



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109067284 B

(45) 授权公告日 2021.01.15

(21) 申请号 201810928695.8

(22) 申请日 2018.08.15

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109067284 A

(43) 申请公布日 2018.12.21

(73) 专利权人 江门市蒙德电气股份有限公司  
地址 529040 广东省江门市江海区高新工  
业区永康路49号

(72) 发明人 李德良

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有  
限公司 44205

代理人 林伟峰

(51) Int. Cl.

H02P 21/18 (2016.01)

H02P 21/05 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103926839 A, 2014.07.16

王志龙,等.“全向移动机器人电控系统设计”.《自动化与仪表》.2012,(第09期),

审查员 王宇

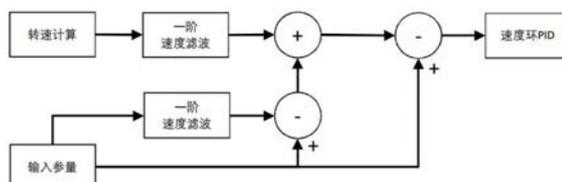
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

## (54) 发明名称

一种基于滤波误差的电机控制方法及装置

## (57) 摘要

本发明涉及一种基于滤波误差的电机控制方法及装置,其中方法包括:S21、将电机反馈速度进行一阶速度滤波,并且将指令速度进行一阶速度滤波;S22、将原指令速度与一阶滤波后的指令速度进行差值运算,并且将该差值运算的结果与一阶滤波的电机反馈速度进行求和运算,得到求和速度;S23、将所述求和速度与原指令速度进行差值运算,然后将运算结果传输到速度环PID处理模块。其中的装置包括存储器、处理器及储存在存储器上并能够在处理器上运行的微计算程序,所述处理器执行所述程序时实现上述的方法。



1. 一种基于滤波误差的电机速度环控制方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

S21、当检测到电机反馈转速小于一速度阈值时,将电机反馈速度进行一阶速度滤波,并且将指令速度进行一阶速度滤波,其中所述速度阈值小于或等于60rpm;

S22、将原指令速度与一阶滤波后的指令速度进行差值运算,并且将该差值运算的结果与一阶滤波的电机反馈速度进行求和运算,得到求和速度;

S23、将所述求和速度与原指令速度进行差值运算,然后将运算结果传输到速度环PID处理模块。

2. 一种电机控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

A、进行电机电流采样,然后将采集的反馈电流依次经过CLARK变换和PARK变换得到矢量电流;

B、通过编码器对电机进行位置采样,获得电机的反馈位置和计算得到电机反馈速度;

C、基于路径规划,计算出电机的速度输入参量;

D、基于指令速度和换算的指令电流进行PID控制;

E、通过电流环PID处理模块的输出电压分量以及速度环PID处理模块的输出量,计算矢量电压,并依次经过IPARK变换和ICLARK变换后,输出用于控制电机的三相电压,

其中,在所述步骤D中还执行如权利要求1所述的方法;

其中,在所述步骤C中还执行以下方法:

S51、判断目标点与当前位置的距离是否大于预设的阈值;

S52、如果所述距离大于阈值,则通过三角形匀加速方式规划输入至电机指令速度,否则通过速度纯比例跟踪方式规划输入至电机指令速度;

S53、通过时间离散化的方式计算电机指令速度并限制指令速度的加速度,使得伺服电机控制过程中的超调量不超过20%;

其中,所述步骤S52中通过三角形匀加速方式规划的目标速度的计算公式为

$V_{\max} = -at + \sqrt{(at)^2 + 2aS}$ ,其中,S为目标点与当前位置的距离,a为最大允许加速度,t为当前位置到位拐角所需的时间常数,速度纯比例跟踪规划的目标速度的计算公式为 $V_{\max} = S/t$ ,

其中,所述步骤A还包括以下电机电流的采样步骤:

S41、根据电机的一个控制周期,在预设的一个或多个时刻发起一个或多个采样;

S42、在发起采样的每个时刻提前一预设时间,分别捕捉电机电流数据;

S43、计算所述控制周期内捕捉的电机电流数据的平均电流值,将多个控制周期的计算得到的多个平均电流值按时间维度进行插值,得到沿时间维度的连续的电流采样值曲线;

其中,所述步骤A还包括:每隔一段时间,检测电流采样值曲线在一时间范围内的斜率跳变值是否超过一阈值,是则调整所述预设时间;每隔一段时间,判断所计算的多个控制周期的平均电流值之间的抖动值是否超过一电流抖动阈值,是则调整所述预设时间,统计所采集和计算的多个平均电流值之间的抖动值,选取抖动值最少的对应的预设时间为特定预设时间,并利用所述特定预设时间进行电机电流采样。

3. 根据权利要求2所述的电机控制方法,其特征在于,所述步骤D包括:

S11、将输入的指令速度与电机反馈速度的速度差经过速度环PID处理模块处理后获得指令电流值;

S12、将指令电流值通过由确定延迟配置的前馈单元的处理后,与采集所得的矢量电流值进行差值处理,获得电流差值,然后将电流差值经过电流环PID处理模块处理后获得电压分量;

S13、基于指令电流值通过微分处理模块处理得到的电流微分结果与所述电流环PID处理模块处理得到的电压分量,使矢量电压计算模块进行矢量电压计算。

4. 根据权利要求3所述的电机控制方法,其特征在于,所述步骤S12包括:

将通过前馈单元处理后的指令电流值依次进行两次Z反变换,然后,变换后的电流值减去矢量电流得到电流差值。

5. 根据权利要求4所述的电机控制方法,其特征在于,所述步骤S13包括:

将原指令电流值和经过一次Z反变换的指令电流值一起通过微分处理模块处理得到的电流微分结果值。

6. 根据权利要求5所述的电机控制方法,其特征在于,所述步骤S13还包括:

将指令电流值通过微分处理模块处理后,再经过电流环PID处理模块处理,然后将得到的结果值连同所述电流环PID处理模块处理得到的电压分量一起传输到矢量电压计算模块进行矢量电压计算。

7. 一种微计算装置,包括存储器、处理器及储存在存储器上并能够在处理器上运行的微计算程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时实现如权利要求1至6中任一项所述的方法。

8. 一种计算机可读存储介质,其上储存有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至6中任一项所述的方法。

## 一种基于滤波误差的电机控制方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于滤波误差的电机控制方法及装置,属于电机电气控制领域。

### 背景技术

[0002] 当今的闭环自动控制技术都是基于反馈以减少不确定性。反馈理论的要素包括三个部分:测量、比较和执行。测量关键的是被控变量的实际值,与期望值相比较,用这个偏差来纠正系统的响应,执行调节控制。在工程实际中,应用最为广泛的PID控制器(比例-积分-微分控制器)由比例单元P、积分单元I和微分单元D组成。PID控制的基础是比例控制;积分控制可消除稳态误差,但可能增加超调;微分控制可加快大惯性系统响应速度以及减弱超调趋势。

[0003] 经典的伺服电机控制回路如图1所示,控制路线左边为采样/输入端,右边为控制输出端。将电机电流采样、电机的位置传感器(编码器)位置采样以及路径规划计算的指令参量作为控制回路输入。一般通过指令参量获得指令速度,结合电机的反馈电流和反馈速度,并且由电流环和速度环处理得到电机的驱动电压,以驱动电机进行期望的转向和转动量。

[0004] 此外,因为伺服电机的调速范围很大,而编码器分辨率有限,有需要增加滤波环节,以达到高精度的低速控制。但是,如果只对反馈速度进行滤波,会令动态调速性能变差。假如输入一个加速时间与速度滤波时间常数相同的斜坡指令输入信号,经过PID控制器后,导致超调量可以达到50%,使电机低速抖动严重。

### 发明内容

[0005] 本发明提供一种基于滤波误差的电机控制方法及装置。

[0006] 本发明的技术方案第一方面为一种基于滤波误差的电机速度环控制方法,所述方法包括以下步骤:

[0007] S21、将电机反馈速度进行一阶速度滤波,并且将指令速度进行一阶速度滤波;

[0008] S22、将原指令速度与一阶滤波后的指令速度进行差值运算,并且将该差值运算的结果与一阶滤波的电机反馈速度进行求和运算,得到求和速度;

[0009] S23、将所述求和速度与原指令速度进行差值运算,然后将运算结果传输到速度环PID处理模块。

[0010] 进一步,所述步骤S21包括:

[0011] 当检测到电机反馈转速小于一速度阈值时,将电机反馈速度进行一阶速度滤波,并且将指令速度进行一阶速度滤波,其中所述速度阈值小于或等于60rpm。

[0012] 本发明的技术方案第二方面为一种电机控制方法,包括以下步骤:

[0013] A、进行电机电流采样,然后将采集的反馈电流依次经过CLARK变换和PARK变换得到矢量电流;

[0014] B、通过编码器对电机进行位置采样,获得电机的反馈位置和计算得到电机反馈速

度；

[0015] C、基于路径规划,计算出电机的速度输入参量；

[0016] D、基于指令速度和换算的指令电流进行PID控制；

[0017] E、通过电流环PID处理模块的输出电压分量以及速度环PID处理模块的输出量,计算矢量电压,并依次经过IPARK变换和ICLARK变换后,输出用于控制电机的三相电压,

[0018] 其中,在所述步骤D中还执行上述的方法。

[0019] 进一步,所述步骤A还包括以下电机电流的采样步骤:

[0020] S41、根据电机的一个控制周期,在预设的一个或多个时刻发起一个或多个采样;

[0021] S42、在发起采样的每个时刻提前一预设时间,分别捕捉电机电流数据;

[0022] S43、计算所述控制周期内捕捉的电机电流数据的平均电流值。

[0023] 进一步,所述步骤D包括:

[0024] S11、将输入的指令速度与电机反馈速度的速度差经过速度环PID处理模块处理后获得指令电流值;

[0025] S12、将指令电流值通过由所述确定延迟配置的前馈单元的处理后,与采集所得的矢量电流值进行差值处理,获得电流差值,然后将电流差值经过电流环PID处理模块处理后获得电压分量;

[0026] S13、基于指令电流值通过微分处理模块处理得到的电流微分结果与所述电流环PID处理模块处理得到的电压分量,使矢量电压计算模块进行矢量电压计算。

[0027] 进一步,所述步骤S12包括:

[0028] 将通过前馈单元处理后的指令电流值依次进行两次Z反变换,然后,变换后的电流值减去矢量电流得到电流差值。

[0029] 进一步,所述步骤S13包括:

[0030] 将原指令电流值和经过一次Z反变换的指令电流值一起通过微分处理模块处理得到的电流微分结果值。

[0031] 进一步,所述步骤S13还包括:

[0032] 将指令电流值通过微分处理模块处理后,再经过电流环PID处理模块处理,然后将得到的结果值连同所述电流环PID处理模块处理得到的电压分量一起传输到矢量电压计算模块进行矢量电压计算。

[0033] 本发明的技术方案第三方面为一种微计算装置,包括存储器、处理器及储存在存储器上并能够在处理器上运行的微计算程序,所述处理器执行所述程序时实现上述的方法。

[0034] 本发明的技术方案第四方面为一种计算机可读存储介质,其上储存有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述的方法。

[0035] 本发明的有益效果为:改进了现有的伺服电机控制技术;提高实际速度与指令速度的契合度,从而提高点击的动态性能;在同样的PID控制单元的电流增益的参数下,可以减少电机低速控制情况下的超调量,从而减少电机受控过程中的低速抖动。

## 附图说明

[0036] 图1所示为经典的伺服电机控制回路。

- [0037] 图2所示为根据本发明第一实施例中的控制方法的方框图。
- [0038] 图3所示为根据本发明第二实施例中的电机控制方法的方框图。
- [0039] 图4所示为根据本发明第三实施例中的电流采样方法的示意图。

### 具体实施方式

[0040] 以下将结合实施例和附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果进行清楚、完整的描述,以充分地理解本发明的目的、方案和效果。

[0041] 需要说明的是,如无特殊说明,当某一特征被称为“固定”、“连接”在另一个特征,它可以直接固定、连接在另一个特征上,也可以间接地固定、连接在另一个特征上。此外,本公开中所使用的上、下、左、右等描述仅仅是相对于附图中本公开各组成部分的相互位置关系来说的。在本公开中所使用的单数形式的“一种”、“所述”和“该”也旨在包括多数形式,除非上下文清楚地表示其他含义。此外,除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与本技术领域技术人员通常理解的含义相同。本文说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例,而不是为了限制本发明。本文所使用的术语“和/或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的组合。

[0042] 应当理解,尽管在本公开可能采用术语第一、第二、第三等来描述各种元件,但这些元件不应限于这些术语。这些术语仅用来将同一类型的元件彼此区分开。例如,在不脱离本公开范围的情况下,第一元件也可以被称为第二元件,类似地,第二元件也可以被称为第一元件。本文所提供的任何以及所有实例或示例性语言(“例如”、“如”等)的使用仅意图更好地说明本发明的实施例,并且除非另外要求,否则不会对本发明的范围施加限制。

[0043] 参照图2,根据本发明的一种基于滤波误差的电机速度环控制方法,包括以下步骤:

[0044] S21、将电机反馈速度进行一阶速度滤波,并且将指令速度进行一阶速度滤波;

[0045] S22、将原指令速度与一阶滤波后的指令速度进行差值运算,并且将该差值运算的结果与一阶滤波的电机反馈速度进行求和运算,得到求和速度;

[0046] S23、将所述求和速度与原指令速度进行差值运算,然后将运算结果传输到速度环PID处理模块。

[0047] 进一步,所述步骤S21包括:当检测到电机反馈转速小于一速度阈值时,将电机反馈速度进行一阶速度滤波,并且将指令速度进行一阶速度滤波,其中所述速度阈值小于或等于 60rpm。

[0048] 本文还提供电机控制方法,基于上述的速度环控制方法,进一步减低电机的控制超调量和提升动态响应。

[0049] 所述的电机控制方法包括以下步骤:

[0050] A、进行电机电流采样,然后将采集的反馈电流依次经过CLARK变换和PARK变换得到矢量电流;

[0051] B、通过编码器对电机进行位置采样,获得电机的反馈位置和计算得到电机反馈速度;

[0052] C、基于路径规划,计算出电机的速度输入参量;

[0053] D、基于指令速度和换算的指令电流进行PID控制;

[0054] E、通过电流环PID处理模块的输出电压分量以及速度环PID处理模块的输出量,计算矢量电压,并依次经过IPARK变换和ICLARK变换后,输出用于控制电机的三相电压,

[0055] 在步骤A中,可以执行以下的电流采样步骤:S41、根据电机的一个控制周期,在预设的一个或多个时刻发起一个或多个采样,优选地至少在电机控制周期的起始时刻和中间时刻分别发起采样;S42、在发起采样的每个时刻提前一预设时间(至少小于控制周期的四分之一),分别捕捉电机电流数据;S43、计算控制周期内捕捉的电机电流数据的平均电流值。步骤S43还包括:将多个控制周期的计算得到的多个平均电流值按时间维度进行插值,得到沿时间维度的连续的电流采样值曲线。这样也可以通过离散时刻采样和计算的电流数值,估算出连续的时间对应的电流数值作为机电闭环控制的反馈电流输入值。在进一步的实施例中,电机电流采样方法还包括以下步骤:每隔一段时间,检测电流采样值曲线在一段时间范围内的斜率跳变值,如果该斜率跳变值超过一阈值(例如20%),是则调整所述的预设时间T。在进一步的实施例中,电机电流采样方法还包括以下步骤:每隔一段时间,判断所计算的多个控制周期的平均电流值之间的抖动值是否超过一电流抖动阈值,是则调整所述的预设时间T。在进一步的实施例中,电机电流采样方法还包括以下步骤:整定调节所述的预设时间T,使得在后续的多个控制周期的平均电流值之间的抖动值小于预设的电流抖动阈值。这种整定方式类似于PID控制中的参数整定。例如,可以在一定的范围内持续调整预设时间T,然后统计所采集和计算的平均电流值之间的抖动值,选取抖动值最少的对应的预设时间T作为当前应用场景的特定的预设时间Tx值;后续利用该Tx值进行电机电流采样。

[0056] 在步骤C中可以执行以下路径规划方法步骤:S51、判断目标点与当前位置的距离是否大于预设的阈值;S52、如果所述距离大于阈值,则通过三角形匀加速方式规划输入至电机指令速度,否则通过速度纯比例跟踪方式规划输入至电机指令速度;S53、限制指令速度的加速度,使得伺服电机控制过程中的超调量不超过20%。其中,所述阈值为伺服控制系统一个控制周期内电机的额定转速可以运动到的距离。在所述步骤S52中,通过三角形匀加速方式规划的目标速度的计算公式为  $V_{max} = -at + \sqrt{(at)^2 + 2aS}$ , 其中,S为目标点与当前位置的距离,a为最大允许加速度,t为当前位置到位拐角所需的时间常数。在所述步骤S52中,通过速度纯比例跟踪规划的目标速度的计算公式为  $V_{max} = S/t$ , 其中,S为目标点与当前位置的距离,t为当前位置到位拐角所需的时间常数。所述步骤S53还包括:通过时间离散化的方式计算电机指令速度,并且使每一个离散化的时间段计算的指令速度的加速度不超过电机伺服控制系统的最大允许加速度。进一步,通过时间离散化的方式计算电机指令速度的公式为  $V1 = V0 + \text{limit}(V_{max} - V0, a * dT)$ , 其中,V0为当前的电机速度为,dT为离散化时间,Vmax为目标速度,a为最大允许加速度,式中的limit为离散饱和计算函数,用于使Vmax和V0之间的离散递增斜率不超过a。

[0057] 在步骤D中执行步骤S21至S23。此外,在步骤D中,如图3所示,还可以执行以下步骤:S11、将输入的指令速度与电机反馈速度的速度差经过速度环PID处理模块处理后获得指令电流值;S12、将指令电流值通过由所述确定延迟配置的前馈单元的处理后,与采集所得的矢量电流值进行差值处理,获得电流差值,然后将电流差值经过电流环PID处理模块处理后获得电压分量;S13、基于指令电流值通过微分处理模块处理得到的电流微分结果

与前述电流环PID处理模块处理得到的电压分量,使矢量电压计算模块进行矢量电压计算。在所述步骤S12中,所述确定延迟例如是图2所示的两倍计算周期。在本实施例中,通过确定的延迟时间,配置前馈控制单元,补偿指令电流的时间滞后;从而在同样电流增益下,可以使电机响应的超调量降低。例如,在三相电机的控制场景中,经过实际的电机控制调试,抑制超调量20%内,电流增益 $K_{p\_I}$ 必须减小到25%以内,采用前馈单元可以在同样的电流增益下将超调量降低5%。进一步,所述步骤S12包括:将通过前馈单元处理后的指令电流值依次进行两次Z反变换( $Z^{-1}$ ),如图3所示,然后,变换后的电流值减去矢量电流得到电流差值。进一步,所述步骤S13包括:将原指令电流值和经过一次Z反变换的指令电流值一起通过微分处理模块处理得到的电流微分结果值。进一步,所述步骤S13还包括:将指令电流值通过微分处理模块处理后,再经过电流环PID处理模块处理,然后将得到的结果值连同所述电流环PID处理模块处理得到的电压分量一起传输到矢量电压计算模块进行矢量电压计算。

[0058] 应当认识到,本发明的方法的实施例可以由微计算硬件、硬件和软件的组合、或者通过存储在非暂时性微计算可读存储器中的微计算指令来实现或实施。微计算硬件可以是单片机、FPGA、PLC等工控元件和设备。所述方法可以使用标准编程技术。每个程序可以以高级过程或面向对象的编程语言来实现以与微计算系统通信。然而,若需要,该程序可以以汇编或机器语言实现。在任何情况下,该语言可以是编译或解释的语言。此外,为此目的该程序能够在编程的专用集成电路上运行。

[0059] 此外,可按任何合适的顺序来执行本文描述的过程的操作,除非本文另外指示或以其他方式明显地与上下文矛盾。本文描述的过程(或变型和/或其组合)可在配置有可执行指令的一个或多个微计算系统的控制下执行,并且可作为共同地在一个或多个处理器上执行的代码(例如,可执行指令、一个或多个微计算程序或一个或多个应用)、由硬件或其组合来实现。所述微计算程序包括可由一个或多个处理器执行的多个指令。

[0060] 进一步,所述方法可以在可操作地连接至合适的任何类型的计算平台中实现,包括但不限于个人电脑、迷你微计算、主框架、工作站、网络或分布式计算环境、单独的或集成的微计算平台、或者与带电粒子工具或其它成像装置通信等等。本发明的各方面可以以存储在非暂时性存储介质或设备上的机器可读代码来实现,无论是可移动的还是集成至计算平台,如硬盘、光学读取和/或写入存储介质、RAM、ROM等,使得其可由可编程微计算读取,当存储介质或设备由微计算读取时可用于配置和操作微计算以执行在此所描述的过程。此外,机器可读代码,或其部分可以通过有线或无线网络传输。当此类媒体包括结合微处理器或其他数据处理器实现上文所述步骤的指令或程序时,本文所述的发明包括这些和其他不同类型的非暂时性微计算可读存储介质。当根据本发明所述的方法和技术编程时,本发明还包括微计算本身。

[0061] 微计算程序能够应用于输入数据以执行本文所述的功能,从而转换输入数据以生成存储至非易失性存储器的输出数据。输出信息还可以应用于一个或多个输出设备如显示器。在本发明优选的实施例中,转换的数据表示物理和有形的对象,包括显示器上产生的物理和有形对象的特定视觉描绘。

[0062] 以上所述,只是本发明的较佳实施例而已,本发明并不局限于上述实施方式,只要其以相同的手段达到本发明的技术效果,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修

改、等同 替换、改进等,均应包含在本发明保护的范围之内。在本发明的保护范围内其技术方案和/ 或实施方式可以有各种不同的修改和变化。



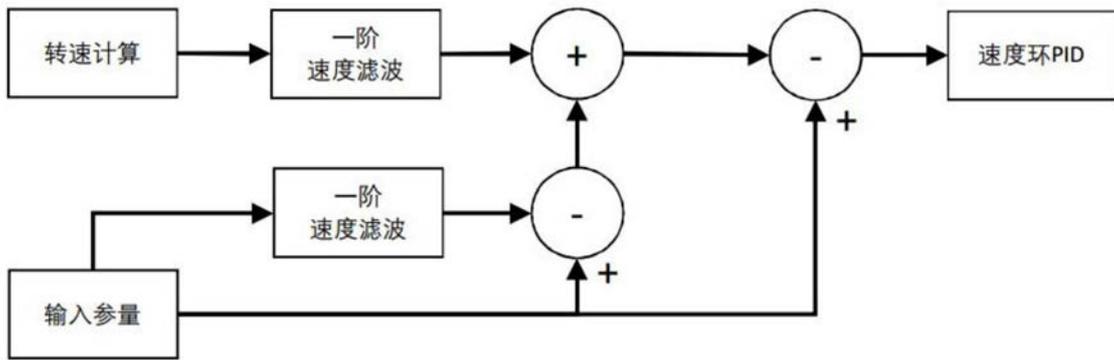


图2

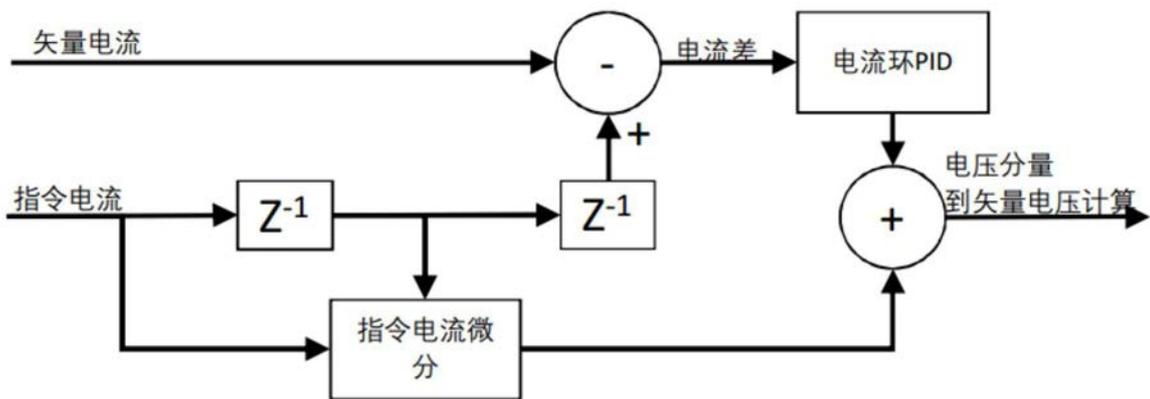


图3

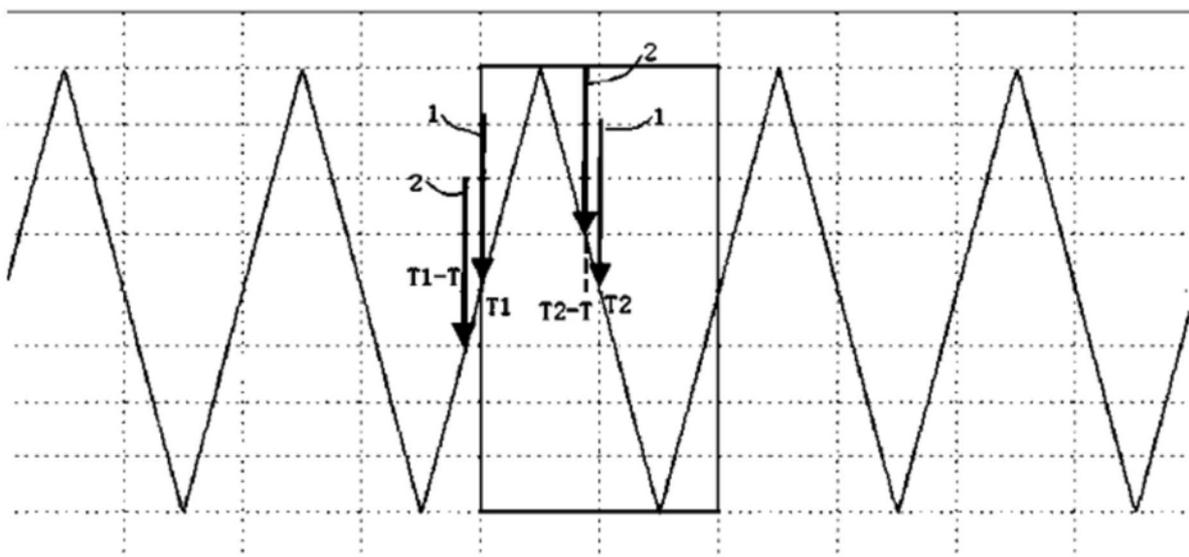


图4