



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102594215 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 18

(21) 申请号 201210070180. 1

(22) 申请日 2012. 03. 16

(71) 申请人 云南电力试验研究院(集团)有限公司
电力研究院

地址 650217 云南省昆明市经济技术开发区
云大西路中段云电科技园

(72) 发明人 严玉廷 苏适 张林山

(74) 专利代理机构 昆明大百科专利事务所
53106

代理人 何健

(51) Int. Cl.

H02N 6/00(2006. 01)

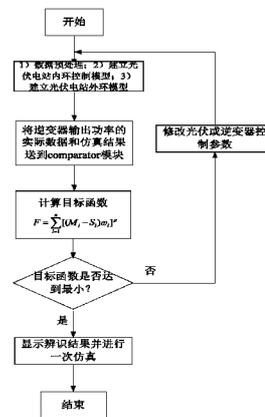
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种光伏电站模型参数辨识方法

(57) 摘要

本发明公开了一种光伏电站模型参数辨识方法,该方法为:将光伏电站模型划分为外环控制和内环控制两个辨识环节,外环控制参数辨识时其输入数据来自于光伏电站的实际运行数据;内环控制参数辨识时其输入数据来自于对光伏电站逆变器的现场测试试验数据。内环控制参数辨识采用最小二乘法,外环控制参数辨识采用组合优化辨识方法。通过对光伏电站的模型参数辨识,可以得到光伏组件实际最大功率运行点数据、逆变器关键控制参数,从而可使建立的光伏电站仿真模型具有较高的仿真精度,更接近光伏电站实际运行状态。



1. 一种光伏电站模型参数辨识方法,其特征在于,辨识方法步骤包括:

A、将光伏电站模型划分为外环控制和内环控制两个辨识环节,外环控制参数辨识,辨识光伏组件最大功率运行点参数、最大功率点跟踪 MPPT 控制参数;内环控制参数辨识,用于辨识逆变器动态跟踪控制参数;

B、对光伏电站输入源数据进行预处理:外环控制参数辨识时其输入数据来自于光伏电站的实际运行数据,应对运行数据进行筛选,去除其中的错误数据,然后将合格的数据添加到辨识数据库;内环控制参数辨识时其输入数据来自于对逆变器的现场施加阶跃信号得到响应曲线数据;

C、内环控制参数辨识采用最小二乘法,其辨识流程:

(1) 建立内环开环传递函数:

$$W_{ci}(s) = \frac{K_{iP}K_{PWM}}{T_iL} \frac{T_i s + 1}{s^2(1.5T_s s + 1)}$$

其中, K_{iP} 为比例环节系数、 K_{pwm} 为 PWM 控制环节的增益, T_i 、 T_s 积分环节系数;

(2) 对现场施加阶跃信号得到的响应曲线数据进行相关转换处理,包括数据的有效性分析、电气量程与工程量程的转换、标幺化处理共三个步骤;

(3) 将转换后的响应数据和阶跃输入信号为输入,采用最小二乘法计算方法,对内环传递函数中的参数 K_{iP} 、 K_{pwm} 及 T_i 进行辨识;

其中, K_{iP} 为比例环节系数, K_{pwm} 为 PWM 控制的比例环节系数; T_i 积分环节系数;

D、外环控制参数辨识采用组合优化方法,其辨识流程:

(1) 建立外环开环传递函数,需要辨识的参数为 K_v 、 T_v 、 T_{gv} :

$$W_{cv}(s) = \frac{0.75K_v(T_v s + 1)}{CT_v s^2(T_{gv} s + 1)}$$

其中, K_v 为比例环节系数, T_v 、 T_{gv} 积分环节系数;

(2) 外环辨识的采用光伏电站的实际运行数据,在进行数据的有效性分析、电气量程与工程量程的转换、标幺化处理后实际输入数据;

(3) 将预处理后的光伏电站运行数据为输入,组合优化计算方法;

首先进行初步参数优化计算:建立目标函数方程如下式;通过迭代计算得到辨识参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 的初步优化结果;

$$F = \sum_{i=1}^n [(M_i - S_i)\omega_i]$$

然后进行精细化的参数优化计算:通过建立如下的目标函数方程式,并进行迭代计算,得到辨识参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 的最终优化结果;

$$F = \sum_{i=1}^n [(M_i - S_i)\omega_i]^2$$

其中, M_i 是测量数据; S_i 是仿真数据; ω_i 是权值;

E、采用不同运行条件下的光伏电站运行数据和测试试验数据,重复 A-D 步骤,以实现得到的模型内外环参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 、 K_{iP} 、 K_{pwm} 及 T_i 进行校核,验证模型参数的泛化能力。

一种光伏电站模型参数辨识方法

技术领域

[0001] 本发明属新能源应用领域,涉及一种光伏电站模型参数的辨识方法。

背景技术

[0002] 光伏发电具有波动性和间歇性,大规模光伏电站并网运行会影响电力系统的安全稳定经济运行。对光伏电站模型参数进行辨识有助于电网规划部门准确分析大型光伏电站接入对电网的影响、有利于统筹安排常规电源和光伏电站的协调配合,适时及时地调整调度计划,合理安排电网运行方式。一方面有效地减轻光伏接入对电网的不利影响,提高电力系统运行的安全性和稳定性,另一方面通过合理布置光伏电站的接入,以充分利用太阳能资源,获得更大的经济效益和社会效益。

[0003] 为了得到具有较高可靠信度的光伏电站等效模型,需要对模型中的参数包括光伏组件最大功率运行点参数、逆变器最大功率跟踪控制参数、逆变器内环跟踪控制参数等进行辨识。而目前还未见运用光伏电实际运行数据和对逆变器现场测试数据进行模型参数辨识的报道。

发明内容

[0004] 本光伏电站模型参数辨识方法,将光伏电站模型划分为外环控制和内环控制两个辨识环节,外环控制参数辨识时其输入数据来自于光伏电站的实际运行数据,主要辨识光伏组件最大功率运行点参数、最大功率点跟踪(MPPT)控制参数;内环控制参数辨识时其输入数据来自于对光伏电站逆变器的现场测试试验数据,用于辨识逆变器动态跟踪控制参数。本发明特征在于,该方法包括如下步骤:

[0005] A、将光伏电站模型划分为外环控制和内环控制两个辨识环节,外环控制参数辨识,辨识光伏组件最大功率运行点参数、最大功率点跟踪(MPPT)控制参数;内环控制参数辨识,用于辨识逆变器动态跟踪控制参数;

[0006] B、对光伏电站输入源数据进行预处理:外环控制参数辨识时其输入数据来自于光伏电站的实际运行数据,应对运行数据进行筛选,去除其中的错误数据,然后将合格的数据添加到辨识数据库;内环控制参数辨识时其输入数据来自于对逆变器的现场施加阶跃信号得到响应曲线数据;

[0007] C、内环控制参数辨识采用最小二乘法,其辨识流程:

[0008] (1) 建立内环开环传递函数:

$$[0009] W_{ci}(s) = \frac{K_{iP}K_{PWM}}{T_iL} \frac{T_i s + 1}{s^2(1.5T_s s + 1)}$$

[0010] 其中, K_{iP} 为比例环节系数、 K_{pwm} 为PMW控制环节的增益, T_i 、 T_s 积分环节系数;

[0011] (2) 对现场施加阶跃信号得到的响应曲线数据进行相关转换处理,包括数据的有效性分析、电气量程与工程量程的转换、标么化处理共三个步骤;

[0012] (3) 将转换后的响应数据和阶跃输入信号为输入,采用最小二乘法计算方法,对内

环传递函数中的参数 K_{TP} 、 K_{PWM} 及 T_i 进行辨识；

[0013] 其中， K_{TP} 为比例环节系数， K_{PWM} 为 PWM 控制的比例环节系数； T_i 积分环节系数；

[0014] D、外环控制参数辨识采用组合优化方法，其辨识流程：

[0015] (1) 建立外环开环传递函数，需要辨识的参数为 K_v 、 T_v 、 T_{gv} ：

$$[0016] \quad W_{cv}(s) = \frac{0.75K_v(T_v s + 1)}{CT_v s^2(T_{gv} s + 1)}$$

[0017] 其中， K_v 为比例环节系数， T_v 、 T_{gv} 积分环节系数；

[0018] (2) 外环辨识的采用光伏电站的实际运行数据，在进行数据的有效性分析、电气量程与工程量程的转换、标幺化处理实际输入数据；

[0019] (3) 将预处理后的光伏电站运行数据为输入，组合优化计算方法；

[0020] 首先进行初步参数优化计算：建立目标函数方程如下式；通过迭代计算得到辨识参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 的初步优化结果；

$$[0021] \quad F = \sum_{i=1}^n [(M_i - S_i)\omega_i]$$

[0022] 然后进行精细化的参数优化计算：通过建立如下的目标函数方程式，并进行迭代计算，得到辨识参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 的最终优化结果；

$$[0023] \quad F = \sum_{i=1}^n [(M_i - S_i)\omega_i]^2$$

[0024] 其中， M_i 是测量数据； S_i 是仿真数据； ω_i 是权值；

[0025] E、采用不同运行条件下的光伏电站运行数据和测试试验数据，重复 A-D 步骤，以实现得到的模型内外环参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 、 K_{TP} 、 K_{PWM} 及 T_i 进行校核，验证模型参数的泛化能力。

[0026] 本发明的有益效果是，能够运用光伏电实际运行数据和对逆变器现场测试数据进行模型参数辨识，通过对光伏电站的模型参数辨识，还能够得到光伏组件实际最大功率运行点数据、逆变器关键控制参数，从而可使建立的光伏电站仿真模型具有较高的仿真精度，更接近光伏电站实际运行状态。

附图说明

[0027] 图 1 为本发明光伏电站参数辨识流程图；

[0028] 图 2 为外环参数辨识框图；

[0029] 图 3 为光伏电站内环控制结构图；

[0030] 图 4 为仿真软件中的光伏电站参数辨识模型图；

[0031] 图 5 为简化的电流内环结构图。

具体实施方式：

[0032] 一种光伏电站模型参数辨识方法，本发明特征在于，辨识方法步骤包括：

[0033] A、将光伏电站模型划分为外环控制和内环控制两个辨识环节，外环控制参数辨识，辨识光伏组件最大功率运行点参数、最大功率点跟踪 (MPPT) 控制参数；内环控制参数辨识，用于辨识逆变器动态跟踪控制参数；

[0034] B、对光伏电站输入源数据进行预处理：外环控制参数辨识时其输入数据来自于光伏电站的实际运行数据，应对运行数据进行筛选，去除其中的错误数据，然后将合格的数据添加到辨识数据库；内环控制参数辨识时其输入数据来自于对逆变器的现场施加阶跃信号得到响应曲线数据；

[0035] C、内环控制参数辨识采用最小二乘法，其辨识流程：

[0036] (1) 建立内环开环传递函数：

$$[0037] \quad W_{ci}(s) = \frac{K_{iP} K_{PWM} T_i s + 1}{T_i L s^2 (1.5 T_s s + 1)}$$

[0038] 其中， K_{iP} 为比例环节系数、 K_{PWM} 为 PWM 控制环节的增益， T_i 、 T_s 积分环节系数；

[0039] (2) 对现场施加阶跃信号得到的响应曲线数据进行相关转换处理，包括数据的有效性分析、电气量程与工程量程的转换、标幺化处理共三个步骤；

[0040] (3) 将转换后的响应数据和阶跃输入信号为输入，采用最小二乘法计算方法，对内环传递函数中的参数 K_{iP} 、 K_{PWM} 及 T_i 进行辨识；

[0041] 其中， K_{iP} 为比例环节系数， K_{PWM} 为 PWM 控制的比例环节系数； T_i 积分环节系数；

[0042] D、外环控制参数辨识采用组合优化方法，其辨识流程：

[0043] (1) 建立外环开环传递函数，需要辨识的参数为 K_v 、 T_v 、 T_{gv} ：

$$[0044] \quad W_{cv}(s) = \frac{0.75 K_v (T_v s + 1)}{C T_v s^2 (T_{gv} s + 1)}$$

[0045] 其中， K_v 为比例环节系数， T_v 、 T_{gv} 积分环节系数；

[0046] (2) 外环辨识的采用光伏电站的实际运行数据，在进行数据的有效性分析、电气量程与工程量程的转换、标幺化处理后实际输入数据；

[0047] (3) 将预处理后的光伏电站运行数据为输入，组合优化计算方法；

[0048] 首先进行初步参数优化计算：建立目标函数方程如下式；通过迭代计算得到辨识参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 的初步优化结果；

$$[0049] \quad F = \sum_{i=1}^n [(M_i - S_i) \omega_i]$$

[0050] 然后进行精细化的参数优化计算：通过建立如下的目标函数方程式，并进行迭代计算，得到辨识参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 的最终优化结果；

$$[0051] \quad F = \sum_{i=1}^n [(M_i - S_i) \omega_i]^2$$

[0052] 其中， M_i 是测量数据； S_i 是仿真数据； ω_i 是权值；

[0053] E、采用不同运行条件下的光伏电站运行数据和测试试验数据，重复 A-D 步骤，以实现得到的模型内外环参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 、 K_{iP} 、 K_{PWM} 及 T_i 进行校核，验证模型参数的泛化能力。

[0054] 本发明光伏电站模型参数的辨识包括现场动态数据获取、数据预处理、光伏电站外环模型构建、光伏电站内环模型构建、采用优化算法进行参数辨识计算等步骤。

[0055] 而在光伏电站模型参数辨识过程中，现场动态试验获得的数据，并不能直接用于模型参数辨识，需要结合模型结构和采用的辨识方法，进行相应的预处理，才能满足辨识需要。数据预处理在模型辨识中非常重要，也是模型辨识的基础工作。数据预处理情况比较

复杂,处理的方法也比较多,往往必须针对具体的研究对象,根据一些经验性规则采用相应的处理方法。

[0056] 本发明方法实现光伏电站参数辨识的主要实施技术操作要点包括:

[0057] 1) 数据的有效性分析

[0058] 现场试验完成以后,需对采样数据进行有效性分析。有效性分析主要包括以下几个方面:

[0059] ▶测点响应时序是否正确;

[0060] ▶测点测量值与实际正常值之间是否有较大差距;

[0061] ▶测点是否安装正确;

[0062] ▶如果试验数据经过分析,不能满足系统辨识的需要,且无法补救,应考虑再次进行试验,以达到系统辨识的要求。

[0063] 2) 电气量程与工程量程的转换

[0064] 通过数据录波装置得到的现场数据,是用电压数值表示的电气量,需要根据电气量程与工程量程的对应关系,转换为与现场数据对应的工程量。

[0065] 3) 标幺化处理

[0066] 在电力系统仿真分析中使用的是标幺值,因此需要将辨识数据进行标幺化处理,标幺化处理中的基准值如下:

[0067] ▶标幺值等于实际值除以基准值;

[0068] ▶频率的基准值为系统额定频率;

[0069] ▶功率基准值为额定有功功率;

[0070] ▶光照强度的基准值为 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 。

[0071] 4) 初始工况的选择

[0072] 在数据预处理中,需要选定用于系统参数辨识和模型校核的试验数据,对初始工况一般选取系统稳定运行,没有调整和干扰时的稳定工况作为初始工况,此时系统各参数间存在一定的稳态对应关系,因此这类数据在进行参数辨识和模型校核计算时更容易进行工作点的初始化 (operation point)。

[0073] 5) 建立光伏电站参数辨识流程

[0074] 如图 1,为建立的参数辨识的流程图。在光伏电站参数辨识过程中通过不断的修改光伏电站或者逆变器参数,使目标函数达到最小,从而使仿真结果与实际数据的偏差达到最小,从而得到参数的最优结果。

[0075] 6) 光伏电站模型外环参数辨识

[0076] 如图 2 所示,优化计算环节和是参数识别的关键部分,用于计算实测数据和仿真数据之间误差的目标函数,其中的参数 p 取值为 1 或 2;优化计算执行器则收集所有的目标函数并最小化这些目标函数。

[0077] 图 2 中,将预处理后的光伏电站运行数据为输入,组合优化计算方法。

[0078] 首先进行初步参数优化计算:建立目标函数方程如下式。通过迭代计算得到辨识参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 的初步优化结果。

$$[0079] \quad F = \sum_{i=1}^n [(M_i - S_i)\omega_i]$$

[0080] 然后进行精细化的参数优化计算：通过建立如下的目标函数方程式，并进行迭代计算，得到辨识参数 K_v 、 T_v 、 T_{gv} 的最终优化结果。

$$[0081] \quad F = \sum_{i=1}^n [(M_i - S_i)\omega_i]^2$$

[0082] 其中， M_i 是测量数据； S_i 是仿真数据； ω_i 是权值；

[0083] 7) 光伏电站模型内环参数辨识

[0084] 如图 3 所示，光伏电站内环控制因信号采样的延迟和 PWM 控制的小惯性特性， i_q 电流内环结构。其中， K_{ip} 、 K_{il} 为比例积分环节系数、 K_{pwm} 为 PWM 控制环节的增益， T_s 时间常数， R 为阻抗值、 L 为感抗值。

[0085] 图 3 中， T_s 为电流内环电流采样周期（即亦为 PWM 开关周期）为简化分析，暂不考虑 e_q 的扰动，且将 PI 调节器传递函数写成零极点形式，即

$$[0086] \quad K_{ip} + \frac{K_{il}}{s} = K_{ip} \frac{T_i s + 1}{T_i s} K_{il} = \frac{K_{ip}}{T_i}$$

[0087] 按 II 型系统设计，忽略 VSR 交流侧电阻，得简化的电流内环结构，如图 5 所示。

[0088] 得到开环传函：

$$[0089] \quad W_{ci}(s) = \frac{K_{ip} K_{pwm}}{T_i L} \frac{T_i s + 1}{s^2 (1.5 T_s s + 1)}$$

[0090] 而内环控制参数辨识则建立的内环传递函数，采用最小二乘法，其辨识流程主要包括：

[0091] (1) 对现场施加阶跃信号得到的响应曲线数据进行预处理，包括数据的有效性分析、电气量程与工程量程的转换、标幺化处理共三个步骤；

[0092] (2) 将预处理后的响应数据和阶跃输入信号为输入，采用最小二乘法计算方法，对内环传递函数中的参数 K_{ip} 、 K_{pwm} 及 T_i 进行辨识；

[0093] 8) 参数辨识模型的搭建

[0094] 如图 4 所示，构建了仿真软件中的光伏电站参数辨识模型。辨识主要考虑光伏逆变器的有功功率和无功功率特性，因此 Measurement file 需要提供实际的逆变器有功和无功功率给 comparator 模块，再通过功率测量环节将仿真中光伏逆变器有功和无功功率特性提供给 comparator 模块，根据实际的数据和仿真结果计算目标函数值。

[0095] 如果需要对逆变器的出口电压特性进行辨识，可以在该模型的基础之上多加一个电压测量环节，将逆变器出口电压提供给 comparator 模块。再通过 Measurement file 模块将实际的电压数据提供给 comparator 模块，即可。

[0096] 同时，为了使仿真结果跟随实际的日照和温度变化，还需要将实际的日照和温度通过 Measurement file 模块输入到光伏模块，让光伏模型在实际的日照和温度条件下运行。

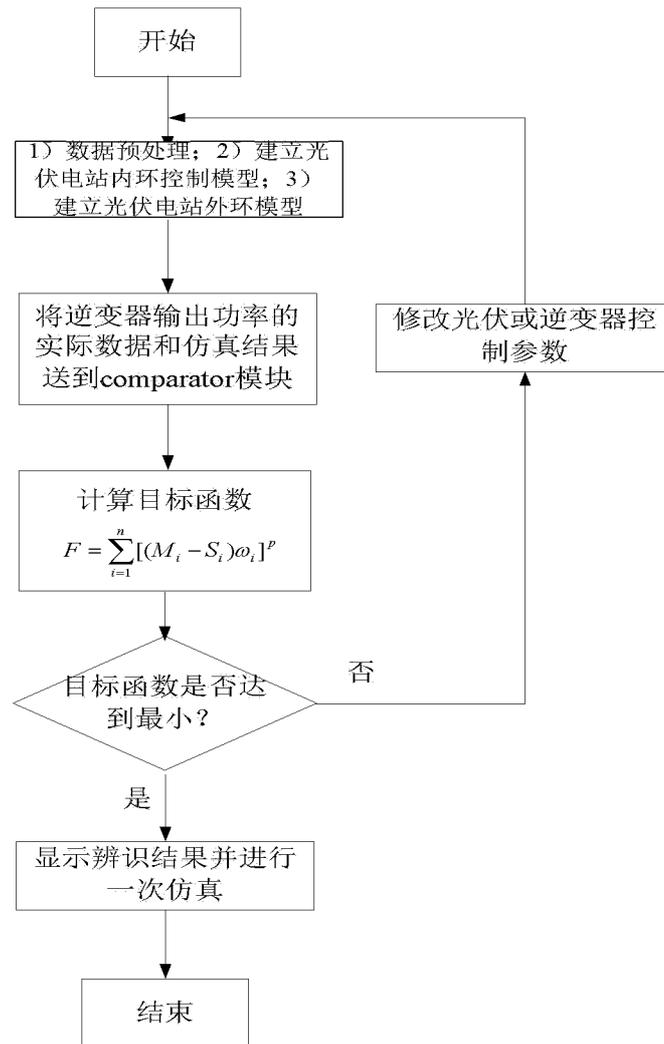


图 1

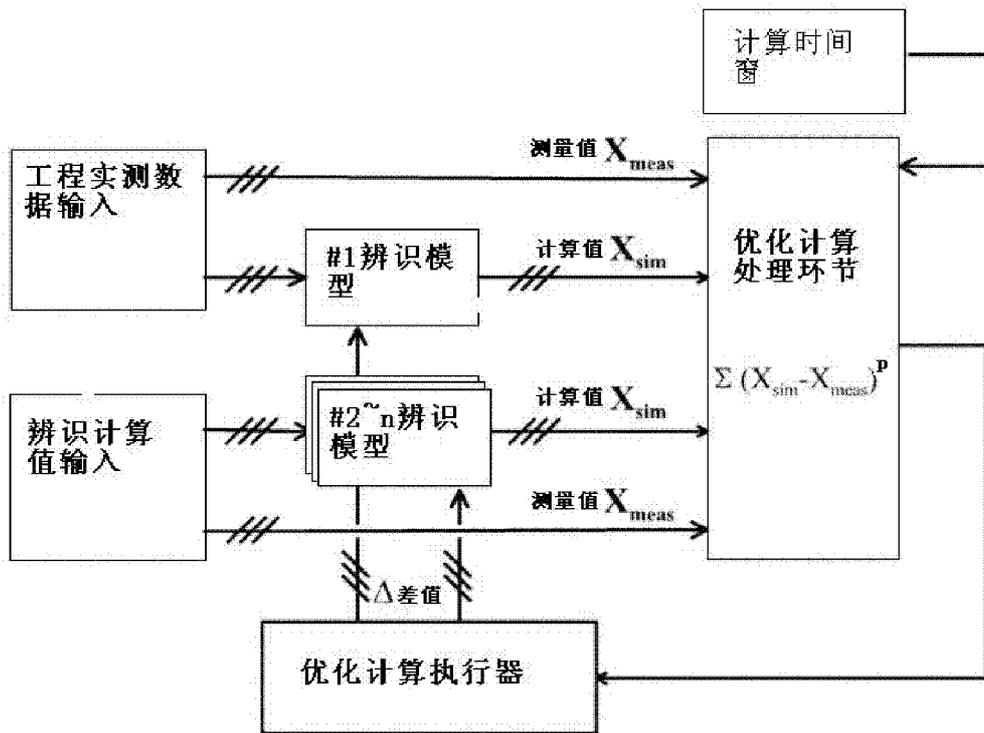


图 2

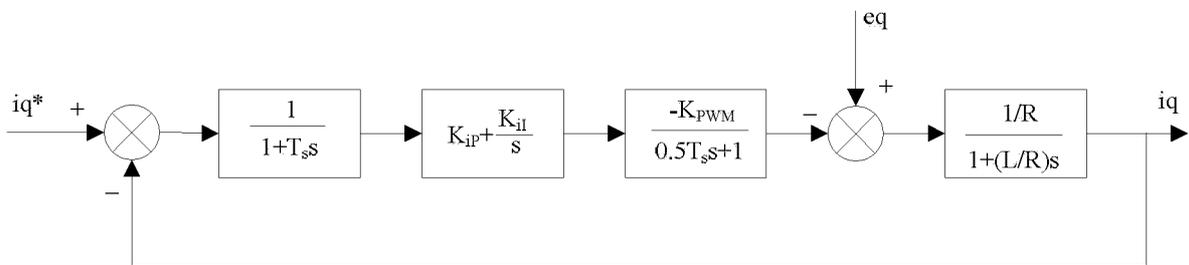


图 3

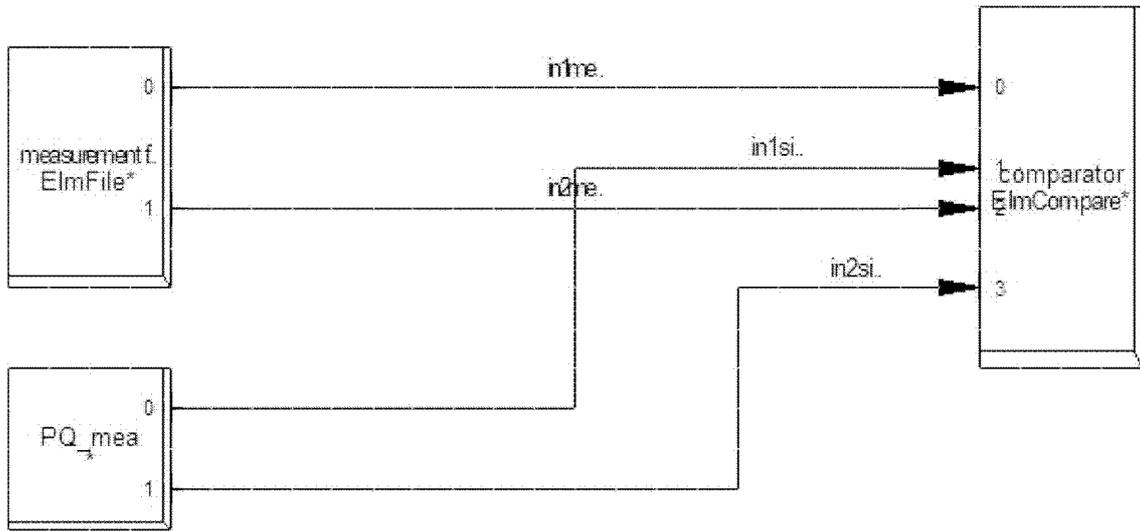


图 4

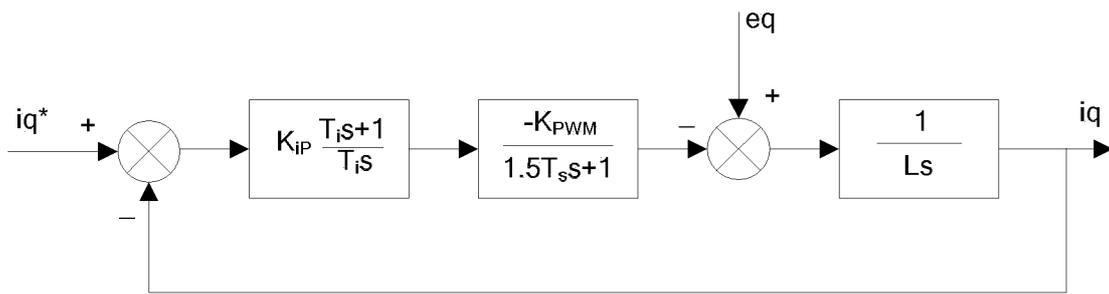


图 5