



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104092250 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 08

(21) 申请号 201410369359. 6

(22) 申请日 2014. 07. 30

(71) 申请人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙坪坝正街
174 号

(72) 发明人 陈刚 冯峨宁 宋永端 雷云娇

(74) 专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有
限公司 11275

代理人 赵荣之

(51) Int. Cl.

H02J 3/46 (2006. 01)

H02J 3/00 (2006. 01)

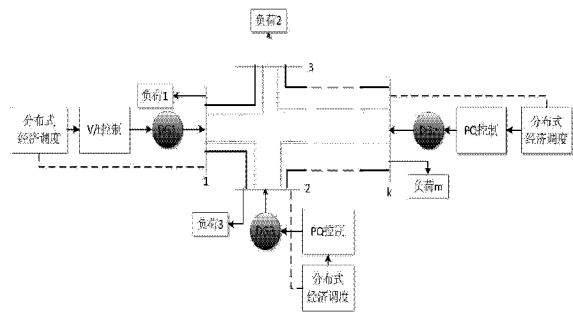
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,属于分布式发电技术领域。该方法用 n 个分布式电源来控制 m 个负荷;将第 1 个分布式电源作为主控制单元,并采用 V/f 控制方法进行控制,使主控制单元向微电网中的其他分布式电源提供电压和频率参考,并通过充放电控制来跟踪其他分布式电源输出功率和负荷的波动;其他分布式电源采用 PQ 控制方法进行控制,为微电网提供出力,负责微电网的功率调度;用分布式经济调度算法计算出各个分布式电源的最佳有功功率的出力结果。利用本发明的方法对微电网系统进行控制和协调,能大大降低系统的发电成本、减小系统的通信量、保证系统运行的可靠性。



1. 一种微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:用 n 个分布式电源来控制 m 个负荷;将第 1 个分布式电源作为主控制单元,并采用 V/f 控制方法进行控制,使主控制单元向微电网中的其他分布式电源提供电压和频率参考,并通过充放电控制来跟踪其他分布式电源输出功率和负荷的波动;其他分布式电源采用 PQ 控制方法进行控制,为微电网提供出力,负责微电网的功率调度;用分布式经济调度算法计算出各个分布式电源的最佳有功功率的出力结果,V/f 控制器及 PQ 控制器通过该出力结果来协调控制各个分布式电源。

2. 根据权利要求 1 所述的微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:所述分布式电源包括发电单元和储能单元,发电单元为风力发电机组、太阳能电池阵列或燃料电池阵列,储能单元为飞轮或蓄电池。

3. 根据权利要求 2 所述的微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:所述分布式经济调度算法的计算过程如下:

- 1) 将分布式电源的发电单元作为系统节点,获取节点 i 的信息及其邻节点 j 的信息;
- 2) 将节点 i 和节点 j 的信息进行交换;
- 3) 对节点 i 的信息进行迭代更新:

$$\lambda_i(k+1) = \sum_{j=1}^n d_{ij} \lambda_j(k) + \varepsilon \delta_i(k) \quad (1)$$

$$\eta_i(k+1) = \frac{1}{2\gamma_i} \lambda_i(k+1) - \frac{\beta_i}{2\gamma_i} \quad (2)$$

$$\delta_i(k+1) = \sum_{j \in N_i} d_{ij} \delta_j(k) - (\eta_i(k+1) - \eta_i(k)) \quad (3)$$

其中: k 为迭代次数; λ_i 、 λ_j 为节点 i 、 j 的边际成本估计值; d_{ij} 为节点 i 和 j 之间的连接权重; ε 为小的正常数; δ_i 、 δ_j 为节点 i 、 j 的最优有功功率估计值; η_i 、 η_j 为节点 i 、 j 的供需差估计值; γ_i 、 β_i 为发电单元 i 的成本参数; N_i 为节点 i 的邻节点集。

- 4) 当 $|\lambda_i(k+1) - \lambda_i(k)| \leq \sigma$ 时,停止迭代,计算出发电单元 i 的最佳有功功率:

$$P_{i\text{set}} = \frac{\lambda_i - \beta_i}{2\gamma_i} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad (4)$$

其中: σ 为迭代误差收敛限。

4. 根据权利要求 3 所述的微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:发电单元 i 所对应的成本函数为:

$$C_i(P_i) = \gamma_i P_i^2 + \beta_i P_i + \alpha_i \quad (5)$$

其中: α_i 为成本参数, P_i 为发电单元 i 的发电量。

5. 根据权利要求 3 所述的微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:所述分布式电源的发电单元采用双馈式风力发电机,包括风机、双馈感应式发电机、转子侧变换器、电网侧变换器;所述转子侧变换器和电网侧转换器采用直流、背靠背式连接,分布式经济调度单元通过 PQ 控制器来控制转子侧转换器;所述电网侧转换器通过电网侧转换器控制器来进行控制。

6. 根据权利要求 5 所述的微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:所述 V/f 控制方法采用的是基于下垂特性的多环反馈控制器,该多环反馈控制器中的

外环控制器为功率控制器,用于产生内环控制器的参考电压;内环控制器为电压和电流控制器,且均采用PI控制器,其中电压控制器用于稳定接口逆变器输出端口电压,电流控制器用于提高响应速度。

7. 根据权利要求6所述的微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:PQ控制器对转子侧转换器的控制通过两条通道实施:

第一条通道为:转子侧转换器的无功功率参考值 Q_{set} 与实际运行功率之差经PI控制器,输出转子磁场电流分量的给定值 i^*_{dr} , i^*_{dr} 与其反馈值综合后,经PI控制器,并通过补偿环节,得转子d轴控制电压 V^*_{dr} ;

第二条通道为:通过分布式经济调度单元得到发电单元的最佳有功功率 P_{set} ,将其与实际有功功率之差经PI控制器,输出转子转矩电流分量的给定值 i^*_{qr} , i^*_{qr} 与其反馈值综合后,经PI控制器,并通过补偿环节,得到定子q轴控制电压 V^*_{qr} 。

8. 根据权利要求5所述的微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:

所述电网侧转换器控制器用于控制转子侧转换器和电网侧转换器之间的直流环节的电压恒定;该控制通过两条通道实施:

第一条通道为:转子侧转换器和电网侧转换器之间的直流环节的电压参考值 V_{dc_ref} 与其实际电压之差经PI控制器,输出电网侧电流分量的给定值 idg_ref , idg_ref 与其反馈值综合后,经PI控制器得到电网侧d轴设定电压 V_{dg_ref} , V_{dg_ref} 通过补偿环节,得到电网侧d轴控制电压 V^*_{dg} ;

第二条控制通道是:电网侧q轴电流分量的参考值 i_{qg_ref} 与其反馈值综合后经PI控制器得到电网侧q轴设定电压 V_{qg_ref} , V_{qg_ref} 通过补偿环节,得到电网侧q轴控制电压 V^*_{qg} 。

微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及到分布式发电技术领域,尤其涉及一种微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法。

背景技术

[0002] 目前,随着经济和社会的快速发展,人们对电力的需求水平不断增加,但世界范围内以煤、石油为主的常规能源,其资源有限且对大气的污染程度也日益严重,造成了全球的能源紧张和环境恶化,迫使我们寻找其它可再生能源取代现有的常规能源。因此,小容量、低成本、能够提供可靠和清洁能源的分布式发电得到了越来越多的重视与运用。将分布式电源以微网的形式接入到大电网并网运行,与大电网互为支撑,是发挥分布式发电系统效益的有效途径。

[0003] 微网是指由分布式电源、储能装置、能量变换装置、相关负荷和监控系统、保护装置汇集而成的小型发配电系统,是一个能够实现自我控制、保护和管理的自制系统,既可以与外部电网并网运行,也可以孤立运行。微网接入电网后具备很多优点,如:一方面能就地消化电力,延缓了电网更新改造速度,减少集中输电的线路损耗;另一方面和大电网供电互为补充,改善电网峰谷性能,提高供电可靠性,减少对环境的污染等。但是,微网中各种分布式电源的特性不同,运行方式相差较大,接入后会给配电网的规划、预测和运行带来很大的不确定性。如柴油机发电虽然成本低,但污染严重;风力发电和光伏发电无污染,但一次设备成本高,易受天气影响,功率输出不易控制;燃料电池污染小、易控制,但反应速度慢、成本高;储能设备虽然反应快,但不易与其他电源协调运行。因此对分布式发电微网系统的优化调度与协调控制是微网在实际运行中急需解决的关键问题。

[0004] 现有技术具有以下缺点:1)传统的经济调度是通过一个集中式的计算单元实行的,需要微网系统中各个单元的发电量和负载的需求信息,通信量很大,影响分布式电源的灵活性和“即插即用”特性;2)微网系统内若有分布式电源发生故障,供电系统不能及时检测出来并对其进行修复,就会出现断电现象,缺乏供电的可靠性,严重影响居民的正常生活;3)传统的经济调度是按事先制定的计划由运行人员手动调整发电机组的发电量来实现的,整个系统内能量的控制是开环的,即传统的经济调度为离线调度,影响微网内发电单元高效经济的运行。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于克服上述不足,提供微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,根据分布式经济调度单元计算的各个分布式电源的有功功率出力结果,并通过控制单元来对分布式电源进行控制,使每个分布式电源能及时精确地调整其有功功率出力,来达到系统的经济调度的目的。

[0006] 本发明的目的是这样实现的:

[0007] 一种微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,其特征在于:用 n 个分布式

电源来控制 m 个负荷；将第 1 个分布式电源作为主控制单元，并采用 V/f 控制方法进行控制，使主控制单元向微电网中的其他分布式电源提供电压和频率参考，并通过充放电控制来跟踪其他分布式电源输出功率和负荷的波动；其他分布式电源采用 PQ 控制方法进行控制，为微电网提供出力，负责微电网的功率调度；用分布式经济调度算法计算出各个分布式电源的最佳有功功率的出力结果，V/f 控制器及 PQ 控制器通过该出力结果来协调控制各个分布式电源。

[0008] 进一步的，所述分布式电源包括发电单元和储能单元，发电单元为风力发电机组、太阳能电池阵列或燃料电池阵列，储能单元为飞轮或蓄电池。

[0009] 进一步的，所述分布式经济调度算法的计算过程如下：

[0010] 1) 将分布式电源的发电单元作为系统节点，获取节点 i 的信息及其邻节点 j 的信息；

[0011] 2) 将节点 i 和节点 j 的信息进行交换；

[0012] 3) 对节点 i 的信息进行迭代更新：

$$[0013] \quad \lambda_i(k+1) = \sum_{j=1}^n d_{ij} \lambda_j(k) + \varepsilon \delta_i(k) \quad (1)$$

$$[0014] \quad \eta_i(k+1) = \frac{1}{2\gamma_i} \lambda_i(k+1) - \frac{\beta_i}{2\gamma_i} \quad (2)$$

$$[0015] \quad \delta_i(k+1) = \sum_{j \in N_i} d_{ij} \delta_j(k) - (\eta_i(k+1) - \eta_i(k)) \quad (3)$$

[0016] 其中： k 为迭代次数； λ_i 、 λ_j 为节点 i 、 j 的边际成本估计值； d_{ij} 为节点 i 和 j 之间的连接权重； ε 为小的正常数； δ_i 、 δ_j 为节点 i 、 j 的最优有功功率估计值； η_i 、 η_j 为节点 i 、 j 的供需差估计值； γ_i 、 β_i 为发电单元 i 的成本参数； N_i 为节点 i 的邻节点集。

[0017] 4) 当 $|\lambda_i(k+1) - \lambda_i(k)| \leq \sigma$ 时，停止迭代，计算出发电单元 i 的最佳有功功率：

$$[0018] \quad P_{iset} = \frac{\lambda_i - \beta_i}{2\gamma_i} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad (4)$$

[0019] 其中： σ 为迭代误差收敛限。

[0020] 进一步的，发电单元 i 所对应的成本函数为：

$$[0021] \quad C_i(P_i) = \gamma_i P_i^2 + \beta_i P_i + \alpha_i \quad (5)$$

[0022] 其中： α_i 为成本参数， P_i 为发电单元 i 的发电量。

[0023] 进一步的，所述分布式电源的发电单元采用双馈式风力发电机，包括风机、双馈感应式发电机、转子侧变换器、电网侧变换器；所述转子侧变换器和电网侧变换器采用直流、背靠背式连接，分布式经济调度单元通过 PQ 控制器来控制转子侧变换器；所述电网侧变换器通过电网侧变换器控制器来进行控制。

[0024] 进一步的，所述 V/f 控制方法采用的是基于下垂特性的多环反馈控制器，该多环反馈控制器中的外环控制器为功率控制器，用于产生内环控制器的参考电压；内环控制器为电压和电流控制器，且均采用 PI 控制器，其中电压控制器用于稳定接口逆变器输出端口电压，电流控制器用于提高响应速度。

[0025] 进一步的，PQ 控制器对转子侧变换器的控制通过两条通道实施：

[0026] 第一条通道为：转子侧变换器的无功功率参考值 Q_{set} 与实际运行功率之差经 PI

控制器,输出转子磁场电流分量的给定值 i^*_{dr} , i^*_{dr} 与其反馈值综合后,经 PI 控制器,并通过补偿环节,得转子 d 轴控制电压 V^*_{dr} ;

[0027] 第二条通道为:通过分布式经济调度单元得到发电单元的最佳有功功率 P_{set} ,将其与实际有功功率之差经 PI 控制器,输出转子转矩电流分量的给定值 i^*_{qr} , i^*_{qr} 与其反馈值综合后,经 PI 控制器,并通过补偿环节,得到定子 q 轴控制电压 V^*_{qr} 。

[0028] 进一步的,所述电网侧转换器控制器用于控制转子侧转换器和电网侧转换器之间的直流环节的电压恒定;该控制通过两条通道实施:

[0029] 第一条通道为:转子侧转换器和电网侧转换器之间的直流环节的电压参考值 V_{dc_ref} 与其实际电压之差经 PI 控制器,输出电网侧电流分量的给定值 idg_ref , idg_ref 与其反馈值综合后,经 PI 控制器得到电网侧 d 轴设定电压 V_{dg_ref} , V_{dg_ref} 通过补偿环节,得到电网侧 d 轴控制电压 V^*_{dg} ;

[0030] 第二条控制通道是:电网侧 q 轴电流分量的参考值 i_{qg_ref} 与其反馈值综合后经 PI 控制器得到电网侧 q 轴设定电压 V_{qg_ref} , V_{qg_ref} 通过补偿环节,得到电网侧 q 轴控制电压 V^*_{qg} 。

[0031] 相较于现有技术,本发明具有的优势是:利用本发明的方法对微电网系统进行控制和协调,能大大降低系统的发电成本、减小系统的通信量、保证系统运行的可靠性。

[0032] 本发明的其它优点、目标和特征在某种程度上将在随后的说明书中进行阐述,并且在某种程度上,基于对下文的考察研究对本领域技术人员而言将是显而易见的,或者可以从本发明的实践中得到教导。本发明的目标和其它优点可以通过下面的说明书,权利要求书,以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

附图说明

[0033] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步的详细描述,其中:

[0034] 图 1 为分布式微电网系统结构框图;

[0035] 图 2 为分布式经济调度算法的执行图;

[0036] 图 3 为分布式发电系统中的双馈感应式风力发电机的结构框图;

[0037] 图 4 为主控单元为蓄电池时的分布式发电微电网系统内的 V/f 控制结构框图;

[0038] 图 5 为图 4 中功率控制器的控制框图;

[0039] 图 6 为图 4 中电压电流双环控制框图;

[0040] 图 7 为双馈感应式风力发电机的 PQ 控制器控制原理框图;

[0041] 图 8 为双馈感应式风力发电机的网侧变换器控制原理框图。

具体实施方式

[0042] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

[0043] 图 1 为分布式微电网系统结构框图,图其中的虚线为微电网系统内的通信线路,如图 1 所示,一种微电网系统的分布式经济调度与协调控制方法,用 n 个分布式电源来控制 m 个负荷;将第 1 个分布式电源 DG1 作为主控制单元,并采用 V/f 控制方法进行控制,使主控制单元向微电网中的其他分布式电源提供电压和频率参考,并通过充放电控制来跟踪其

他分布式电源输出功率和负荷的波动；其他分布式电源 (DG2 ~ DGn) 采用 PQ 控制方法进行控制,为微电网提供出力,负责微电网的功率调度；用分布式经济调度算法计算出各个分布式电源的最佳有功功率的出力结果,V/f 控制器及 PQ 控制器通过该出力结果来协调控制各个分布式电源。

[0044] 所述分布式电源包括发电单元和储能单元,发电单元为风力发电机组、太阳能电池阵列或燃料电池阵列,储能单元为飞轮或蓄电池。

[0045] 在具体实施中,用第一个分布式电源 DG1 的储能单元作为主控制单元,且储能单元采用蓄电池储能。首先,分布式经济调度单元根据微电网系统内的负荷需求及各分布式电源的出力代价等信息计算各出分布式电源的最佳有功功率 P_{iset} ；其次,分布式经济调度单元控制 V/f 控制器,V/f 控制器再控制作为主控制单元的第一个分布式电源 DG1；分布式经济单元同时也控制 PQ 控制器,PQ 控制器再来控制其他的分布式电源 (DG2 ~ DGn),达到微网系统经济调度和协调控制的目的。

[0046] 图 2 为分布式经济调度算法的执行图,如图 2 所示,分布式经济调度算法的计算过程如下：

[0047] 1) 将分布式电源的发电单元作为系统节点,获取节点 i 的信息及其邻节点 j 的信息；

[0048] 2) 将节点 i 和节点 j 的信息进行交换；

[0049] 3) 对节点 i 的信息进行迭代更新：

$$[0050] \quad \lambda_i(k+1) = \sum_{j=1}^n d_{ij} \lambda_j(k) + \varepsilon \delta_i(k) \quad (1)$$

$$[0051] \quad \eta_i(k+1) = \frac{1}{2\gamma_i} \lambda_i(k+1) - \frac{\beta_i}{2\gamma_i} \quad (2)$$

$$[0052] \quad \delta_i(k+1) = \sum_{j \in N_i} d_{ij} \delta_j(k) - (\eta_i(k+1) - \eta_i(k)) \quad (3)$$

[0053] 其中:k 为迭代次数； λ_i 、 λ_j 为节点 i、j 的边际成本估计值； d_{ij} 为节点 i 和 j 之间的连接权重； ε 为小的正常数； δ_i 、 δ_j 为节点 i、j 的最优有功功率估计值； η_i 、 η_j 为节点 i、j 的供需差估计值； γ_i 、 β_i 为发电单元 i 的成本参数； N_i 为节点 i 的邻节点集。

[0054] 4) 当 $|\lambda_i(k+1) - \lambda_i(k)| \leq \sigma$ 时,停止迭代,计算出发电单元 i 的最佳有功功率：

$$[0055] \quad P_{iset} = \frac{\lambda_i - \beta_i}{2\gamma_i} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad (4)$$

[0056] 其中： σ 为迭代误差收敛限。

[0057] 分布式经济调度算法采用的是分布式一致性算法,该算法的执行仅需要系统相邻节点的信息,能很大程度上减少系统内的通信量,使系统的响应速度和灵活性得到显著的提高。

[0058] 微电网系统内发电单元 i 所对应的成本函数如下：

$$[0059] \quad C_i(P_i) = \gamma_i P_i^2 + \beta_i P_i + \alpha_i \quad (5)$$

[0060] 其中, γ_i 、 β_i 、 α_i 为成本参数, P_i 为发电单元 i 的发电量。

[0061] 微电网系统的优化目标为：

$$[0062] \quad \min C_i(P_i) = \gamma_i P_i^2 + \beta_i P_i + \alpha_i$$

[0063] 即让微电网系统内的各个发电单元的成本最小化,以实现经济调度的目的。

[0064] 图 3 为分布式发电系统中的双馈感应式风力发电机的结构框图,如图所示,双馈感应式风力发电机包括风机、双馈感应式发电机、转子侧变换器、电网侧变换器;所述转子侧变换器和电网侧变换器采用直流、背靠背式连接,分布式经济调度单元通过 PQ 控制器来控制转子侧变换器;所述电网侧变换器通过电网侧变换器控制器来进行控制。

[0065] 图 4 为主控单元为蓄电池时的分布式发电微电网系统内的 V/f 控制结构框图,如图所示,所述 V/f 控制方法采用的是基于下垂特性的多环反馈控制器,该多环反馈控制器中的外环控制器为功率控制器,用于产生内环控制器的参考电压;内环控制器为电压和电流控制器,且均采用 PI 控制器,其中电压控制器用于稳定接口逆变器输出端口电压,电流控制器用于提高响应速度。

[0066] 图 5 为图 4 中功率控制器的控制框图。由电压 V_{od} 和 V_{oq} 值以及电流 I_{od} 和 I_{oq} 值,可计算出蓄电池输出的有功功率和无功功率。通过低通滤波器可以消除谐波分量。根据额定电压值和额定频率值,基于下垂特性曲线,可计算出参考电压值 V_{def} 和 V_{qef} 。

[0067] 图 6 为图 4 中电压电流双环控制框图。根据功率控制器计算出的参考电压值 V_{def} 和 V_{qef} ,通过电压控制环,计算出参考电流值 I_{def} 和 I_{qef} 。电流控制环通过 PI 调节器将电流控制变量变换到电压矢量空间,并通过脉宽调制技术输出 PWM 脉冲。

[0068] 图 7 为双馈感应式风力发电机的 PQ 控制器控制原理框图;如图所示,PQ 控制器对转子侧变换器的控制通过两条通道实施:

[0069] 第一条通道为:转子侧变换器的无功功率参考值 Q_{set} 与实际运行功率之差经 PI 控制器,输出转子磁场电流分量的给定值 i^*_{dr} , i^*_{dr} 与其反馈值综合后,经 PI 控制器,并通过补偿环节,得转子 d 轴控制电压 V^*_{dr} ;

[0070] 第二条通道为:通过分布式经济调度单元得到发电单元的最佳有功功率 P_{set} ,将其与实际有功功率之差经 PI 控制器,输出转子转矩电流分量的给定值 i^*_{qr} , i^*_{qr} 与其反馈值综合后,经 PI 控制器,并通过补偿环节,得到定子 q 轴控制电压 V^*_{qr} 。

[0071] 图 8 为双馈感应式风电机组的网侧变换器控制原理框图,如图所示,所述电网侧变换器控制器用于控制转子侧变换器和电网侧变换器之间的直流环节的电压恒定;该控制通过两条通道实施:

[0072] 第一条通道为:转子侧变换器和电网侧变换器之间的直流环节的电压参考值 V_{dc_ref} 与其实际电压之差经 PI 控制器,输出电网侧电流分量的给定值 idg_ref , idg_ref 与其反馈值综合后,经 PI 控制器得到电网侧 d 轴设定电压 V_{dg_ref} , V_{dg_ref} 通过补偿环节,得到电网侧 d 轴控制电压 V^*_{dg} ;

[0073] 第二条控制通道是:电网侧 q 轴电流分量的参考值 i_{qg_ref} 与其反馈值综合后经 PI 控制器得到电网侧 q 轴设定电压 V_{qg_ref} , V_{qg_ref} 通过补偿环节,得到电网侧 q 轴控制电压 V^*_{qg} 。

[0074] 最后说明的是,以上优选实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管通过上述优选实施例已经对本发明进行了详细的描述,但本领域技术人员应当理解,可以在形式上和细节上对其作出各种各样的改变,而不偏离本发明权利要求书所限定的范围。

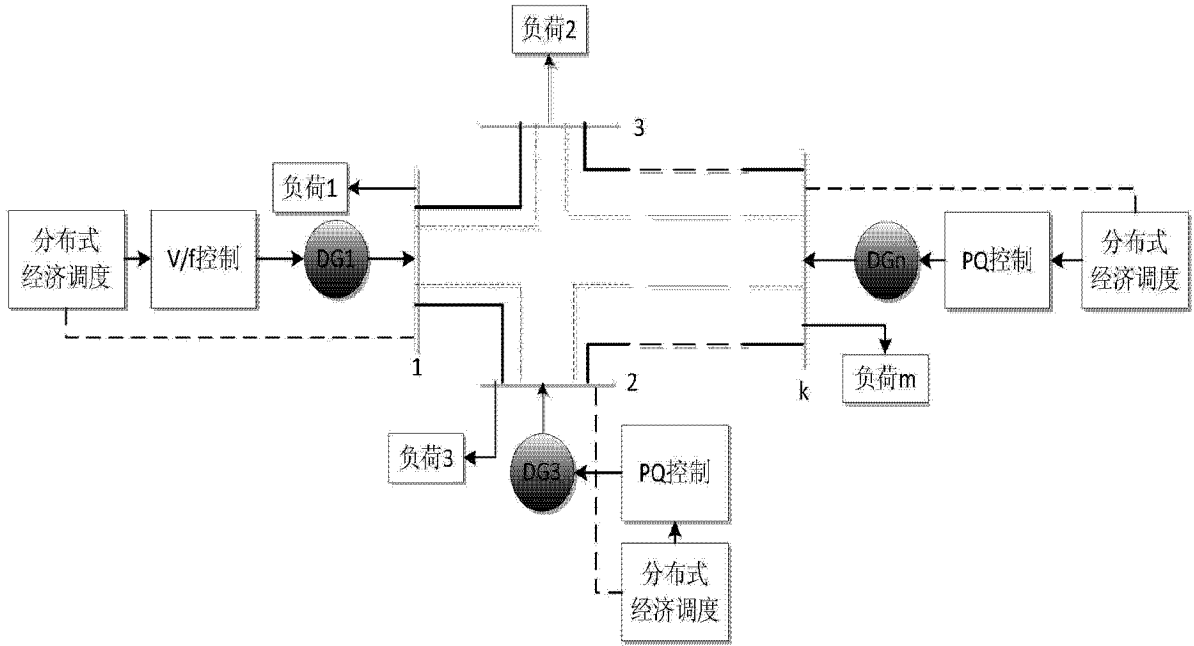


图 1

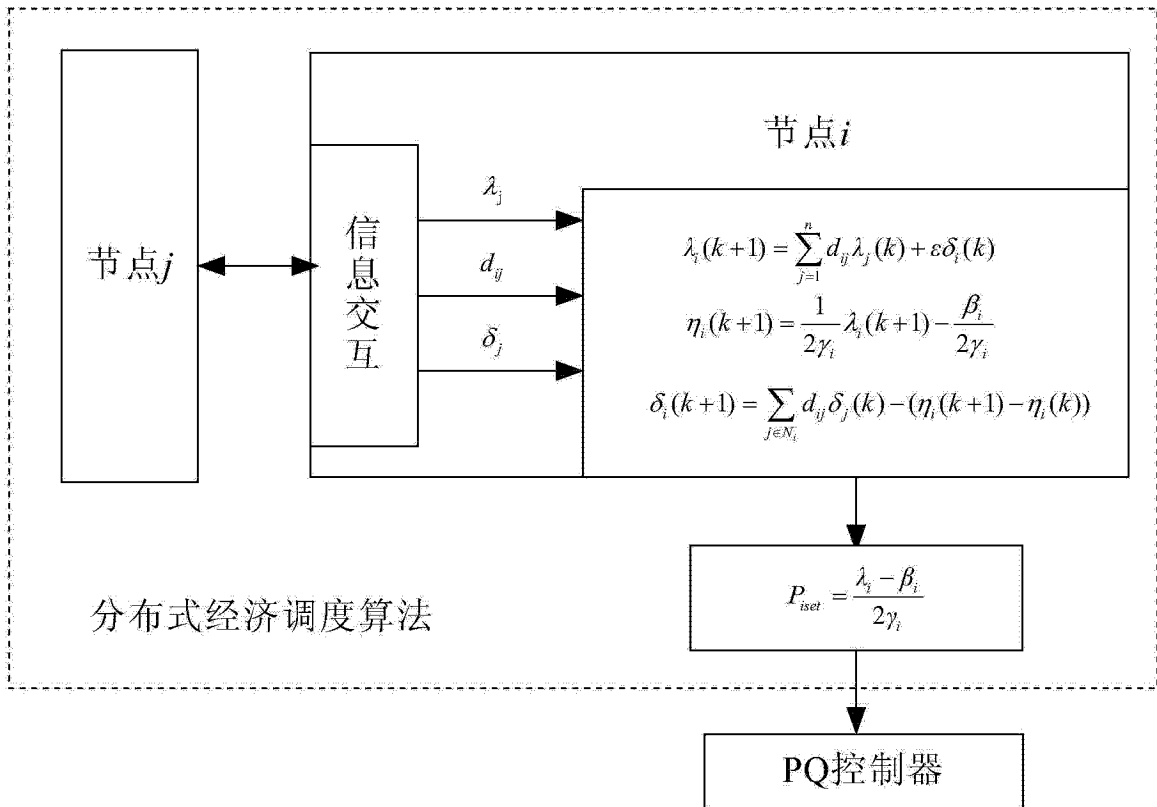


图 2

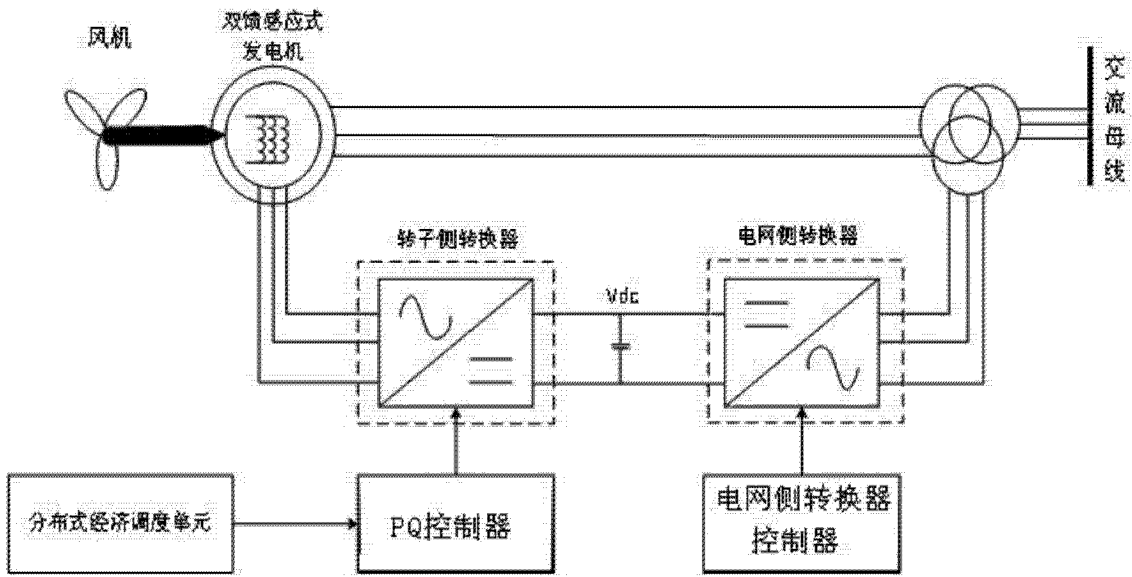


图 3

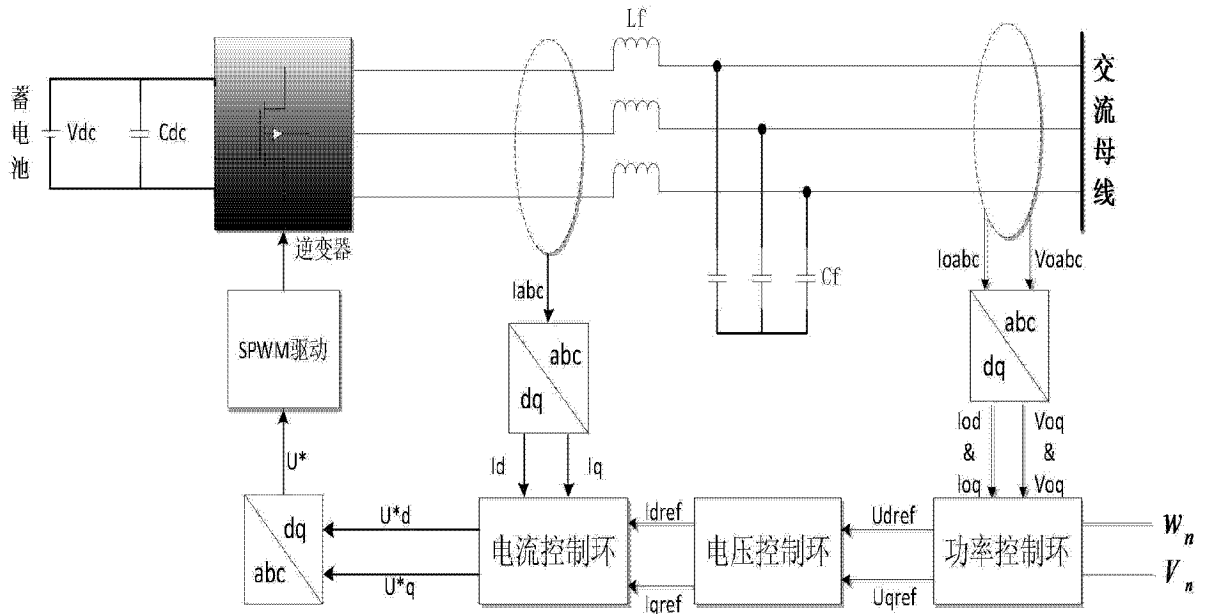


图 4

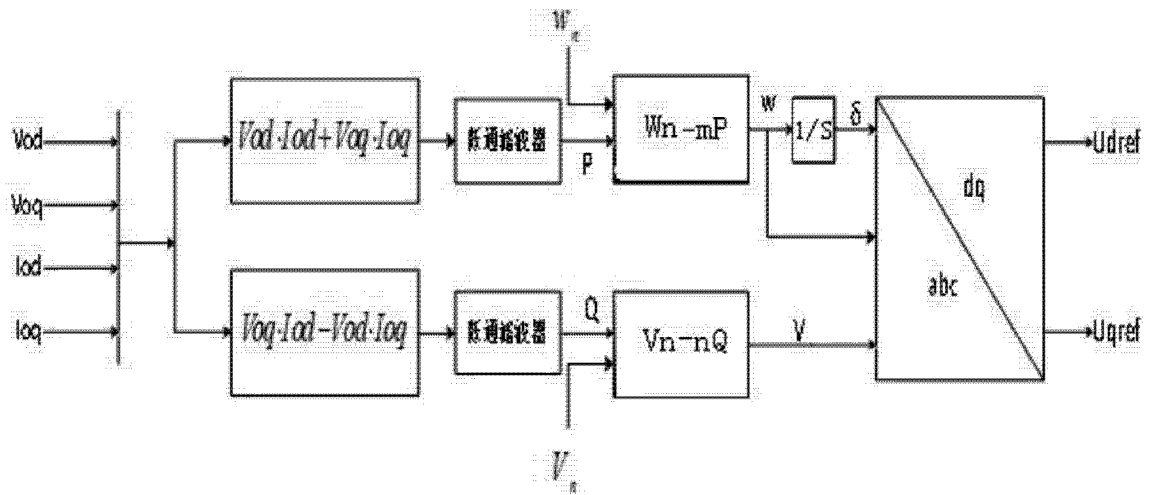


图 5

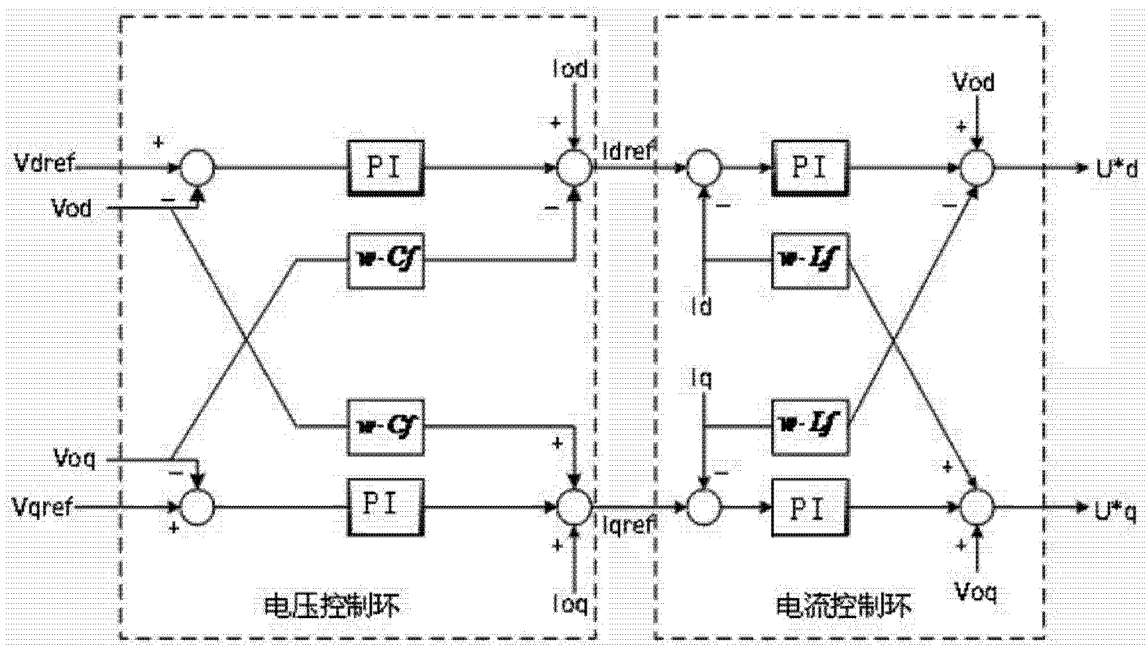


图 6

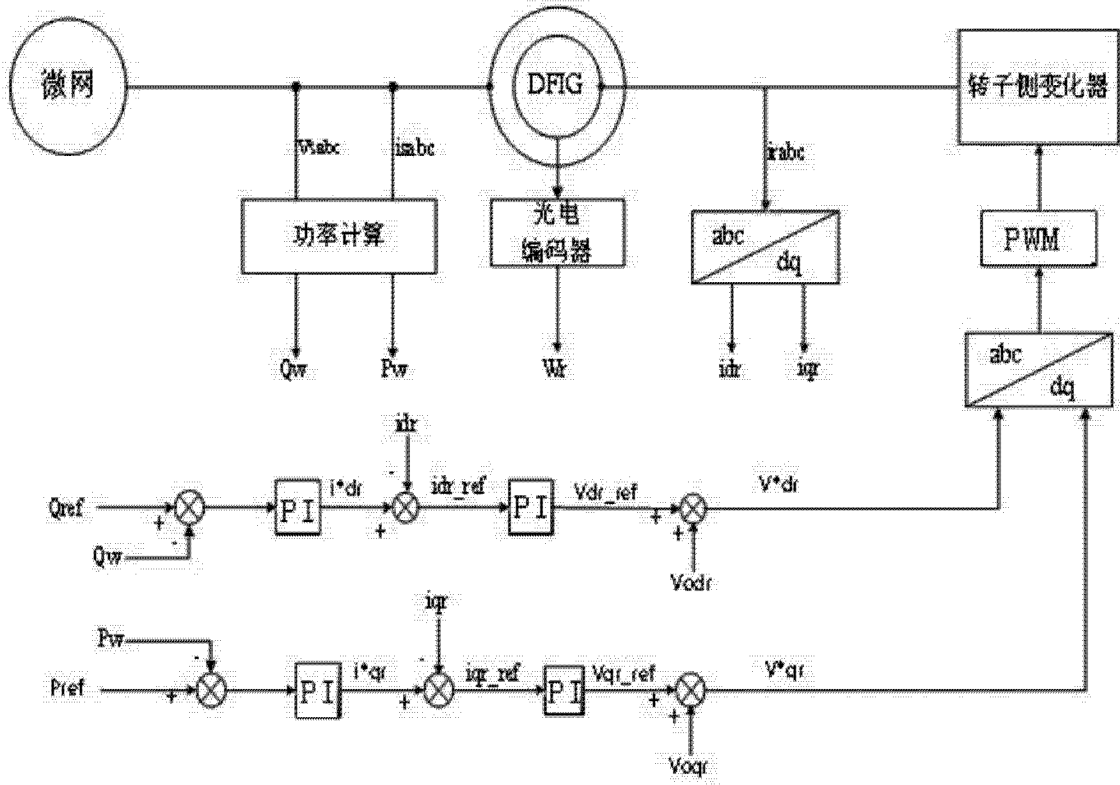


图 7

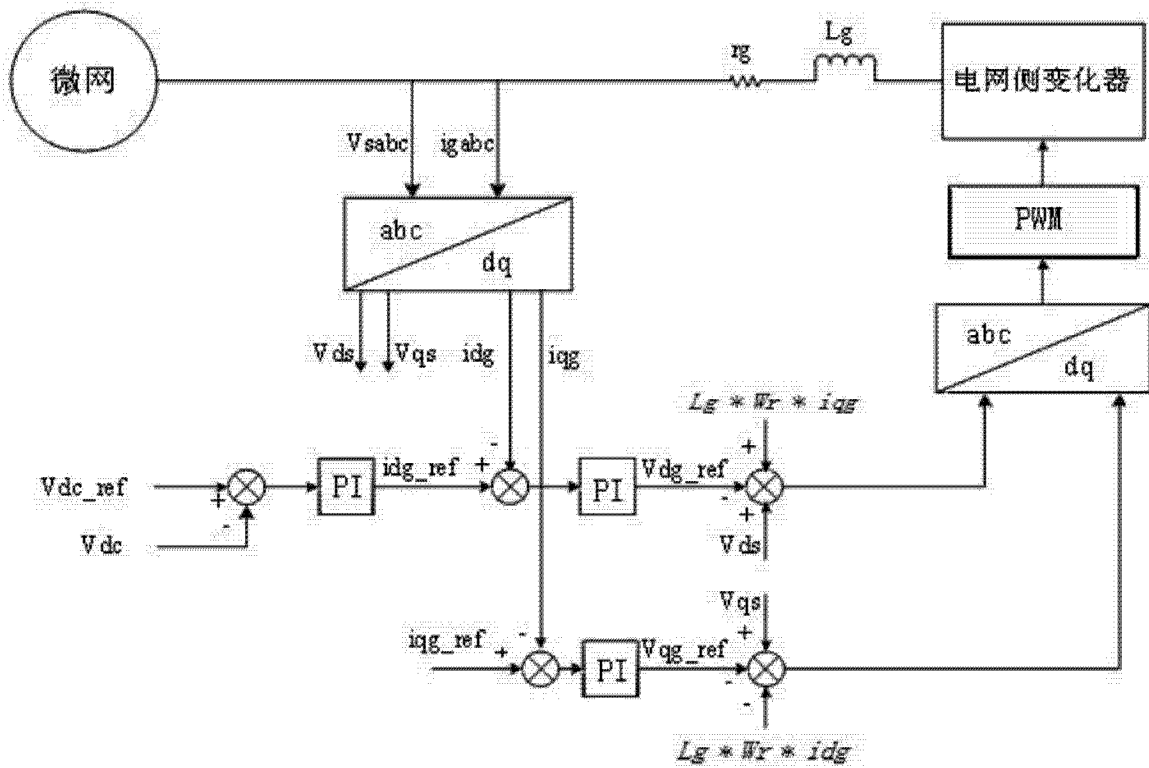


图 8