



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200610011113.7

[43] 公开日 2006年6月28日

[11] 公开号 CN 1794537A

[22] 申请日 2006.1.6

[21] 申请号 200610011113.7

[71] 申请人 清华大学

地址 100084 北京市北京 100084 - 82 信箱

[72] 发明人 孙元章 李国杰 刘建政 黎雄  
阮思焯

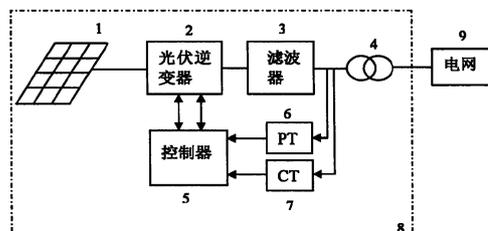
权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图 4 页

## [54] 发明名称

基于光伏电池的电网功率振荡抑制器

## [57] 摘要

基于光伏电池的电网功率振荡抑制器属于电网功率振荡抑制技术领域，其特征在于：它是一种基于光伏电池的抑制电网功率振荡的装置，它通过太阳能电池板将太阳能转化为电能，输出直流电压，然后将直流电逆变成交流电输送给电网，它可向电网发出有功，对电网进行动态的有功调节，同时由于逆变器由电压源型的可快速关断器件组成，又可对系统进行动态的无功调节；正常运行时，向电网输送部分有功功率；当电网出现功率振荡时，根据控制规律，调节电网功率振荡抑制器输出的有功和无功，使电网尽快地恢复稳定；利用了洁净的、可再生能源 - 太阳能对电网进行动态的功率调节及部分供电，抑制了电网功率振荡，改善了电网的稳定性、提高了系统的阻尼。



1. 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器，其特征在于，该抑制器是一种把太阳能转化成直流电，再用光伏逆变器把直流电逆变成交流电的送给电网的电网功率振荡抑制器，所述抑制器含有光伏电池板、光伏逆变器、滤波器、并网变压器、电压互感器、电流互感器和控制器，其中：

光伏电池板，把太阳能转化成直流电；

光伏逆变器，该逆变器的直流母线与所述光伏电池板的直流输出端相连；

滤波器，该滤波器的输入端与光伏逆变器的输出端相连，该滤波器的另一端与下述并网变压器的一端相连；

并网变压器，该变压器的输入端与所述滤波器相应的输出端相连，该变压器的输出端与电网相连；

电压互感器，即 PT，其输入端和滤波器与并网变压器连接端相连，其输出端和下述控制器相应的输入端口相连；

电流互感器，即 CT，上述滤波器与并网变压器连接线穿过 CT，其输出端和下述控制器相应的输入端口相连；

控制器，是一种数字控制电路，采用数字信号处理器、单片机、计算机中的任何一种；该控制器按以下步骤实现对电网的有功功率从零到所述光伏电池板最大输出功率之间的调节，对电网的无功功率按向电网输出或从电网吸收的方式双向调节，具体的调节步骤如下：

步骤 1. 初始化，即在该控制器中设定以下参数：

功率振荡抑制器的输出有功功率初始值  $P_{sc0}$ ，标么值；

功率振荡抑制器的电网电压有效值初始值  $V_{m0}$ ，标么值；

功率振荡抑制器的并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 q 轴和 d 轴分量初始值  $u_{rq0}$  和  $u_{rd0}$ ，标么值；

无功功率调节系数  $k_1$  和有功功率调节系数  $k_2$ ， $k_1$  和  $k_2$  都大于零，小于 100000，由操作员按电网运行状况设定；

第一 PI 控制器控制系数  $k_{p1}$  和  $k_{i1}$ ， $k_{p1}$  和  $k_{i1}$  都大于 0，小于 1000，由操作员按电网运行状况设定；

第二 PI 控制器控制系数  $k_{p2}$  和  $k_{i2}$ ， $k_{p2}$  和  $k_{i2}$  都大于 0，小于 1000，由操作员按电网运行状况设定；

按照电网运行状况，进行无功功率和/或有功功率调节；

通过改变并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 q 轴和 d 轴分量达到调节其输出有功功率和无功功率的目的；

步骤 2. 电网无功功率调节按以下步骤执行：

步骤 21. 通过第一加法器按下式计算 PI 控制的输入值  $\mu_{PIS1}$ ： $\mu_{PIS1} = V_{m0} - V_m - k_1 \Delta\omega$ ，

其中， $V_m$ ，标么值，为电网电压有效值，由电压互感器测得后输入该控制器；

$\Delta\omega$  为电网发电机角速度变化量，可由测量电网电压的频率  $f$  经下式计算得到：

$\Delta\omega = 2\pi(f - f_0)$ ，其中， $f_0$  为 50 或 60Hz；

步骤 22. 第一 PI 控制器在接收到所述第一加法器的输出后进行控制运算，输出相应的控制量  $\mu_{PIC1}$ ，计算公式如下： $\mu_{PIC1} = k_{p1}\mu_{PIS1} + k_{i1} \int \mu_{PIS1} dt$ ，其中， $k_{p1}$  和  $k_{i1}$  分别是第一 PI 控制器的控制系数，都大于 0，小于 1000；

步骤 23. 通过第一比较器按以下公式计算并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 d 轴分量  $u_{rd}$ ，标么值， $u_{rd} = u_{rd0} - \mu_{PIC1}$ ；

步骤 3. 电网有功功率调节按以下步骤执行：

步骤 31. 通过第二加法器按下式计算 PI 控制的输入值  $\mu_{PIS2}$ ： $\mu_{PIS2} = P_{sc0} - P_{sc} + k_2 \Delta\omega$ ，

其中， $P_{sc}$ ，标么值，为功率振荡抑制器输出有功功率，由电压互感器测得电网三相电压  $u_a$ 、 $u_b$  和  $u_c$  及电流互感器测得三相电流  $i_a$ 、 $i_b$  和  $i_c$  后输入给控制器经计算得到，计算公式如下： $P_{sc} = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c$ ；

步骤 32. 第二 PI 控制器在接收到所述第二加法器的输出后进行控制运算，输出相应的控制量  $\mu_{PIC2}$ ，计算公式如下： $\mu_{PIC2} = k_{p2}\mu_{PIS2} + k_{i2} \int \mu_{PIS2} dt$ ，其中， $k_{p2}$  和  $k_{i2}$  分别是第二 PI 控制器的控制系数，都大于 0，小于 1000；

步骤 33. 通过第二比较器按以下公式计算并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 q 轴分量  $u_{rq}$ ，标么值， $u_{rq} = u_{rq0} - \mu_{PIC2}$ ；

步骤 4. 通过 d-q 到 abc 坐标变换：

将上述计算得到的 d-q 坐标系下的分量  $u_{rq}$  和  $u_{rd}$  按以下 d-q 到 abc 坐标变换公式计算得到并网逆变器输出三相电压  $u_{at}$ 、 $u_{bt}$  和  $u_{ct}$ ：

$$\begin{bmatrix} u_{at} \\ u_{bt} \\ u_{ct} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{rd} \\ u_{rq} \\ u_0 \end{bmatrix}$$

其中,  $u_0$  为电网零序电压, 经下式计算得到:  $u_0 = \frac{1}{3}(u_a + u_b + u_c)$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的基于光伏电池的电网功率振荡抑制器, 其特征在于: 所述 PI 控制器的控制规律, 可以是比例积分 (PI)、比例积分微分 (PID) 或其它控制方式。

3. 根据权利要求 1 所述的基于光伏电池的电网功率振荡抑制器, 其特征在于: 所述通过改变并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 q 轴和 d 轴分量达到调节其输出有功功率和无功功率的目的; 或通过改变并网逆变器输出电压的幅值和相角达到调节其输出有功功率和无功功率的目的; 或通过改变并网逆变器输出电压的其它方法达到调节其输出有功功率和无功功率的目的。

4. 根据权利要求 1 所述的基于光伏电池的电网功率振荡抑制器, 其特征在于: 所述  $\Delta\omega$  为电网发电机角速度变化量, 可由测量电网电压的频率  $f$  经下式计算得到:  $\Delta\omega = 2\pi(f - f_0)$ , 其中,  $f_0$  为 50 或 60Hz; 或由发电机转速传感器测得转速  $n$  后送往该控制器按下式计算得到:

$$\Delta\omega = 2\pi\left(\frac{2np_f}{60} - f_0\right), \text{ 其中, } p_f \text{ 为发电机转子极对数。}$$

5. 根据权利要求 1 所述的基于光伏电池的电网功率振荡抑制器, 其特征在于: 所述功率振荡抑制器输出有功功率  $P_{sc}$ , 由电压互感器测得电网三相电压  $u_a$ 、 $u_b$  和  $u_c$  及电流互感器测得三相电流  $i_a$ 、 $i_b$  和  $i_c$  后输入给控制器经计算得到, 计算公式为:  $P_{sc} = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c$ ; 有功功率计算公式也可以为两表法或其它方法。

6. 根据权利要求 1 所述的基于光伏电池的电网功率振荡抑制器, 其特征在于: 所述的逆变器直流母线并联着一个制动电阻支路, 该制动电阻支路由制动电阻和制动电阻开关串接而成, 所述制动电阻开关的控制端与所述控制器的制动电阻开关控制信号输出端相连。

## 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器

### 技术领域

基于光伏电池的电网功率振荡抑制器属于电网功率振荡抑制技术领域。

### 背景技术

为了更大范围地优化配置资源，提高电网的经济效益、提高事故支持效益，我国电力朝着大规模网络发展，“西电东送、南北互供、全国联网”战略格局正在逐步形成，但是，随着电网规模的日趋庞大和结构的日益复杂，电网的运行稳定性显得非常重要，特别对于弱互连交流电网和交直流互连电网，其功率振荡问题尤其突出，它直接威胁电网的安全稳定运行，因此，国内外学者对其进行了大量研究；

功率振荡问题通常为系统振荡阻尼不足的问题，目前采取的方法主要有利用电力系统稳定器（PSS）以控制发电机励磁以提高系统振荡的阻尼，另外还有利用附加稳定信号调制高压直流（HVDC）输电的换流器控制和柔性输电装置（如可控串补、静止无功补偿器等）控制等措施，但是，功率振荡问题还是没有得到根本性的解决，因为PSS控制发电机励磁只能调节无功功率，而且还受发电机端电压限制等因数的影响，而利用附加稳定信号调制HVDC输电的换流器控制由于HVDC系统嵌入在大的交直流系统中，进行调节的有功功率仍在系统中流动，整个系统的有功功率并没有增加或减少，这意味着有功功率调节只对相应的子系统有作用，而对整个系统并没有调节作用，并且对于传统HVDC的换流器，其响应速度较慢，达不到动态调节的目的，另外，其无功功率的调节只能在一个很小的范围内进行单向调节，因此，其控制效果大受影响，比不上PSS；柔性输电装置控制等方法也不能对整个系统的有功功率进行调节，其控制效果也比不上PSS；

因此，若能利用整个交直流系统外的电源进行功率调节，其抑制功率振荡效果将更加显著；在本发明申请中，我们提出了基于光伏电池的电网功率振荡抑制器，光伏电池即太阳能电池将太阳能直接转换成电能，输出直流电压，通过光伏逆变器将直流电逆变成交流电输送给电网，光伏逆变器由电压源型的可快速关断器件组成，它可以进行动态的功率调节，可向电网发出有功，也可对系统进行大范围双向无功调节；正常运行时，基于光伏电池的电网功率振荡抑制器输出部分有功功率；当电网出现振荡时，调节其有功功率和无功功率的输出，提高电网的稳定性和阻尼，有助于电网尽快地恢复稳定；

所设计的基于光伏电池的电网功率振荡抑制器，利用了洁净的、可再生能源—太阳能达到抑制功率振荡的作用；目前，人们对光伏电池的利用只停留在发电上，没有人想到用来抑制系统的功率振荡，而功率振荡对电网的危害是巨大的，抑制功率振荡对电网尤其是大型电网是非常迫切和重要，因此，本发明是一个全新的概念和课题。

## 发明内容

本发明的目的在于提供一种基于光伏电池的电网功率振荡抑制器。

本发明的特征在于：

该抑制器是一种把太阳能转化成直流电，再用光伏逆变器把直流电逆变成交流电的送给电网的电网功率振荡抑制器，所述抑制器含有光伏电池板、光伏逆变器、滤波器、并网变压器、电压互感器、电流互感器和控制器，其中：

光伏电池板，把太阳能转化成直流电；

光伏逆变器，该逆变器的直流母线与所述光伏电池板的直流输出端相连；

滤波器，该滤波器的输入端与光伏逆变器的输出端相连，该滤波器的另一端与下述并网变压器的一端相连；

并网变压器，该变压器的输入端与所述滤波器相应的输出端相连，该变压器的输出端与电网相连；

电压互感器，即 PT，其输入端和滤波器与并网变压器连接端相连，其输出端和下述控制器相应的输入端口相连；

电流互感器，即 CT，上述滤波器与并网变压器连接线穿过 CT，其输出端和下述控制器相应的输入端口相连；

控制器，是一种数字控制电路，采用数字信号处理器、单片机、计算机中的任何一种；该控制器按以下步骤实现对电网的有功功率从零到所述光伏电池板最大输出功率之间的调节，对电网的无功功率按向电网输出或从电网吸收的方式双向调节，具体的调节步骤如下：

步骤 1. 初始化，即在该控制器中设定以下参数：

功率振荡抑制器的输出有功功率初始值  $P_{sc0}$ ，标么值；

功率振荡抑制器的电网电压有效值初始值  $V_{m0}$ ，标么值；

功率振荡抑制器的并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 q 轴和 d 轴分量初始值  $u_{rq0}$  和  $u_{rd0}$ ，标么值；

无功功率调节系数  $k_1$  和有功功率调节系数  $k_2$ ， $k_1$  和  $k_2$  都大于零，小于 100000，由操作员按电网运行状况设定；

第一 PI 控制器控制系数  $k_{p1}$  和  $k_{i1}$ ， $k_{p1}$  和  $k_{i1}$  都大于 0，小于 1000，由操作员按电网运行状况设定；

第二 PI 控制器控制系数  $k_{p2}$  和  $k_{i2}$ ， $k_{p2}$  和  $k_{i2}$  都大于 0，小于 1000，由操作员按电网运行状况设定；

按照电网运行状况，进行无功功率和/或有功功率调节；

通过改变并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 q 轴和 d 轴分量达到调节其输出有功功率和无功功率的目的；

步骤 2. 电网无功功率调节按以下步骤执行：

步骤 21. 通过第一加法器按下式计算 PI 控制的输入值  $\mu_{PIS1}$ ： $\mu_{PIS1} = V_{m0} - V_m - k_1 \Delta\omega$ ，

其中， $V_m$ ，标么值，为电网电压有效值，由电压互感器测得后输入该控制器；

$\Delta\omega$  为电网发电机角速度变化量，可由测量电网电压的频率  $f$  经下式计算得到：

$$\Delta\omega = 2\pi(f - f_0)，其中，f_0 为 50 或 60Hz；$$

步骤 22. 第一 PI 控制器在接收到所述第一加法器的输出后进行控制运算，输出相应的控制量  $\mu_{PIC1}$ ，计算公式如下： $\mu_{PIC1} = k_{p1}\mu_{PIS1} + k_{i1} \int \mu_{PIS1} dt$ ，其中， $k_{p1}$  和  $k_{i1}$  分别是第一 PI 控制器的控制系数，都大于 0，小于 1000；

步骤 23. 通过第一比较器按以下公式计算并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 d 轴分量  $u_{rd}$ ，标么值， $u_{rd} = u_{rd0} - \mu_{PIC1}$ ；

步骤 3. 电网有功功率调节按以下步骤执行：

步骤 31. 通过第二加法器按下式计算 PI 控制的输入值  $\mu_{PIS2}$ ： $\mu_{PIS2} = P_{sc0} - P_{sc} + k_2 \Delta\omega$ ，

其中， $P_{sc}$ ，标么值，为功率振荡抑制器输出有功功率，由电压互感器测得电网三相电压  $u_a$ 、 $u_b$  和  $u_c$  及电流互感器测得三相电流  $i_a$ 、 $i_b$  和  $i_c$  后输入给控制器经计算得到，计算公式如下： $P_{sc} = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c$ ；

步骤 32. 第二 PI 控制器在接收到所述第二加法器的输出后进行控制运算，输出相应的控制量  $\mu_{PIC2}$ ，计算公式如下： $\mu_{PIC2} = k_{p2}\mu_{PIS2} + k_{i2} \int \mu_{PIS2} dt$ ，其中， $k_{p2}$  和  $k_{i2}$  分别是第二 PI 控制器的控制系数，都大于 0，小于 1000；

步骤 33. 通过第二比较器按以下公式计算并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 q 轴分量  $u_{rq}$ ，标么值， $u_{rq} = u_{rq0} - \mu_{PIC2}$ ；

步骤 4. 通过 d-q 到 abc 坐标变换：

将上述计算得到的 d-q 坐标系下的分量  $u_{rq}$  和  $u_{rd}$  按以下 d-q 到 abc 坐标变换公式计算

得到并网逆变器输出三相电压  $u_{at}$ 、 $u_{bt}$  和  $u_{ct}$ :

$$\begin{bmatrix} u_{at} \\ u_{bt} \\ u_{ct} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{rd} \\ u_{rq} \\ u_0 \end{bmatrix}$$

其中,  $u_0$  为电网零序电压, 经下式计算得到:  $u_0 = \frac{1}{3}(u_a + u_b + u_c)$ 。

所述 PI 控制器的控制规律, 可以是比例积分 (PI)、比例积分微分 (PID) 或其它控制方式。

所述通过改变并网逆变器输出电压在 d-q 坐标系下的 q 轴和 d 轴分量达到调节其输出有功功率和无功功率的目的; 或通过改变并网逆变器输出电压的幅值和相角达到调节其输出有功功率和无功功率的目的; 或通过改变并网逆变器输出电压的其它方法达到调节其输出有功功率和无功功率的目的。

所述  $\Delta\omega$  为电网发电机角速度变化量, 可由测量电网电压的频率  $f$  经下式计算得到:

$\Delta\omega = 2\pi(f - f_0)$ , 其中,  $f_0$  为 50 或 60Hz; 或由发电机转速传感器测得转速  $n$  后送往该控制器

按下式计算得到:  $\Delta\omega = 2\pi(\frac{2np_f}{60} - f_0)$ , 其中,  $p_f$  为发电机转子极对数。

所述功率振荡抑制器输出有功功率  $P_{sc}$ , 由电压互感器测得电网三相电压  $u_a$ 、 $u_b$  和  $u_c$  及电流互感器测得三相电流  $i_a$ 、 $i_b$  和  $i_c$  后输入给控制器经计算得到, 计算公式为:

$P_{sc} = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c$ ; 有功功率计算公式也可以为两表法或其它方法。

所述的逆变器直流母线并联着一个制动电阻支路, 该制动电阻支路由制动电阻和制动电阻开关串接而成, 所述制动电阻开关的控制端与所述控制器的制动电阻开关控制信号输出端相连。

本发明提出的基于光伏电池的电网功率振荡抑制器, 利用太阳能对电网功率进行动态调节, 达到抑制功率振荡的功能; 光伏电池即太阳能电池将太阳能直接转换成电能, 输出直流电压, 通过光伏逆变器将直流电逆变成交流电输送给电网, 光伏逆变器由电压源型的可快速关断器件组成, 它可以进行动态的功率调节, 可向电网发出有功, 也可对系统进行大范围双向无功调节; 正常运行时, 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器向电网发出部分有功功率; 当电网出现功率振荡时, 快速调节其输出的有功功率和无功功率, 改善系统阻尼, 提高电网的稳定性。

所设计的基于光伏电池的电网功率振荡抑制器, 利用了洁净的、可再生能源—太阳能达到

抑制功率振荡的作用；

其特点如下：

1. 利用洁净的、可再生能源—太阳能向电网进行有功功率调节；
2. 通过其有功无功的动态调节，抑制电网功率振荡，改善电网的稳定性及阻尼；

附图说明

图 1. 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器的硬件原理图。

图 2. 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器的控制规律图。

图 3. 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器的程序流程图。

图 4. 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器的应用例子图。

图 5. 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器的应用例子仿真结果图一。

图 6. 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器的应用例子仿真结果图二。

图 7. 基于光伏电池的电网功率振荡抑制器带制动电阻支路的硬件原理图。

具体实施方式

图 1 虚框内为基于光伏电池的电网功率振荡抑制器 8，它由光伏电池板 1、光伏逆变器 2、滤波器 3、并网变压器 4、控制器 5、电压互感器 6、电流互感器 7 等组成，以下详细介绍各个组成部分：

1 是光伏电池板，它可由多节光伏电池构成，将太阳能转化为电能，输出直流电压；

2 是光伏逆变器，将直流电逆变成交流电输送给电网，逆变器由电压源型的可快速关断器件组成，它具有快速的有功无功调节能力；

3 是滤波器，将光伏逆变器输出的高频谐波滤掉，使逆变器输出的电压波形经滤波器后与电网电压波形基本一致；

4 是并网变压器，将逆变器输出的交流电经滤波器后并到电网；

5 是控制器，负责数据采集、处理及控制等，根据太阳能和电网的情况进行有功功率和/或无功功率的调节；

控制规律，它包含在控制器 5 中，它通过控制器 5 采集到的电压、电流等相关信号，进行计算、处理，最后结果通过控制器 5 直接控制逆变器 2，它可以是如图 2 所示的比例积分 (PI)，也可以是比例积分微分 (PID) 控制方式或其它控制方式，根据控制规律，调节逆变器输出的有功功率  $P_{sc}$  和无功功率  $Q_{sc}$ ，抑制电网的功率振荡，其调节的有功功率可以从零调节

到上述光伏电池能输出的最大值，其调节的无功功率可以向电网输出或从电网吸收，即进行无功的双向调节；另外，根据电网功率振荡的情况，通过控制器控制制动电阻支路的投切；

6 是电压互感器，测量电网电压送给控制器；

7 是电流互感器，测量电网电流送给控制器；

9 代表电网；

图 7 为带制动电阻支路 8 的硬件原理图，制动电阻支路由控制器控制，根据需要可随时进行投切以抑制电网功率振荡，它可以由制动电阻和电子开关组成；

附录中以单机无穷大系统为实例，说明基于光伏电池的电网功率振荡抑制器的工作原理，并进行数字仿真显示其工作效果。

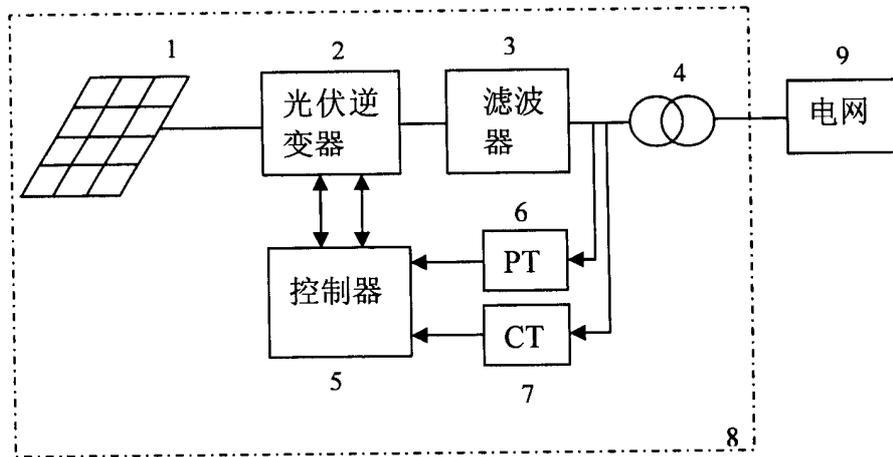


图 1

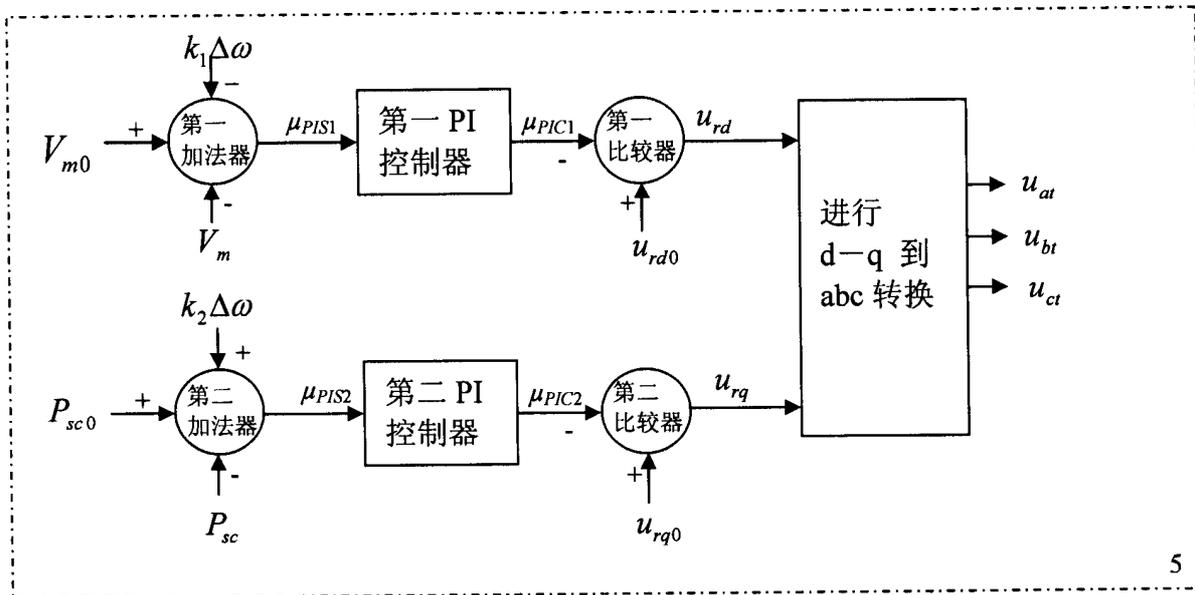


图 2

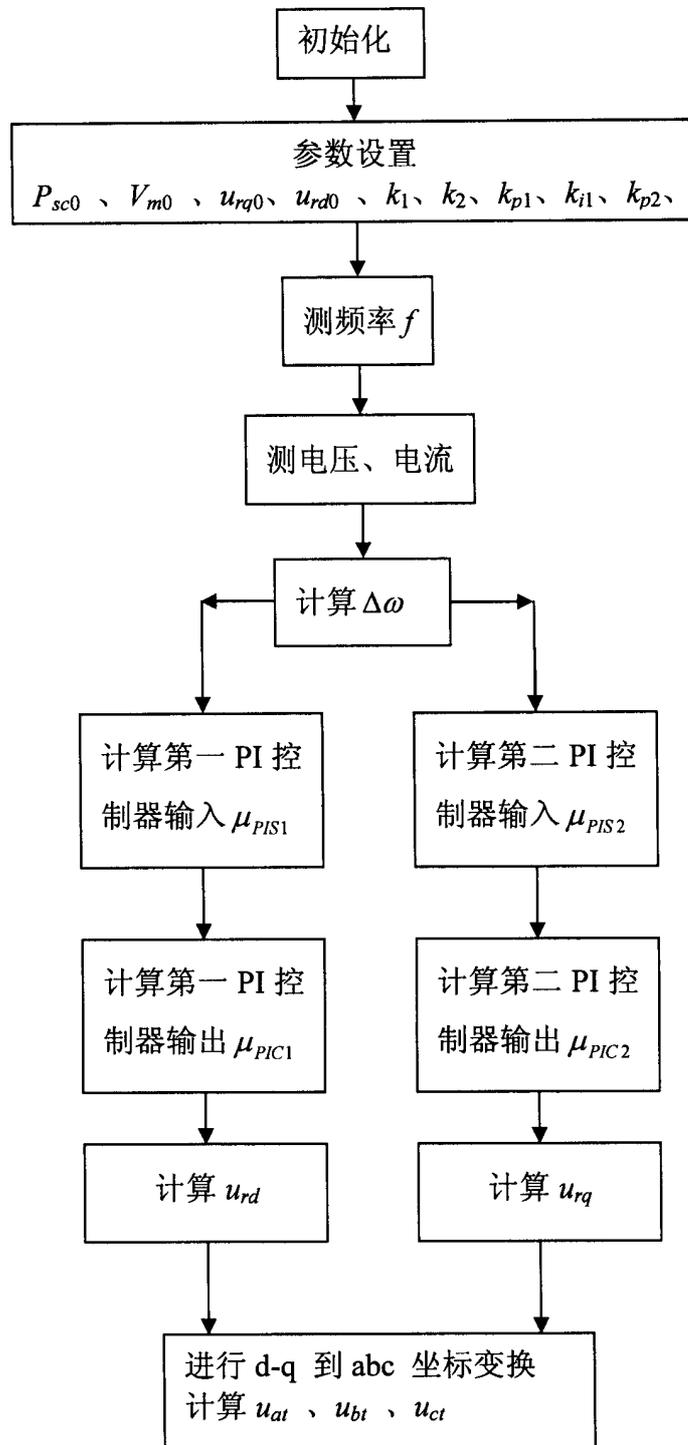


图 3

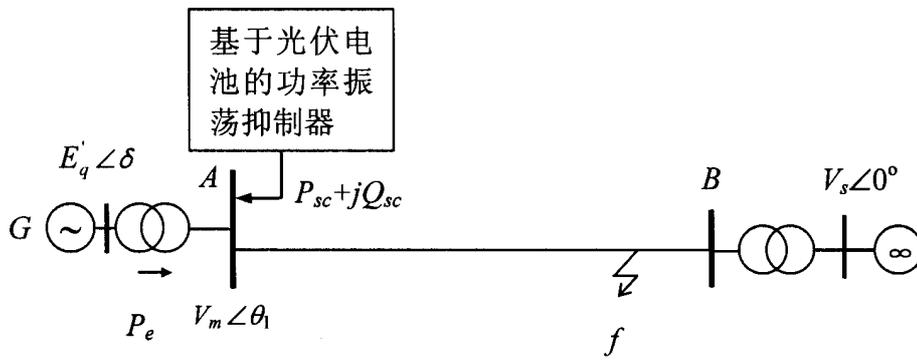


图 4

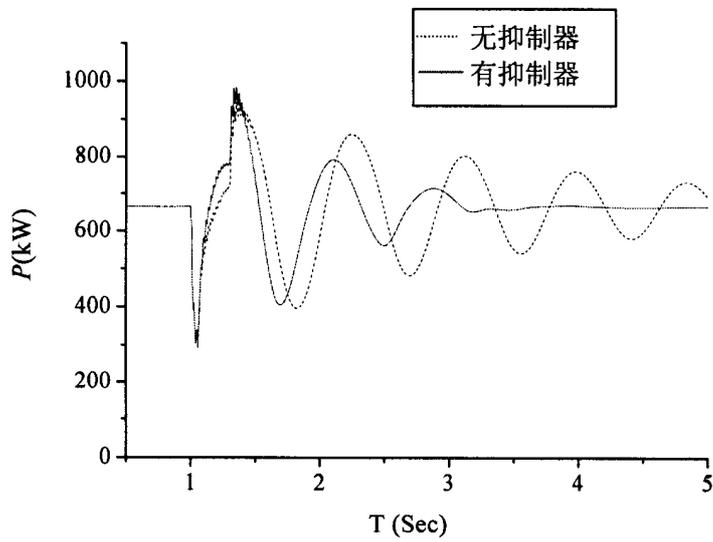


图 5

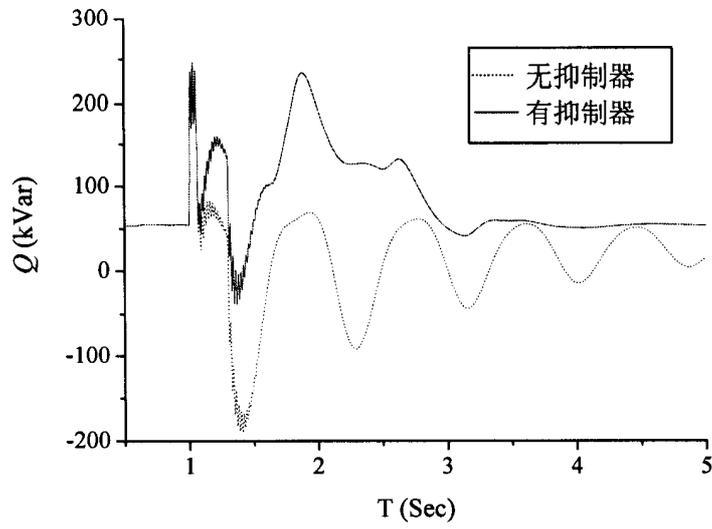


图 6

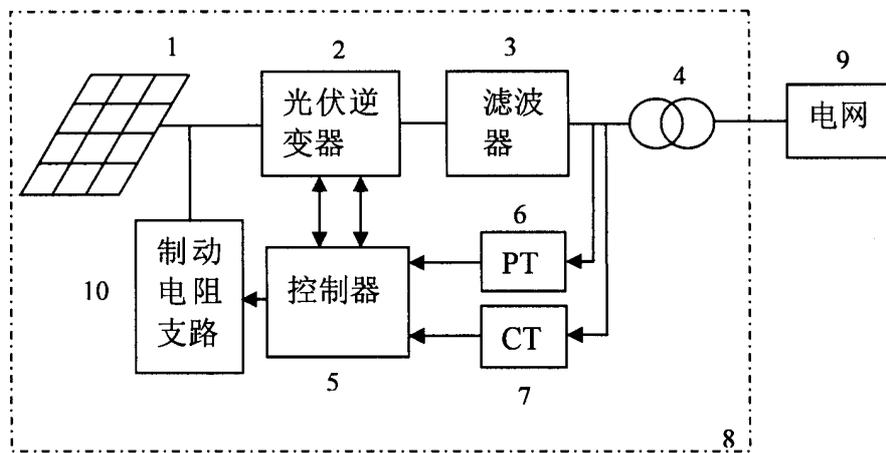


图 7