对比。据此,电力系统 120 包括按照并联配置连接至系统总线 132 的多个发电机 125a-d。发电机 125a 和 125b 可以每个都是具有指定电功率输

出(例如 110MWe)的循环流化床(CFB)锅炉 / 蒸汽涡轮发电机(STG),而发电机 125c 和 125d 可以每个都是例如燃气涡轮发电机(CTG)。通常,发电机 125a-d 用于向连接在系统总线 132 上的多个可控冶炼负载 130a-c 供电。在一些实施方案中,电力系统 120 可以是自备设施的一部分,使得发电机 125a-d 为负载 130a-c 提供唯一或主要的电源。然而,在替代实施方案中,电力系统 120 可连接至实用电网。

[0049] 负载 130a 和 130b 可以每个都是交流或直流电弧炉(EAF)。负载 130c 可以是钢包炉(LMF),用于诸如从电弧炉 130a 和 130b 产生的炉渣中回收合金元素等目的,但也用于将电弧炉 130a 和 130b 的输入给料物质预加热。通常,尽管不必然,这两个电弧炉 130a 和 130b 可代表对于发电机 125a-d 而言大的且高度可变的功率汲取,有功的和 / 或无功的。功率波动,例如高达或超过 50MWe 的瞬时或设定点变化,对于电力系统 120 是可预料到的。与电弧炉 130a 和 130b 相比,钢包炉 130c 可通常代表例如约 10MWe 的较小的功率汲取,钢包炉 130c 在电弧炉 130a 和 130b 的运行期间以某一频率交替接通和断开。然而,负载 130a-c 的其他运行模式也是可行的。

[0050] 在该配置中,CFB/STG 发电机 125a 和 125b 可以作为电力系统 120 中的主电源来运行,其中包括的两个相同大小的发电机提供了冗余措施。这样,如果 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 之一发生故障或脱机(例如用于例行维护),则电力系统 120 中的主电力生产将仅减少一半。在 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 负责主发电的情况下,在电力系统 120 内可使用两个 CTG 发电机 125c 和 125d 作为快速响应的次级发电机,以应对在负载峰值期间或者在这两个 CTG 发电机之一发生故障或脱机时 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 的任何电力短缺。然而,CTG 发电机 125c 和 125d 的其他用途也可以是明了的。在一些替代实施方案中,也可使用其他类型的工业级电力设施来实现发电机 125a-d。

[0051] 单元协调器 135a 和 135b 分别与 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 关联,并且与单元协调器 35 (在图 1 中示出)类似地工作。类似地,CTG 主控制器 135c 和 135d 与 CTG 发电机 125c 和 125d 关联,并且控制 CTG 发电机 125c 和 125d 的运行。负载控制器 140a-c 也与负载 130a-c 关联,并且控制负载 130a-c 的运行,类似于上文参照负载控制器 40 和图 1 所述的。这样,每个单元协调器 135a 和 135b 都被配置为用于在期望的功率输出水平相应 CFB/STG 发电机 125a 和 135b 的协调的锅炉和涡轮运行。单元协调器 135a 和 135b 从主系统控制器 145 接收输入控制参数,并且向主系统控制器 145 提供用于相应发电机 125a 或 125b 的运行特征和其他控制信号或信息。

[0052] CTG 主控制器 135c 和 135d 类似地工作,以分别控制 CTG 发电机 125c 和 135d 的功率输出水平。(但由于 CTG 发电机 125c 和 125d 不具有等同的锅炉,CTG 主控制器 135c 和 135d 实施的具体控制方案可总体不同于单元协调器 135a 和 135b 实施的)。如上所述,发电机传感器 150a-d 也测量发电机 125a-d 的一个或多个运行特性,可包括发电机功率输出、电源电压、电源电流、功率因数等的瞬时测量值。

[0053] 负载控制器 140a-c 分别与电弧炉 130a 和 130b 以及钢包炉 130c 关联。如上所述,负载控制器 140a-c 被配置为,基于从主系统控制器 145 接收的一个或多个输入控制参数,来控制用于在所选择的负载设定点运行的相应负载。负载控制器 140a-c 还被配置为向主系统控制器 145 提供用于相应负载 130a-c 的运行特性信息。也如上所述,负载传感器 155a-c 还监测负载 130a-c 的一个或多个运行特性。

[0054] 主系统控制器 145 链接至单元协调器 135a 和 135b、CTG 主控制器 135c 和 135d 以及负载控制器 140a-c 中的每一个,以协调电力系统 120 的运行。在维持发电机功率供应与负载功率消耗之间的平衡方面,主系统控制器 145 执行的功能类似于主系统控制器 45 (图 1) 执行的功能。然而,主系统控制器 145 附加地被配置为在发电机 125a-d 之间分配总体功率生成以及在负载 130a-c 之间分配总体功率消耗。从而,主系统控制器 145 个别地确定了针对每个发电机 125a-d 的功率输出水平,以及集体地确定了针对发电机 125a-d 的总体功率输出水平。这样,主系统控制器 145 还可按照期望在发电机 125a-d 之间分配电力系统 120 内的总体功率供应。对于负载 130a-c 执行了类似的功能。主系统控制器 145 可个别地确定用于负载 130a-c 的相应设定点,以及集体地确定用于负载 130a-c 的总体设定点。电力系统 120 内的功率消耗也可由主系统控制器 145 按照期望分配。

[0055] 具体而言,主系统控制器 145 被配置为针对负载 130a 和 130b 产生对应于个别选择的负载功率设定点的输入控制参数,这些个别选择的负载功率设定点可以相同或不同,根据所应用的控制类型而定。例如,负载 130a 可被控制以运行在第一功率设定点(例如 40MW),并且负载 130b 可被同时控制以运行在第二功率设定点(例如 75MW),不同于第一功率设定点。在一些实施方案中,主系统控制器 145 还被配置为针对负载 130a 和 130b 产生输入控制参数,使得实现总体负载设定点(例如 115MW),无论负载 130a 和 130b 是否运行在相同或不同的功率设定点。例如,主系统控制器 145 可实施类似于美国专利 No. 7, 212, 561、No. 7, 212, 562 和 No. 7, 257, 146 (通过以上引用纳入) 中描述的控制方案,以维持连接至系统总线 132 的所有负载的总体功率平衡或相位角。

[0056] 类似地,主系统控制器 145 被配置为针对发电机 125a-d 产生输入控制参数,使得根据相应的个别功率输出水平在发电机 125a-d 之间分配系统 120 内的总体功率输出。用于每个发电机 125a-d 的个体功率输出水平的总和等于发电机 125a-d 的总体功率输出。发电机 125a-d 的各自功率输出水平可相同或不同,取决于主系统控制器 145 如何调节发电机 125a-d。例如,发电机 125a 可被控制以基于主系统控制器 145 提供的第一输出功率需求供应第一输出功率水平,并且发电机 125b 可被控制以基于主系统控制器 145 提供的第二输出功率需求供应第二输出功率水平,该第二输出功率需求不同于作用于控制发电机 125a 的输入控制参数的第一输出功率需求。该第一输出功率需求和该第二输出功率需求可被主系统控制器 145 计算,以满足电力系统 120 内的总体功率需求(例如,等于负载 130a-c 加上电力系统 120 中存在的任何厂用负载的总体功率汲取)。然而,在一些实施方案中,作为发电机 125a 和 125b 的输入控制参数提供的相应功率需求不必然需要相等,只要发电机 125a 和 125b 的组合输出满足总功率需求。这可导致不平衡的发电机输出。

[0057] 作为一个示例,如果负载 130a 和 130b 每个汲取 44MW,负载 130c 汲取 10MW,并且假设 2MW 的厂用负载,则电力系统 120 内的总体功率需求将等于 100MW。主系统控制器 145 则可从发电机 125a 和 125b 中的每一个请求 50MW 的输出来满足总体需求。单元协调器 135a 和 135b 则将调整发电机 125a 和 125b 的相应输出以匹配。替代地,主系统控制器 145 可从发电机 125a 和 125b 请求不平衡生产,诸如从发电机 125a 请求 45MW,从发电机 125b 请求 55MW,它们合起来是所要求的 100MW 总输出。在再另一些实施方案中,主系统控制器 145 不主动调节每个发电机 125a 和 125b 的相对输出,而是仅控制这两个发电机 125a 和 125b 的组合功率输出。单元协调器 135a 和 135b 则相互比较以满足总体功率需求,并且来自每个

发电机 125a 和 125b 的相应功率输出实际上由单元协调器 135a 和 135b 的动态性能特性决定。

[0058] 在一些实施方案中,除了发电机 125a 和 125b 提供的主功率输出以外,发电机 125c 和 125d 还可被主系统控制器 145 致动和控制以提供副输出功率水平,使得满足负载 130a-c (加上任何厂用负载)的总体功率需求。再度,主系统控制器 145 可针对每个发电机 125a-d 主动设定单元功率需求以调节相应的输出水平,或者替代地可调节发电机 125a-d 以满足总体功率需求,从而使发电机 125a-d 的相对功率输出由单元协调器 135a 和 135b 以及 CTG 主控制器 135c 和 135d 的动态性能决定。发电机 125c 和 125d 致动后能被主系统控制器 145 用作系统 120 内的快速响应发电机,被配置为弥补这两个主发电机 125a 和 125b 在负载瞬变、回转事件期间或者因其他原因引起的任何电力短缺。

[0059] 上面描述了主系统控制器 145 产生的输入控制参数的类型,参照图 1 中示出的主系统控制器 45,但额外地可指定个别以及整体的设定点和输出水平。这样,主系统控制器 145 可为发电机 125a-d 确定个别单元以及总体的功率输出水平。主系统控制器 145 还针对负载 130a-c 确定了个别以及总体的负载功率设定点。用于发电机 125a-d 的个别单元输出能力限制也被提供给主系统控制器 145。个别升降速率限制和功率设定点保持也由主系统控制器 145 确定。

[0060] 应意识到,电力系统 120 在图 2 中是以例示形式示出的,仅明确示出了四个发电机 125a-d 和三个受控的电力负载 130a-c。在不同实施方案中,电力系统 120 可被修改以包括任意数目的发电机和 / 或负载。

[0061] 现在参照图 3,其示出了用于图 2 中示出的电力系统 120 的控制系统 200 的概括示意图。控制系统 200 包括分别用于控制电弧炉 130a 和 130b 的第一 EAF 主控制器 205 和第二 EAF 主控制器 210,以及用于控制钢包炉 130c 的 LMF 主控制器 215。EAF 主控制器 205 和 210 以及 LMF 主控制器 215 中的每一个都联接至主系统控制器 145,主系统控制器 145 以协调的集成的方式控制每个关联的炉。

[0062] 控制系统 200 还包括分别用于控制 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 的第一单元协调器 220 和第二单元协调器 225,以及分别用于控制 CTG 发电机 125c 和 125d 的第一 CTG 主控制器 230 和第二 CTG 主控制器 235。主系统控制器 145 还联接至第一单元协调器 220、第二单元协调器 225、第一 CTG 主控制器 230 和第二 CTG 主控制器 235 中的每一个,并且以协调的集成的方式控制每个关联的发电机 125a-d。单元协调器 220 还具有关联的锅炉主设备 280 和涡轮主设备 285,并且类似地,单元协调器 225 具有关联的锅炉主设备 290 和涡轮主设备 295。

[0063] 主系统控制器 145 使用数据通信线路 240 联接至 EAF 主控制器 205,主系统控制器 145 通过数据通信线路 240 向 EAF 控制器 205 提供负载控制参数并且接收电弧炉 130a 的运行特性。主系统控制器 145 还使用数据通信线路 245 联接至 EAF 主控制器 210,主系统控制器 145 通过数据通信线路 245 向 EAF 控制器 210 提供负载控制参数并且接收电弧炉 130b 的运行特性。在控制系统 200 的该示例配置中,EAF 控制器 205 和 210 是相同的,尽管在替代实施方案中,EAF 控制器 205 和 210 可相对于彼此具有不同配置。据此,下面对 EAF 控制器 205 的描述也同样适用于 EAF 控制器 210。

[0064] 电弧炉 130a 的运行特性由 EAF 控制器 205 基于操作者输入来提供,并且包括电弧

炉 130a 的功率设定点 (POW\_SET\_PNT)。电极滑移发起的 (ELEC\_SLP\_INIT) 控制参数也由 EAF 控制器 205 提供给主系统控制器 145。用于 EAF 控制器 205 的输入控制参数由主系统控制器 145 基于发电机 125a-d 的运行特性来产生, 并且包括: 系统能力限制 (SYS\_CAP\_LIM)、正升降速率限制 (POS\_RAMP\_LIM)、负升降速率限制 (NEG\_RAMP\_LIM)、阻挡增大 (BLK\_INC)、阻挡减小 (BLK\_DEC) 以及电极滑移许可 (ELEC\_SLP\_PER) 控制参数。第二 EAF 控制器 210 通过数据通信线路 245 联接至主系统控制器 145, 数据通信线路 245 用于传送与数据通信线路 240 相同的负载控制参数和运行特性, 但被计算用于与第二 EAF 控制器 210 关联的电弧炉 130b。

[0065] POW\_SET\_POINT 运行特性代表每个相应 EAF 的经调节的功率水平, 并且可在复功率、有功功率、无功功率以及功率角中的一个或多个方面被限定。控制系统 200 的外部操作者可选择并且输入目标功率水平, 该目标功率水平待用作关联的 EAF 的功率设定点。然而, 如将在下面更详细地解释的, 可在发电机 125a-d 中实施发电机回转控制, 以超驰 (override) 所选择的目标功率水平并且对 EAF 功率设定点施加有效的系统能力, 从而确保负载需求不超过可用的发电容量。此外, ELEC\_SLP\_INIT 控制参数是表示电弧炉 130a 是否要求电极滑移或电极更换操作的布尔变量。与 ELEC\_SLP\_PER 控制参数一起, 主系统控制器 145 使用 ELEC\_SLP\_INIT 来发起给定的 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 与给定的电弧炉 130a 或 130b 之间的通信协议, 以便于所要求的电极运行。

[0066] 在用于 EAF 控制器 205 的负载控制参数方面, SYS\_CAP\_LIM 参数代表电弧炉 130a 的功率设定点的运行上限, 该运行上限是基于可用的发电能力确定的, 并且考虑到电力系统 120 中存在的其他负载 (潜在地包括厂用负载) 的瞬时功率汲取。POS\_RAMP\_LIM 和 NEG\_RAMP\_LIM 参数代表对 EAF130a 的功率设定点可被增大或减小的速率的相应限制。这些升降限制可关于施加至 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 的相应升降限制来限定, 并且可通常等于施加至 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 的相应升降限制。BLK\_INC 控制参数是表示是否允许继续升高该电弧炉 130a 的功率设定点的布尔变量。类似地, BLK\_DEC 控制参数是表示是否允许继续降低该功率设定点的布尔变量。最后, ELEC\_SLP\_PER 参数是结合 ELEC\_SLP\_INIT 使用以协调电极滑移和更换操作的布尔变量。

[0067] LMF 控制器 215 使用数据通信线路 250 联接至主系统控制器 145, 主系统控制器 145 通过数据通信线路 250 向 LMF 控制器 215 提供输入控制参数并且接收钢包炉 130c 的运行特性。钢包炉 130c 的运行特性由 LMF 控制器 215 基于操作者输入提供, 并且包括钢包炉 130c 的功率设定点 (POW\_SET\_PNT)。POW\_SET\_PNT 运行特性代表钢包炉 130c 的目标功率水平, 该目标功率水平也可在复功率、有功功率、无功功率以及功率角中的一个或多个方面被限定。外部操作者可选择用于钢包炉 130c 的目标功率水平。可选地, 类似于 ELEC\_SLP\_INIT 控制参数, 也可利用钢包运行启动 (LAD\_OP\_INIT) 控制参数, 来发起用于协调钢包炉 30c 的接通的通信协议。然而, 在一些实施方案中, 如果钢包炉 130c 的相对功率汲取相对于发电机 125a-d 的可用容量而言是小的, 则可省略 LAD\_OP\_INIT 参数。在这样的情况下, 钢包炉 130c 可未经宣布就接通, 而不会对系统 120 的总体稳定性产生显著负面影响。

[0068] 用于 LMF 控制器 215 的负载控制参数由主系统控制器 145 基于发电机 125a-d 的运行特性来产生, 并且包括: 阻挡增大 (BLK\_INC) 和阻挡减小 (BLK\_DEC) 控制参数。可选地, 也可利用对应于 LAD\_OP\_INIT 控制参数的钢包运行许可 (LAD\_OP\_PER) 参数。阻挡增大和阻

挡减小控制参数是用于在必要时阻挡钢包炉设定点的增大和 / 或减小的布尔变量。由于钢包炉 130c 的瞬时功率汲取相对于电弧炉 130a 和 130b 的功率汲取而言通常是小的,有时可排除用于 LMF 炉 130c 的 BLK\_INC 和 BLK\_DEC 参数。出于相同的原因,在一些情况下,控制系统 200 中也可排除对钢包炉 130c 的功率设定点以及正 / 负升降速率的限制。然而,可选地,在一些实施方案中,LMF 控制器 215 被进一步配置为接收系统能力限制、正升降速率限制和负升降速率限制控制参数中的一个或多个,基本如上文关于 EAF 控制器 205 和 210 所述。

[0069] 主系统控制器 145 还分别使用数据通信线路 255 和 260 联接至单元协调器 220 和单元协调器 225,主系统控制器 145 可通过数据通信线路 255 和 260 来与单元协调器 220 和 225 交换负载控制参数和运行特性信息。

[0070] 作为这两个 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 的运行特性,单元协调器 220 和 225 除了提供阻挡增大(BLK\_INC)、阻挡减小(BLK\_DEC)和电极滑移许可(ELEC\_SLP\_PER)控制参数以外,还提供了功率输出能力(POW\_OUT\_CAP)、正升降速率限制(POS\_RAMP\_LIM)和负升降速率限制(NEG\_RAMP\_LIM)。功率输出能力控制参数代表在运行期间对相应的 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的功率输出能力的有效限制,并且可根据 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的目前运行状态(包括不同的发电机安全设备是否完全起作用)而变化。CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的其他运行特性如上文在电弧炉 130a 和 130b 的语境中所述。

[0071] 用于单元协调器 220 和 225 的负载控制参数由主系统控制器 145 提供,并且基于这两个电弧炉 130a 和 130b 以及钢包炉 130c 的运行特性来产生,并且包括单元功率需求(POW\_DMD)控制参数。还提供了电极滑移启动(ELEC\_SLP\_INIT)控制参数。可选地,还可提供钢包运行请求(LAD\_OP\_INIT)控制参数,尽管在一些情况下可排除该参数。POW\_DMD 需求控制参数代表用于相应 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的目标功率输出水平,由主系统控制器 145 确定,使得来自发电机 125a-d 的总体功率输出足以满足电力系统 120 内的所有运行负载的总功率需求。

[0072] 主系统控制器 145 还使用数据通信线路 265 和 270 分别联接至 CTG 主控制器 230 和 CTG 主控制器 235。使用数据通信线路 265 和 270,主系统控制器 145 可与 CTG 主控制器 220 和 225 交换输入控制参数和运行特性。主系统控制器 145 为每个 CTG 主控制器 230 和 235 接收功率输出能力(POW\_OUT\_CAP)、正升降速率限制(POS\_RAMP\_LIM)和负升降速率限制(NEG\_RAMP\_LIM),作为这两个 CTG 发电机 125c 和 125d 的运行特性。阻挡增大(BLK\_INC)和阻挡减小(BLK\_DEC)运行特性也被提供给主系统控制器 145。而且,主系统控制器 145 为每个 CTG 主控制器 230 和 235 产生单元功率需求(POW\_DMD),作为发电机输入控制参数。POW\_DMD 控制参数是基于这两个电弧炉 130a 和 130b 以及钢包炉 130c 的运行特性来产生的,并且代表用于每个 CTG 发电机 125c 和 125d 的相应目标功率输出水平。

[0073] 功率计量模块 275 监测电力系统 20 中包括的每个受控的负载和发电机,并且向主系统控制器 145 提供瞬时功率测量。例如,功率计量模块 275 测量针对每个电弧炉 130a 和 130b 的功率汲取(EAF\_POW\_DRW)以及针对钢包炉 130c 的功率汲取(LMF\_POW\_DRW)。功率计量模块 275 还测量来自每个 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 的功率供应输出(UNIT\_POW\_OUT)以及来自每个 CTG 发电机 130c 和 130d 的功率供应输出(CTG\_POW\_OUT)。功率计量模块 275 产生的功率测量值可以以适当采样间隔来采取,如将明了的。这样,功率计量模块 275 可

代表控制系统 200 中的发电机传感器 150a-d 和负载传感器 155a-c。然而,应意识到,其他运行特性也可被监测,并且其他功能(包括过滤和信号处理功能)也可被纳入功率计量模块 275。

[0074] 现在参照图 4,其更详细地示出了图 3 所示的 EAF 控制器 205 或 EAF 控制器 210 的示意图。每个 EAF 控制器 205 和 210 都可具有图 3 中示出的配置。为了描述方便,有时主要参照 EAF 控制器 205。

[0075] 例如,操作者使用设定输入接口 305 来选择电弧炉 130a 和 130b 的目标 EAF 功率水平。指定的目标 EAF 功率随后被传送到速率限制及超驰模块 310,速率限制及超驰模块 310 基于输入到 EAF 控制器 205 的不同控制参数来调节目标 EAF 功率。如在图 3 中看到的,阻挡增大、阻挡减小、正升降速率限制和负升降速率限制控制参数被传送到速率限制及超驰模块 310。在电力系统 120 的正常稳态运行中,速率限制及控制模块 310 的输出将落在使用设定输入接口 305 指定的 EAF 目标功率。然而,在设定变化或其他负载事件期间,速率限制及控制模块 310 可用于在调节负载设定中影响 EAF 控制器 205 的瞬时性能,这帮助维持控制系统 200 内的功率稳定,如下文所述。

[0076] 当请求了设定增大时,速率限制及超驰 310 将对 EAF 目标功率施加正升降速率限制(无论已根据 POS\_RAMP\_LIM 控制参数设置了什么值),使得电弧炉 130a 的瞬时功率汲取经历受控的增大。如已提及的,正升降速率限制可通常关于发电机 125a-d 的升降速率限制来限定,以确保负载需求的增大能够匹配对应的发电机输出。假设尚未声明阻挡增大控制参数,则当 EAF 目标功率增大时,EAF 功率设定点(即,最终传送到炉功率控制 320 的值,不同于使用设定输入接口 305 请求的 EAF 目标功率)将在速率限制及超驰模块 310 的控制下按照规定的速率限制进行上升。然而,如果在功率上升期间声明了阻挡增大控制参数,则速率限制及超驰模块 310 将暂停功率上升并且将 EAF 功率设定点保持在其目前水平,直到解除该阻挡增大控制参数。此后,升降继续,直到 EAF 功率设定点达到其目标稳态水平。

[0077] 当请求了设定减小时,速率限制及控制模块 310 的运行是同样的。速率限制及超驰模块 310 将对 EAF 目标功率施加负升降速率限制(根据已对 NEG\_RAMP\_LIM 控制参数设置的无论什么值),使得电弧炉 130a 的瞬时功率汲取在设定变化期间经历受控减小。负升降速率限制可通常不同于正升降速率限制。假设尚未提出阻挡减小控制参数,则当 EAF 目标功率减小时,速率限制及超驰模块 310 将根据规定的速率限制来减小 EAF 的功率设定点,直到 EAF 功率设定点达到其目标稳态水平。再度,如果在功率降低期间声明了阻挡减小控制参数,则速率限制及超驰模块 310 将暂停功率下降并且将 EAF 功率设定点保持在其目前水平,直到解除该阻挡增大控制参数并且允许升降继续。然而,如现在将进一步讨论的,系统能力限制和负载故障也都可约束 EAF 功率设定点的值。

[0078] 速率限制及控制模块 310 的输出被传送到比较块 315,在比较块 315 中与系统能力限制(SYS\_CAP\_LIM)控制参数以及炉功率控制 320 提供的错误超驰信号(fault override signal)进行比较。比较块 315 选择这三个值中较小的一个作为 EAF POW\_SET\_PNT 运行特性。如果发电机 125a-d 正常工作,则系统能力限制可通常大到足以适应 EAF 目标功率,从而比较块 315 不会对 EAF 目标功率施加有效的限制。然而,在发电机回转或设备故障的情况下,电力系统 120 的总发电能力可突然下降,导致 SYS\_CAP\_LIM 控制参数降到 EAF 目标功率以下。在这样的情况下,比较块 315 则会将 EAF 目标功率限制到系统能力限制。这样,SYS\_

CAP\_LIM 控制参数在电力系统 120 内提供了来自发电机 125a-d 的与总发电能力有关的反馈。

[0079] 比较块 315 的输出被提供给炉功率控制 320, 炉功率控制 320 为电弧炉 130a 或 130b 产生控制值, 以针对电弧炉 130a 或 130b 实现期望的功率设定点 (无论该设定点是等于操作者选择的目标功率, 还是已基于系统能力控制限制被限制)。例如, 如果可变反应器控制被利用以控制电弧炉 130a 或 130b, 则炉功率控制 320 计算可变反应器实现该 EAF 功率设定点所要求的晶闸管触发角 (thyristor firing angles)。炉功率控制 320 还可被配置为计算进给速率、电极高度及其他控制值, 如在美国专利 Nos. 6, 603, 795、7, 212, 561、7, 212, 562 和 7, 257, 146 中描述的, 以将电弧炉 130a 或 130b 调节在该功率设定点。

[0080] 比较块 315 在反馈配置中联接至炉功率控制 320, 以接收炉功率控制 320 产生的故障超弛信号。在控制系统 200 的运行期间, 炉功率控制 320 还监测电弧炉 130a 或 130b, 以检测该负载处的电故障或其他事件 (诸如计划外的负载断开), 这导致完全或局部抛载。如果这样的抛载发生, 则电弧炉 130a 或 130b 的实际功率汲取可急剧下降, 有时甚至下降至零, 从而留下发电机 125a-d 处大的功率盈余以及电力系统 120 内的总体失衡。为了缩短发电机 125a-d 对切断输出的响应时间以匹配新的需求, 该故障超弛信号被提供给比较块 315。在抛载的情况下, 该故障超弛信号越过目标 EAF 目标功率, 并且将 POW\_SET\_PNT 控制参数的值限制到电弧炉 130a 或 130b 的实际功率汲取, 这触发了来自 CFB/STG 发电机 125a 和 125b (或者 CTG 发电机 125c 和 125d) 的立即响应以减小输出。如果必要, 为此目的可启用涡轮发电机旁通系统。

[0081] 炉功率控制 320 还被配置为产生电极滑移发起的控制参数, 并且接收电极滑移许可控制参数, 以协调在发电机侧和负载侧的电极滑移或更换。当请求了电极滑移或更换时, 可声明电极滑移发起的控制参数, 此时炉功率控制 320, 借助电极滑移许可控制参数, 等待确认 CFB/STG 发电机 125a 和 / 或 125b 已针对电极事件被预先配置, 使得可采取所请求的动作。一旦响应的 CFB/STG 发电机 125a 和 / 或 125b 给予了许可, 炉功率控制 320 就可在电弧炉 130a 或 130b 发起电极滑移, 从而导致立即抛载, 直到该滑移或更换完成并且该负载可恢复联机。如上所述, 炉功率控制 320 还监测在滑移 / 更换过程期间电弧炉 130a 或 130b 的状态, 并且通过设置输出给主系统控制器 145 的故障超弛信号 (用于限制 EAF 功率设定点, 如果必要) 的值来向 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 提供反馈。

[0082] 现在参照图 5, 其更详细地示出了图 3 所示的 LMF 控制器 215 的示意图。例如, 用于钢包炉 130c 的目标功率水平是由操作者使用设定点输入接口 405 选择的, 并且被提供给 LMF 功率控制 410。使用设定点输入接口 405 选择的目标功率水平也被输出给主系统控制器 145, 作为 LMF POW\_SET\_PNT 运行特性。LMF 功率控制 410 为钢包炉 130c 产生控制值, 以基于各种控制参数来实现期望的功率设定点, 所述各种控制参数如所示包括阻挡增大 (BLK\_INC) 和阻挡减小 (BLK\_DEC) 控制参数。如提及的, 因为钢包炉 130c 的功率汲取可通常低, 所以钢包炉 130c 的间歇运行趋于不对电力系统 120 的总体稳定性产生太负面的影响。与电弧炉 130a 和 130b 关联利用的一些控制可被从 LMF 控制器 215 中排除。如所示, 阻挡增大和阻挡减小控制参数被提供给炉功率控制 410, 以分别防止 LMF 功率设定点的增大和减小。在至少一些实施方案中, 从 LMF 控制器 215 中排除了升降速率和系统能力限制。据此, 使用设定点输入接口 405 选择的 LMF 目标功率被直接提供给主系统控制器 145, 作为用于钢

包炉 130c 的功率设定点。然而,在一些实施方案中,用于钢包炉 130c 的正和 / 或负升降速率限制也可由主系统控制器 145 产生,并且作为输入控制参数被提供给 LMF 控制器 215。如同用于电弧炉 130a 和 130b 的相应正和负升降速率限制, LMF 控制器 215 接收的正和 / 或负升降速率限制可用于受控地(例如恒定地)升高或降低提供给炉功率控制 410 的 LMF 功率设定点。

[0083] 现在参照图 6A,其更详细地示出了图 3 所示的单元协调器 220 或单元协调器 225 的一部分的示意图。应注意,尽管单元协调器 220 和单元协调器 225 在图 6A 中被示为等同的,但这些部件在替代实施方案中可具有不同配置。为了描述方便,有时会主要参照单元协调器 220。

[0084] 用于 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的功率需求(POW\_DMD)控制参数被接收进反馈控制器 505,该反馈控制器可以是例如 PID 型控制器。POW\_DMD 控制参数被发电机功率控制 510 联合反馈控制器 505 用来调节 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的功率输出,以匹配在电力系统 120 内的需求。如将意识到的,反馈控制器 505 联接至发电机功率控制 510 的输入,并且提供了发电机功率控制 510 使用的控制值,以实现 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的期望的功率输出。还可在 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 处同时执行涡轮电平频率控制。

[0085] 阻挡增大控制 515 和阻挡减小控制 520 还向反馈控制器 505 提供超驰信号,所述超驰信号如果被声明则暂停反馈控制器 505 中的功率输出调节,直到解除。这样,如果阻挡增大控制 515 在 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 升高期间声明了阻挡增大控制参数,则反馈控制器 505 将把 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的功率输出保持在其目前水平,直到该阻挡增大控制参数被解除。类似地,如果阻挡减小控制 520 在 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 降低期间声明了阻挡减小控制参数,则反馈控制器 505 将把 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的功率输出保持在其目前水平,直到该阻挡减小控制参数被解除。所述阻挡增大和阻挡减小(BLK\_INC, BLK\_DEC)控制参数还被提供给主系统控制器 145,待用于控制电弧炉 130a 和 130b。

[0086] CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的经调节的功率输出水平(例如,发电机功率控制 510 的输出)被依次传送给 HI/LO 限制器 525、速率限制器 530 和比较块 535。HI/LO 限制器 525 被用于确保 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的输出保持在分别由最小允许功率输出和最大允许功率输出限定的安全运行范围内。CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的范围受限的功率输出水平则受制于速率限制器 530 中的正和负升降速率限制,速率限制器 530 的运行类似于图 4 所示的速率限制及超驰 310。比较块 535 则根据 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的功率输出能力(POW\_OUT\_CAP)来限制 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的功率输出水平, POW\_OUT\_CAP 由回转控制 540 提供给比较块 535。如将意识到的,回转控制 540 监测在 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 中安装的不同设备或安全系统的状况,并且在发生故障的情况下将超驰并且适当减小 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的目标输出功率水平。比较块 535 的输出被提供给锅炉主设备 280 或 290 以及涡轮主设备 285 或 295 (图 3),以分别确定锅炉设定点和涡轮设定点。POW\_OUT\_CAP 运行特性也被提供给主系统控制器 145。

[0087] 正升降速率限制输入接口 545 被用于对 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 可升高的速率设定用户限定的限制。该用户限定的限制被传送给比较块 550,其中该用户限定的限制被与涡轮增大应力限制(turbine increase stress limit)进行比较,这两个值中较小的一个被传送给速率限制器 530 以应用至目标功率输出水平。类似地,负升降速率限制输入接

口 555 被用于对 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 可降低的速率设定用户限定的限制。比较块 560 选择该用户限定的限制与涡轮减小应力限制(类似于该涡轮增大应力限制)中较小的一个,该较小的一个随后被传送给速率限制器 530。比较块 550 和 560 的输出还被输出给主系统控制器 145,分别作为正升降速率限制(POS\_RAMP\_LIM)和负升降速率限制(NEG\_RAMP\_LIM)运行特性。

[0088] 现在参照图 6B,其更详细地示出了图 6A 所示的阻挡增大控制 515 和阻挡减小控制 520 的示意图。多个范围监测器  $560_{1-n}$  被并行布置,每个不同范围的监测器被配置为接收对应的所监测的过程变量  $1_{-n}$ 。基于所监测的过程变量的值,阻挡增大控制 515 和阻挡减小控制 520 确定是否向 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 施加升降保持。所监测的过程变量不受限制,并且可包括例如压力误差、发电机设定误差、燃料流控制误差、气流控制、FW 流控制误差、压力控制误差、频率误差、涡轮负载限制等。对于每个所监测的变量,当这个所监测的变量超过限定的运行范围时,可施加对应的升高保持或降低保持。

[0089] 逻辑函数 565 从每个范围监测器  $560_{1-n}$  接收对应于潜在地会要求暂停发电下降的过程变量偏差的一个输入。例如,如果发电机锅炉之一上的鼓筒水位过高,则可施加阻挡减小以避免发电机跳闸(tripping)。逻辑函数 565 可以是用于确定何时应施加阻挡减小的任何逻辑函数。在一个示例情况下,逻辑函数 565 可以是简单的“或(OR)”函数。然而应明了,在一些替代实施方案中可实施更复杂的逻辑函数。如果期望,逻辑函数 565 还可被设有手动涡轮保持超驰(manual turbine hold override),该手动涡轮保持超驰可导致无论所监测的过程变量的状态如何都施加阻挡减小。

[0090] 逻辑函数 570 从每个范围监测器  $560_{1-n}$  接收对应于潜在地会要求暂停发电升高的过程变量偏差的一个不同输入。在其他方面,逻辑函数 570 类似于逻辑函数 565,并且在一个示例情况下可以是简单的“或”函数或者一些其他更复杂的逻辑函数。如果期望,逻辑函数 570 还可被设有手动涡轮保持超驰,该手动涡轮保持超驰可导致无论所监测的过程变量的状态如何都施加阻挡增大。

[0091] 现在参照图 6C,其更详细地示出了图 6A 所示的回转控制 540 的示意图。多个容量计算器  $575_{1-n}$  被并行布置,每个容量计算器对应于在 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 中安装的一件不同的设备或安全系统,可包括 FBHE 鼓风机、EH 鼓风机、SA 风扇、ID 风扇和 PA 风扇。通过监测每件设备或安全系统的状态,容量计算器  $575_{1-n}$  计算针对 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 的输出功率能力。

[0092] 例如,容量计算器  $575_1$  可被配置为基于该单元的两个 SA 风扇中的每一个是否正常工作来计算 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的输出功率能力。如果确定这两个 SA 风扇之一已发生故障,则 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的输出功率能力可被减少一半(以表示已失去这两个风扇之一)。每个容量计算器  $575_{1-n}$  基于一个不同的安全系统来确定有效的发电能力限制。比较块 580 选择将最低的这种能力限制用作 POW\_OUT\_CAP 运行特性。超驰模块 585 也可被用于设定用户限定的输出功率能力。

[0093] 回顾图 6A,电极滑移发起的(ELEC\_SLIP\_INIT)控制参数被接收进置位/复位(S/R)锁存器 590 的置位节点。S/R 锁存器 590 的输出是对应于 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 的电极滑移许可(ELEC\_SLIP\_PER)控制参数,并且还用作锅炉保持控制信号,用于在电极滑移或更换期间将该发电机锅炉保持在其目前水位。该电极滑移发起的控制参数还使用“非

(NOT)”门 592 被倒相,并且随后被提供给“或”门 594 的一个输入端子。“或”门 594 的输出被提供给 S/R 锁存器 590 的复位节点。“或”门 594 的第二输入端子接收计时器 596 产生的计时器信号。如下文将更多解释的,该计时器信号被用来限制可用于执行电极滑移或更换的时间。

[0094] 单元协调器 220 或 225 在电极滑移或更换期间执行的控制逻辑如下。当声明了 ELEC\_SLP\_INIT 控制参数时(表示电极滑移或更换已由电弧炉 130a 或 130b 之一发起),S/R 锁存器 590 的输出被驱动为高。这导致也声明了 ELEC\_SLP\_PER 控制参数,该控制参数被主系统控制器 145 返回至发起该滑移或更换操作的无论哪个电弧炉 130a 或 130b,从而表示已被 CFB/STG 发电机 125a 或 125b 之一授予许可。S/R 锁存器 590 的输出还被用作锅炉保持信号,以对发电机的锅炉容量进行暂时保持,并且作为旁通系统使能信号(by-pass system enable signal)来预先配置发电机的高压旁通系统,以响应抛载。

[0095] 当 S/R 锁存器 590 输出被驱动为高时,计时器 596 也被触发,使得 S/R 锁存器 590 的输出在一个预先确定的时间限制之后被反馈到“或”门 594。在预先确定的时间限制结束时,S/R 锁存器 590 的复位端被驱动为高,并且 ELEC\_SLP\_PER 控制参数被解除。如果该滑移或更换操作在预先确定的时间限制计满之前结束或中断,则 ELEC\_SLP\_INT 控制参数被降低,从而也导致 S/R 锁存器 590 的复位节点被驱动为高(因为“非”门 592 的输出被驱动为高)。结果,ELEC\_SLP\_PER 控制参数被解除,锅炉保持被解除,并且计时器 596 被复位。

[0096] 现在参照图 7,其更详细地示出了图 3 所示的 CTG 主控制器 230 或 235 的示意图。应注意,尽管 CTG 主控制器 230 和 CTG 主控制器 235 在图 7 中被描绘为相同的,但在一些替代实施方案中 CTG 主控制器 230 和 235 可以不同。为了描述方便,有时将主要参照 CTG 主控制器 230。而且,由于 CTG 主控制器 230 和 235 的一部分类似于单元协调器 220 和 225 的一部分,下面描述中的一些为方便起见可被省略。

[0097] 用于 CTG 发电机 125c 或 125d 的功率需求(POW\_DMD)控制参数被接收进反馈控制器 605,反馈控制器 605 再度可以是任何合适的 PID 控制器,其中 POW\_DMD 控制参数被用于调节 CTG 发电机 125c 或 125d 的功率输出。反馈控制器 605 联接至 CTG 主控制 610 的输入,并且提供了 CTG 主控制 610 使用的控制值以实现 CTG 发电机 125c 或 125d 的期望的功率输出。阻挡增大控制 615 和阻挡减小控制 620 还向反馈控制器 605 提供超驰信号(即,BLK\_INC 和 BLK\_DEC),以防止 CTG 发电机 125c 或 125d 的功率输出的增大和减小。阻挡增大(BLK\_INC)和阻挡减小(BLK\_DEC)控制参数还被输出至主系统控制器 145。

[0098] CTG 发电机 125c 或 125d 的经调节的功率输出(即,CTG 主控制 610 的输出)被依次传送给 HI/LO 限制器 625、速率限制器 630 和比较块 635,它们的工作基本如上所述。这样,HI/LO 限制器 625 将 CTG 发电机 125c 或 125d 的经调节的功率输出限制在安全运行范围内。速率限制器 630 施加正和负升降速率限制,如分别由正升降速率限制输入接口 645 和负升降速率限制输入接口 655 确定的。最后,比较块 635 根据 CTG 发电机 125c 或 125d 的功率输出能力(POW\_OUT\_CAP)来限制 CTG 发电机 125c 或 125d 的输出功率水平,如由回转控制 640 确定的。正升降速率限制(POS\_RAMP\_LIM)、负升降速率限制(NEG\_RAMP\_LIM)和功率输出能力(POW\_OUT\_CAP)运行特性中的每一个也被提供给主系统控制器 145。

[0099] 现在参照图 8A-8F,其更详细地示出了图 3 所示的主系统控制器 145 的不同部分的示意图。仅为了描述清楚,主系统控制器 145 的不同方面将被列在不同标题下。然而,标

题的使用不应被认为是以任何方式限制所描述的实施方案。

#### [0100] 发电机输出功率水平

[0101] 现在具体参照图 8A, 厂用负载计算模块 705 产生代表了电力系统 120 中存在的厂用负载的信号, 其等于所测得的发电机输出功率的总和与所测得的负载功率汲取的总和之间的差。如所示, 厂用负载计算模块 705 将分别从 CFB/STG 发电机 125a (单元 1POW\_OUT)、CFB/STG 发电机 125b (单元 2POW\_OUT)、CTG 发电机 125c (CTG1POW\_OUT) 和 CTG 发电机 125d (CTG2POW\_OUT) 测得的输出功率加在一起。从该总发电机功率输出中, 厂用负载计算模块 705 随后减去来自电弧炉 130a (EAF1POW\_DRW)、电弧炉 130b (EAF2POW\_DRW) 和电弧炉 130c (LMF POW\_DRW) 中的每一个的相应功率汲取。这样, 该厂用负载信号代表电力系统 120 中的功率消耗残余, 例如因寄生负载或其他负载 (诸如安全或测量设备) 而产生的。所测得的功率输出和功率汲取可被提供给厂用负载计算模块 705, 例如由功率计量模块 275 (图 3) 提供。

[0102] 该厂用负载信号, 与来自每个电弧炉 130a 和 130b (图 4) 以及钢包炉 130c (图 5) 的相应功率设定点一起, 被接收进过程负载设定点计算模块 710。过程负载设定点计算模块 710 将该厂用负载信号与用于电弧炉 130a、130b 和钢包炉 130c 中的每一个的功率设定点相加, 以产生总负载需求 (TOT\_LOAD\_DMD) 信号, 该信号代表电力系统 120 中的所有负载的总功率需求。该总负载需求应与发电机 125a-d 的总功率输出匹配, 以维持电力系统 120 内的功率平衡。该总负载需求被分配给发电机 125a-d 中的每一个, 以确定针对发电机 125a-d 中的每一个的相应功率输出水平, 如下所述。

[0103] 除了从在电力系统 120 中运行的其他三个发电机 (即, CFB/STG 发电机 125b 以及 CTG 发电机 125c 和 125d) 测得的功率输出以外, 总负载需求 (TOT\_LOAD\_DMD) 信号也被提供给单元 1 设定点计算模块 715。单元 1 设定点计算模块 715 从 TOT\_LOAD\_DMD 信号中减去单元 2POW\_OUT、CTG1POW\_OUT 以及 CTG2POW\_OUT 信号, 以产生用于 CFB/STG 发电机 125a (图 6A) 的功率需求 (单元 1POW\_DMD) 控制参数。考虑到其他发电机 125b、125c 和 125d 的相应功率输出, 该功率需求控制参数代表满足该总负载需求所要求的针对 CFB/STG 发电机 125a 的目标功率输出水平。如果该总负载需求或者从发电机 125b、125c 或 125d 测得的功率输出中的任一个发生变化, 则因为来自发电机 125b、125c 或 125d 的所测量功率输出提供的反馈, 单元 1 设定点计算模块 715 自动更新单元 1POW\_DMD。然而, 在正常运行中, 用于这两个 CFB/STG 发电机 125a 和 125b 中的每一个的功率需求控制参数可通常相等 (即, 因为在这两个单元协调器 220 和 225 中实施了相同的反馈控制)。

[0104] 单元 2 设定点计算模块 720 以基本相同的方式运行, 但计算用于单元协调器 225 的 POW\_DMD 控制参数。这样, 单元 2 设定点计算模块 720 从该总负载需求信号中减去 CFB/STG 发电机 125a 和这两个 CTG 发电机 125c 和 125d 的所测得的功率输出, 从而产生用于单元协调器 225 (图 6A) 的功率需求控制参数。以相同的方式, CTG 设定点计算模块 725 和 730 也通过从该总负载需求信号中减去其他每一个发电机的所测得的功率输出来产生用于这两个 CTG 主控制器 230 和 235 (图 7) 的 POW\_DMD 控制参数。有了设定点计算模块 715、720、725 和 730 的该配置, 电力系统 120 内的总负载需求被自动分配给这四个运行发电机 125a-d。发电机 125a-d 的所测得的功率输出与该总负载需求之间的任何短缺 (或盈余) 由发电机 125a-d 的相应目标输出功率水平反映, 如由对应的功率需求控制参数所控制的。

### [0105] 发电机输出能力限制

[0106] 现在具体参照图 8B, 发电站能力限制计算模块 735 被提供有来自每个单元协调器 220 和 225 (图 6A) 和每个 CTG 主控制器 230 和 235 (图 7) 的对应的功率输出能力运行特性。对于相应发电机 125a-d, 每个对应的功率输出能力代表该特定发电机能够安全生产的最大输出功率, 给定安装在该发电机中的设备及其他安全系统的输入机械驱动和电流状况, 如上所述。发电站能力限制计算模块 735 的输出是总系统输出能力 (TOT\_OUT\_CAP) 信号, 并且代表发电机 125a-d 能够安全生产的总的功率输出的上限。

[0107] 如上所述, 使用总系统输出能力 (TOT\_OUT\_CAP) 控制参数, 以在必要时减小在发电机回转期间电弧炉 130a 和 130b 的相应功率设定值, 使得维持系统 120 内的功率平衡。据此, TOT\_OUT\_CAP 信号被接收进 EAF 功率限制计算模块 740 和 745 中的每一个中。EAF 功率限制计算模块 740 针对 EAF 控制器 205 产生系统能力限制 (SYS\_CAP\_LIM) 控制参数 (图 4), 作为总系统输出能力与用于电弧炉 130b 和钢包炉 130c 的相应功率设定值之间的差, 也考虑到电力系统 120 中的任何厂用负载。这样, 忽略这些厂用负载, 用于 EAF 130a 的系统能力限制控制参数被计算为总系统容量减去在已确定电弧炉 130b 和钢包炉 130c 的功率设定值之后的残余。

[0108] EAF 功率限制计算模块 745 使用相同的手段来产生用于 EAF 控制器 210 的系统能力限制 (SYS\_CAP\_LIM) 控制参数 (图 4)。这样, 用于电弧炉 130b 的系统能力限制控制参数被确定为总系统输出能力与用于电弧炉 130b 和钢包炉 130c 的相应功率设定值之间的差, 再度也考虑到电力系统 120 中的任何厂用负载。有了 EAF 功率限制计算模块 740 和 745 的该配置 (其中 SYS\_CAP\_LIM 控制参数被限定为总系统输出能力的相应残余), 电力系统 120 中的总负载功率需求受限于发电机 125a-d 的总输出功率能力。

### [0109] 正升降速率限制

[0110] 现在具体参照图 8C, 对应的正升降速率限制 (POS\_RAMP\_LIM) 控制参数由每个单元协调器 220 和 225 (图 6A) 和每个 CTG 主控制器 230 和 235 (图 7) 传送进升降速率增大计算模块 750。升降速率增大计算模块 750 基于发电机 125a-d 的相应正升降速率限制来产生总正升降速率限制 (TOT\_POS\_RAMP) 信号。在一个示例实施方案中, 升降速率增大计算模块 750 可将相应的正升降速率限制加在一起。总正升降速率限制代表对总体系统负载可被增大的速率的绝对限制, 并且可全体应用至单个负载 (例如炉 130a 或 130b), 假设电力系统 120 中的所有其他负载都保持恒定。然而, 该总正升降速率限制也可在不同负载之间分配, 如下所述, 以针对不同负载 (例如炉 130a 和 130b) 产生相应的正升降速率限制。

[0111] 据此, 总正升降速率限制 (TOT\_POS\_RAMP) 信号被传送进加法器 755 和 760 中的每一个。加法器 755 将该总正升降速率限制减小, 减小程度为 (被提供给 EAF 主控制器 210 的) 用于电弧炉 130b 的正升降速率限制 (它被反馈到加法器 755)。加法器 755 的输出被提供给比较块 765, 在此该输出被与操作者选择的正升降速率限制 770 进行比较, 并且二者中较小的一个被提供给 EAF 主控制器 205, 作为用于电弧炉 130a (图 4) 的 POS\_RAMP\_LIM 控制参数。比较块 765 的输出还被反馈到加法器 760, 以从该总正升降速率限制中被减去。加法器 760 的输出被提供给比较块 775, 在此该输出也被与操作者选择的正升降速率限制 780 (它可不同于操作选择的正升降速率 770) 进行比较, 并且二者中较小的一个被提供给 EAF 主控制器 210, 作为用于电弧炉 130b (图 4) 的 POS\_RAMP\_LIM 控制参数。

[0112] 有了该配置,用于 EAF 主控制器 205 和 210 中的每一个的正升降速率限制都可以是操作者选择的(即,使用 770 和 780)。然而,如果操作选择的正升降速率限制 770 和 780 的总和超过了该总正升降速率限制,则进入加法器 755 和 760 的反馈环约束用于电弧炉 130a 和 130b 的正升降速率限制控制参数不超过用于发电机 125a-d 的总正升降速率限制。

#### [0113] 负升降速率限制

[0114] 现在具体参照图 8D,实施了类似的控制以确定这两个电弧炉 130a 和 130b 的有效负升降速率限制。如从图 8D 中可看到的,该控制配置可与图 8C 所示的用于确定正升降速率限制的控制配置相同,除了升降速率减小计算模块 750 可被替换成升降速率增大计算模块 785。

[0115] 据此,对应的负升降速率限制(NEG\_RAMP\_LIM)控制参数由每个单元协调器 220 和 225 (图 6A)和每个 CTG 主控制器 230 和 235 (图 7)传送进升降速率减小计算模块 785。升降速率减小计算模块 785 基于发电机 125a-d 的相应负升降速率限制来产生总负升降速率限制(TOT\_NEG\_RAMP)信号。在一个示例实施方案中,升降速率减小计算模块 785 可将相应的负升降速率限制加在一起。该总负升降速率限制代表对总体系统负载可被减小的速率的绝对限制,并且再度可全体应用至单个负载或者在不同负载之间分配,如下所述,以针对不同负载(例如炉 130a 和 130b)产生相应的负升降速率限制。

[0116] 据此,总负升降速率限制(TOT\_NEG\_RAMP)信号被传送进加法器 790 和 795 中的每一个。加法器 790 将该总负升降速率限制减小,减小程度为(被提供给 EAF 主控制器 210 的)用于电弧炉 130b 的负升降速率限制(并且它被反馈到加法器 790)。加法器 790 的输出被提供给比较块 800,在此该输出被与操作者选择的负升降速率限制 805 进行比较,并且二者中较小的一个被提供给 EAF 主控制器 205,作为用于电弧炉 130a (图 4)的 NEG\_RAMP\_LIM 控制参数。比较块 800 的输出还被反馈到加法器 795,以从该总负升降速率限制中被减去。加法器 795 的输出被提供给比较块 810,在此该输出也被与操作者选择的负升降速率限制 815 (它可不同于操作选择的负升降速率 805)比较,并且二者中较小的一个被提供给 EAF 主控制器 210,作为用于电弧炉 130b (图 4)的 NEG\_RAMP\_LIM 控制参数。该配置再度允许,用于 EAF 主控制器 205 和 210 中的每一个的负升降速率限制的操作者选择(即,使用 805 和 815)受限于用于发电机 125a-d 的总负升降速率限制。

#### [0117] 阻挡增大/减小

[0118] 现在具体参照图 8E,阻挡增大控制逻辑模块 820 从每个 CFB/STG 发电机 125a 和 125b (图 6A)和每个 CTG 发电机 125c 和 125d (图 7)接收对应的阻挡增大(BLK\_INC)控制参数。阻挡增大控制逻辑模块 820 基于所接收的输入来确定用于 EAF 控制器 205 和 210(图 4)的阻挡增大(BLK\_INC)控制参数。在一个示例实施方案中,阻挡增大控制逻辑模块 820 可使用“或”函数来实施,并且它的输出被提供给每个 EAF 控制器 205 和 210,使得在至少一个发电机 125a-d 声明阻挡增大时每个电弧炉 130a 或 130b 都将具有升降增大阻挡。这样,每个发电机 125a-d 可独立地对这两个电弧炉 130a 和 130b 施加阻挡增大。然而应明了,在阻挡增大控制逻辑模块 820 中可实施其他逻辑函数,以产生提供给 EAF 主控制器 205 和 210 (图 4)的 BLK\_INC 控制参数。

[0119] 类似地,阻挡减小控制逻辑模块 825 从每个 CFB/STG 发电机 125a 和 125b (图 6A)和每个 CTG 发电机 125c 和 125d (图 7)接收对应的阻挡减小(BLK\_DEC)控制参数。阻挡减

小控制逻辑模块 825 基于所接收的输入来确定用于 EAF 控制器 205 和 210 (图 4)的阻挡减小(BLK\_INC)控制参数。在一个示例实施方案中,阻挡增大控制逻辑模块 825 也可使用“或”函数来实施,并且它的输出被提供给每个 EAF 控制器 205 和 210,使得每个发电机 125a-d 可独立地对这两个电弧炉 130a 和 130b 施加阻挡减小。然而应明了,在阻挡减小控制逻辑模块 825 中可实施其他逻辑函数。

#### [0120] 电极滑移发起 / 许可

[0121] 现在具体参照图 8F,信号路由 830 被用于指派单元协调器 220 或 225 之一来应对由 EAF 控制器 205 或 210 之一(图 4)发起的电极滑移或更换操作。信号路由 830 从每个 EAF 控制器 205 或 210 接收对应的电极滑移启动(ELEC\_SLP\_INIT)控制参数,并且基于路由控制信号 835 来将 ELEC\_SLP\_INIT 控制参数传递给选定的单元协调器 220 或 225。当选定的单元协调器 220 或 225 (图 6A)用对应的电极滑移许可(ELEC\_SLP\_PER)控制参数来响应时,信号路由 830 将该许可传递给发起 EAF 控制器 205 或 210。有了该配置,单元协调器 220 或 225 中的任一个可被指派(并且如上所述,被预先配置)为响应由 EAF 控制器 205 或 210 中的任一个发起的电极滑移或更换操作。

[0122] 现在参照图 9,其示出了可被主系统控制器 145 用来协调电极滑移或更换操作的方法 900。在 905,由 EAF 控制器 205 或 210 之一发起电极滑移请求。在 910,选择发电机单元来应对滑移或更换操作。例如,信号路由 830 可被用来向单元协调器 220 或 225 之一输送该请求。在 915,对于电极滑移的许可被授予,并且被传达给发起 EAF 控制器 205 或 210。再度,可使用信号路由 830。

[0123] 在 920,对所选择的发电机(例如 CFB/STG 发电机 125a 或 125b)的锅炉单元施加保持。所选择的发电机的高压旁通系统也被使能,使得与该电极滑移操作关联的突然抛载可被有效率地应对。在 925,启动计时器,该计时器限制发起 EAF 控制器 205 或 210 完成该操作所需的时间长度。例如,对该电极滑移操作进行时间限制防止了所选择的发电机的锅炉单元被不确定地保持在其目前水位。

[0124] 在 930,确定是否已发生抛载(与电极滑移或更换关联)。如果没有发生抛载,则方法 900 前进至 935,以确定该计时器是否已计满。如果确定了该计时器在发生抛载之前已计满,则方法 900 前进至 955,此时锅炉保持被解除并且电极滑移许可被取消。否则,如果确定了该计时器尚未计满,则方法 900 返回到 930 以检查抛载。如果从未检测到抛载,则方法 900 保持处于 930 与 950 之间限定的循环中直到该计时器计满,并且方法 900 前进至 955。

[0125] 然而,如果在 930 确定了已发生抛载(表示电极滑移或更换已起动),则方法 900 分支到 940。在 940,旁通阀打开到对应于抛载幅度的索引位置,并且涡轮阀闭合,使得锅炉中的过剩蒸汽被路由至冷凝器。随后在 945,确定之前抛掉的负载是否已恢复。如果确定了负载已恢复,则方法 900 前进至 950,在此旁通阀闭合,并且涡轮阀再度打开,使得发电机单元返回到其旁通前的运行状况。随后在 955,锅炉保持被解除并且电极许可被取消。然而,如果在 945 确定了负载尚未恢复,则方法 900 保持处于 940 直到确定负载已恢复。

[0126] 这里仅以示例方式描述了本发明。可对这些示例性实施方案做出多种修改和变更,而不脱离本发明的精神和范围,本发明的范围仅由随附的权利要求限制。

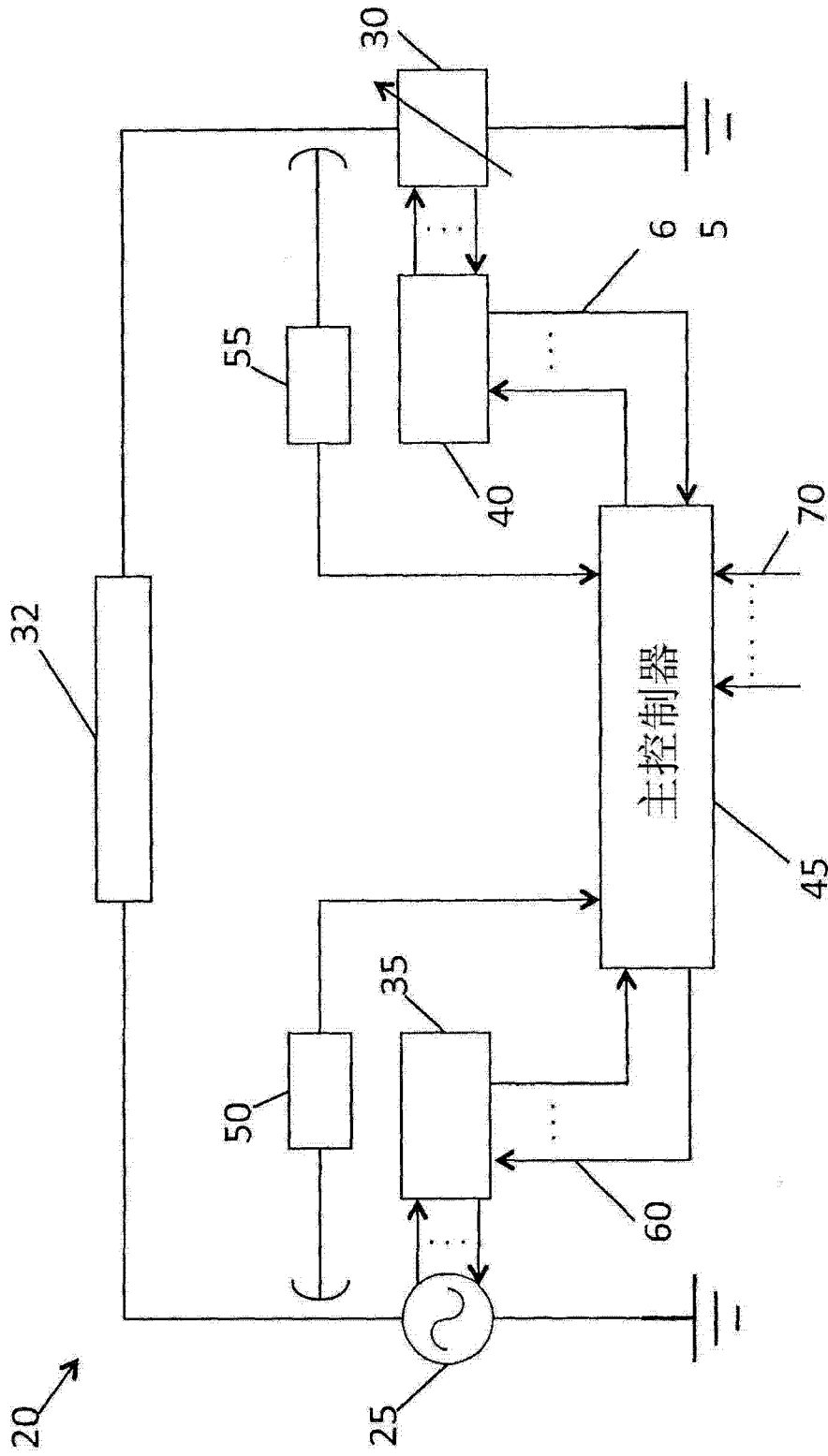


图 1

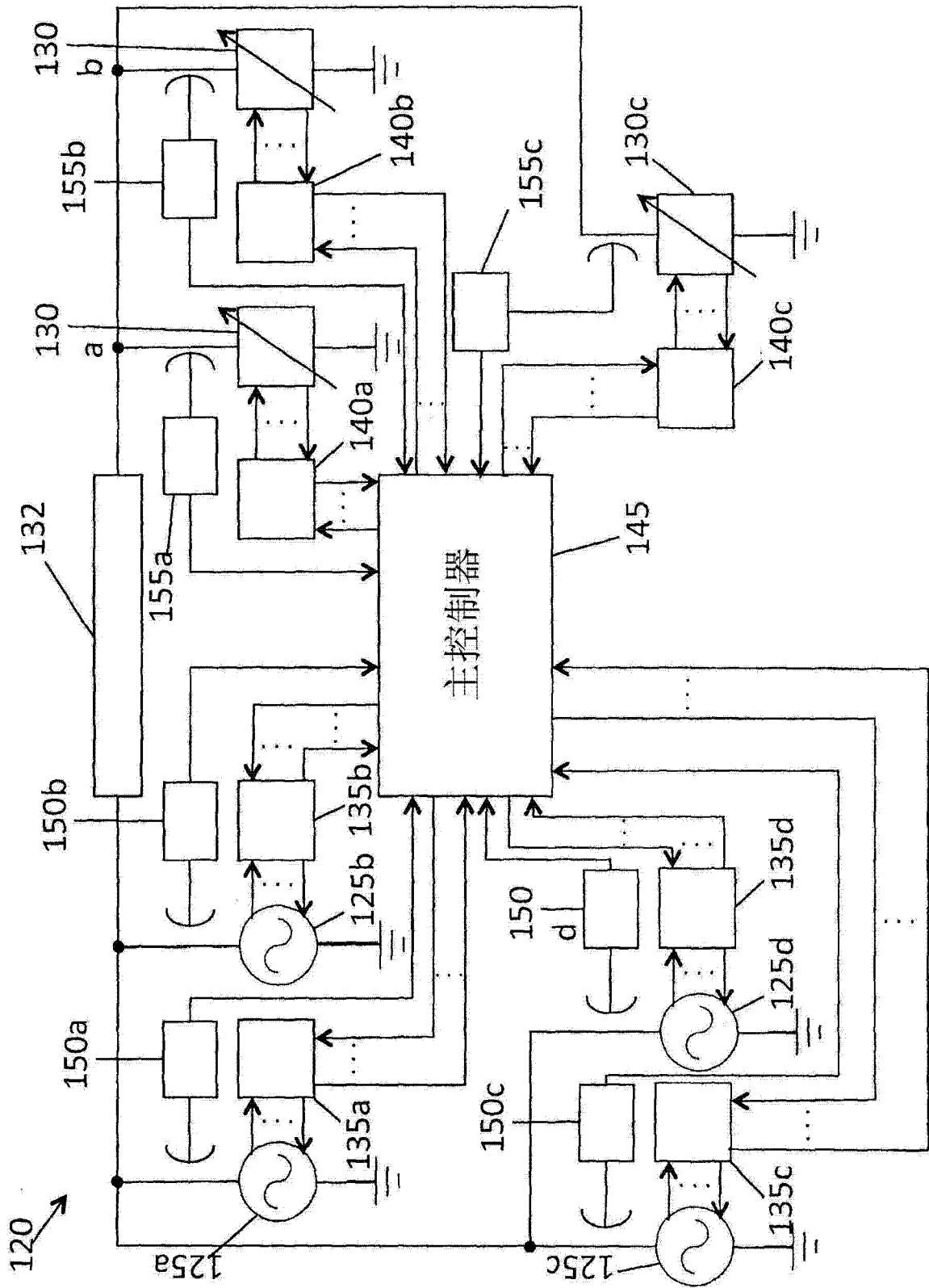


图 2

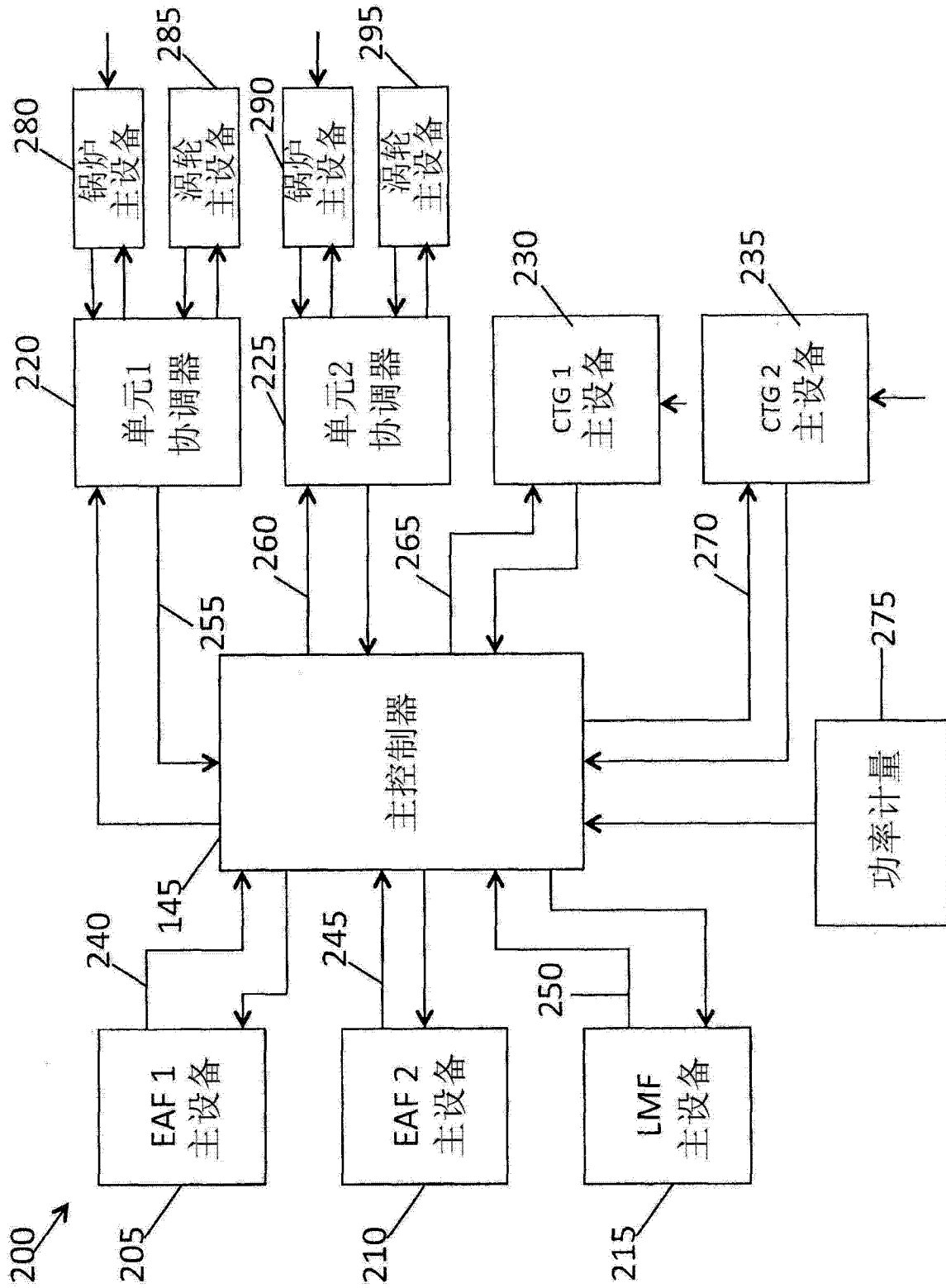


图 3

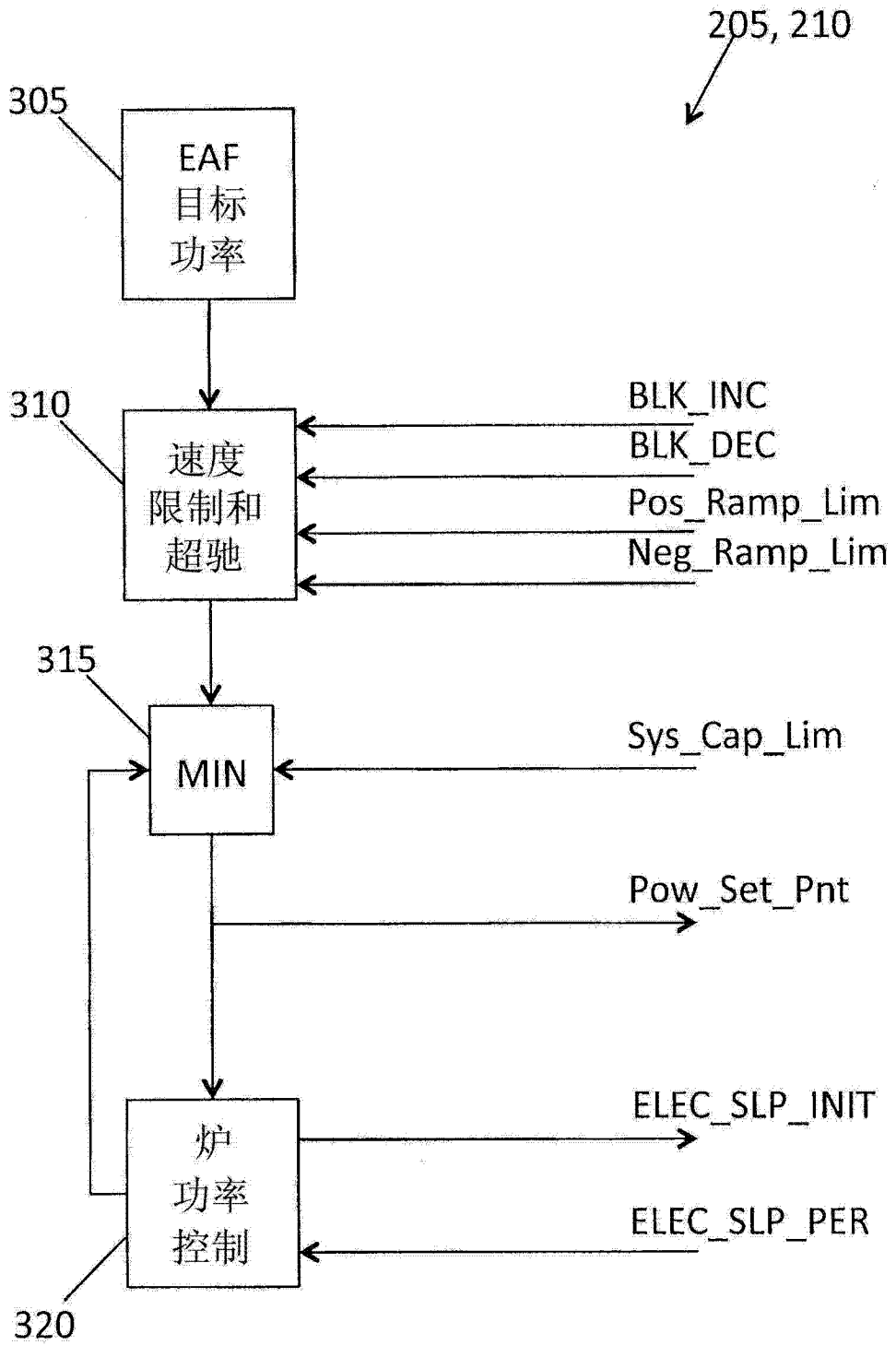


图 4

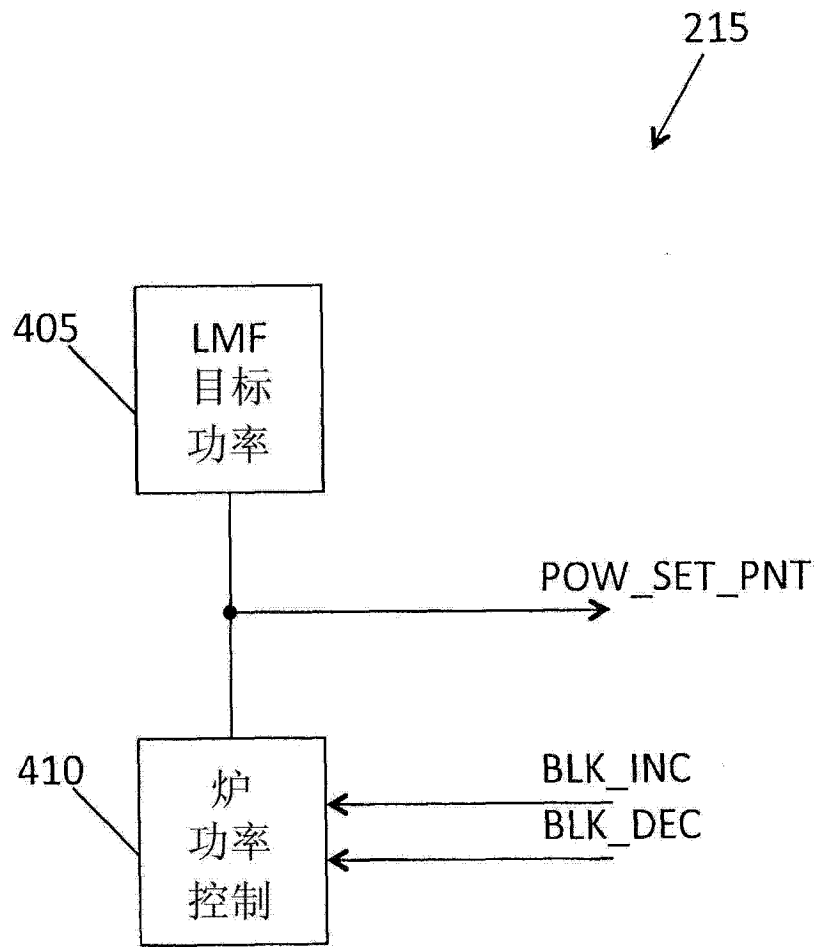


图 5

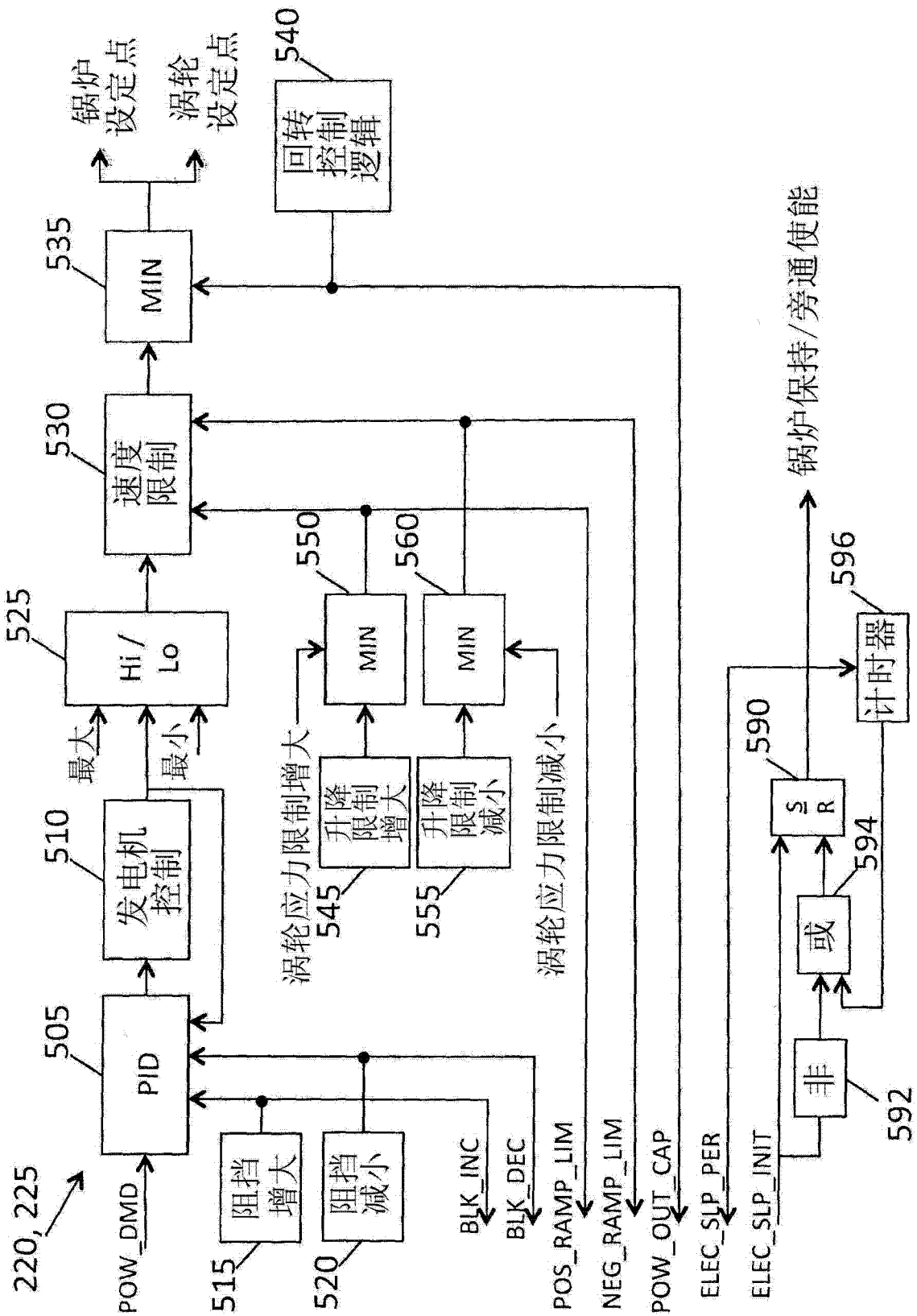


图 6A

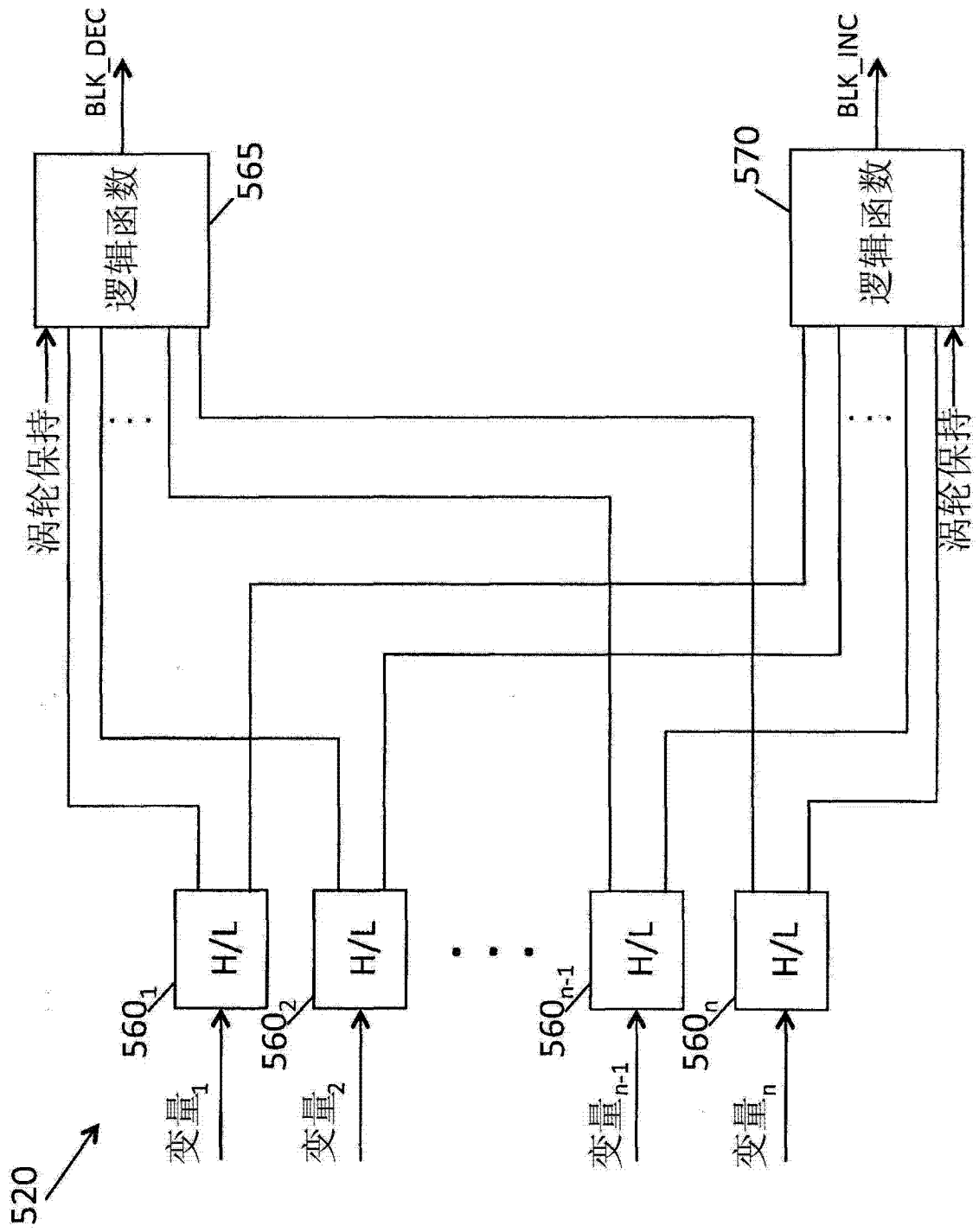


图 6B

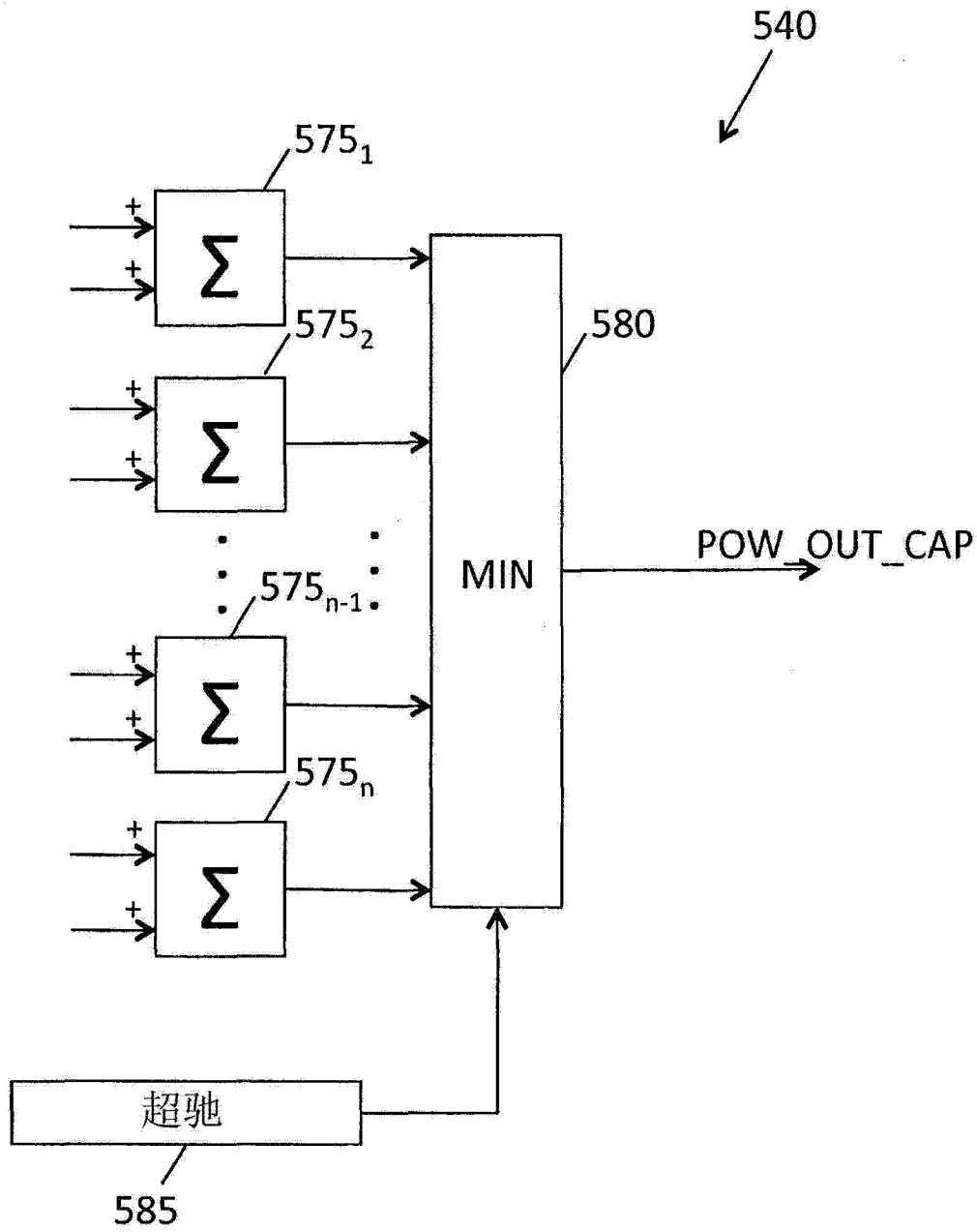


图 6C

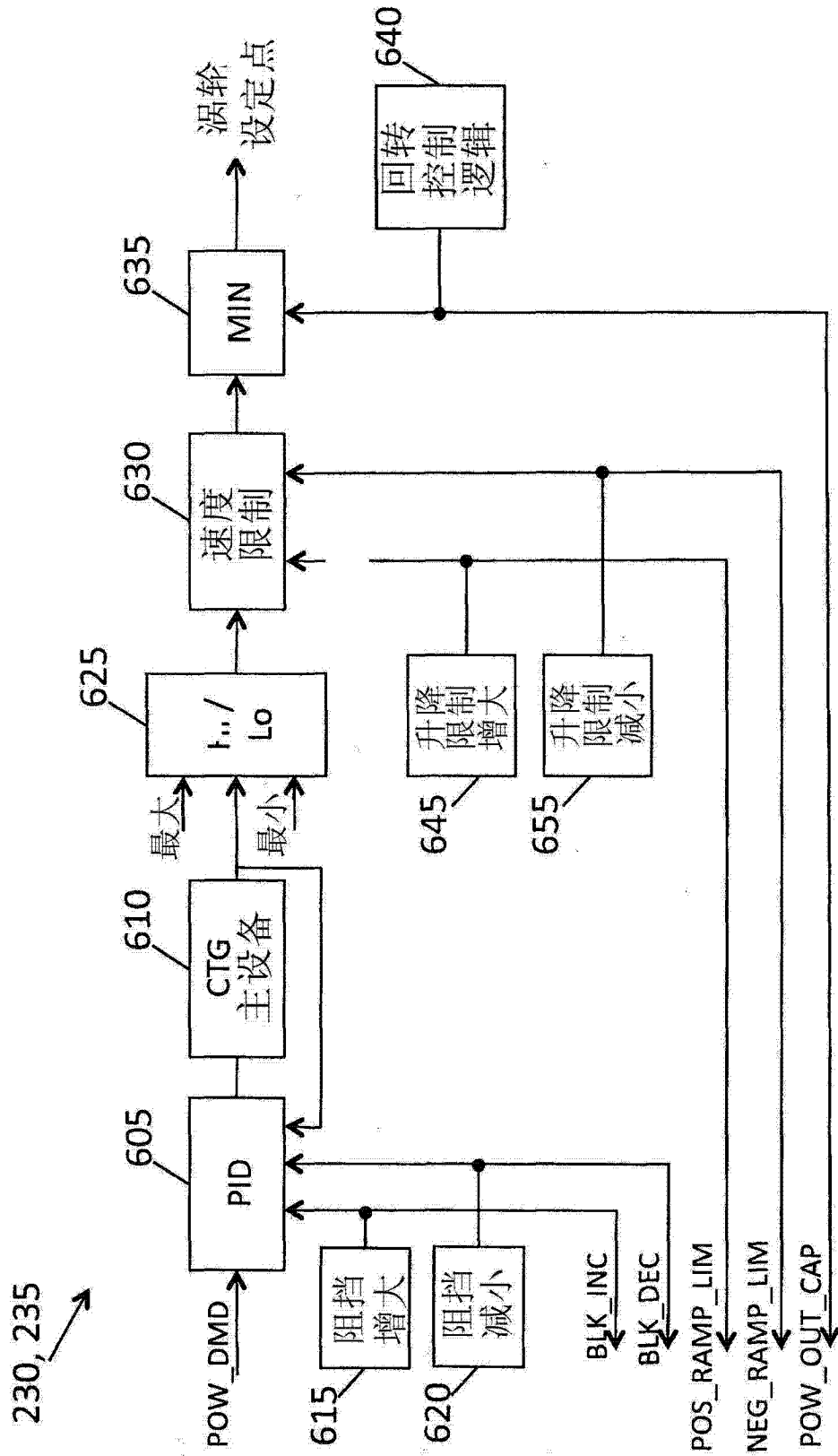


图 7

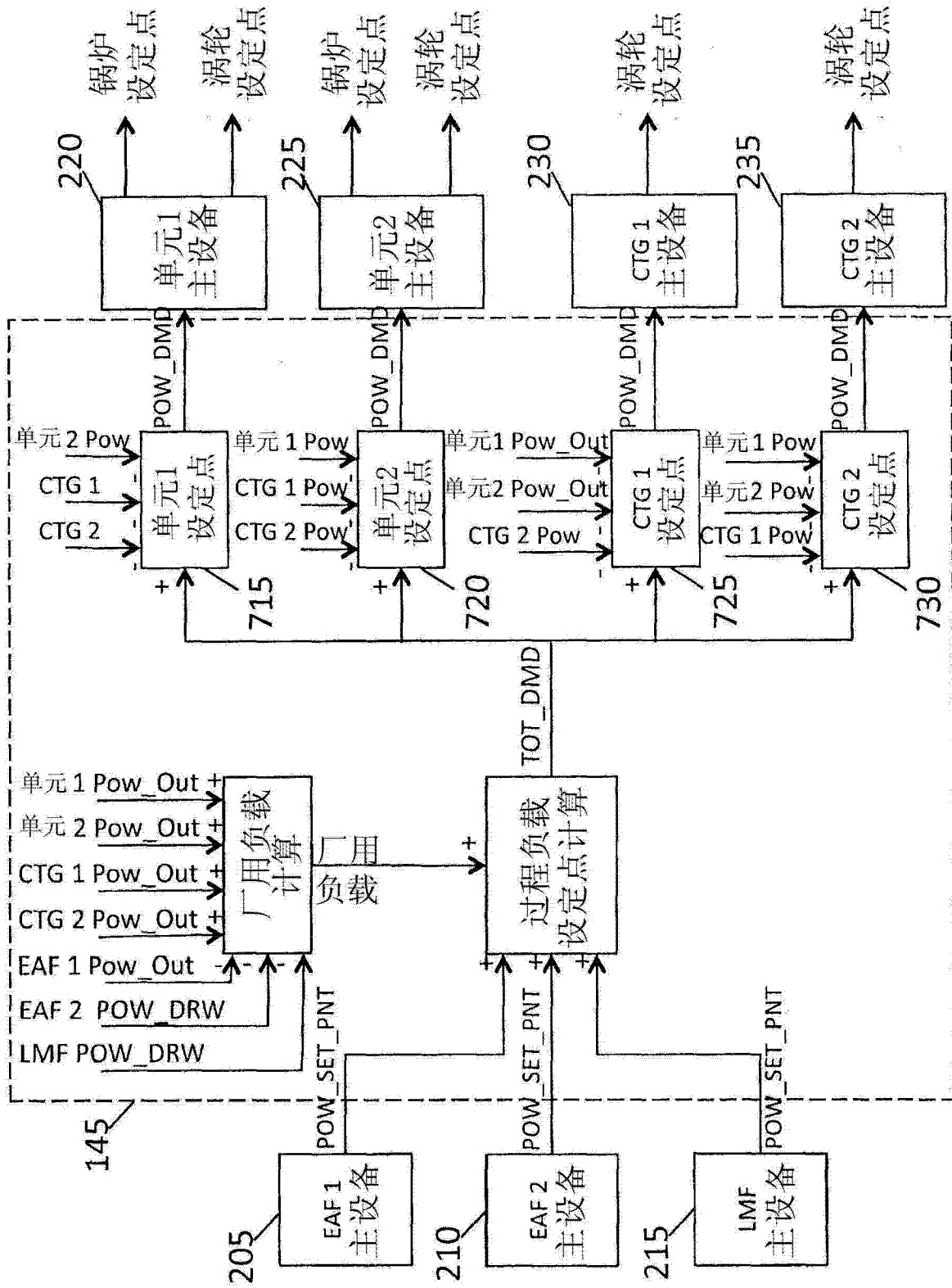


图 8A

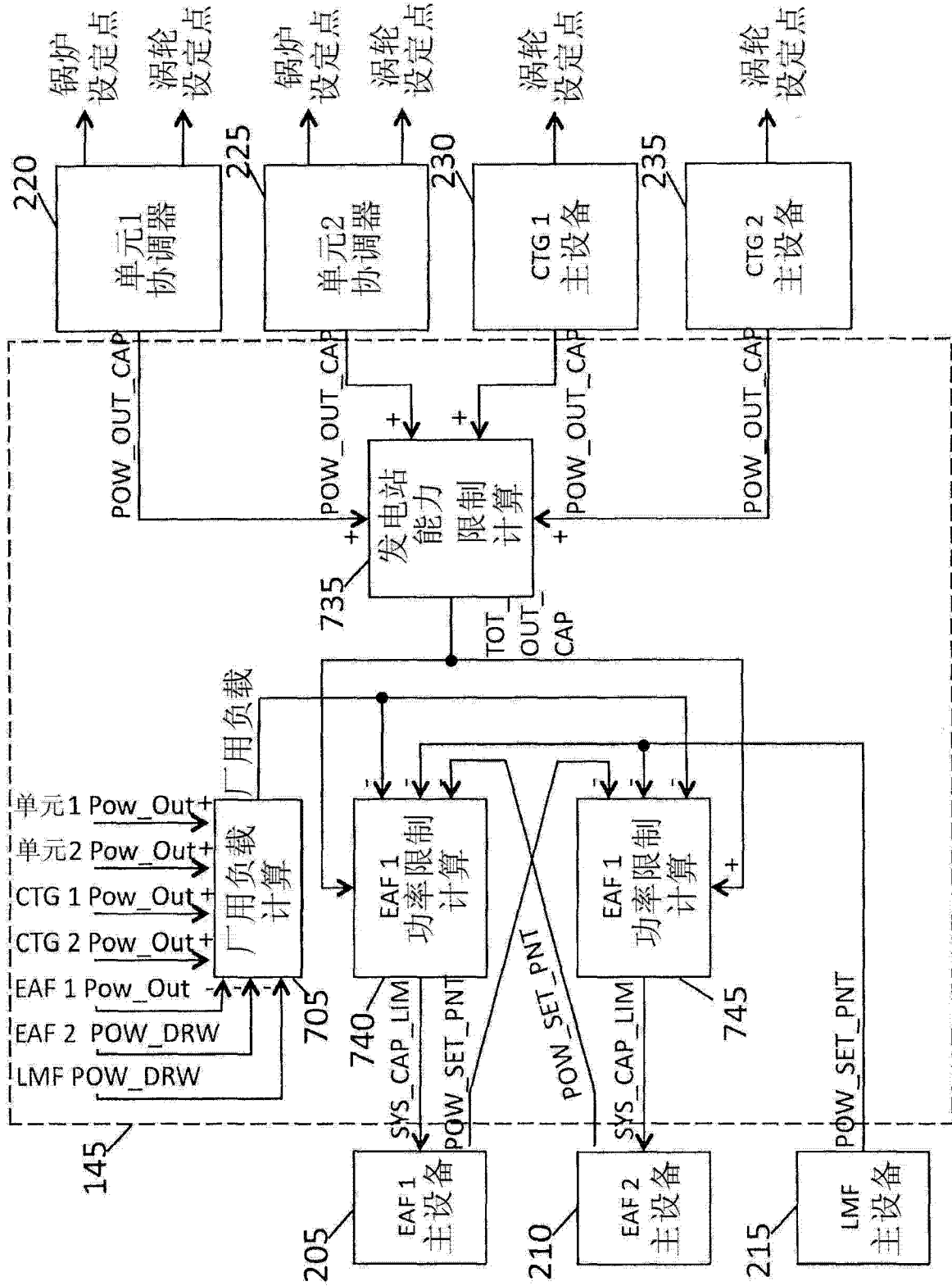


图 8B

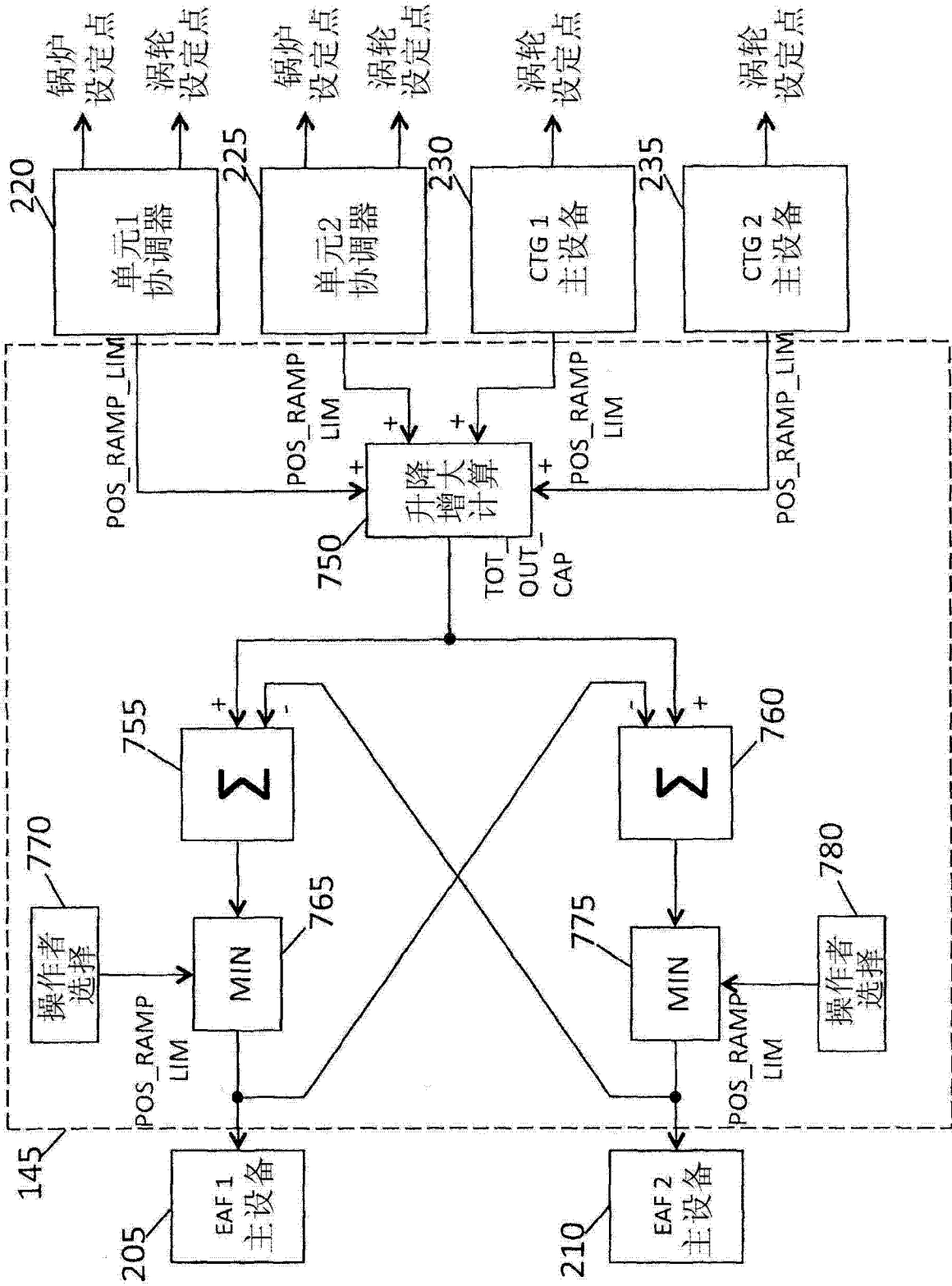


图 8C

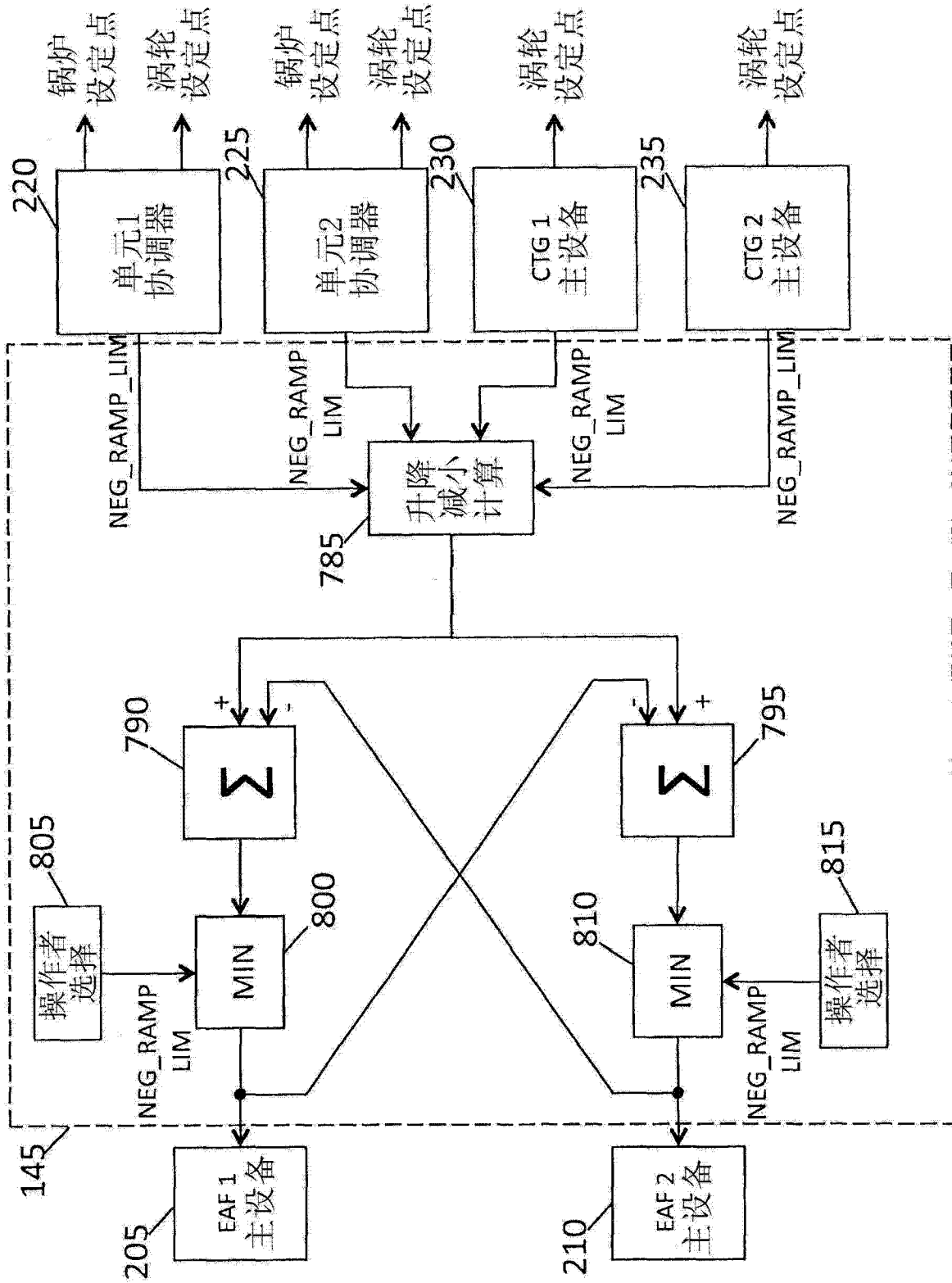


图 8D

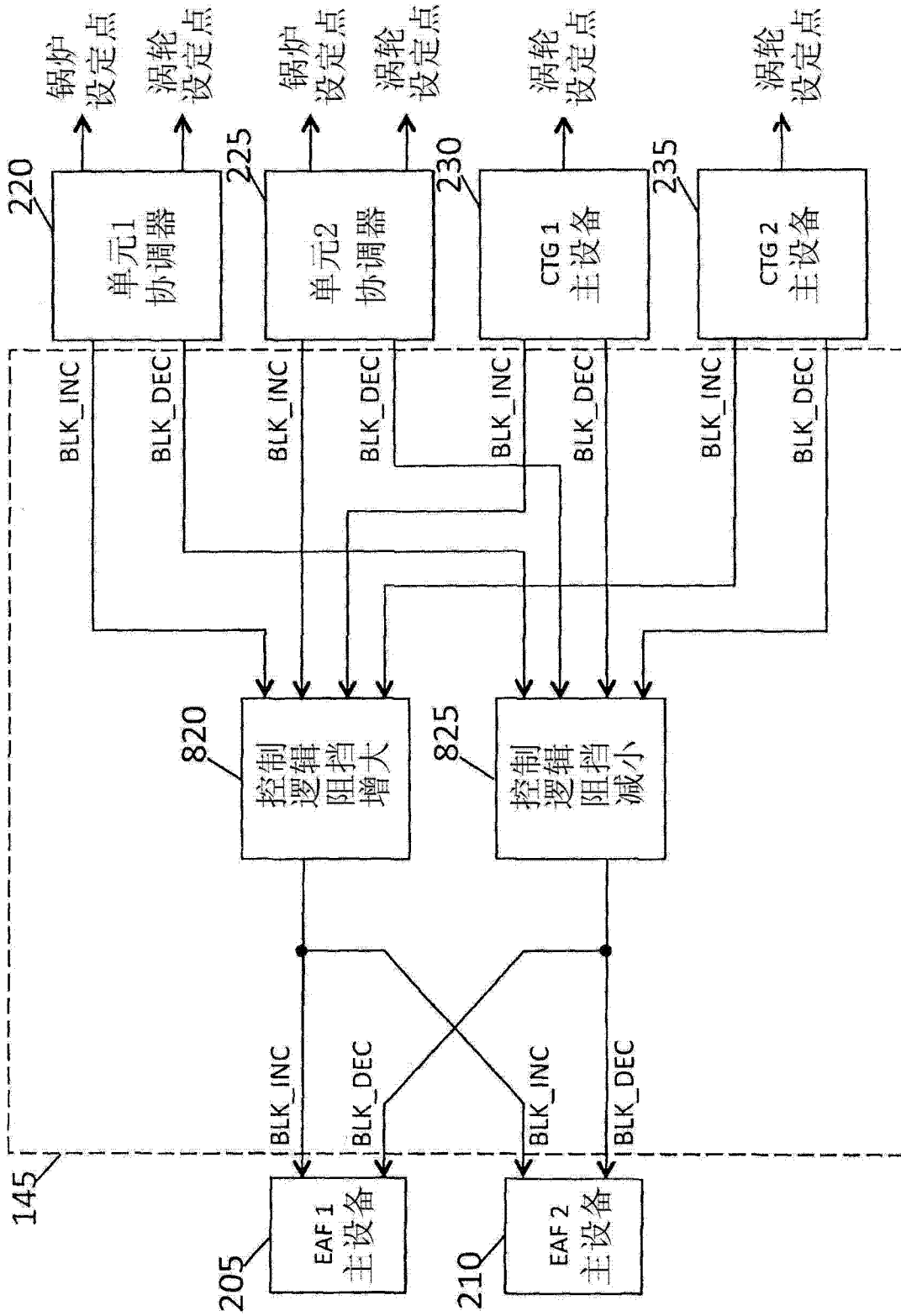


图 8E

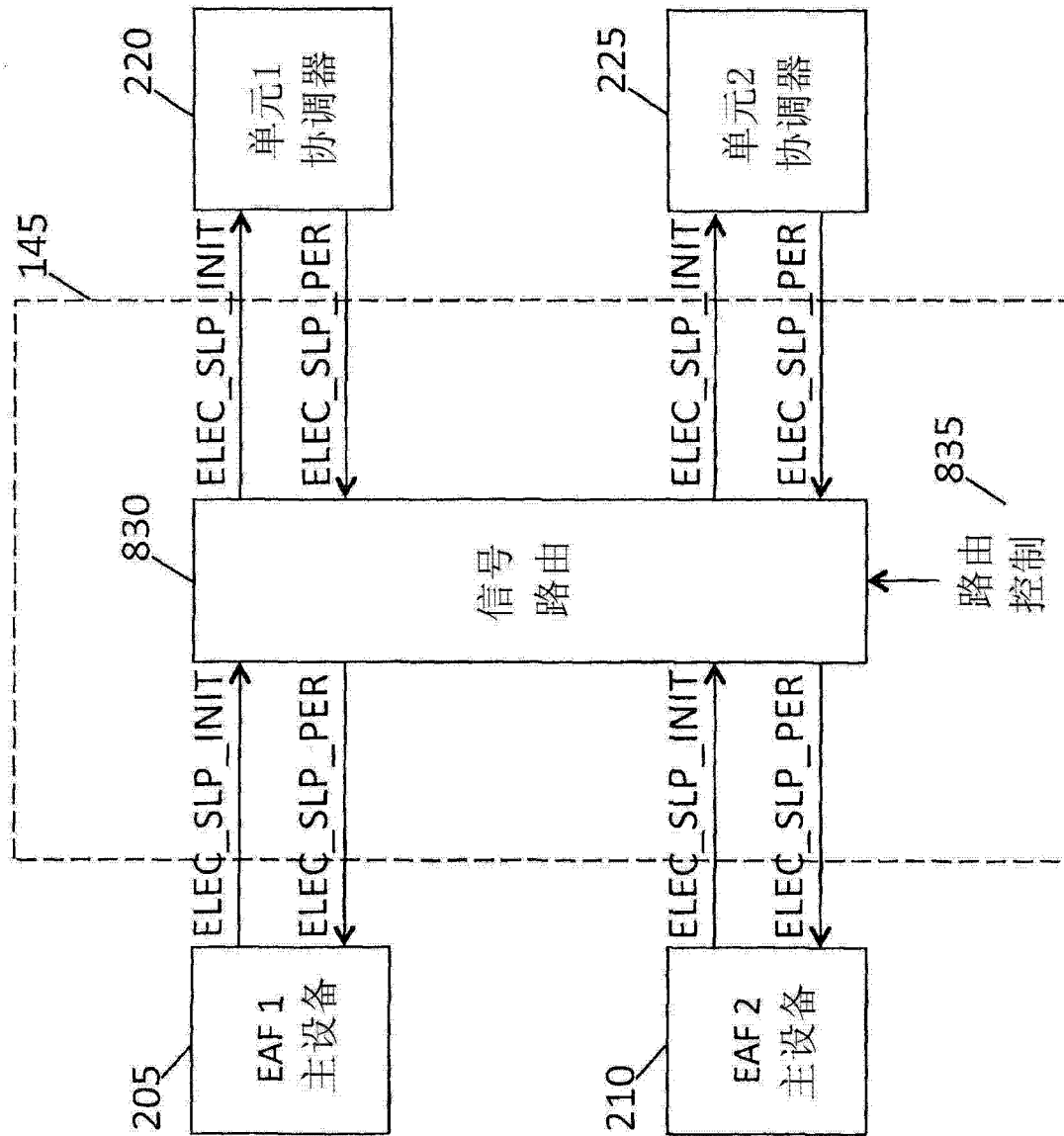


图 8F

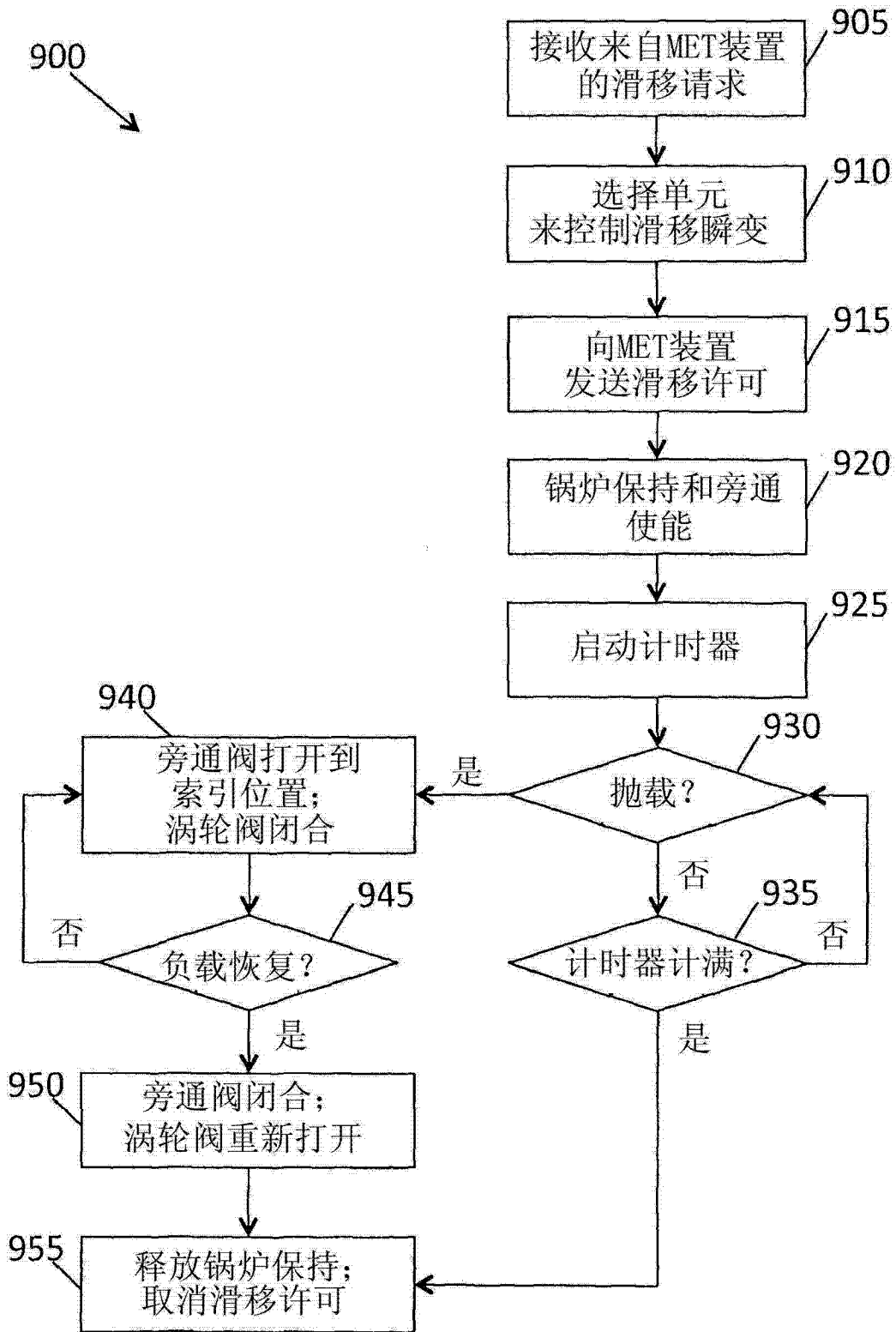


图 9