



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107696893 B

(45) 授权公告日 2021.01.08

(21) 申请号 201710873950.9

(22) 申请日 2017.09.25

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107696893 A

(43) 申请公布日 2018.02.16

(73) 专利权人 天津理工大学  
地址 300384 天津市西青区宾水西道391号

(72) 发明人 马幼捷 刘畅 周雪松 高志强

(74) 专利代理机构 天津耀达律师事务所 12223  
代理人 张耀

(51) Int. Cl.  
B60L 53/60 (2019.01)  
H02J 3/38 (2006.01)  
H02M 7/797 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 107196318 A, 2017.09.22
- CN 107026496 A, 2017.08.08
- CN 106786704 A, 2017.05.31
- CN 105356459 A, 2016.02.24
- CN 205509517 U, 2016.08.24
- US 2017267115 A1, 2017.09.21
- CN 105305489 A, 2016.02.03
- US 2016257214 A1, 2016.09.08

审查员 段丽丽

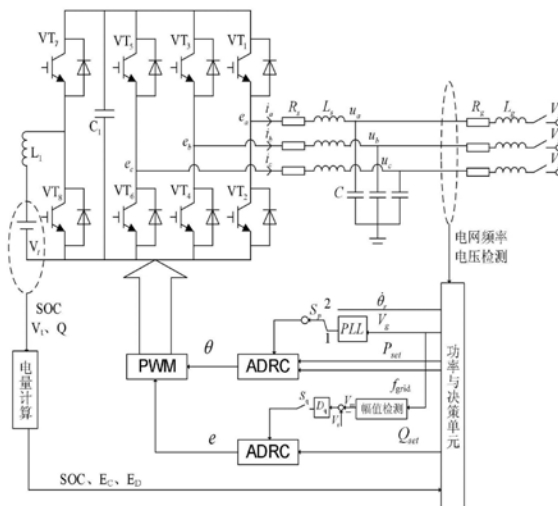
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法

(57) 摘要

一种基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法,属于电动汽车电力装置领域。包括以下步骤:A、确定电动汽车充放电系统的整体结构;B、计算电网频率和额定值偏差、电动汽车需求充电的电量和其允许放的电量;C、将上述3个输入送入功率与模式决策模块;D、求出自抗扰变流器参考功率设定值并设定自抗扰变流器的工作模式;E、在自抗扰控制策略控制下自抗扰变流器根据参考功率设定值和工作模式设定值对电动汽车进行充放电。其技术效果在于:利用自抗扰控制技术,使电动汽车更稳定充放电并精准地实现V2G的频率支撑。



1. 一种基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法,其特征在于,至少包括以下步骤:

步骤A、确定电动汽车充放电系统的整体结构;所述的整体结构包括:电量计算模块、功率与模式决策模块、自抗扰变流器模块以及直流侧DC/DC变换器模块4个部分;自抗扰变流器模块工作在正常充放电模式和下垂模式两种不同的工作状态,由开关来控制不同模式之间的切换,当其工作在正常充放电模式,开关  $S_q$ 处于断开,自抗扰变流器模块跟踪外部给定的参考功率值输出有功、无功功率;当其工作在下垂模式时,开关  $S_q$ 处于闭合,自抗扰变流器模块则根据电网频率和电压偏离其额定值的程度,在给定值的基础上自动调节向电网输出的有功、无功功率,从而参与电网一次调频与调压,保障电网的频率和电压稳定;

步骤B、计算电网频率和额定值偏差、电动汽车需求充电的电量和其允许放的电量;

步骤C、根据频率偏差决定变流器系统的控制模式;

步骤D、求出变流器系统的参考功率设定值;

步骤E、在自抗扰控制策略控制下逆变器根据参考功率设定值和工作模式设定值对电动汽车进行充放电。

2. 根据权利要求1所述的基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法,其特征在于:所述的电量计算模块用于电量计算,该电量是指电动汽车需要充电的电能  $E_c$  和其允许放电的电能  $E_d$ ,由连接到充放电装置的电动汽车的荷电状态以及用户设置的电量上限值  $SOC_{max}$  和下限值  $SOC_{min}$  计算出,其公式为:

$$\begin{cases} E_c = V_t Q (SOC_{max} - SOC), E_c \geq 0 \\ 0, & E_c < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} E_d = V_t Q (SOC - SOC_{min}), E_d \geq 0 \\ 0, & E_d < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $V_t$  为电动汽车电池组的端电压;  $Q$  为电动汽车电池组的额定容量;  $SOC$  (state of charge) 为电动汽车当前电池电量值。

3. 根据权利要求1所述的基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法,其特征在于:所述的功率与模式决策模块是指为得到自抗扰变流器模块的工作模式以及自抗扰变流器模块运行所需的实测值和设定值;

在每一检测周期里,电量测量单元对检测到的频率信号  $f_t$  和电压信号  $V_g$  进行处理,将得到的频率偏差信号  $\Delta f_t$  送入响应控制器,响应控制器将频率偏差信号与响应阈值进行比较:

(1) 若偏差未达到最低响应阈值,则电动汽车将处于保持状态,控制自抗扰变流器处于正常的充放电模式;

(2) 若偏差达到响应阈值,则依据频率偏差、电网电压及电池SOC情况作出判断及响应,若频率恢复正常或  $SOC < SOC_1$ ,参与响应的电动汽车将进入正常充电状态,  $SOC_1$  为用户设定的电池电量的预设值。

4. 根据权利要求1所述的基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法,其特征在

于:上述所述的DC/DC变换器模块是指利用跟踪微分器控制保证直流母线的电压稳定,跟踪微分器调节电容 $C_1$ 端电压和 $C_1$ 电压参考值后输出电感电流 $I_{L1}$ 的参考值,再将电感电流 $I_{L1}$ 的参考值与电感电流 $I_{L1}$ 差值输入自抗扰控制器,经调节后输出控制信号进行控制。

## 一种基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于V2G的电动汽车充放电方法,尤其涉及一种基于自抗扰控制技术(Active Disturbance Rejection Control Technique,ADRC)的电动汽车V2G充放电方法,属于电动汽车电力装置领域。

### 背景技术

[0002] 随着能源和环境问题日益严重,电动汽车逐渐成为研究热点得到了广泛的发展。电动汽车具有负荷和电源的双重身份,充电时其可视为电网的负荷,放电时可视为电网的电源,电网和电动汽车之间的能量互动,就是电动汽车与智能电网双向互动的V2G技术。目前,国内电动汽车充放电装置按照充放电装置中功率变换级数来分类,可分为单级式双向变换器和多级式双向变换器,单级式双向变换器尽管结构简单,但是控制系统复杂,而且很难做到电气隔离,难以进行过压过流保护。多级式双向变换器多采取不可控整流+DC/DC变换器,这种技术动态性能好、直流侧输入纹波较小,但是存在系统侧谐波含量高、体积大、功率因数低、对电网污染严重等缺点。随着电力电子技术的发展,采用DC/DC变换器技术的充放电系统逐步得到推广,但在以往对采用DC/DC变换器技术的基于V2G的充放电装置研究中,很多控制策略都有相应的问题。

[0003] 由于可再生能源发电不具备像传统发电机一样的惯性,随着可再生能源发电渗透率的提高,降低了电网的惯性,使得电网的频率越容易发生变化,所以电网需要电动汽车V2G技术提供一定的频率支撑。但是,在利用电动汽车V2G技术参与电网的调频过程更加暴露了电动汽车充放电控制策略存在的问题。采用自抗扰控制的变流器具有参数调节方便,对外部环境适应性强和可以实现无差调节的特点。因此,为了加强电动汽车V2G技术对电网频率的支撑能力,有必要采用一种适合V2G双向充放电特性的采用自抗扰控制的变流器系统,本发明将进一步提高电动汽车V2G技术对电网的频率支撑能力。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种新颖的电动汽车V2G充放电装置,首先,建立了电动汽车V2G充放电系统的整体模型,根据所检测到的电网频率值与电动汽车自身的电池SOC值,驱动基于自抗扰控制器的双向变流器模块(简称为自抗扰变流器模块),精准地自主地满足电动汽车充放电功能的同时,使得电动汽车充放电对电网的频率有一定的支撑作用。

[0005] 本发明的技术方案:

[0006] 为了达到上述发明目的,本发明提供了一种基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法,其特征在于,至少包括以下步骤:

[0007] 步骤A、确定电动汽车充放电系统的整体结构;

[0008] 步骤B、计算电网频率和额定值偏差、电动汽车需求充电的电量和其允许放的电量;

[0009] 步骤C、根据频率偏差决定变流器系统的控制模式;

[0010] 步骤D、求出变流器系统的参考功率设定值；

[0011] 步骤E、在自抗扰控制策略控制下逆变器根据参考功率设定值和工作模式设定值对电动汽车进行充放电。

[0012] 上述所说的整体结构包括：电量计算模块、功率与模式决策模块、自抗扰变流器模块以及DC/DC变换器模块4个部分组成。

[0013] 上述所说的电量计算模块用于电量计算，该电量是指电动汽车需要充电的电能 $E_c$ 和其允许放电的电能 $E_d$ ，由连接到充放电装置的电动汽车的荷电状态以及用户设置的电量上下限值计算出，其公式为：

$$[0014] \quad \begin{cases} E_c = V_t Q (SOC_{max} - SOC), E_c \geq 0 \\ 0, E_c < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} E_d = V_t Q (SOC - SOC_{min}), E_d \geq 0 \\ 0, E_d < 0 \end{cases} \quad (2)$$

[0015] 式中： $V_t$ 为电动汽车电池组的端电压； $Q$ 为电动汽车电池组的额定容量；SOC (state of charge)为电动汽车当前电池电量值。

[0016] 上述所说的功率与模式决策模块是指为得到自抗扰变流器模块的工作模式以及自抗扰变流器模块运行所需的实测值和设定值；

[0017] 在每一检测周期里，电量测量单元对检测到的频率信号 $f_t$ 和电压信号 $V_g$ 进行处理，将得到的频率偏差信号 $\Delta f_t$ 送入响应控制器，响应控制器将频率偏差信号与响应门檻进行比较：(1)若偏差未达到最低响应门檻，则电动汽车将处于保持状态(即不响应状态)，控制自抗扰变流器处于正常的充放电模式( $S_p$ 处于1, $S_q$ 处于断开)；(2)若偏差达到响应门檻，则依据频率偏差、电网电压及电池SOC情况作出判断及响应，若频率恢复正常或 $SOC < SOC_1$ ，参与响应的电动汽车将进入正常充电状态。

[0018] 上述所说的自抗扰变流器模块中的自抗扰控制器数学模型包括跟踪微分器(tracking differentiator,TD)，扩展状态观测器(extended state observer,ESO)和非线性状态误差反馈控制律(nonlinear state error feedback law,NSEFL)，其中有功-频率的跟踪微分器的表达式为

$$[0019] \quad \begin{cases} \dot{v}_1 = -m_1 f(e, a_0, \delta_0) \\ e = v_1 - f_{ref} \end{cases} \quad (3),$$

[0020] 有功-频率的扩展状态观测器的表达式为

$$[0021] \quad \begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 - \beta_1 e_1 + (\Delta u / 2H) \\ \quad + [P_{ref} - K_d (z_1 - f_{grid})] / 2H \\ \dot{z}_2 = -\beta_2 f(e_1, a_1, \delta_1) \\ e_1 = z_1 - f \end{cases} \quad (4)$$

[0022] 有功-频率的非线性状态误差反馈控制律的表达式为

[0023] 
$$\begin{cases} u_0 = m_2 f(e_2, a_2, \delta_2) \\ \Delta u = 2H(u_0 - z_2) - [P_{ref} - K_d(z_1 - f_{grid})] \\ e_2 = v_1 - z_1 \end{cases} \quad (5)$$

[0024] 其中最优控制函数为

[0025] 
$$f(e, a, \delta) = \begin{cases} |e|^a \operatorname{sgn}(e), & |e| > \delta \\ e / \delta^{1-a}, & |e| \leq \delta \end{cases} \quad (6)$$

[0026] 自抗扰变流器模块的工作模式的开关选择表如表1所示,自抗扰控制器的参数选取如表2所示

[0027] 表1自抗扰变流器模块开关说明

参数	取值
a0	0.5
a1	1
a2	0.5

[0029] 表2自抗扰控制器参数表

$\delta 1$	$5 \times 10^{-6}$
$\delta 2$	$5 \times 10^{-6}$
$\delta 3$	$5 \times 10^{-6}$
$\beta 1$	$2 \times 10^4$
$\beta 2$	$1.33 \times 10^6$
m1	1000
m2	2000

[0031] 自抗扰变流器模块工作在正常充放电模式和下垂模式两种不同的工作状态,由开关来控制不同模式之间的切换,当其工作在正常充放电模式,Sp处于1,Sq处于断开,自抗扰变流器模块跟踪外部给定的参考功率值输出有功、无功功率;当其工作在下垂模式时,Sp处于2,Sq处于闭合,自抗扰变流器模块则根据电网频率和电压偏离其额定值的程度,在给定

值的基础上自动调节向电网输出的有功、无功功率,从而参与电网一次调频与调压,保障电网的频率和电压稳定。

[0032] 上述所说的DC/DC变换器模块是指利用跟踪微分器控制保证直流母线的电压稳定,跟踪微分器调节电容C1端电压和C1电压参考值后输出电感电流IL1的参考值,再将其与其差值输入自抗扰控制器,经调节后输出控制信号进行控制。

[0033] 本发明的工作原理:

[0034] 本案所涉及的基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电装置的工作原理为:功率与模式决策模块作为决策器,决定自抗扰变流器模块基本的输出/输入有功功率值以及自抗扰变流器的工作模式;自抗扰控制器根据功率与模式决策模块的设定值输出控制变流器的PWM信号;采用跟踪微分器控制DC/DC变换器保证直流母线电压保持不变实现直流侧功率自动双向流动,向电网输出/吸收有功功率和无功功率。

[0035] 本发明的优越性和技术效果在于:利用自抗扰控制的变流器系统的更加稳定,自抗扰控制器的参数调节比PID调节方便,同时其参数适应范围广,自抗扰控制器中含有积分模块,可以做到无差调节。采用跟踪微分器控制的DC/DC变换器可以做到无超调保持直流母线电压。自抗扰控制变流器模块可以根据电网频率和电动汽车的荷电状态自主调节电动汽车的充放电功率以及自抗扰变流器模块的工作模式,使充电装置更稳定实现电动汽车的充放电过程,并精准地实现基于电动汽车V2G的频率支撑。

## 附图说明

[0036] 附图1为本发明的总体结构示意图。

[0037] 附图2为本发明的功率与模式决策逻辑示意图。

[0038] 附图3为本发明的有功-频率自抗扰控制器示意图。

[0039] 附图4为本发明的无功-电压自抗扰控制器示意图。

[0040] 附图5为本发明的直流侧DC/DC变换器控制示意图。

## 具体实施方式

[0041] 为了达到上述发明目的,本发明提供了一种基于自抗扰控制技术的电动汽车V2G充放电方法,其特征在于,至少包括以下步骤:

[0042] 步骤A、确定电动汽车充放电系统的整体结构

[0043] 步骤B、计算电网频率和额定值偏差、电动汽车需求充电的电量和其允许放的电量。

[0044] 步骤C、根据频率偏差决定变流器系统的控制模式

[0045] 步骤D、求出变流器系统的参考功率设定值。

[0046] 步骤E、在自抗扰控制策略控制下逆变器根据参考功率设定值和工作模式设定值对电动汽车进行充放电。

[0047] 上述所说的整体结构包括:电量计算、功率与模式决策模块、自抗扰变流器模块以及DC/DC变换器模块4个部分组成。其中,本发明的总体结构示意图如附图1所示,本发明的功率与模式决策模块逻辑图如附图2所示,本发明的自抗扰控制器如附图3所示,本发明的直流侧DC/DC变换器控制如附图4所示,

[0048] 上述所说的电量计算模块是指电动汽车需要充电的电能 $E_c$ 和其允许放电的电能 $E_d$ ,由连接到充放电装置的电动汽车的荷电状态以及用户设置的电量上下限值计算出。其公式为:

$$\begin{cases} E_c = V_t Q (SOC_{max} - SOC), E_c \geq 0 \\ 0, E_c < 0 \end{cases} \quad (1)$$

[0049]

$$\begin{cases} E_d = V_t Q (SOC - SOC_{min}), E_d \geq 0 \\ 0, E_d < 0 \end{cases} \quad (2)$$

[0050] 式中: $V_t$ 为电动汽车电池组的端电压; $Q$ 为电动汽车电池组的额定容量; $SOC$ (state of charge)为电动汽车当前电池电量值。

[0051] 上述所说的功率与模式决策模块是指为得到自抗扰变流器模块的工作模式以及自抗扰变流器模块运行所需的实测值和设定值。

[0052] 在每一检测周期里,电量测量单元对检测到的频率信号 $f_t$ 和电压信号 $V_g$ 进行处理,将得到的频率偏差信号 $\Delta f_t$ 送入响应控制器,响应控制器将频率偏差信号与响应门檻进行比较:(1)若偏差未达到最低响应门檻,则电动汽车将处于保持状态(即不响应状态),控制自抗扰变流器处于正常的充放电模式( $S_p$ 处于1, $S_q$ 处于断开);(2)若偏差达到响应门檻,则依据频率偏差、电网电压及电池SOC情况作出判断及响应(以频率响应为例):若电网频率偏低,即 $\Delta f_t < 0$ ,且电池的SOC满足 $SOC \geq SOC_1$ ,则频率响应控制器依据所属响应级别,依据自抗扰控制器的下垂控制模式调整电动汽车充电功率(减小充电功率或对电网进行放电),将所测得的电网电压 $V_g$ 、下垂控制所需要的有功设定值 $P_{set}$ 以及电网当前频率 $f_{grid}$ 做为自抗扰控制器需要的信息送入自抗扰控制器;否则(即 $SOC < SOC_1$ ),电动汽车不进行响应。若频率恢复正常或 $SOC < SOC_1$ ,参与响应的电动汽车将进入正常充电状态。本发明的功率与模式决策模块逻辑图如附图2所示。

[0053] 上述所说的自抗扰变流器模块中的自抗扰控制器数学模型包括跟踪微分器(tracking differentiator,TD),扩展状态观测器(extended state observer,ESO)和非线性状态误差反馈控制律(nonlinear state error feedback law,NSEFL),其中有功-频率的跟踪微分器的表达式为

$$\begin{cases} \dot{v}_1 = -m_1 f(e, a_0, \delta_0) \\ e = v_1 - f_{ref} \end{cases} \quad (3),$$

[0055] 有功-频率的扩展状态观测器的表达式为

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 - \beta_1 e_1 + (\Delta u / 2H) \\ \quad + [P_{ref} - K_d (z_1 - f_{grid})] / 2H \\ \dot{z}_2 = -\beta_2 f(e_1, a_1, \delta_1) \\ e_1 = z_1 - f \end{cases} \quad (4)$$

[0057] 有功-频率的非线性状态误差反馈控制律的表达式为



$$[0058] \quad \begin{cases} u_0 = m_2 f(e_2, a_2, \delta_2) \\ \Delta u = 2H(u_0 - z_2) - [P_{ref} - K_d(z_1 - f_{grid})] \\ e_2 = v_1 - z_1 \end{cases} \quad (5)$$

[0059] 其中最优化控制函数为

$$[0060] \quad f(e, a, \delta) = \begin{cases} |e|^a \operatorname{sgn}(e), |e| > \delta \\ e / \delta^{1-a}, |e| \leq \delta \end{cases} \quad (6)$$

[0061] 无功-电压的跟踪微分器的表达式为

$$[0062] \quad \begin{cases} \dot{v}_1 = -m_1 f(e, a_0, \delta_0) \\ e = v_1 - V_{ref} \end{cases} \quad (7)$$

[0063] 无功-电压的扩展状态观测器的表达式为

$$[0064] \quad \begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 - \beta_1 e_1 + \left( \frac{1}{2H} \Delta u \right) + [Q_{ref} - K_d(z_1 - V_g)] \frac{1}{2H} \\ \dot{z}_2 = -\beta_2 f(e_1, a_1, \delta_1) \\ e_1 = z_1 - f \end{cases} \quad (8)$$

[0065] 无功-电压的非线性状态误差反馈控制律的表达式为

$$[0066] \quad \begin{cases} u_0 = m_2 f(e_2, a_2, \delta_2) \\ \Delta u = 2H(u_0 - z_2) - [Q_{ref} - K_d(z_1 - V_g)] \\ e_2 = v_1 - z_1 \end{cases} \quad (9)$$

[0067] 自抗扰变流器模块的工作模式的开关选择表如表1所示,自抗扰控制器的参数选取如表2所示

[0068] 表1自抗扰变流器模块开关说明

参数	取值
a0	0.5
a1	1
a2	0.5

[0070] 表2自抗扰控制器参数表

$\delta 1$	$5*10^{-6}$
$\delta 2$	$5*10^{-6}$
$\delta 3$	$5*10^{-6}$
$\beta 1$	$2*10^4$
$\beta 2$	$1.33*10^6$
m1	1000
m2	2000

[0072] 自抗扰变流器模块工作在正常充放电模式和下垂模式两种不同的工作状态,由开关来控制不同模式之间的切换。当其工作在正常充放电模式, $S_p$ 处于1, $S_q$ 处于断开,自抗扰变流器模块跟踪外部给定的参考功率值输出有功、无功功率;当其工作在下垂模式时, $S_p$ 处于2, $S_q$ 处于闭合,自抗扰变流器模块则根据电网频率和电压偏离其额定值的程度,在给定值的基础上自动调节向电网输出的有功、无功功率,从而参与电网一次调频与调压,保障电网的频率和电压稳定,电动汽车充放电的电路拓扑结构以及控制框图如图1所示,有功-频率自抗扰控制器的控制框图如附图3所示,无功-电压自抗扰控制器的控制框图如附图4所示。

[0073] 上述所说的DC/DC变换器模块是指利用跟踪微分器控制保证直流母线的电压稳定。跟踪微分器调节电容C1端电压和C1电压参考值后输出电感电流IL1的参考值,再将其与其差值输入自抗扰控制器,经调节后输出控制信号进行控制,本发明中自抗扰变流器模块

的DC/DC变换器模块采用跟踪微分器控制,其控制框图如附图5所示。

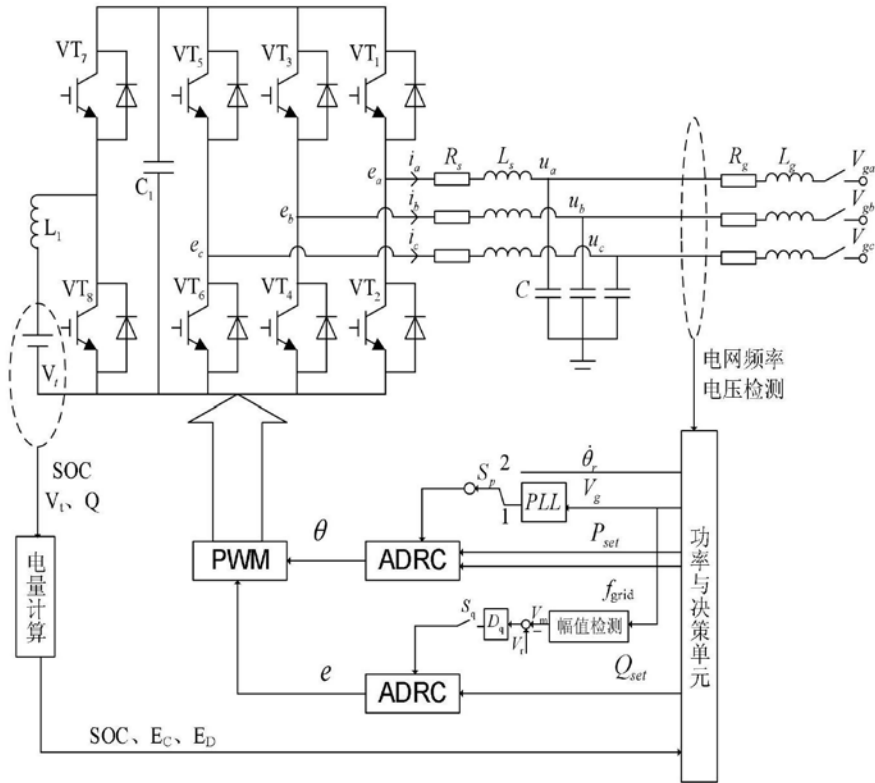


图1

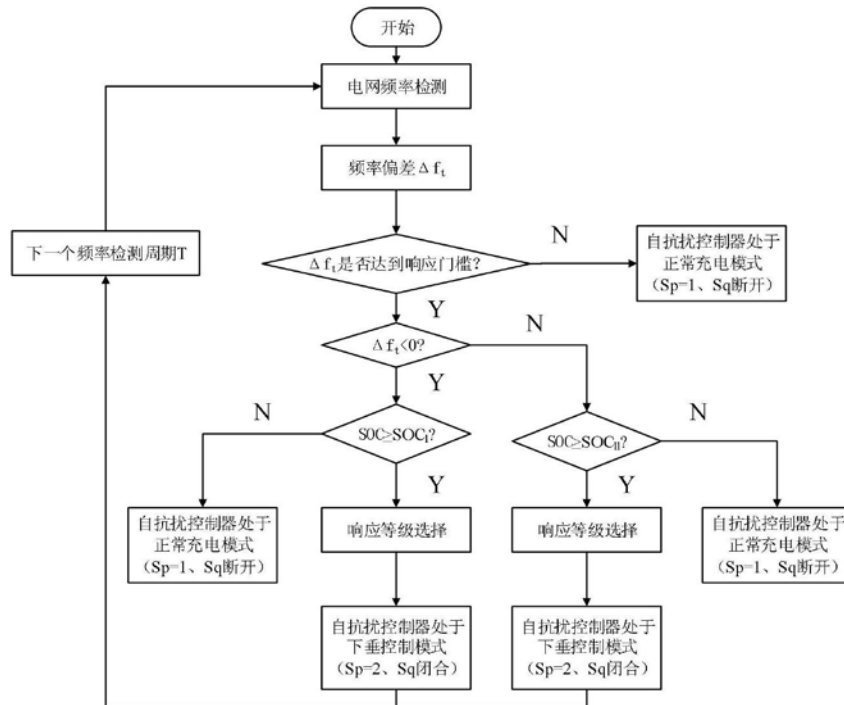


图2

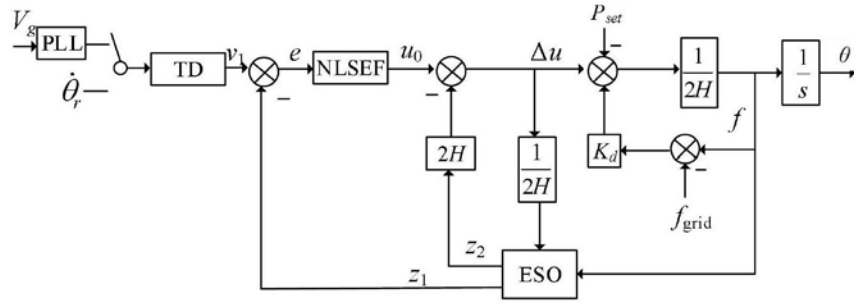


图3

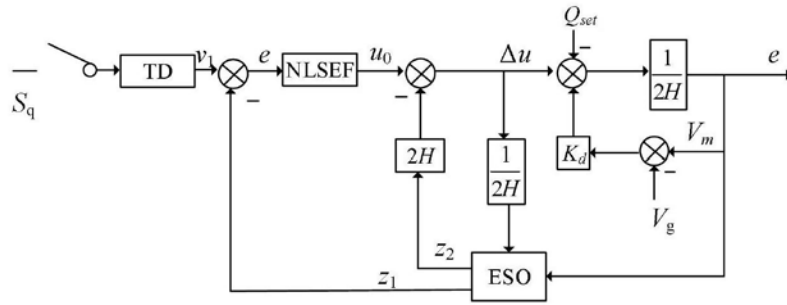


图4

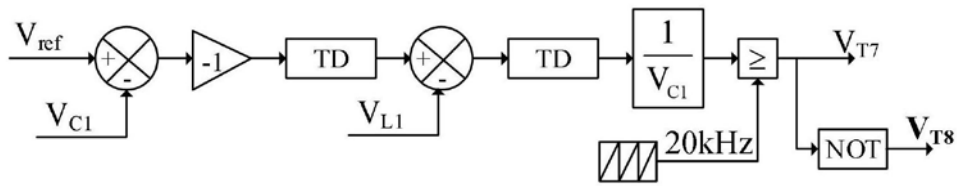


图5