



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103956734 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201410196594.8

H02J 3/01(2006.01)

(22)申请日 2014.05.09

H02J 3/18(2006.01)

H02J 3/16(2006.01)

(73)专利权人 深圳市海亿达能源科技股份有限公司

地址 518000 广东省深圳市南山区科技园
松坪山5号嘉达研发大楼主楼七楼西
侧,二楼西侧

(72)发明人 何玉成 李铁牛 刘兵 袁晓勇
李斌

(74)专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事
务所(普通合伙) 44248

代理人 张立娟

(51)Int.Cl.

H02J 3/00(2006.01)

H02J 3/26(2006.01)

(56)对比文件

CN 101055991 A,2007.10.17,

CN 101571563 A,2009.11.04,

侯桂兵.微网电能质量治理装置优化配置与
协同控制研究.《中国优秀硕士学位论文全文数
据库》.2013,(第03期),第22-23页,第43-46页.

审查员 杨洋

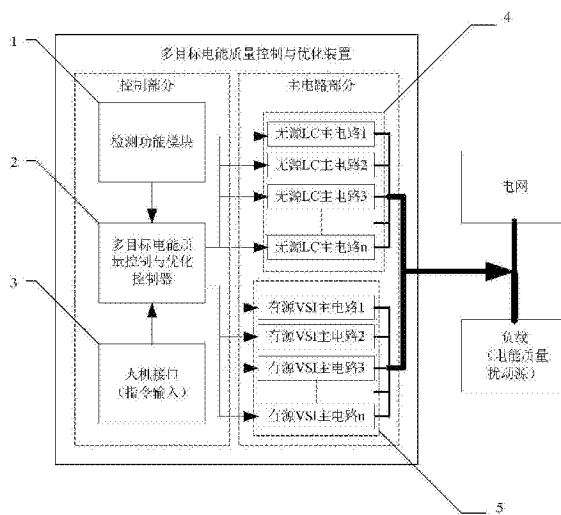
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

一种多目标电能质量综合控制与优化装置

(57)摘要

本发明提供了一种多目标电能质量综合控制与优化装置,包括控制部分和主电路部分,控制部分包括检测功能模块、多目标电能质量控制与优化控制器、人机接口、主电路部分包括无源LC主电路、有源VSI主电路。所述检测功能模块检测并分析负载、电网、多目标电能质量综合控制与优化装置的各项电能质量指标,多目标电能质量控制与优化控制器统一协调控制装置在当前时刻安全容量范围内实施电能质量治理目标的优先级、最优控制策略评估分析,并发出控制指令,统一协调控制主电路实现电能质量控制与优化。该发明装置具有较大的容量且容易扩展,可控制和改善电压偏差、电压波动与闪变、三相不平衡、谐波、功率因数低等电能质量问题。



1. 一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:包括控制部分和主电路部分,控制部分包括检测功能模块(1)、多目标电能质量控制与优化控制器(2)、人机接口(3)、主电路部分包括无源LC主电路(4)、有源VSI主电路(5);所述检测功能模块(1)检测并分析负载、电网、多目标电能质量综合控制与优化装置的各项电能质量指标,所述人机接口(3)接受用户输入的目标指令及多目标电能质量综合控制与优化装置额定容量值;所述多目标电能质量控制与优化控制器(2)接收所述检测功能模块(1)所分析的各项电能质量指标和所述人机接口(3)输出的目标指令及多目标电能质量综合控制与优化装置额定容量值,分析得出电能质量治理目标值及多目标电能质量综合控制与优化装置安全容量值;所述多目标电能质量控制与优化控制器(2)根据电能质量治理目标值、电网各项电能质量指标值、装置安全容量值,统一协调控制各项电能质量治理,输出有源部分指令值及无源部分指令值,控制所述主电路部分实施电能质量控制与优化。

2. 根据权利要求1所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:所述有源VSI主电路(5)的基本单元为二极管箝位型多电平变流器,将多电平变流器进行多重化构成有源动态功率模块,再将有源动态功率模块进行并联。

3. 根据权利要求1所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:所述无源LC主电路(4)通过无源晶闸管与电抗器、电力电容器串联形成无源晶闸管投切LC单元,将晶闸管投切LC单元进行并联。

4. 根据权利要求1所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:所述多目标电能质量控制与优化控制器(2)包括PCC功率因数检测模块(15)、PCC畸变率检测模块(16)、PCC电压检测模块(17);所述PCC功率因数检测模块(15)、PCC畸变率检测模块(16)、PCC电压检测模块(17)检测电网侧电能质量反馈至多目标电能质量控制与优化控制器(2),与人机接口输入值功率因数目标值 λ^* 、电流畸变率目标值THD*,PCC电压目标值 U^* 比较,实施电能质量治理闭环控制。

5. 根据权利要求1所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:所述多目标电能质量控制与优化控制器(2)包括直流电压检测模块(9)、装置输出电流检测模块(10);所述直流电压检测模块(9)、装置输出电流检测模块(10)检测C点的装置输出电流电压情况给多目标电能质量控制与优化控制器(2),与人机接口输入的装置直流电压约束值 U_{dc}^* 、多目标电能质量控制与优化控制器输出的有源部分控制电流指令 I_c^* 、无源部分电流指令 I_{cc}^* 比较,实现多目标电能质量综合控制与优化装置内部闭环控制,C点为装置并联连接点。

6. 根据权利要求1所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:所述多目标电能质量控制与优化控制器(2)包括装置温度检测模块(11)、装置驱动检测模块(12),所述装置温度检测模块(11)、装置驱动检测模块(12)检测多目标电能质量综合控制与优化装置运行情况,与多目标电能质量综合控制与优化装置最大容量约束值 Q^* 、装置温度约束值 T^* 均输入多目标电能质量控制与优化控制器(2),计算出装置允许输出的安全容量 Q_{max} 。

7. 根据权利要求1所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:所述多目标电能质量控制与优化控制器(2)包括谐波电流计算模块(21)、直流电压PI模块(22)、装置安全容量计算模块(23)、电网电压波动计算模块(24)、动态电能质量多目标协调控制

模块(25)、PI模糊控制模块(26)、有源指令生成模块(27);负载侧谐波电流值 I_h 、电网侧电流畸变率THD、目标电流畸变率 THD^* 输入至谐波电流计算模块(21),谐波电流计算模块(21)计算出谐波电流值 I_{thd} ;有源部分直流电压值 U_{dc} 及直流电压指令值 U_{dc}^* 相减输入至PI控制器(22)进行比例积分控制,确定需要支撑直流侧电压的电压偏离指令值 U_{dcc} ;装置有源部分安全容量值计算根据装置最大温升 T^* 值、装置温升值 T_o ,装置最大设计容量 Q^* ,计算出装置的安全容量 Q_{max} ;电网电压 U_{pcc} 、电网电压目标值 U_{pcc}^* 输入至电网电压波动计算模块(24),计算出电网电压偏差值 ΔU_{pcc} ;动态电能质量多目标协调控制模块(25)根据需要补偿的谐波电流指令值 I_{thd} 、直流电压偏离值 U_{dcc} 、装置输出安全容量值 Q_{max} 、电网电压偏差值 ΔU_{pcc} ,计算出有源部分所需输出的指令电流值 $(k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^*)$ 输入至PI模糊控制模块(26),PI模糊控制模块(26)计算出需要有源部分需输出的指令电流 I_{c^*} ,通过有源指令生成模块(27)生成有源指令控制主电路部分的有源VSI主电路(5), Q_h^* 为多目标电能质量控制与优化装置有源部分输出谐波电流容量的理想指令值, Q_q^* 为多目标电能质量控制与优化装置有源部分输出无功功率容量的理想指令。

8. 根据权利要求1所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:所述多目标电能质量控制与优化控制器(2)包括无功分配协调控制模块(19),所述无功分配协调控制模块(19)先确定无源部分投入分级的无功量,再计算有源部分输出的无功电流,在无源部分额定容量和功率因数约束条件允许前提下,无源部分共有 m 级无功功率可供输出,某时刻已投的无功量对应的级数为 n ,投切参考值为 k ,而应投入无功量级数为 p ,参数正负分别代表级数增加和减少,无功分配协调控制规则如下:

规则1,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_c \right|$, $k+1 \leq m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = k+1$;

规则2,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_c \right|$, $k+1 > m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = m-n$;

规则3,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_c \right|$, $k+1 \leq n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -(k+1)$;

规则4,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_c \right|$, $k+1 > n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -n$;

规则5,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_c \right|$, $k \leq m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = k$;

规则6,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_c \right|$, $k > m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = m-n$;

规则7,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_c \right|$, $k \leq n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -k$;

规则8,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_c \right|$, $k > n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -n$ 。

9. 根据权利要求7所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置,其特征在于:动态电能质量多目标协调控制模块(25)的多目标优化模型表示为:

$$\begin{cases} \min f(x) = \omega_1 f_1(x) + \omega_2 f_2(x) + \omega_3 f_3(x) + \omega_4 f_4(x) \\ \text{s. t. } -Q_{max} \leq k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^* \leq Q_{max} \\ 0 \leq k_1 \leq 1; \quad 0 \leq k_2 \leq 1; \end{cases}$$

式中: $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ 分别为电压、无功、损耗和谐波函数的加权因子,将结合各分目标函数的数量级及重要程度,建立专家判断矩阵求解; $f_1(x)$ 为节点电压偏差指标, $f_2(x)$ 为电

压波动性能指标, $f_3(x)$ 为网络损耗指标, $f_4(x)$ 为电网谐波指标, Q_h^* 为多目标电能质量控制与优化装置有源部分输出谐波电流容量的理想指令值, Q_q^* 为多目标电能质量控制与优化装置有源部分输出无功功率容量的理想指令, Q_{max} 为多目标电能质量控制与优化装置的有源部分最大安全容量, k_1 、 k_2 为考虑安全容量的谐波输出指令值比例因子、无功输出指令值比例因子, $k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^*$ 为装置有源部分输出容量指令值。

10. 根据权利要求1所述的一种多目标电能质量综合控制与优化装置, 其特征在于:

多目标电能质量优化模型判断矩阵如下: 首先根据专家经验对各目标的相对重要性进行两两比较, 用判断数 a_{ij} 表示目标 O_i 相对于目标 O_j 的重要程度:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 同样重要} \\ 3 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 稍微重要} \\ 5 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 明显重要} \\ 7 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 非常重要} \\ 9 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 极端重要} \end{cases}$$

利用判断数 a_{ij} 可以构成判断矩阵 M :

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{41} & \cdots & a_{44} \end{bmatrix}$$

式中: n 为目标个数, $a_{11}=1$; $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$; $i, j=1, 2, 3, 4$ 。

根据判断矩阵 M , 目标 O_i 在整个问题中的重要程度

$$\pi_i = \left(\prod_{i=1}^4 a_{ij} \right)^{\frac{1}{4}}$$

然后, 求取各个目标的权重系数:

$$\omega_i = \pi_i \left(\sum_{j=1}^4 \pi_j \right)^{-1} \quad i = 1, 2, 3, 4。$$

一种多目标电能质量综合控制与优化装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电能质量领域,尤其涉及多目标电能质量综合控制与优化装置。

背景技术

[0002] 供配电网电能质量的好坏直接关系到电力系统稳定、设备及生产的安全及用电经济性。目前一方面随着工业生产规模的迅速扩大和电力电子新技术的应用,大量的非线性、不对称负荷产生的谐波电流、冲击无功、负序电流等注入电网,使得电网电流电压畸变、电压波动闪变、三相不平衡等一系列电能质量问题日趋严重,另一方面电压敏感用户对电能质量和供电可靠性要求越来越高,电能质量问题已经成为电力领域首要技术问题。通过电能质量综合治理不但可以解决电能质量问题,而且可以提高生产效率、降低功率传输损耗、提高设备利用率及使用寿命,从而提高电网能效和供电可靠性。为解决这一问题,目前电能质量治理装置也逐渐成熟,主要为固定电容器(FC)、晶闸管投切电容器(TSC)、有源滤波器(APF)、静止无功发生器(SVG)等。其中FC为提供固定的无功功率或者针对某一次谐波进行调谐滤除,晶闸管投切电容器为通过晶闸管投切电容器,无功功率补偿响应时间在20ms以上,APF、SVG使用全控器件IGBT/IGCT为开关器件,IGBT(绝缘栅双极型晶体管)/IGCT(集成门极换流晶闸管),响应时间远高于晶闸管,谐波滤除或无功补偿速度远大于TSC,但是在大容量时成本较高,而且功能仅为动态谐波滤除或动态无功补偿,不能综合解决电能质量问题。

[0003] 目前也出现综合电能质量的装置,主要通过不同功能的电能质量治理装置的组合来完成综合改善,如2010年12月22日公开的专利号为CN101924370A的中国发明专利——一种混合型电能质量治理装置。装置主要组成包括有源电力滤波器APF、静止无功发生器SVG、静止无功补偿器SVC、晶闸管控制电抗器TCR、固定电容补偿FC。该发明利用SVC的大容量主要补偿稳态时负载所需的无功功率。利用SVG较小容量的快速性对补偿中的动态无功功率,利用APF配合SVC中的FC进行谐波治理。这种方法可以协调利用小容量有源和大容量无源实现大容量电能质量补偿的作用。但是这种方法同时使用到多类电能质量治理装置,构造复杂,而且其各类装置功能单一且均通过各自独立的控制模块进行控制,无相互协调统一控制,综合治理效果有限。

发明内容

[0004] 为了解决现有技术中问题,本发明提供了一种多目标电能质量综合控制与优化装置,包括控制部分和主电路部分,控制部分包括检测功能模块、多目标电能质量控制与优化控制器、人机接口、主电路部分包括无源LC主电路、有源VSI主电路;所述检测功能模块检测并分析负载、电网、多目标电能质量综合控制与优化装置的各项电能质量指标,所述人机接口接受用户输入的目标指令及多目标电能质量综合控制与优化装置额定容量值;所述多目标电能质量控制与优化控制器接收所述检测功能模块所分析的各项电能质量指标和所述人机接口输出的目标指令及多目标电能质量综合控制与优化装置额定容量值,并分析得出

电能质量治理目标值及多目标电能质量综合控制与优化装置安全容量值;所述多目标电能质量控制与优化控制器根据电能质量治理目标值、电网各项电能质量指标值、装置安全容量值,统一协调控制各项电能质量治理,输出有源部分指令值及无源部分指令值,控制所述主电路部分实施电能质量控制与优化。

[0005] 作为本发明的进一步改进,所述有源VSI主电路的基本单元为二极管箝位型多电平变流器,将多电平变流器进行多重化构成有源动态功率模块,再将有源动态功率模块进行并联。

[0006] 作为本发明的进一步改进,所述无源LC主电路通过无源晶闸管与电抗器、电力电容器串联形成无源晶闸管投切LC单元,将晶闸管投切LC单元进行并联。

[0007] 作为本发明的进一步改进,所述多目标电能质量控制与优化控制器包括PCC功率因数检测模块、PCC畸变率检测模块、PCC电压检测模块;PCC功率因数检测模块、PCC畸变率检测模块、PCC电压检测模块检测电网侧电能质量反馈至多目标电能质量控制与优化控制器,与人机接口输入功率因数目标值 λ^* 、电流畸变率目标值THD*,PCC电压目标值 U^* 比较,实施电能质量治理闭环控制。

[0008] 作为本发明的进一步改进,所述多目标电能质量控制与优化控制器包括直流电压检测模块、装置输出电流检测模块;所述直流电压检测模块、装置输出电流检测模块检测C点的装置输出电流电压情况给多目标电能质量控制与优化控制器,与人机接口输入的装置直流电压约束值 U_{dc}^* 、多目标电能质量控制与优化控制器输出的有源部分控制电流指令 I_c^* 、无源部分电流指令 I_{cc}^* 比较,实现多目标电能质量综合控制与优化装置内部闭环控制,C点为装置并联连接点。

[0009] 作为本发明的进一步改进,所述多目标电能质量控制与优化控制器包括装置温度检测模块、装置驱动检测模块,所述装置温度检测模块、装置驱动检测模块检测多目标电能质量综合控制与优化装置运行情况,与多目标电能质量综合控制与优化装置最大容量约束值 Q^* 、装置温度约束值 T^* 均输入多目标电能质量控制与优化控制器,计算出装置允许输出的安全容量 Q_{max} 。

[0010] 作为本发明的进一步改进,所述多目标电能质量控制与优化控制器包括谐波电流计算模块、直流电压PI模块、装置安全容量计算模块、电网电压波动计算模块、动态电能质量多目标协调控制模块、PI模糊控制模块、有源指令生成模块;负载侧谐波电流值 I_h 、电网侧电流畸变率THD、目标电流畸变率THD*输入至谐波电流计算模块,谐波电流计算模块计算出谐波电流值 I_{thd} ;有源部分直流电压值 U_{dc} 及直流电压指令值 U_{dc}^* 相减输入至PI控制器进行比例积分控制,确定需要支撑直流侧电压的电压偏离指令值 U_{dcc} ;装置有源部分安全容量值计算根据装置最大温升 T^* 值、装置温升值 T_0 ,装置最大设计容量 Q^* ,计算出装置的安全容量 Q_{max} ;电网电压 U_{pcc} 、电网电压目标值 U_{ppc}^* 输入至电网电压波动计算模块,计算出电网电压偏差值 ΔU_{pcc} ;动态电能质量多目标协调控制模块根据需要补偿的谐波电流指令值 I_{thd} 、直流电压偏离值 U_{dcc} 、装置输出安全容量值 Q_{max} 、电网电压偏差值 ΔU_{pcc} ,计算出有源部分所需输出的指令电流值 $(k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^*)$ 输入至PI模糊控制模块,PI模糊控制模块计算出需要有源部分需输出的指令电流 I_c^* ,通过有源指令生成模块生成有源指令控制主电路部分的有源VSI主电路。

[0011] 作为本发明的进一步改进,所述多目标电能质量控制与优化控制器包括无功分配

协调控制模块,所述无功分配协调控制模块先确定无源部分投入分级的无功量,再计算有源部分输出的无功电流,在无源部分额定容量和功率因数约束条件允许前提下,无源部分共有m级无功功率可供输出,某时刻已投的无功量对应的级数为n,投切参考值为k,而应投入无功量级数为p,参数正负分别代表级数增加和减少,无功分配协调控制规则如下:

[0012] 规则1,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_C \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_C \right|$, $k+1 \leq m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = k+1$;

[0013] 规则2,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_C \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_C \right|$, $k+1 > m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = m-n$;

[0014] 规则3,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_C \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_C \right|$, $k+1 \leq n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -(k+1)$;

[0015] 规则4,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_C \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_C \right|$, $k+1 > n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -n$;

[0016] 规则5,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_C \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_C \right|$, $k \leq m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = k$;

[0017] 规则6,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_C \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_C \right|$, $k > m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = m-n$;

[0018] 规则7,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_C \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_C \right|$, $k \leq n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -k$;

[0019] 规则8,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_C \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_C \right|$, $k > n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -n$ 。

[0020] 作为本发明的进一步改进,动态电能质量多目标协调控制模块的多目标优化模型表示为:

$$[0021] \quad \begin{cases} \min f(x) = \omega_1 f_1(x) + \omega_2 f_2(x) + \omega_3 f_3(x) + \omega_4 f_4(x) \\ \text{s. t. } -Q_{\max} \leq k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^* \leq Q_{\max} \\ 0 \leq k_1 \leq 1; \quad 0 \leq k_2 \leq 1; \end{cases}$$

[0022] 式中: $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ 分别为电压、无功、损耗和谐波函数的加权因子,将结合各分目标函数的数量级及重要程度,建立专家判断矩阵求解; $f_1(x)$ 为节点电压偏差指标, $f_2(x)$ 为电压波动性能指标, $f_3(x)$ 为网络损耗指标, $f_4(x)$ 为电网谐波指标, Q_h^* 为多目标电能质量控制与优化装置有源部分输出谐波电流容量的理想指令值, Q_q^* 为多目标电能质量控制与优化装置有源部分输出无功功率容量的理想指令, Q_{\max} 为多目标电能质量控制与优化装置的有源部分最大安全容量, k_1, k_2 为考虑安全容量的谐波输出指令值比例因子、无功输出指令值比例因子, $k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^*$ 为装置有源部分输出容量指令值。

[0023] 作为本发明的进一步改进,多目标电能质量优化模型判断矩阵如下:首先根据专家经验对各目标的相对重要性进行两两比较,用判断数 a_{ij} 表示目标 O_i 相对于目标 O_j 的重要程度:

$$[0024] \quad a_{ij} = \begin{cases} 1 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 同样重要} \\ 3 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 稍微重要} \\ 5 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 明显重要} \\ 7 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 非常重要} \\ 9 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 极端重要} \end{cases}$$

[0025] 利用判断数 a_{ij} 可以构成判断矩阵M:

$$[0026] \quad a_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{41} & \cdots & a_{44} \end{bmatrix}$$

[0027] 式中： n 为目标个数， $a_{11}=1$ ； $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$ ； $i, j=1, 2, 3, 4$ 。

[0028] 根据判断矩阵 M ，目标 O_i 在整个问题中的重要程度

$$[0029] \quad \pi_i = \left(\prod_{i=1}^4 a_{ij} \right)^{\frac{1}{4}}$$

[0030] 然后，求取各个目标的权重系数：

$$[0031] \quad \omega_i = \pi_i \left(\sum_{j=1}^4 \pi_j \right)^{-1} \quad i = 1, 2, 3, 4。$$

[0032] 本发明的有益效果是：

[0033] 本发明提供一种电能质量综合控制及优化装置，该发明装置具有较大的容量，可控制和改善电压偏差、电压波动与闪变、三相不平衡、谐波、功率因数低等电能质量问题。

[0034] 本发明使用基于装置安全容量及多目标电能质量决策分析，实施安全、协调、可靠地控制改善电能质量的一体化装置，对电能质量进行综合控制与优化，有效避免在同时使用多种类型的电能质量治理装置改善电能质量时带来的协调控制问题，以及不同类型治理设备带来的设备兼容性问题。

[0035] 本发明通过检测功能模块检测分析电网、负载、装置的电能质量指标，通过人机接口由用户输入需要达到的目标电能质量，由多目标电能质量控制与优化控制器统一协调控制装置在安全容量范围内实施电能质量治理目标的优先级、最优控制策略评估分析，并发出控制指令，统一协调控制主电路去实施电网多目标电能质量控制与优化。

[0036] 本发明提供通过无功分配协调控制规则，确定无源部分和有源部分分别需补偿的无功容量，使无源部分充分利用且保证无功补偿的动态响应。

[0037] 本发明的多目标电能质量协调控制实施方法，通过运用模糊控制理论建立多目标电能质量优化模型，利用判断矩阵法，根据各目标间的相对重要性确定权重系数，采用极大极小法求解。该算法不在追求单一性能，而是着眼于从全局进行系统优化，从而提高系统的经济性和可靠性。一方面，以系统运行可靠性为基础，把电压偏差、网络损耗、电压波动和谐波畸变率等各指标的目标限值作为目标要求，运用优化方法，得出其控制参数的最优解；另一方面，以多目标电能质量控制与优化装置为控制变量，建立多目标电压无功谐波优化模型。

[0038] 本发明的模糊比例积分(PI)控制方法，通过判断误差和误差变化率的所属模糊范围，输出比例和积分的调整因子，从而实现对PI参数的自整定。这种方法可以大大提高装置的鲁棒性、动态特性，并降低超调，同时保留PI控制对系统静态误差的解决能力。

[0039] 装置主电路单元包括有源部分和无源部分：

[0040] 在有源动态补偿部分，电压型变流器(VSI)采用三电平多重化并联方式并联电网上，通过监测负载及电网的电流电压情况，多目标电能质量控制与优化控制器通过适当的计算生成有源控制指令，有源控制指令控制使其发出补偿无功电流、谐波电流、负序电流。

[0041] 在无源动态补偿部分，通过监测负载及电网的电流电压情况，多目标电能质量控制与优化控制器通过适当的计算生成无源控制部分指令，将由晶闸管控制投切LC电路并联

接入三相电网,可提供大容量无功功率。

[0042] 根据电网电能质量情况,根据实际需求选取合适容量的多目标电能质量综合控制与优化装置、变流器重数及容量、LC电路单步容量及分支数。变流器重数越多,容量越大,同时开关频率越高,但是控制越复杂。LC电路单步容量越小,补偿精度越好。但是体积越大。

附图说明

[0043] 图1为本发明多目标电能质量综合控制与优化装置原理框图。

[0044] 图2为本发明多目标电能质量综合控制与优化装置主电路原理框图。

[0045] 图3为本发明多目标电能质量综合控制与优化装置的控制原理框图。

[0046] 图4为本发明多目标电能质量控制与优化控制器原理框图。

[0047] 图5为本发明动态电能质量多目标协调控制策略原理框图。

[0048] 图6为本发明模糊比例积分(PI)控制器的原理图框。

[0049] 8为电能质量控制与优化主电路。

具体实施方式

[0050] 下面结合附图对本发明做进一步说明。

[0051] 本发明可应用于轨道交通、油气、烟草、纺织、造纸、钢铁、冶金、铸造、汽车等制造业及智能电网等应用领域,综合治理该领域所产生的电能质量问题。

[0052] 一种多目标电能质量综合控制与优化装置,如图1所示的原理框图,包括检测功能模块1、多目标电能质量控制与优化控制器2、人机接口3、主电路部分中无源LC主电路4、主电路部分有源VSI主电路5。装置通过检测功能模块1检测并分析负载、电网、装置的各项电能质量指标,人机接口3接受用户输入的目标指令及装置额定容量值;多目标电能质量控制与优化控制器2接收所述检测功能模块1所分析的各项电能质量指标和所述人机接口3输出的目标指令及多目标电能质量综合控制与优化装置额定容量值,分析得出电能质量治理目标值及多目标电能质量综合控制与优化装置安全容量值;多目标电能质量控制与优化控制器2将根据电能质量治理目标值、电网各项电能质量指标值、装置安全容量值,统一协调控制各项电能质量治理,输出有源部分指令值及无源部分指令值,控制主电路实施电能质量控制与优化。

[0053] 1、主电路部分实施方式

[0054] 本发明主电路部分如图2所示。采用一种多重化变流器并联的新型有源动态功率模块和无源晶闸管投切LC相结合的新型电能质量综合控制与优化装置,有源部分的基本单元为二极管箝位型多电平变流器,通过将多电平变流器进行多重化构成有源动态功率模块,再将有多源动态功率模块进行并联实现有源部分的容量扩展;无源部分通过无源晶闸管与电抗器、电力电容器串联形成无源晶闸管投切LC单元,通过将晶闸管投切LC单元进行并联实现无源部分的容量扩展。其利用无源部分的晶闸管投切LC补偿相对稳定变化是的大容量负载无功功率,通过分相投切可进行三相不平衡补偿,利用有源动态功率模块快速动态补偿快速变化部分的无功功率及谐波,同时抑制电压波动与闪变,通过控制不同桥臂输出进行三相不平衡补偿及负序治理。无源晶闸管投切LC投切指令与有源动态功率模块有源控制信号均由多目标电能质量控制与优化控制器协调优化控制,达到低成本大容量高效

的电能质量综合控制与优化。

[0055] 本发明有源动态功率模块采用多重化、并联方式,如图2有源VSI主电路所示。既可成倍提高容量还可提高等效开关频率。通过多个模块进行多重化,同时通过多个多重化组合并联达到容量扩大。由于各个模块完全一致,便于生产维护,同时当出现故障时,其他模块通过控制器可迅速自动调节,确保可靠运行。通过装置的多目标电能质量控制与优化控制器可同时生成无功功率补偿和谐波等指令,控制有源动态功率模块实现多目标电能质量协调控制及优化。

[0056] 本发明无源部分可减少有源部分的容量,节约成本,通过多目标电能质量控制与优化控制器协调控制,解决大容量电能质量治理效果。在无源部分,通过多目标电能质量控制与优化控制器输出投切指令,控制LC投切,达到分级补偿无功功率及三相不平衡治理。自动识别故障LC模块,提高装置稳定性。

[0057] 2、控制部分实施方式

[0058] 本发明的总体控制方法如图3所示,在控制中,S点为电网侧,C点为多目标电能质量综合控制与优化装置并联连接点,L点为负载侧。多目标电能质量综合控制与优化装置通过采集S点电压电流信号,对此点的无功功率、电流畸变率、负序电流为零、电压恒定为控制目标,实现闭环控制。通过补偿输出无功电流实现无功功率传输为零、输出反向谐波电流实现电流畸变率为零、输出反向负序电流实现负序电流为零,以及通过改变对电网注入无功电流来实现对暂态电压进行控制,抑制闪变。

[0059] 装置通过装置PCC功率因数检测模块15、PCC畸变率检测模块16、PCC电压检测模块17检测S点电网侧电能质量反馈至多目标电能质量控制与优化控制器2,与人机接口输入值功率因数目标值 λ^* 、电流畸变率目标值THD*,PCC电压目标值 U^* 比较,实施电能质量治理闭环控制。装置直流电压检测模块9、装置输出电流检测模块10检测C点的装置输出电流电压情况给多目标电能质量控制与优化控制器2,与人机接口输入的装置直流电压约束值 U_{dc}^* 、多目标电能质量控制与优化控制器输出的有源部分控制电流指令 I_c^* 、无源部分电流指令 I_{cc}^* 比较,实现装置内部闭环控制。装置温度检测模块11、装置驱动检测模块12检测装置运行情况,与装置最大容量约束值 Q^* 、装置温度约束值 T^* 均输入多目标电能质量控制与优化控制器2,计算出装置允许输出的安全容量 Q_{max} 。多目标电能质量控制与优化控制器通过控制及决策生成装置需投切无源部分的无功电流值 I_{cc}^* 及需有源部分补偿的指令电流值 I_c^* ,然后分别生成无源部分控制指令、有源部分控制指令,无源部分控制指令将控制装置投切无源部分发出无功电流,有源部分控制指令将控制装置有源部分输出无功及谐波电流,并维持直流侧电压。

[0060] 无源部分控制指令生成如图4所示,无源部分控制指令生成包括无功分配协调控制模块19,无源指令生成模块20。负载基波无功电流值 I_q 、电网侧功率因数 λ 、目标功率因数 λ^* 输入至无功分配协调控制模块19,无功分配协调控制模块将根据无功需求的变化趋势,智能分配出无功需求稳定值 I_{cc}^* 及无功需求动态变化值 I_{qc}^* 。无功需求稳定值 I_{cc}^* 输入至无源指令生成模块20,得到无源部分投切控制指令。

[0061] 有源部分控制指令生成如图4所示,包括谐波电流计算模块21,直流电压PI模块22,装置安全容量计算模块23,电网电压波动计算模块24,动态电能质量多目标协调控制模块25,PI模糊控制模块26、有源指令生成模块27。负载侧谐波电流值 I_h 、电网侧电流畸变率

THD、目标电流畸变率THD*输入至谐波电流计算模块21,谐波电流计算模块21计算出谐波电流值 I_{thd} 。有源部分直流电压值 U_{dc} 及直流电压指令值 U_{dc}^* 相减输入至PI控制器22进行比例积分控制,确定需要支撑直流侧电压的电压偏离指令值 U_{dcc} 。装置有源部分安全容量值计算根据装置最大温升 T^* 值、装置温升值 T_o ,装置最大设计容量 Q^* ,计算出装置的安全容量 Q_{max} 。电网电压 U_{pcc} 、电网电压目标值 U_{pcc}^* 输入至电网电压波动计算模块24,计算出电网电压偏差值 ΔU_{pcc} 。动态电能质量多目标协调控制模块25根据需要补偿的谐波电流指令值 I_{thd} 、直流电压偏离值 U_{dcc} 、装置输出安全容量值 Q_{max} 、电网电压偏差值 ΔU_{pcc} ,计算出有源部分所需输出的指令电流值 $(k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^*)$ 输入至PI模糊控制模块26,PI模糊控制模块26计算出需要有源部分需输出的指令电流 I_c^* ,通过有源指令生成模块27生成有源指令控制主电路有源部分。

[0062] 无功分配协调控制模块19实施方式。无功分配协调控制模块先确定无源部分投入分级的无功量,再计算有源部分输出的无功电流。在无源部分额定容量和功率因数约束条件允许前提下,无源部分共有 m 级无功功率可供输出,某时刻已投的无功量对应的级数为 n ,投切参考值为 k ,而应投入无功量级数为 p ,参数正负分别代表级数增加和减少,无功分配协调控制规则如下:

[0063] 规则1,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_c \right|$, $k+1 \leq m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = k+1$;

[0064] 规则2,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_c \right|$, $k+1 > m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = m-n$;

[0065] 规则3,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_c \right|$, $k+1 \leq n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -(k+1)$;

[0066] 规则4,如果 $\left| \frac{2k+1}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2(k+1)}{2} I_c \right|$, $k+1 > n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -n$;

[0067] 规则5,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_c \right|$, $k \leq m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = k$;

[0068] 规则6,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_c \right|$, $k > m-n$, 并且 $I_{QSTAT} > 0$, 则 $p = m-n$;

[0069] 规则7,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_c \right|$, $k \leq n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -k$;

[0070] 规则8,如果 $\left| \frac{2k}{2} I_c \right| < I_{QSTAT} < \left| \frac{2k+1}{2} I_c \right|$, $k > n$, 并且 $I_{QSTAT} < 0$, 则 $p = -n$;

[0071] 本发明的多目标电能质量控制与优化装置,其进一步的实施方式为通过运用模糊控制理论建立多目标电能质量优化模型,利用判断矩阵法,根据各目标间的相对重要性确定权重系数,采用极大极小法求解。

[0072] 该算法不在追求单一性能,而是着眼于从全局进行系统优化,从而提高系统的经济性和可靠性。一方面,以系统运行可靠性为基础,把电压偏差、网络损耗、电压波动和谐波畸变率等各指标的目标限值作为目标要求,运用优化方法,得出其控制参数的最优解;另一方面,以多目标电能质量控制与优化装置为控制变量,建立多目标电压无功谐波优化模型。

[0073] 多目标优化模型可表示为:

$$[0074] \begin{cases} \min f(x) = \omega_1 f_1(x) + \omega_2 f_2(x) + \omega_3 f_3(x) + \omega_4 f_4(x) \\ \text{s. t. } -Q_{\max} \leq k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^* \leq Q_{\max} \\ 0 \leq k_1 \leq 1; \quad 0 \leq k_2 \leq 1; \end{cases}$$

[0075] 式中： $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ 分别为电压、无功、损耗和谐波函数的加权因子，将结合各分目标函数的数量级及重要程度，建立专家判断矩阵求解； $f_1(x)$ 为节点电压偏差指标， $f_2(x)$ 为电压波动性能指标， $f_3(x)$ 为网络损耗指标， $f_4(x)$ 为电网谐波指标， Q_h^* 为多目标电能质量控制与优化装置有源部分输出谐波电流容量的理想指令值， Q_q^* 为多目标电能质量控制与优化装置有源部分输出无功功率容量的理想指令， Q_{max} 为多目标电能质量控制与优化装置的有源部分最大安全容量。 k_1, k_2 为考虑安全容量的谐波输出指令值比例因子、无功输出指令值比例因子。 $k_1 Q_h^* + k_2 Q_q^*$ 为装置有源部分输出容量指令值。

[0076] 多目标电能质量优化模型判断矩阵建立首先根据专家经验对各目标的相对重要性进行两两比较，用判断数 a_{ij} 表示目标 O_i 相对于目标 O_j 的重要程度：

$$[0077] \quad a_{ij} = \begin{cases} 1 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 同样重要} \\ 3 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 稍微重要} \\ 5 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 明显重要} \\ 7 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 非常重要} \\ 9 & O_i \text{ 相对于 } O_j \text{ 极端重要} \end{cases}$$

[0078] 利用判断数 a_{ij} 可以构成判断矩阵M：

$$[0079] \quad a_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{41} & \cdots & a_{44} \end{bmatrix}$$

[0080] 式中： n 为目标个数， $a_{11} = 1$ ； $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$ ； $i, j = 1, 2, 3, 4$ 。

[0081] 根据判断矩阵M，目标 O_i 在整个问题中的重要程度

$$[0082] \quad \pi_i = \left(\prod_{j=1}^4 a_{ij} \right)^{\frac{1}{4}}$$

[0083] 然后，可以求取各个目标的权重系数：

$$[0084] \quad \omega_i = \pi_i \left(\sum_{j=1}^4 \pi_j \right)^{-1} \quad i = 1, 2, 3, 4$$

[0085] 本发明使用模糊比例积分控制有源部分指令输出，通过判断误差和误差变化率的所属模糊范围，输出比例和积分的调整因子，从而实现对PI参数的自整定。大大提高装置的鲁棒性、动态特性，并降低超调，同时保留PI控制对系统静态误差的解决能力。装置模糊比例积分(PI)控制器的结构图框如图6所示，控制器的输入是装置输出电流参考值与实际值的偏差 e 以及偏差变化 Δe ，令 $e = I_c^* - I_c$ ，则 $\Delta e = \Delta(I_c^* - I_c)$ ，运用模糊推理进行模糊运算，便可得到时刻的 $\Delta K_p, \Delta K_i$ 相应的论域空间为 $[-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]$ ；在论域内分别定义输入和输出参考模糊集为 $e, \Delta e, \Delta K_p$ 和 ΔK_i 。将输入、输出变量的语言值均为7个，即{NL, NM, NS, 0, PS, PM, PL}，隶属度函数采用灵敏性强的高斯函数。对输入的 e 和 Δe 在取得相应的语言值后，根据整定规则表，并经公式化模糊决策，分别得出2个修正参数的 $\Delta K_p, \Delta K_i$ 的模糊量，再由模糊PI控制器整定的2个修正参数进行去模糊化，从而取得精确量以计算输出控制量。

[0086] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明，不能认定

本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

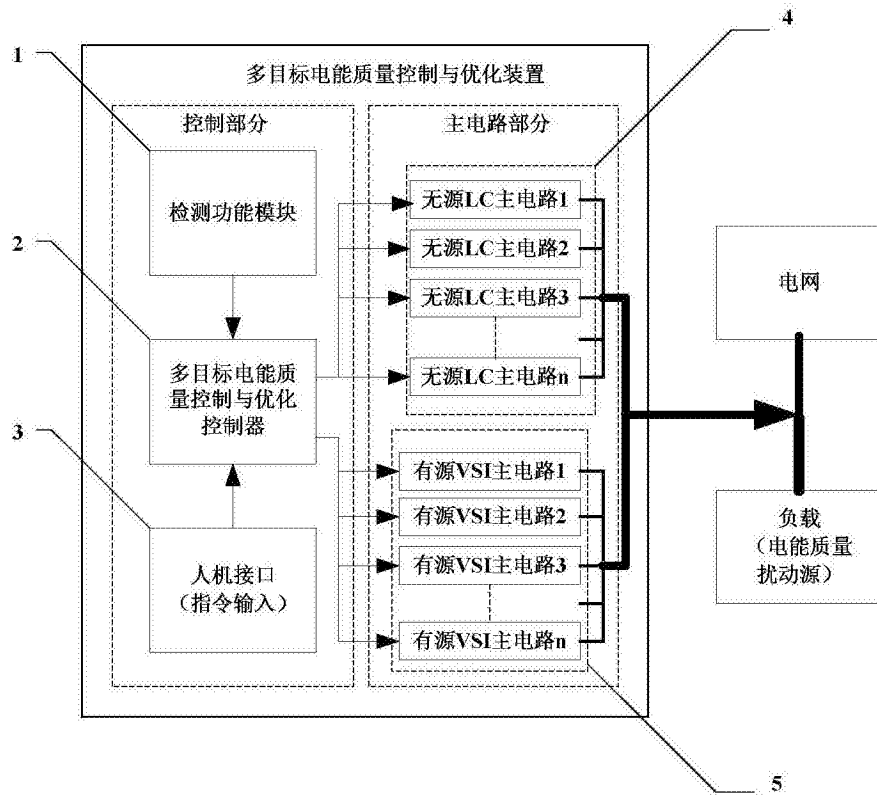


图1

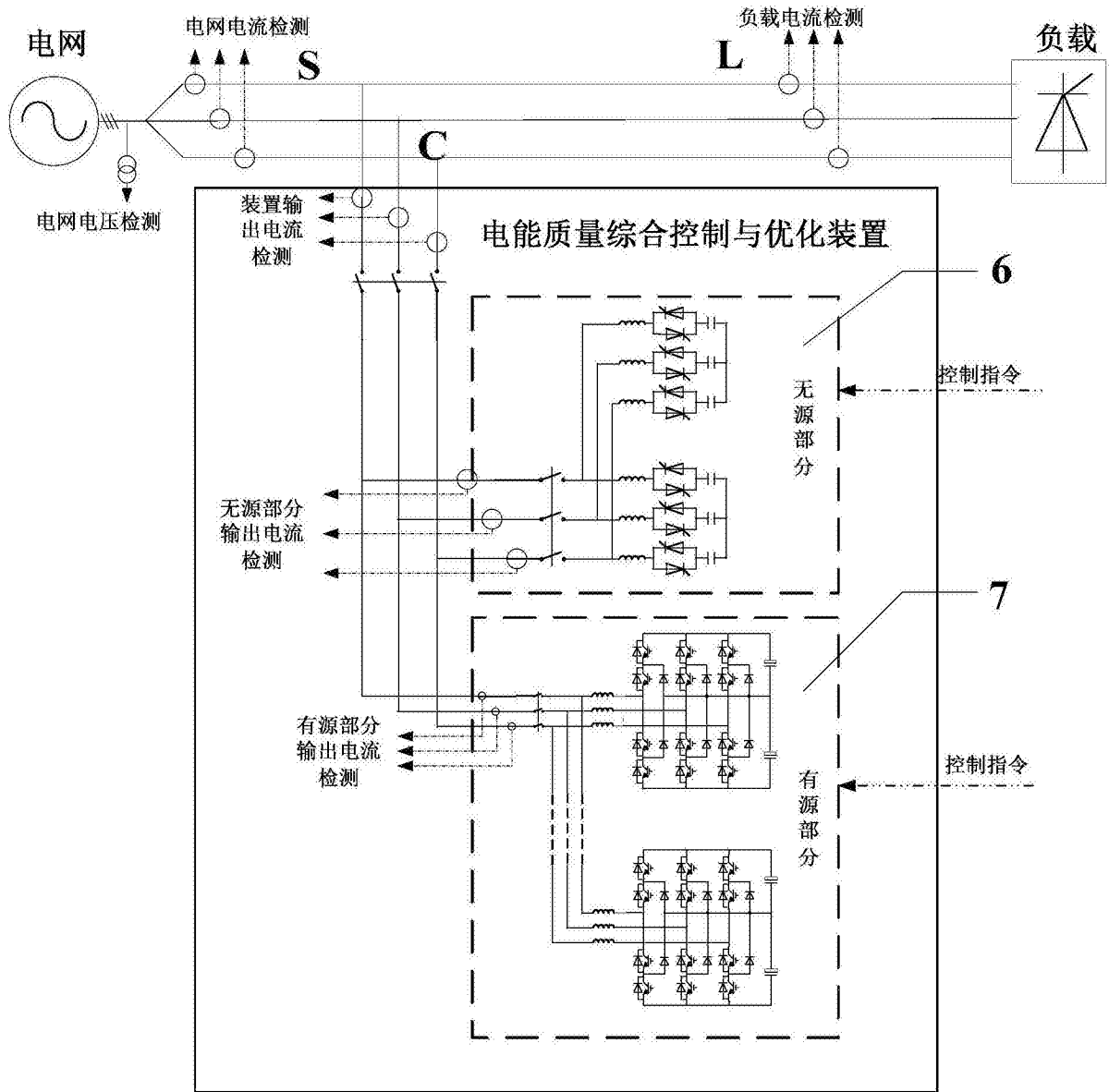


图2

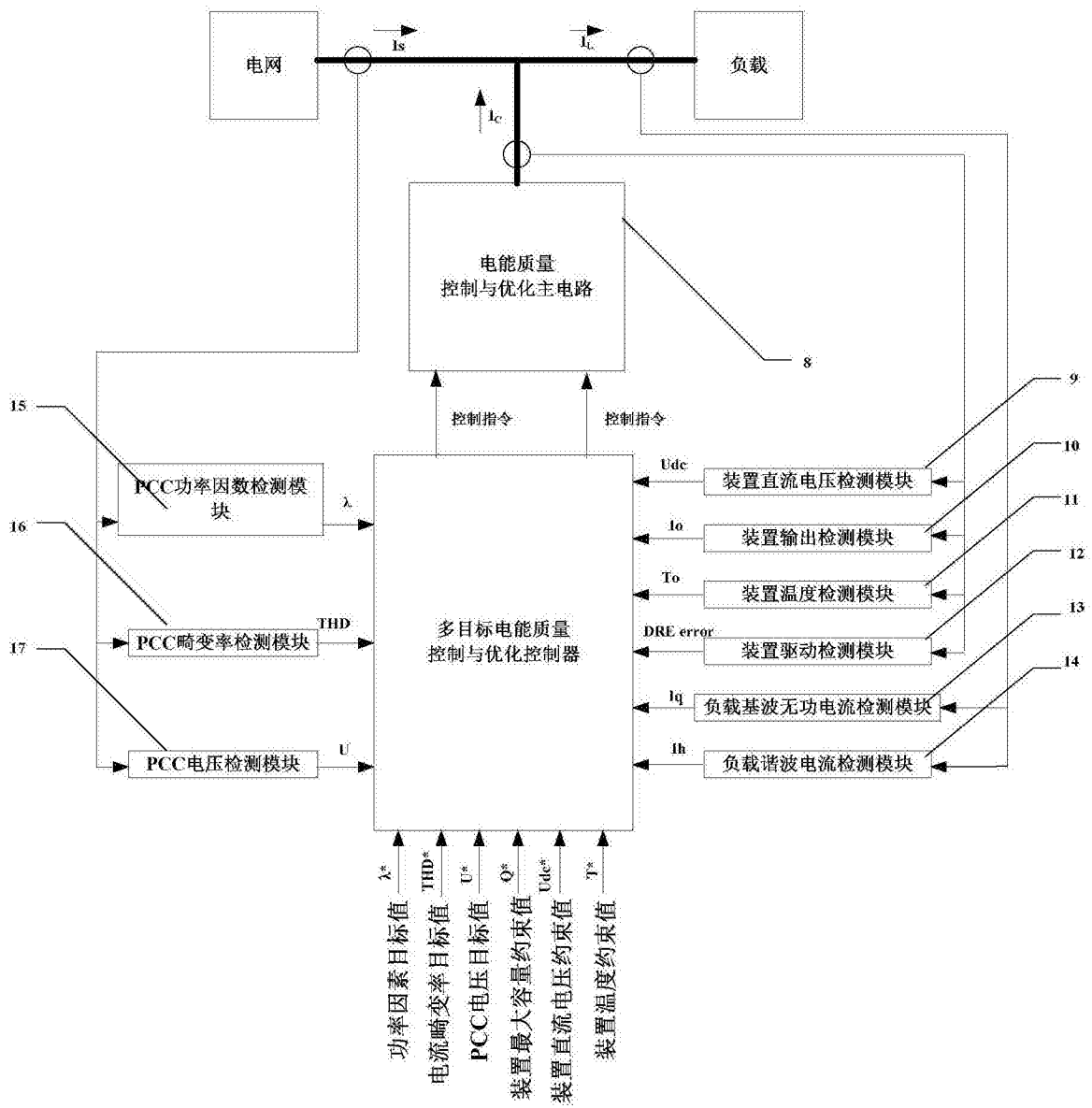


图3

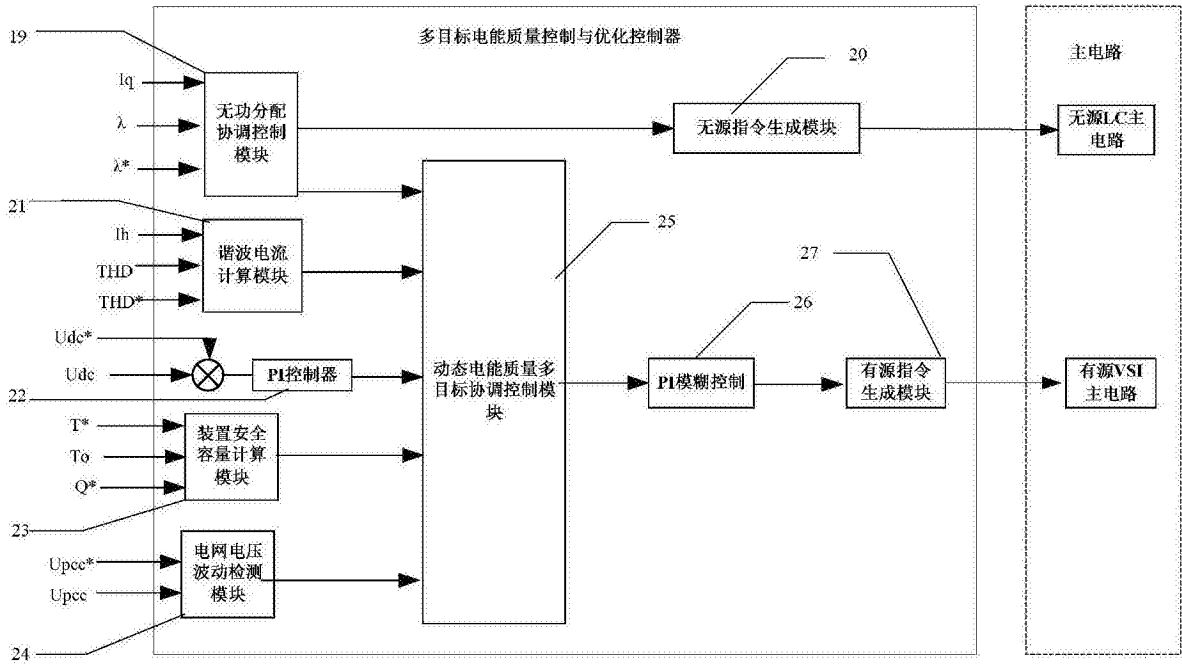


图4

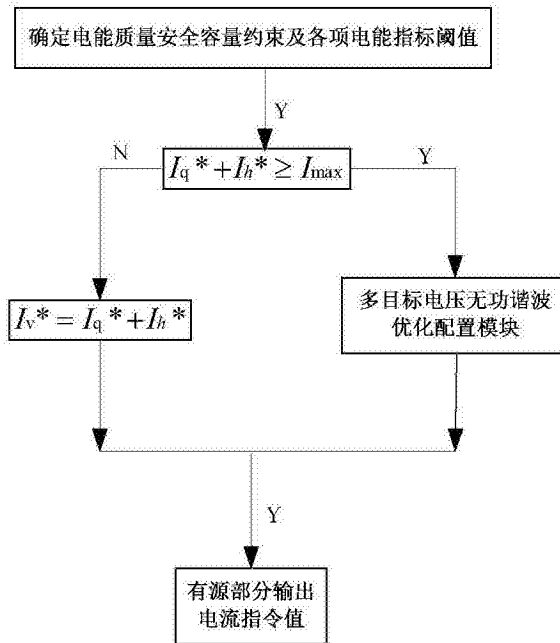


图5

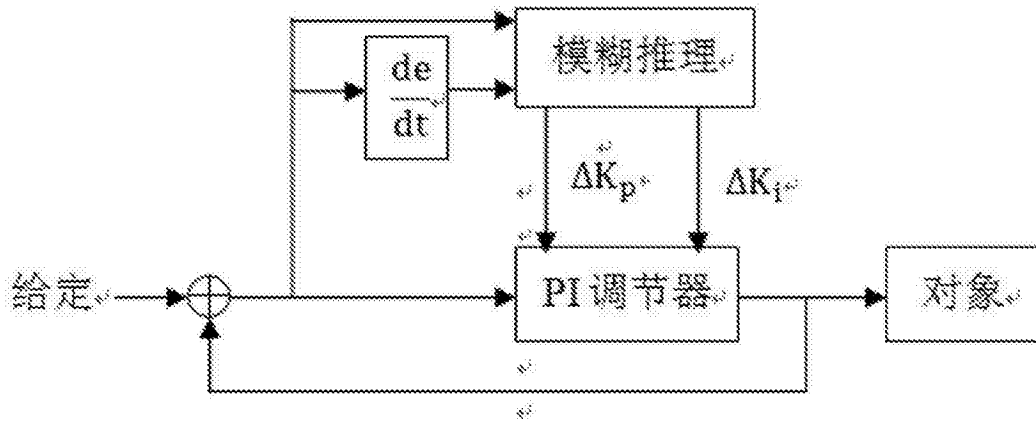


图6