



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110696909 B

(45) 授权公告日 2022.09.02

(21) 申请号 201910603733.7

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2019.07.05

B62D 5/04 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110696909 A

(56) 对比文件

CN 105984492 A, 2016.10.05

(43) 申请公布日 2020.01.17

CN 107826163 A, 2018.03.23

(30) 优先权数据

CN 107074275 A, 2017.08.18

2018-130197 2018.07.09 JP

CN 104071212 A, 2014.10.01

(73) 专利权人 株式会社捷太格特

CN 105564501 A, 2016.05.11

地址 日本爱知县

CN 107786141 A, 2018.03.09

专利权人 丰田自动车株式会社

CN 105691451 A, 2016.06.22

(72) 发明人 都甲高广 片冈伸文 江崎之进

JP 2001253356 A, 2001.09.18

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

审查员 张丽霞

专利代理人 唐京桥 刘烨

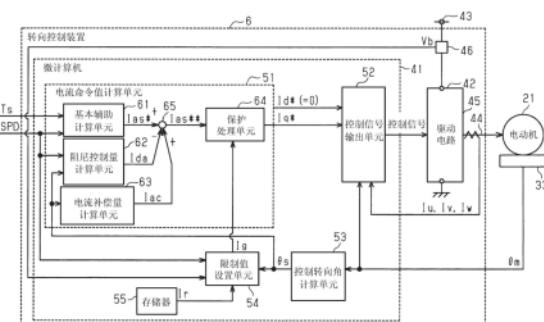
权利要求书2页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

转向控制装置和转向控制方法

(57) 摘要

一种用于转向系统(1)的转向控制装置(6)包括控制器(41)。控制器将限制值设置为小于或等于转向角限制值，限制值是扭矩命令值的绝对值的上限，并且控制电动机使得电动机扭矩遵循扭矩命令。当旋转轴(11)的旋转角的绝对值超过转向角阈值时，控制器计算阻尼控制量，使得阻尼控制量随着旋转轴的角速度超过第一上限角速度的超过量的增加而增加。控制器基于通过将基本命令值和阻尼控制量进行组合使得基本命令值的绝对值减小而获得的值来计算扭矩命令值。



1. 一种用于转向系统(1)的转向控制装置(6),通过使用电动机(21)作为驱动源的致动器(5)来向所述转向系统(1)施加使转向机构(4)的车轮转动轴(12)往复运动的电动机扭矩,所述转向控制装置的特征在于包括:

控制器(41),其被配置成:

计算扭矩命令值,所述扭矩命令值是所述电动机(21)输出的电动机扭矩的目标值;

当旋转轴(11)的旋转角的绝对值超过所述转向系统(1)的转向角阈值时,计算随着所述旋转角的绝对值的增加而减小的转向角限制值,所述旋转轴(11)的旋转角能够转换成耦接至所述车轮转动轴(12)的转向轮(3)的车轮转向角;

将限值设置为小于或等于所述转向角限制值,所述限值是所述扭矩命令值的绝对值的上限;

控制所述电动机(21),使得所述电动机扭矩遵循绝对值被限制为小于或等于所述限值的所述扭矩命令值;

基于转向扭矩计算基本命令值;

当所述旋转角的绝对值超过所述转向角阈值时,计算阻尼控制量,使得所述阻尼控制量随着所述旋转轴(11)的角速度超过根据所述旋转角的绝对值设置的第一上限角速度的超过量的增加而增加;以及

基于通过将所述基本命令值和所述阻尼控制量进行组合使得所述基本命令值的绝对值减小而获得的值来计算所述扭矩命令值。

2. 根据权利要求1所述的转向控制装置(6),其特征在于:

所述控制器(41)被配置成:基于通过从基于预先设置为所述电动机(21)输出的电动机扭矩的额定扭矩的值减去角度限制分量和速度限制分量而获得的值来计算所述转向角限制值;

所述控制器(41)被配置成:当所述旋转角的绝对值超过所述转向角阈值时,计算所述角度限制分量,使得所述角度限制分量随着所述旋转角的绝对值的增加而增加;以及

所述控制器(41)被配置成:计算所述速度限制分量使得所述速度限制分量随着所述旋转轴(11)的角速度超过根据所述旋转角的绝对值设置的第二上限角速度的超过量的增加而增加。

3. 根据权利要求2所述的转向控制装置(6),其特征在于,所述第一上限角速度的绝对值被设置为高于所述第二上限角速度的绝对值。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的转向控制装置(6),其特征在于,所述控制器(41)被配置成将所述限值设置为所述转向角限制值和基于除所述旋转角或所述旋转轴(11)的角速度以外的状态量设置的另一限值中的最小的一个。

5. 根据权利要求4所述的转向控制装置(6),其特征在于,所述控制器(41)被配置成将所述限值设置为所述转向角限制值和基于电源电压设置的另一限值中的最小的一个。

6. 一种用于转向系统(1)的转向控制方法,通过使用电动机(21)作为驱动源的致动器(5)来向所述转向系统(1)施加使转向机构(4)的车轮转动轴(12)往复运动的电动机扭矩,所述转向控制方法的特征在于包括:

通过控制器(41)计算扭矩命令值,所述扭矩命令值是所述电动机(21)输出的电动机扭矩的目标值;

当旋转轴(11)的旋转角的绝对值超过所述转向系统(1)的转向角阈值时,通过所述控制器(41)计算随着所述旋转角的绝对值的增加而减小的转向角限制值,所述旋转轴(11)的旋转角能够转换成耦接至所述车轮转动轴(12)的转向轮(3)的车轮转向角;

通过所述控制器(41)将限值设置为小于或等于所述转向角限制值,所述限值是所述扭矩命令值的绝对值的上限;

通过所述控制器(41)控制所述电动机(21),使得所述电动机扭矩遵循绝对值被限制为小于或等于所述限值的所述扭矩命令值;

通过所述控制器(41)基于转向扭矩来计算基本命令值;

当所述旋转角的绝对值超过所述转向角阈值时,通过所述控制器(41)计算阻尼控制量,使得所述阻尼控制量随着所述旋转轴(11)的角速度超过根据所述旋转角的绝对值设置的第一上限角速度的超过量的增加而增加,以及

通过所述控制器(41)基于通过将所述基本命令值和所述阻尼控制量进行组合使得所述基本命令值的绝对值减小而获得的值来计算所述扭矩命令值。

转向控制装置和转向控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及转向控制装置和转向控制方法。

背景技术

[0002] 包括使用电动机作为驱动源的致动器的电动助力转向装置 (EPS) 被称为车辆转向系统。这样的EPS中的一些以包括超过360°的范围的绝对角度获取方向盘的转向角(转向轮的车轮转向角),并且基于转向角执行各种控制。例如,日本专利第5962881号 (JP 5962881 B) 描述了一种系统,该系统在作为齿条轴的端部的齿条端部撞击齿条壳体之前,通过限制电流命令值来减小由齿条端部的撞击引起的影响(在下文中,称为端部撞击影响),该电流命令值对应于电动机输出的电动机扭矩的目标值,使得电流命令值小于或等于基于转向角的限制值(目标电流限制值)。

发明内容

[0003] 顺便提及,例如,在低 μ 路上,由于小的表面阻力,转向轮容易转动,并且转向轮甚至可以以小扭矩快速转动。因此,如在上述配置的情况下,即使当电流命令值被限制为小于或等于限制值时,转动的惯性可能不会充分衰减,结果可能不会较小端部撞击影响。这样,仍有改进的余地。

[0004] 本发明提供转向控制装置和转向控制方法,即使在低 μ 路上也能够适当地减小端部撞击影响。

[0005] 本发明的第一方面涉及一种用于转向系统的转向控制装置,通过使用电动机作为驱动源的致动器来向转向系统施加使转向机构的车轮转动轴往复运动的电动机扭矩。转向控制装置包括控制器。控制器被配置成计算扭矩命令值,该扭矩命令值是电动机输出的电动机扭矩的目标值。控制器被配置成,当旋转轴的旋转角的绝对值超过转向系统的转向角阈值时,计算随着旋转角的绝对值的增加而减小的转向角限制值。旋转轴的旋转角可转换成耦接至车轮转动轴的转向轮的车轮转向角。控制器被配置成将限制值设置为小于或等于转向角限制值。限制值是扭矩命令值的绝对值的上限。控制器被配置成控制电动机,使得电动机扭矩遵循扭矩命令值,扭矩命令值的绝对值被限制为小于或等于限制值。控制器被配置成基于转向扭矩计算基本命令值。控制器被配置成,当旋转角的绝对值超过转向角阈值时,计算阻尼控制量,使得阻尼控制量随着旋转轴的角速度超过根据旋转角的绝对值设置的第一上限角速度的超过量的增加而增加。控制器被配置成基于通过将基本命令值和阻尼控制量进行组合使得基本命令值的绝对值减小而获得的值来计算扭矩命令值。

[0006] 利用上述配置,计算转向角限制值,以便当旋转轴的旋转角的绝对值超过转向角阈值时减小,旋转轴的旋转角可转换为转向轮的车轮转向角,并且作为电动机输出的电动机扭矩的目标值的扭矩命令值被限制为小于或等于被设置为小于或等于转向角限制值的值的限制值。因此,例如,当转向角阈值被设置为端部附近的值的情况下在端部附近执行转向时,电动机扭矩受到限制,结果是减小了端部撞击影响。另外,利用上述配置,当旋转角的

绝对值超过转向角阈值时,通过使用根据角速度超过第一上限角速度的超过量设置的阻尼控制量减小基本命令值的绝对值来计算扭矩命令值。因此,在转向角阈值被设置在例如端部附近的情况下,当转向轮处于低 μ 路上并且车轮转向速度增加时,阻尼控制量增加,结果是电动机扭矩受到限制。因此,适当地减小了端部撞击影响。

[0007] 在转向控制装置中,控制器可以被配置成基于通过从基于预先设置为电动机输出的电动机扭矩的额定扭矩的值减去角度限制分量和速度限制分量而获得的值来计算转向角限制值。控制器可以被配置成,当旋转角的绝对值超过转向角阈值时,计算角度限制分量,使得角度限制分量随着旋转角的绝对值的增加而增加。控制器可以被配置成计算速度限制分量,使得速度限制分量随着角速度超过根据旋转角的绝对值设置的第二上限角速度的超过量的增加而增加。

[0008] 利用上述配置,通过从额定扭矩减去角度限制分量和速度限制分量来计算转向角限制值,因此,当旋转角超过转向角阈值时,旋转角的进一步增加受到限制,并且容易计算限制旋转轴的角速度的转向角限制值。

[0009] 在转向控制装置中,第一上限角速度的绝对值可以被设置为高于第二上限角速度的绝对值。由于旋转轴的角速度在低 μ 路上倾向于显著高于在正常路面上,所以即使当第一上限角速度增加时,也会出现角速度超过第一上限角速度,并且计算减小基本命令值的绝对值的阻尼控制量。因此,与上述配置的情况一样,当第一上限角速度被设置为高于第二上限角速度时,在低 μ 路上适当地减小端部撞击影响,并且减少了由于在低 μ 路以外的道路上不必要地减少基本命令值的绝对值而引起的对转向感的影响。

[0010] 在转向控制装置中,控制器可以被配置成将限制值设置为转向角限制值和基于除旋转角或角速度以外的状态量设置的另一限制值中的最小值。

[0011] 利用上述配置,在旋转角超过转向角阈值的情况下,考虑到需要限制电动机扭矩的情况来设置限制值,因此根据各种情况适当地限制电动机扭矩。由于转向角限制值和另一限制值中的最小值被设置为限制值,因此限制值不超过转向角限制值,因此,例如,当转向角阈值被设置为端部附近的值时,适当减小端部撞击影响。

[0012] 本发明的第二方面涉及一种用于转向系统的转向控制方法,通过使用电动机作为驱动源的致动器来向转向系统施加使转向机构的车轮转动轴往复运动的电动机扭矩。该转向控制方法包括:通过控制器计算扭矩命令值,该扭矩命令值是电动机输出的电动机扭矩的目标值,当旋转轴的旋转角的绝对值超过转向系统的转向角阈值时,通过控制器计算随着旋转角的绝对值的增加而减小的转向角限制值,旋转轴的旋转角可转换成耦接至车轮转动轴的转向轮的车轮转向角,通过控制器将限制值设置为小于或等于转向角限制值,限制值是扭矩命令值的绝对值的上限,通过控制器控制电动机,使得电动机扭矩遵循扭矩命令值,扭矩命令值的绝对值被限制为小于或等于限制值,通过控制器基于转向扭矩来计算基本命令值,当旋转角的绝对值超过转向角阈值时,通过控制器计算阻尼控制量,使得阻尼控制量随着旋转轴的角速度超过根据旋转角的绝对值设置的第一上限角速度的超过量的增加而增加,通过控制器基于通过将基本命令值和阻尼控制量进行组合使得基本命令值的绝对值减小而获得的值来计算扭矩命令值。

[0013] 根据本发明的各方面,即使在低 μ 路上也适当地减小端部撞击影响。

附图说明

[0014] 下面将参照附图描述本发明的示例性实施方式的特征、优点以及技术和工业意义，其中，相似的附图标记表示相似的元件，并且在附图中：

[0015] 图1是电动助力转向装置的示意配置图；

[0016] 图2是转向控制装置的框图；

[0017] 图3是阻尼控制量计算单元的框图；以及

[0018] 图4是限制值设置单元的框图。

具体实施方式

[0019] 在下文中，将参照附图描述转向控制装置的实施方式。如图1所示，用作为受控对象的转向系统的电动助力转向装置(EPS)1包括转向机构4。转向机构4基于驾驶员对方向盘2的操作来转动转向轮3。EPS 1包括EPS致动器5和转向控制装置6。EPS致动器5用作致动器，其向转向机构4施加用于辅助转向操作的辅助力。转向控制装置6控制EPS致动器5的操作。

[0020] 转向机构4包括旋转轴11、齿条轴12和大致圆柱形的齿条壳体13。方向盘2固定至旋转轴11。齿条轴12用作随着旋转轴11的旋转在轴向方向上往复运动的车轮转动轴。齿条轴12插入齿条壳体13中，使得齿条轴12可以往复运动。旋转轴11由从方向盘2侧依次彼此耦接的柱轴14、中间轴15和小齿轮轴16构成。

[0021] 齿条轴12和小齿轮轴16以预定的交叉角设置在齿条壳体13内。当齿条轴12的齿条齿12a和小齿轮轴16的小齿轮齿16a彼此啮合时，设置齿条齿轮机构17。拉杆19经由齿条端部18耦接至齿条轴12的每个端，以便可枢转。齿条端部18是设置在拉杆19的轴端部的球形接头。拉杆19的远端耦接至转向节(未示出)，转向轮3组装至该转向节。因此，在EPS 1中，由转向操作引起的旋转轴11的旋转被齿条齿轮机构17转换为齿条轴12沿轴向的移动，并且轴向的移动经由拉杆19被传递至转向节，结果是转向轮3的车轮转向角即车辆的行驶方向改变。

[0022] 齿条端部18与齿条壳体13的左端接触的位置是车辆完全可向右转向的位置，并且该位置对应于作为右侧端部位置的齿条端部位置。齿条端部18与齿条壳体13的右端接触的位置是车辆完全可向左转向的位置，并且该位置对应于作为左侧端部位置的齿条端部位置。

[0023] EPS致动器5包括电动机21和减速机构22。电动机21是驱动源。减速机构22是蜗杆和轮。减速机构22耦接至电动机21，并且还耦接至柱轴14。EPS致动器5通过利用减速机构22降低电动机21的旋转速度并将旋转传递至柱轴14来将电动机扭矩作为辅助力施加到转向机构4。采用三相无刷电动机作为本实施方式的电动机21。

[0024] 车速传感器31和扭矩传感器32连接至转向控制装置6。车速传感器31检测车辆的车速SPD。扭矩传感器32检测通过驾驶员的转向施加到旋转轴11的转向扭矩Ts。旋转传感器33连接至转向控制装置6。旋转传感器33以360°的范围内的相对角度检测电动机21的电动机角度θm。当驾驶员沿一个方向(在本实施方式中为右侧)转向时，转向扭矩Ts和电动机角度θm被检测为正值，并且当驾驶员沿另一方向(在本实施方式中为左侧)转向时，转向扭矩Ts和电动机角度θm被检测为负值。转向控制装置6通过基于指示从传感器输入的状态量的

信号向电动机21提供驱动电力来控制EPS致动器5的操作,即,施加到转向机构4以使齿条轴12进行往复运动的辅助力。

[0025] 接下来,将描述转向控制装置6的配置。如图2所示,转向控制装置6包括微计算机41和驱动电路42。微计算机41输出控制信号。驱动电路42基于控制信号向电动机21供应驱动电力。包括多个开关元件(诸如FET)的已知PWM逆变器被用作本实施方式的驱动电路42。微计算机41输出的控制信号调节开关元件的接通/断开状态。因此,开关元件响应于控制信号接通或断开,并且激励每相的电动机线圈的模式切换,结果是车载电源43的直流电力被转换为三相驱动电力并且三相驱动电力被输出至电动机21。下面将描述的控制块由微计算机41运行的计算机程序实现。以预定的采样周期(检测周期)检测状态量,并且以预定的计算周期的间隔执行由下面描述的控制块示出的计算处理。

[0026] 车速SPD、转向扭矩Ts和电动机21的电动机角度 θ_m 被输入至微计算机41。另外,电动机21的相电流值Iu、Iv、Iw被输入至微计算机41。电动机21的相电流值Iu、Iv、Iw中的每一个由设置在驱动电路42与相应相的电动机线圈之间的连接线44中的电流传感器45检测。为了便于说明,图2共同示出了相的连接线44作为一个连接线44,并且共同示出了相的电流传感器45作为一个电流传感器45。电压传感器46连接至微计算机41。电压传感器46检测车载电源43的电源电压Vb。微计算机41基于这些状态量输出控制信号。

[0027] 具体地,微计算机41包括电流命令值计算单元51和控制信号输出单元52。电流命令值计算单元51计算可以被视为供应至电动机21的电力的目标值即目标辅助力的电流命令值Id*、Iq*。控制信号输出单元52基于电流命令值Id*、Iq*输出控制信号。电流命令值Id*、Iq*是要供应至电动机21的电流的目标值,并且分别指示d-q坐标系中的d轴上的电流命令值和q轴上的电流命令值。其中,q轴电流命令值Iq*可以被视为作为电动机21的输出扭矩的目标值的扭矩命令值。电流命令值计算单元51可以被视为扭矩命令值计算单元。在本实施方式中,d轴电流命令值Id*基本上固定为零。如在电动机21的电动机角度 θ_m 的情况下,当系统沿一个方向辅助转向时电流命令值Id*、Iq*是正值,而当系统沿另一方向辅助转向时电流命令值Id*、Iq*是负值。

[0028] 微计算机41包括控制转向角计算单元53。控制转向角计算单元53计算控制转向角 θ_s 。控制转向角 θ_s 指示旋转轴11的旋转角(转向角)。旋转轴11的旋转角(转向角)可以转换为转向轮3的车轮转向角。电动机角度 θ_m 被输入至控制转向角计算单元53。控制转向角计算单元53例如在齿条轴12置于车辆直行前进的中立位置的状态下对电动机21的转数进行积分(计数),其中原点(零度)被设置为控制转向角 θ_s ,并且基于转数和电动机角度 θ_m 以包括360度的范围的绝对角度计算控制转向角 θ_s 。如电动机21的电动机角度 θ_m 的情况,控制转向角 θ_s 在从中立位置沿一个方向旋转角的情况下是正值,而沿另一方向旋转角的情况下是负值。微计算机41包括限制值设置单元54和存储器55。限制值设置单元54设置限制值Ig,该限制值Ig是q轴电流命令值Iq*的绝对值的上限。与预先设置为电动机21能够输出的电动机扭矩的额定扭矩相对应的额定电流Ir或其他信息被存储在存储器55中。

[0029] 更具体地,电流命令值计算单元51包括基本辅助计算单元61、阻尼控制量计算单元62和电流补偿量计算单元63。基本辅助计算单元61用作基本命令值计算单元,基本命令值计算单元计算基本电流命令值Ias*作为基本命令值,该基本命令值是q轴电流命令值Iq*的基本分量。阻尼控制量计算单元62计算阻尼控制量Ida。电流补偿量计算单元63计算电流

补偿量 I_{ac} 。电流命令值计算单元 51 包括保护处理单元 64，保护处理单元将校正的电流命令值 I_{as}^{**} 的绝对值限制为小于或等于限制值 I_g 。通过使用阻尼控制量 I_{da} 和电流补偿量 I_{ac} 校正基本电流命令值 I_{as}^* 来获得校正的电流命令值 I_{as}^{**} 。

[0030] 转向扭矩 T_s 和车速 SPD 被输入至基本辅助计算单元 61。基本辅助计算单元 61 基于转向扭矩 T_s 和车速 SPD 计算基本电流命令值 I_{as}^* 。具体地，基本辅助计算单元 61 计算基本电流命令值 I_{as}^* ，使得当转向扭矩 T_s 的绝对值增加时或者当车速 SPD 减小时，基本电流命令值 I_{as}^* 具有更大的值（绝对值）。如此计算的基本电流命令值 I_{as}^* 被输出至加法器-减法器 65。

[0031] 控制转向角 θ_s 被输入至电流补偿量计算单元 63。在转向返回操作以使方向盘 2 返回至中立位置时，电流补偿量计算单元 63 计算电流补偿量 I_{ac} 以进行辅助，使得控制转向角 θ_s 基于控制转向角 θ_s 平稳地变为零（方向盘 2 被置于中立位置）。也就是说，电流补偿量计算单元 63 计算用于执行所谓的主动返回控制的分量。

[0032] 如稍后将描述的，从阻尼控制量计算单元 62 输出的阻尼控制量 I_{da} 连同基本电流命令值 I_{as}^* 和电流补偿量 I_{ac} 一起输入至加法器-减法器 65。电流命令值计算单元 51 通过在加法器-减法器 65 中从基本电流命令值 I_{as}^* 中减去阻尼控制量 I_{da} 并将电流补偿量 I_{ac} 加到基本电流命令值 I_{as}^* 来计算校正的电流命令值 I_{as}^{**} 。如此计算出的校正电流命令值 I_{as}^{**} 被输出至保护处理单元 64。

[0033] 除了校正的电流命令值 I_{as}^{**} 之外，如稍后将描述的，在限制值设置单元 54 中设置的限制值 I_g 被输入至保护处理单元 64。当输入的校正电流命令值 I_{as}^{**} 的绝对值小于或等于限制值 I_g 时，保护处理单元 64 将校正的电流命令值 I_{as}^{**} 的值直接设置为 q 轴电流命令值 I_{q*} ，并将 q 轴电流命令值 I_{q*} 输出至控制信号输出单元 52。另一方面，当输入的校正的电流命令值 I_{as}^{**} 的绝对值大于限制值 I_g 时，保护处理单元 64 设置通过将校正的电流命令值 I_{as}^{**} 的绝对值限制为 q 轴电流命令值 I_{q*} 的限制值 I_g 而获得的值，并且将 q 轴电流命令值 I_{q*} 输出至控制信号输出单元 52。

[0034] 控制信号输出单元 52 基于电流命令值 I_{d*} 、 I_{q*} 、相电流值 I_u 、 I_v 、 I_w 和电动机 21 的电动机角度 θ_m 通过在 d-q 坐标系中执行电流反馈控制来生成控制信号。具体地，控制信号输出单元 52 基于电动机角度 θ_m 通过将相电流值 I_u 、 I_v 、 I_w 映射到 d-q 坐标系上来计算 d 轴电流值和 q 轴电流值。d 轴电流值和 q 轴电流值是 d-q 坐标系中电动机 21 的实际电流值。控制信号输出单元 52 通过执行电流反馈控制来生成控制信号，以使得 d 轴电流值遵循 d 轴电流命令值 I_{d*} 并使得 q 轴电流值遵循 q 轴电流命令值 I_{q*} 。当控制信号输出至驱动电路 42 时，根据控制信号设置的驱动电力被供应至电动机 21。因此，控制电动机 21，使得电动机 21 输出的电动机扭矩遵循与 q 轴电流命令值 I_{q*} 对应的扭矩命令值。

[0035] 接下来，将描述阻尼控制量计算单元 62 的配置。车速 SPD 和控制转向角 θ_s 被输入至阻尼控制量计算单元 62。基于这些状态量，当控制转向角 θ_s 的绝对值超过作为转向角阈值的近端转向角 θ_{ne} 时，阻尼控制量计算单元 62 基于通过对控制转向角 θ_s 进行微分而获得的控制角速度 ω_s （转向速度）的绝对值的增加来计算具有更大绝对值的阻尼控制量 I_{da} 。阻尼控制量 I_{da} 是用于通过被从基本电流命令值 I_{as}^* 中减去来减小基本电流命令值 I_{as}^* 的绝对值的分量。近端转向角 θ_{ne} 被设置为指示绝对值比齿条端部位置处的控制转向角 θ_s 小预定角度 θ_1 的角度的值。预定角度 θ_1 是相对小的角度，使得近端转向角 θ_{ne} 不会与齿条端部位置分离太多。

[0036] 详细地,如图3所示,阻尼控制量计算单元62包括端部分离角计算单元71。端部分离角计算单元71计算端部分离角 $\Delta\theta$,该端部分离角 $\Delta\theta$ 是最近计算时段中的控制转向角 θ_s 与左右齿条端部位置中的任何一个处的控制转向角 θ_s 之间的差。阻尼控制量计算单元62还包括第一超过角速度计算单元72和计算处理单元73。第一超过角速度计算单元72计算第一超过角速度 ω_{o1} ,该第一超过角速度 ω_{o1} 是控制角速度 ω_s 超过根据端部分离角 $\Delta\theta$ 确定的第一上限角速度 ω_{lim1} 的超过量。计算处理单元73基于第一超过角速度 ω_{o1} 计算阻尼控制量 Ida 。

[0037] 控制转向角 θ_s 被输入至端部分离角计算单元71。端部分离角计算单元71计算最新计算时段的控制转向角 θ_s 与左侧齿条端部位置处的控制转向角 θ_s 之间的差以及最新计算时段的控制转向角 θ_s 与右侧齿条端部位置处的控制转向角 θ_s 之间的差。端部分离角计算单元71将计算出的差中较小的一个的绝对值输出至第一超过角速度计算单元72作为端部分离角 $\Delta\theta$ 。

[0038] 端部分离角 $\Delta\theta$ 和通过对控制转向角 θ_s 进行微分而获得的控制角速度 ω_s 被输入至第一超过角速度计算单元72。第一超过角速度计算单元72基于这些状态量计算第一超过角速度 ω_{o1} 。

[0039] 详细地,第一超过角速度计算单元72包括向其输入端部分离角 $\Delta\theta$ 的第一上限角速度计算单元74。第一上限角速度计算单元74具有限定端部分离角 $\Delta\theta$ 与第一上限角速度 ω_{lim1} 之间的关系的映射,并且通过参考映射来计算根据端部分离角 $\Delta\theta$ 设置的第一上限角速度 ω_{lim1} 。在该映射中,第一上限角速度 ω_{lim1} 被设置为使得当端部分离角为零时第一上限角速度 ω_{lim1} 最低,并且第一上限角速度 ω_{lim1} 与端部分离角 $\Delta\theta$ 的增加成比例地增加。当端部分离角 $\Delta\theta$ 变得大于预定角度 θ_2 时,第一上限角速度 ω_{lim1} 被设置为预先设置为允许电动机21旋转的最大角速度的恒定值。预定角度 θ_2 被设定为大于预定角度 θ_1 的角度。也就是说,本实施方式的阻尼控制量计算单元62在控制转向角 θ_s 的绝对值超过近端转向角 θ_{ne} 之前的情况下计算具有大于零的绝对值的阻尼控制量 Ida 。因此,当情况转变为控制转向角 θ_s 的绝对值超过近端转向角 θ_{ne} 的情况时,阻尼控制量计算单元62计算具有大于零的绝对值的阻尼控制量 Ida 。

[0040] 当控制角速度 ω_s 的绝对值大于由第一上限角速度计算单元74计算的第一上限角速度 ω_{lim1} 时,第一超过角速度计算单元72向计算处理单元73输出控制角速度 ω_s 超过第一上限角速度 ω_{lim1} 的超过量作为第一超过角速度 ω_{o1} 。另一方面,当控制角速度 ω_s 的绝对值小于第一上限角速度 ω_{lim1} 时,第一超过角速度计算单元72向计算处理单元73输出将指示零的第一超过角速度 ω_{o1} 。

[0041] 具体地,第一超过角速度计算单元72包括向其输入第一上限角速度 ω_{lim1} 和控制角速度 ω_s 的最小选择单元75。最小选择单元75选择第一上限角速度 ω_{lim1} 和控制角速度 ω_s 的绝对值中较小的一个,并将所选择的一个输出至减法器76。第一超过角速度计算单元72通过在减法器76中从控制角速度 ω_s 的绝对值减去最小选择单元75的输出值来计算第一超过角速度 ω_{o1} 。由于最小选择单元75以这种方式选择第一上限角速度 ω_{lim1} 和控制角速度 ω_s 的绝对值中较小的一个,所以当控制角速度 ω_s 的绝对值小于或等于第一上限角速度 ω_{lim1} 时,在减法器76中从控制角速度 ω_s 减去控制角速度 ω_s ,结果是第一超过角速度 ω_{o1} 变为零。另一方面,当控制角速度 ω_s 的绝对值大于第一上限角速度 ω_{lim1} 时,在减法器

76中从控制角速度 ω_s 的绝对值减去第一上限角速度 ω_{lim1} ,并且第一超过角速度 ω_{o1} 是控制角速度 ω_s 超过第一上限角速度 ω_{lim1} 的超过量。

[0042] 第一超过角速度 ω_{o1} 、车速SPD和控制角速度 ω_s 被输入至计算处理单元73。计算处理单元73具有限定阻尼控制量 I_{da} 与第一超过角速度 ω_{o1} 和车速SPD两者之间的关系的映射,并且通过参考映射来计算根据第一超过角速度 ω_{o1} 和车速SPD设置的阻尼控制量 I_{da} 。计算处理单元73针对由控制角速度 ω_s 指示的符号(方向)设置阻尼控制量 I_{da} 的符号(方向)。在该映射中,阻尼控制量 I_{da} 被设置成使得当第一超过角速度 ω_{o1} 为零时速度限制分量 I_{gs} 是最小值并且阻尼控制量 I_{da} 与第一超过角速度 ω_{o1} 的增加成比例地增加。该映射也被设置成使得阻尼控制量 I_{da} 与车速SPD的增加成比例地减小。如此计算的阻尼控制量 I_{da} 被输出至加法器-减法器65(参见图2)。

[0043] 接下来,将描述限制值设置单元54的配置。如图2所示,存储在存储器55中的控制转向角 θ_s 、车速SPD、电源电压 V_b 和额定电流 I_r 被输入至限制值设置单元54。限制值设置单元54基于这些状态量设置限制值 I_g 。

[0044] 具体地,如图4所示,限制值设置单元54包括转向角限制值计算单元81、电压限制值计算单元82和最小选择单元83。转向角限制值计算单元81基于控制转向角 θ_s 计算转向角限制值 I_{en} 。电压限制值计算单元82基于电源电压 V_b 计算电压限制值 I_{vb} 作为另一限制值。最小选择单元83选择转向角限制值 I_{en} 和电压限制值 I_{vb} 中较小的一个。

[0045] 控制转向角 θ_s 、车速SPD和额定电流 I_r 被输入至转向角限制值计算单元81。基于这些状态量,如稍后将描述的,当控制转向角 θ_s 的绝对值超过近端转向角 θ_{ne} 时,转向角限制值计算单元81计算随着控制转向角 θ_s 的绝对值和控制角速度 ω_s (转向速度)的绝对值增加而减小的转向角限制值 I_{en} 。如此计算的转向角限制值 I_{en} 被输出至最小选择单元83。

[0046] 电源电压 V_b 被输入至电压限制值计算单元82。当电源电压 V_b 的绝对值变得低于或等于预先设置的电压阈值 V_{th} 时,电压限制值计算单元82计算用于供应比用于供应额定电流 I_r 的额定电压低的电压的电压限制值 I_{vb} 。具体地,当电源电压 V_b 的绝对值变得低于或等于电压阈值 V_{th} 时,电压限制值计算单元82计算随着电源电压 V_b 的绝对值减小具有较小绝对值的电压限制值 I_{vb} 。如此计算的电压限制值 I_{vb} 被输出至最小选择单元83。

[0047] 最小选择单元83选择输入转向角限制值 I_{en} 和输入电压限制值 I_{vb} 中较小的一个作为限制值 I_g ,并将所选择的一个输出至保护处理单元64(参见图2)。接下来,将描述转向角限制值计算单元81的配置。

[0048] 转向角限制值计算单元81包括端部分离角计算单元91和角度限制分量计算单元92。端部分离角计算单元91计算端部分离角 $\Delta\theta$ 。角度限制分量计算单元92计算角度限制分量 I_{ga} ,该角度限制分量 I_{ga} 是根据端部分离角 $\Delta\theta$ 确定的电流(扭矩)限制量。转向角限制值计算单元81还包括第二超过角速度计算单元93和速度限制分量计算单元94。第二超过角速度计算单元93计算第二超过角速度 ω_{o2} ,该第二超过角速度 ω_{o2} 是控制角速度 ω_s 超过根据端部分离角 $\Delta\theta$ 确定的第二上限角速度 ω_{lim2} 的超过量。速度限制分量计算单元94计算速度限制分量 I_{gs} ,该速度限制分量 I_{gs} 是根据第二超过角速度 ω_{o2} 确定的电流(扭矩)限制值。端部分离角计算单元91如阻尼控制量计算单元62的端部分离角计算单元71的情况计算端部分离角 $\Delta\theta$,并将端部分离角输出至角度限制分量计算单元92和第二超过角速度计算单元93。

[0049] 端部分离角 $\Delta\theta$ 和车速SPD被输入至角度限制分量计算单元92。角度限制分量计算单元92具有限定角度限制分量Iga与端部分离角 $\Delta\theta$ 和车速SPD两者之间的关系的映射，并且通过参考映射来计算根据端部分离角 $\Delta\theta$ 和车速SPD设置的角度限制分量Iga。在该映射中，角度限制分量Iga在端部分离角 $\Delta\theta$ 为零时最大，并且与端部分离角 $\Delta\theta$ 的增加成比例地减小。角度限制分量Iga被设置为使得当端部分离角 $\Delta\theta$ 变得大于预定角度θ1时（当控制转向角θs的绝对值变得小于近端转向角θne时）变为零。设置该映射使得在端部分离角 $\Delta\theta$ 小于或等于预定角度θ1的范围内，角度限制分量Iga随着车速SPD的增加而减小。如此计算的角度限制分量Iga被输出至减法器95。

[0050] 端部分离角 $\Delta\theta$ 和通过对控制转向角θs进行微分而获得的控制角速度 ω_s 被输入至第二超过角速度计算单元93。第二超过角速度计算单元93基于这些状态量计算第二超过角速度 ω_{o2} 。

[0051] 详细地，第二超过角速度计算单元93包括向其输入端部分离角 $\Delta\theta$ 的第二上限角速度计算单元96。第二上限角速度计算单元96具有限定端部分离角 $\Delta\theta$ 与第二上限角速度 ω_{lim2} 之间的关系的映射，并且通过参考映射来计算根据端部分离角度 $\Delta\theta$ 设置的第二上限角速度 ω_{lim2} 。该映射被设置成与第一上限角速度计算单元74的映射类似的趋势。更具体地，在该映射中在端部分离角 $\Delta\theta$ 小于或等于预定角度θ2的范围内的第二上限角速度 ω_{lim2} 低于在第一上限角速度计算单元74的映射中的相应范围中的第一上限角速度 ω_{lim1} ，并且第二上限角速度 ω_{lim2} 被设置为使得随着端部分离角 $\Delta\theta$ 的减小以与第一上限角速度 ω_{lim1} 相同的斜率而降低。在该映射中在端部分离角 $\Delta\theta$ 大于预定角度θ2的范围内的第二上限角速度 ω_{lim2} 被设置为比第一上限角速度 ω_{lim1} 低的恒定值。

[0052] 当控制角速度 ω_s 的绝对值大于通过第二上限角速度计算单元96计算的第二上限角速度 ω_{lim2} 时，第二超过角速度计算单元93将控制角速度 ω_s 超过第二上限角速度 ω_{lim2} 的超过量输出至速度限制分量计算单元94作为第二超过角速度 ω_{o2} 。另一方面，当控制角速度 ω_s 的绝对值小于或等于第二上限角速度 ω_{lim2} 时，第二超过角速度计算单元93将指示零的第二超过角速度 ω_{o2} 输出至速度限制分量计算单元94。第二超过角速度计算单元93包括最小选择单元97和减法器98，并且如第一超过角速度计算单元72的情况计算第二超过角速度 ω_{o2} 。

[0053] 第二超过角速度 ω_{o2} 和车速SPD被输入至速度限制分量计算单元94。速度限制分量计算单元94具有限定速度限制分量Igs与第二超过角速度 ω_{o2} 和车速SPD两者之间的关系的映射，并且通过参考映射来计算根据第二超过角速度 ω_{o2} 和车速SPD设置的速度限制分量Igs。在该映射中，速度限制分量Igs被设置成使得当第二超过角速度 ω_{o2} 为零时速度限制分量Igs最小，并且速度限制分量Igs与第二超过角速度 ω_{o2} 的增加成比例地增加。该映射被设置成使得速度限制分量Igs随着车速SPD的增加而减小。即，如阻尼控制量计算单元62的计算处理单元73的映射的情况设置本实施方式的速度限制分量计算单元94的映射。该映射被设置成使得速度限制分量Igs小于角度限制分量Iga。如此计算的速度限制分量Igs被输出至减法器99。

[0054] 额定电流Ir被输入至向其输入角度限制分量Iga的减法器95。转向角限制值计算单元81将通过在减法器95中从额定电流Ir减去角度限制分量Iga获得的值输出至向其输入速度限制分量Igs的减法器99。转向角限制值计算单元81将在减法器99中通过从减法器95

的输出值减去速度限制分量 I_{gs} 获得的值即通过从额定电流 I_r 减去角度限制分量 I_{ga} 和速度限制分量 I_{gs} 获得的值输出至最小选择单元 83 作为转向角限制值 I_{en} 。

[0055] 接下来,将描述利用本实施方式的转向控制装置 6 减小端部撞击影响。假设当在齿条端部位置附近执行转向时,限制值 I_g 被设置为小于额定电流 I_r 的转向角限制值 I_{en} ,并且 q 轴电流命令值 I_{q*} 的绝对值(校正的电流命令值 I_{as**})被设置为限制值 I_g 。如上所述,转向角限制值 I_{en} 是通过从额定电流 I_r 减去角度限制分量 I_{ga} 和速度限制分量 I_{gs} 获得的值,通过角度限制分量 I_{ga} 根据端部分离角 $\Delta\theta$ 并且通过速度限制分量 I_{gs} 根据第二超过角速度 ω_{o2} 对电动机扭矩进行限制。因此,不仅当端部分离角 $\Delta\theta$ 变得小于或等于预定角度 θ_1 时限制端部分离角 $\Delta\theta$ 的进一步减小,而且当端部分离角 $\Delta\theta$ 变得小于或等于预定角 θ_2 时限制控制角速度 ω_s ,从而减小了端部撞击影响。

[0056] 假设如上所描述的在低 μ 路上在齿条端部位置附近执行转向。在这种情况下,即使当 q 轴电流命令值 I_{q*} 的绝对值被限制为限制值 I_g 时,控制角速度 ω_s 也变为大的值。就这一点而言,在本实施方式中,通过从基本电流命令值 I_{as*} 中减去阻尼控制量 I_{da} 来计算校正电流命令值 I_{as**} ,并且阻尼控制量 I_{da} 随着控制角速度 ω_s 对第一上限角速度 ω_{lim1} 的第一超过角速度 ω_{o1} 的增加而增加。因此,当控制角速度 ω_s 在低 μ 路等增加时,校正电流命令值 I_{as**} 的绝对值根据阻尼控制量 I_{da} 的绝对值减小,结果是减小了端部撞击影响。

[0057] 如上所述,在第一上限角速度计算单元 72 的映射中在小于或等于预定角度 θ_2 的范围内的第一上限角速度 ω_{lim1} 的斜率等于在第二超过角速度计算单元 93 的映射中在小于或等于预定角度 θ_2 的范围内的第二上限角速度 ω_{lim2} 的斜率。因此,当在齿条端部位置执行转向时,第一超过角速度 ω_{o1} 的变化趋势等于第二超过角速度 ω_{o2} 的变化趋势。因此,基于源自速度限制分量 I_{gs} 的转向角限制值 I_{en} 减小端部撞击影响并且利用阻尼控制量 I_{da} 减小端部撞击影响提供了紧密的转向感觉,因此驾驶员不太可能体验一种陌生感。

[0058] 将描述本实施方式的操作和有益效果。

[0059] (1) 转向角限制值计算单元 81 计算当控制转向角 θ_s 的绝对值超过近端转向角 θ_{ne} 时减小的转向角限制值 I_{en} 。电流命令值计算单元 51 将 q 轴电流命令值 I_{q*} 限制为小于或等于限制值 I_g ,该限制值被设置为小于或等于转向角限制值 I_{en} 的值。因此,例如,当在端部附近执行转向时,电动机扭矩受到限制,因此减小了端部撞击影响。另外,在本实施方式中,电流命令值计算单元 51 通过利用根据第一超过角速度 ω_{o1} 设置的阻尼控制量 I_{da} 减小基本电流命令值 I_{as*} 的绝对值来计算 q 轴电流命令值 I_{q*} ,第一超过角速度 ω_{o1} 在控制转向角 θ_s 的绝对值超过近端转向角 θ_{ne} 时增大。因此,当转向轮 3 处于低 μ 路上并且车轮转向速度增加时,阻尼控制量 I_{da} 增加,结果是电动机扭矩受到限制。因此,适当地减小了端部撞击影响。

[0060] (2) 转向角限制值计算单元 81 通过从与额定扭矩对应的额定电流 I_r 减去角度限制分量 I_{ga} 和速度限制分量 I_{gs} 来计算转向角限制值 I_{en} 。因此,当控制转向角 θ_s 超过近端转向角 θ_{ne} 时,可以容易地计算限制控制转向角 θ_s 的进一步增加并且限制控制角速度 ω_s 的转向角限制值 I_{en} 。

[0061] (3) 第一上限角速度 ω_{lim1} 的绝对值被设置成高于第二上限角速度 ω_{lim2} 的绝对值。由于控制角速度 ω_s (转向轮 3 的车轮转向速度)倾向于在低 μ 路上显著高于在正常路面上,所以即使当第一上限角速度 ω_{lim1} 增加时,出现控制角速度 ω_s 超过第一上限角速度 ω_{lim1} 超过量,并且计算阻尼控制量 I_{da} 。因此,如本实施方式的情况,当第一上限角速度 ω

ω_{lim1} 被设置成高于第二上限角速度 ω_{lim2} 时,在低 μ 路上适当地减小端部撞击影响,并且减少了由于在低 μ 路以外的道路上不必要地减小基本电流命令值 I_{as*} 的绝对值而引起的对转向感的影响。

[0062] (4)由于限制值设置单元54将基于电源电压Vb设置的电压限制值 I_{vb} 和转向角限制值 I_{en} 中的较小的一个设置为限制值 I_g ,因此除了控制转向角 θ_s 超过近端转向角 θ_{ne} 的事实以外,根据电源电压Vb已经降低的情况适当地限制电动机扭矩 T_m 。由于将电压限制值 I_{vb} 和转向角限制值 I_{en} 中较小的一个设置为限制值 I_g ,因此限制值 I_g 不超过转向角限制值 I_{en} ,因此适当地减小了端部撞击影响。

[0063] (5)由于阻尼控制量计算单元62计算阻尼控制量 I_{da} ,使得阻尼控制量 I_{da} 随着车速SPD的增加而减小,因此当车速SPD很高时q轴电流命令值 I_{q*} 难以减小。因此,例如,当在车辆高速行驶时进行突然转向以避开障碍物时,减少了对转向的干扰。

[0064] 可以如下对本实施方式进行修改。本实施方式和以下修改可以在没有任何技术矛盾的情况下彼此组合实现。

[0065] 在上述实施方式中,可以根据需要改变第一上限角速度计算单元74中的映射的形状。例如,预定角 θ_1 可以是第一上限角速度 ω_{lim1} 开始减小的角度。在第一上限角速度计算单元74的映射中在小于或等于预定角度 θ_2 的范围内的第一上限角速度 ω_{lim1} 可以与在第二上限角速度计算单元96的映射中在小于或等于预定角度 θ_2 的范围内的第二上限角速度 ω_{lim2} 一致,或者在那些范围中的第一上限角速度 ω_{lim1} 和第二上限角速度 ω_{lim2} 的斜率可以彼此不同。除此之外,在第一上限角速度计算单元74的映射中在大于预定角度 θ_2 的范围内的第一上限角速度 ω_{lim1} 可以等于在第二上限角速度计算单元96的映射中在大于第二预定角度 θ_2 的范围内的第二上限角速度 ω_{lim2} 。类似地,可以根据需要改变第二上限角速度计算单元96中的映射的形状。

[0066] 在以上描述的实施方式中,可以根据需要改变角度限制分量计算单元92中的映射的形状。例如,角度限制分量 I_{ga} 开始增加的角度可以被设置为预定角度 θ_2 。在该映射中在小于或等于预定角度 θ_1 的范围内,角度限制分量 I_{ga} 可以非线性地变化。此外,角度限制分量 I_{ga} 可以不根据车速SPD而改变。

[0067] 在以上描述的实施方式中,可以根据需要改变计算处理单元73的映射的形状。例如,计算处理单元73的映射的形状可以被设置成使得阻尼控制量 I_{da} 随着第一超过角速度 ω_{o1} 的增加而非线性地增加。阻尼控制量 I_{da} 可以不根据车速SPD而改变。类似地,可以根据需要改变速度限制分量计算单元94中的映射的形状。

[0068] 在以上描述的实施方式中,通过从基本电流命令值 I_{as*} 减去阻尼控制量 I_{da} 然后将电流补偿量 I_{ac} 加到减去的结果而获得的值基于限制值 I_g 进行保护处理;然而,保护处理不限于此。例如,通过从基本电流命令值 I_{as*} 减去阻尼控制量 I_{da} 而不增加电流补偿量 I_{ac} 而获得的值可以基于限制值 I_g 进行保护处理。

[0069] 在以上描述的实施方式中,计算当前补偿量 I_{ac} 作为用于辅助将方向盘2返回到中立位置的控制量;然而,电流补偿量 I_{ac} 不限于此。例如,电流补偿量 I_{ac} 可以是通过对转向扭矩 T_s 进行微分而获得的扭矩微分值的控制量或另外的控制量。

[0070] 在以上描述的实施方式中,限制值设置单元54包括电压限制值计算单元82,电压限制值计算单元82基于电源电压Vb计算电压限制值 I_{vb} ;然而,限制值设置单元54不限于

此。除了电压限制值计算单元82之外或代替电压限制值计算单元82，限制值设置单元54可以包括另外的计算单元，该计算单元基于另外的状态量来计算另外的限制值。可替选地，限制值设置单元54可以被配置成在不包括电压限制值计算单元82的情况下直接将转向角限制值Ien设置为限制值Ig。

[0071] 在以上描述的实施方式中，可以通过从额定电流Ir中仅减去角度限制分量Iga来计算转向角限制值Ien。在以上描述的实施方式中，转向角阈值可以被设置为除了近端转向角θne以外的角度。

[0072] 在以上描述的实施方式中，控制转向角计算单元53在齿条轴12被置于转向中立位置的状态下对电动机21的转数进行积分，其中原点被设置为控制转向角θs，并且基于转数和电动机角度θm计算控制转向角θs。然而，控制转向角计算单元53不限于此。控制转向角计算单元53可以基于例如转数和电动机角度θm计算控制转向角或端部分离角，其中原点被设置为在齿条端部位置处的控制转向角，并且基于这些值计算限制值Ig。这样的控制转向角的原点可以例如在车辆制造期间预先存储或者通过转向学习来设置。可替选地，例如，可以设置以绝对角度检测旋转轴11的旋转角的传感器，旋转轴11是旋转轴并且其旋转角可转换为转向轮3的车轮转向角，并且控制转向角计算单元53可以基于由传感器检测到的旋转角来计算控制转向角θs。

[0073] 在以上描述的实施方式中，转向控制装置6使用EPS致动器5将电动机扭矩施加到柱轴14的类型的EPS 1作为受控对象；然而，受控对象不限于EPS 1。例如，转向控制装置6可以使用经由例如滚珠丝杠螺母将电动机扭矩施加到齿条轴12的类型的转向系统作为受控对象。不限于EPS，转向控制装置6可以使用线控转向系统，其中动力传递在由驾驶员操作的转向单元与对转向轮进行转向的车轮转向单元之间分离，作为受控对象，并且对于设置在车轮转向单元中的车轮转向致动器的电动机的扭矩命令值(q轴电流命令值)，可以如在本实施方式的情况下执行用于减小端部撞击影响的控制。

[0074] 接下来，可以根据以上描述的实施方式和修改得到的技术构思如下。转向控制装置计算阻尼控制量，使得阻尼控制量随着车速的增加而减小。利用这种配置，由于当车速高时难以减小扭矩命令值，所以减少在车辆高速行驶时例如突然转向以避开障碍物的干扰。

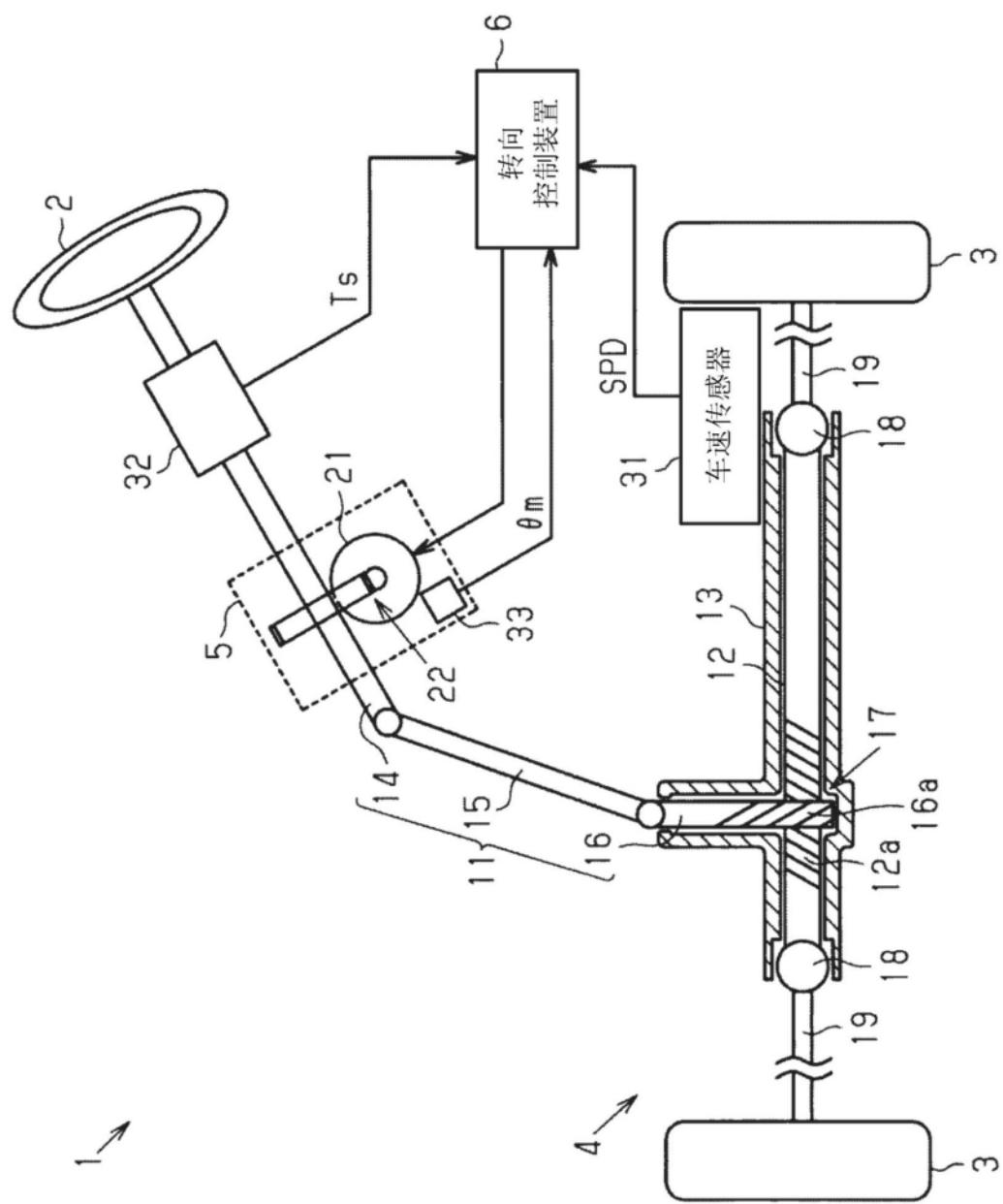


图1

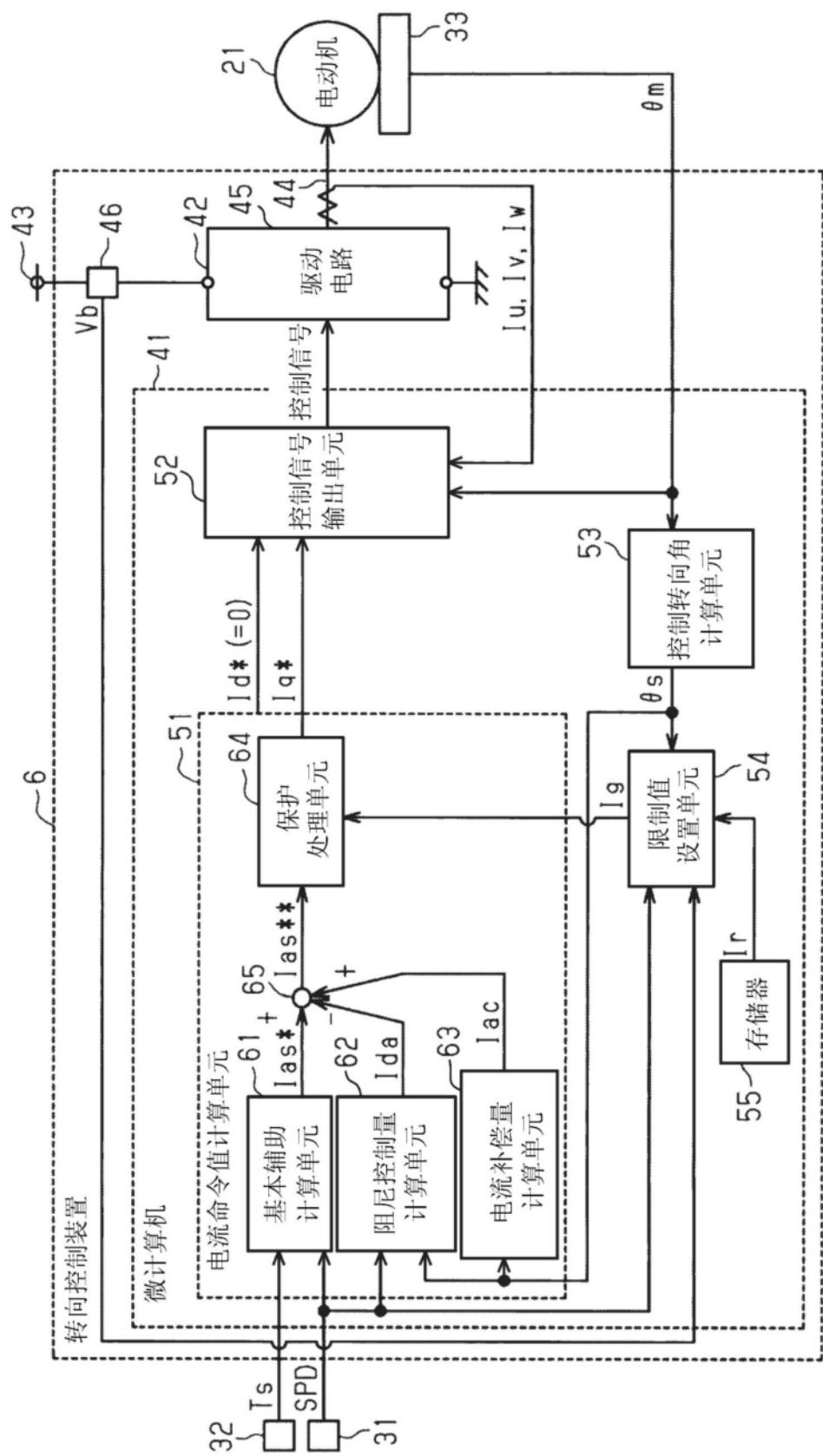


图2

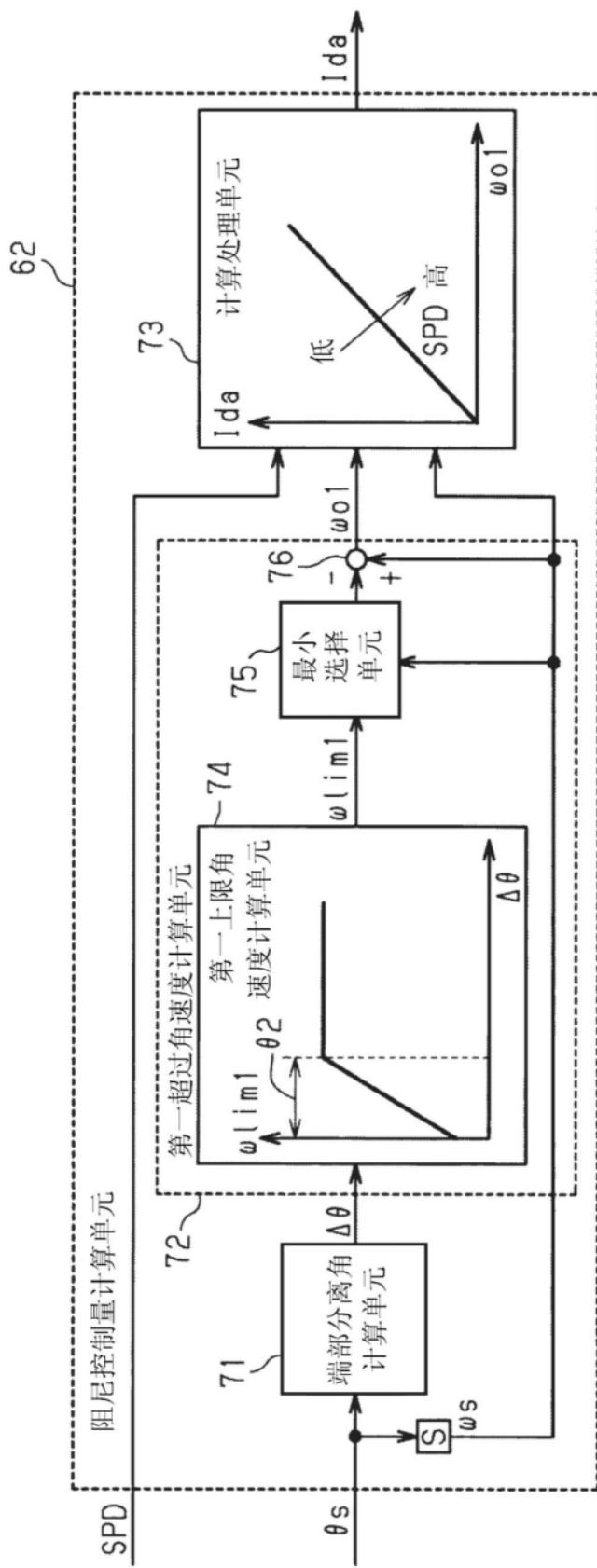


图3

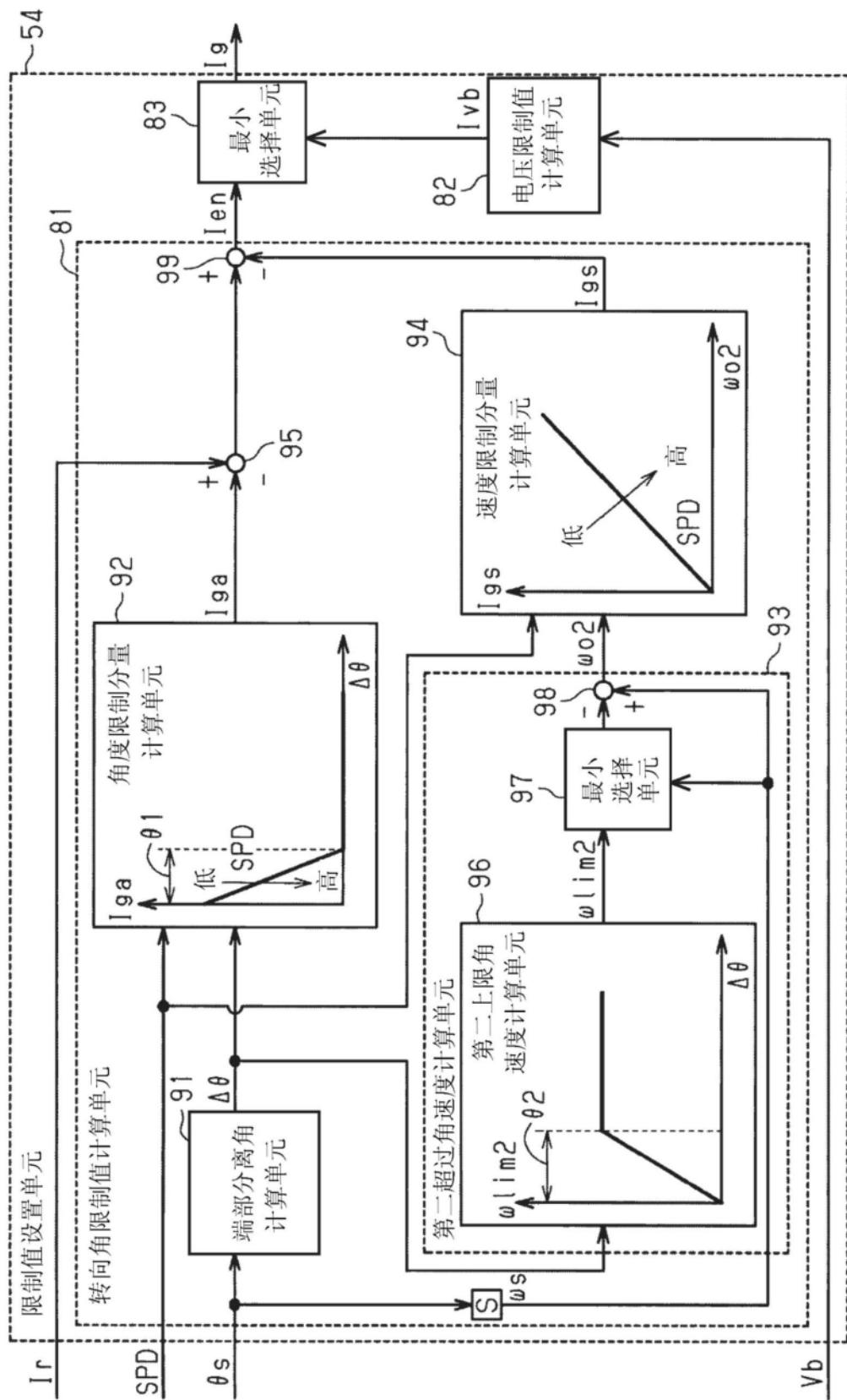


图4