(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107848571 B
(45)授权公告日 2019.02.15

(21)申请号 201680037237.4

(22)申请日 2016.06.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107848571 A

(43)申请公布日 2018.03.27

(30)优先权数据
2015-128761 2015.06.26 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.12.25

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2016/068637 2016.06.23

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2016/208665 JA 2016.12.29

(73)专利权人 日本精工株式会社
地址 日本东京都

(72)发明人 远藤修司

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
代理人 黄纶伟 韩香花

(51)Int.Cl.
B62D 6/00(2006.01)
B62D 101/00(2006.01)
B62D 113/00(2006.01)
B62D 119/00(2006.01)
B62D 137/00(2006.01)

(56)对比文件
JP 4192442 B2,2008.12.10,
CN 101254796 A,2008.09.03,
US 2002019690 A1,2002.02.14,

审查员 张玉兵

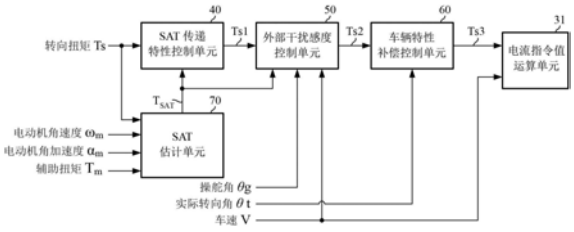
权利要求书2页 说明书15页 附图10页

(54)发明名称

使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置

(57)摘要

本发明提供一种使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置。该驾驶辅助控制装置通过基于用来提高车辆轨迹的可预测性的条件来使转向扭矩信息适应驾驶员的特性，使得能够改善跟随目标轨迹的跟随性，并且提高转向操作的安全性。本发明的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置具备SAT估计单元、SAT传递特性控制单元、外部干扰感度控制单元和车辆特性补偿控制单元，其中，SAT估计单元估计出自对准扭矩；SAT传递特性控制单元为了将自对准扭矩传递特性的时间常数变成所期望的值，对自对准扭矩进行补正，对转向扭矩进行补偿；外部干扰感度控制单元抑制自对准扭矩中所含的外部干扰，对转向扭矩进行补偿；车辆特性补偿控制单元通过实际转向角来对转向扭矩进行补偿，以便使车辆特性成为一阶滞后特性。



CN 107848571 B

1.一种使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其至少基于转向扭矩来运算出电流指令值,基于所述电流指令值来驱动电动机,以便对转向系统进行辅助控制,其特征在于:

具备SAT估计单元、SAT传递特性控制单元、外部干扰感度控制单元和车辆特性补偿控制单元,

所述SAT估计单元估计出自对准扭矩,

所述SAT传递特性控制单元为了将自对准扭矩传递特性的时间常数变成所期望的值,对所述自对准扭矩进行补正,通过补正后的所述自对准扭矩来对所述转向扭矩进行补偿并将其作为第1补偿转向扭矩输出,

所述外部干扰感度控制单元抑制所述自对准扭矩中所含的外部干扰,通过抑制了所述外部干扰之后的所述自对准扭矩来对所述第1补偿转向扭矩进行补偿并将其作为第2补偿转向扭矩输出,

所述车辆特性补偿控制单元使用用来将阻尼赋予给所述车辆特性的特性Cf(s)来对所述第2补偿转向扭矩进行补偿,以便使从实际转向角到横摆率的车辆特性成为一阶滞后特性。

2.根据权利要求1所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:

在所述车辆特性补偿控制单元中,所述特性Cf(s)被调整成“横摆率的阻尼系数随电动助力转向机构的固有振动频率而发生变化并且接近最高的阻尼系数”。

3.根据权利要求2所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述特性Cf(s)被调整成“所述横摆率的阻尼系数约为0.8,横摆率的固有振动频率的范围为从大约2Hz到大约4Hz”。

4.根据权利要求1所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述SAT传递特性控制单元被构成为外部干扰观测器。

5.根据权利要求2所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述SAT传递特性控制单元被构成为外部干扰观测器。

6.根据权利要求3所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述SAT传递特性控制单元被构成为外部干扰观测器。

7.根据权利要求4所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述SAT传递特性控制单元使用由所期望的所述时间常数来定义的传递特性,来对所述转向扭矩进行补偿。

8.根据权利要求5所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述SAT传递特性控制单元使用由所期望的所述时间常数来定义的传递特性,来对所述转向扭矩进行补偿。

9.根据权利要求1所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述外部干扰感度控制单元针对每个需要抑制的外部干扰都具备控制器。

10.根据权利要求2所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述外部干扰感度控制单元针对每个需要抑制的外部干扰都具备控制器。

11.根据权利要求3所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,其特征在于:所述外部干扰感度控制单元针对每个需要抑制的外部干扰都具备控制器。

12.根据权利要求4所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其特征在于：所述外部干扰感度控制单元针对每个需要抑制的外部干扰都具备控制器。

13.根据权利要求7所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其特征在于：所述外部干扰感度控制单元针对每个需要抑制的外部干扰都具备控制器。

14.根据权利要求9所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其特征在于：由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为因小幅度扭矩振动而产生的小幅度外部干扰，针对所述小幅度外部干扰的所述控制器是通过结构阻尼模型来构成的。

15.根据权利要求10所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其特征在于：由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为因小幅度扭矩振动而产生的小幅度外部干扰，针对所述小幅度外部干扰的所述控制器是通过结构阻尼模型来构成的。

16.根据权利要求9所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其特征在于：由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为在悬架前后方向谐振点被激发起来的谐振点外部干扰，针对所述谐振点外部干扰的所述控制器被构成为外部干扰观测器。

17.根据权利要求10所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其特征在于：由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为在悬架前后方向谐振点被激发起来的谐振点外部干扰，针对所述谐振点外部干扰的所述控制器被构成为外部干扰观测器。

18.根据权利要求9所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其特征在于：由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为因道路超高而产生的超高外部干扰，针对所述超高外部干扰的所述控制器进行车辆的直行状态检测以及所述自对准扭矩的偏移补正。

19.根据权利要求10所述的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其特征在于：由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为因道路超高而产生的超高外部干扰，针对所述超高外部干扰的所述控制器进行车辆的直行状态检测以及所述自对准扭矩的偏移补正。

使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其基于电流指令值来驱动电动机，以便对转向系统进行辅助控制。本发明尤其涉及一种使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其能够提高车辆轨迹跟随驾驶员所理解的目标轨迹的跟随性。

背景技术

[0002] 利用电动机的旋转力对车辆的转向系统进行辅助控制的电动助力转向装置(EPS)，将电动机的驱动力经由减速装置由诸如齿轮或皮带之类的传送机构，向转向轴或齿条轴施加转向辅助力(辅助力)。为了正确地产生转向辅助力的扭矩，这样的现有的电动助力转向装置进行电动机电流的反馈控制。反馈控制调整电动机外加电压，以便使电流指令值与电动机电流检测值之间的差变小，一般来说，通过调整PWM(脉冲宽度调制)控制的占空比(duty ratio)来进行电动机外加电压的调整。

[0003] 参照图1对电动助力转向装置的一般结构进行说明。如图1所示，转向盘(方向盘)1的柱轴(转向轴或方向盘轴)2经过减速齿轮3、万向节4a和4b、齿轮齿条机构5、转向横拉杆6a和6b，再通过轮毂单元7a和7b，与转向车轮8L和8R连接。另外，在柱轴2上设有用于检测出转向盘1的转向扭矩的扭矩传感器10以及用于检测出转向角θ的转向角传感器14，对转向盘1的转向力进行辅助的电动机20通过减速齿轮3与柱轴2连接。电池13对用于控制电动助力转向装置的控制单元(ECU)30进行供电，并且，经过点火开关11，点火(IG)信号被输入到控制单元30中。控制单元30基于由扭矩传感器10检测出的转向扭矩Ts和由车速传感器12检测出的车速V，进行辅助(转向辅助)指令的电流指令值的运算，由通过对电流指令值实施补偿等而得到的电压控制指令值Vref来控制供应给EPS用电动机20的电流。

[0004] 此外，转向角传感器14并不是必须的，也可以不设置转向角传感器14，还有，也可以从与电动机20相连接的诸如分解器之类的旋转传感器处获得转向角。

[0005] 另外，用于收发车辆的各种信息的CAN(Controller Area Network，控制器局域网络)100被连接到控制单元30，车速V也能够从CAN100处获得。此外，用于收发CAN100以外的通信、模拟/数字信号、电波等的非CAN101也可以被连接到控制单元30。

[0006] 尽管控制单元30主要由MCU(也包含CPU、MPU等)构成，但该MCU内部由程序执行的一般功能如图2所示。

[0007] 参照图2对控制单元30的功能和动作进行说明。如图2所示，由扭矩传感器10检测出的转向扭矩Ts和由车速传感器12检测出的(或来自CAN100的)车速V被输入到用于运算出电流指令值Iref1的电流指令值运算单元31中。电流指令值运算单元31基于被输入进来的转向扭矩Ts和车速V并利用辅助图(assist map)等来运算出作为供应给电动机20的电动机电流的控制目标值的电流指令值Iref1。电流指令值Iref1经过加法单元32A被输入到电流限制单元33中；被限制了最大电流的电流指令值Irefm被输入到减法单元32B中；减法单元32B运算出电流指令值Irefm与被反馈回来的电动机电流值Im之间的偏差ΔI(＝Irefm-

Im)；该偏差ΔI被输入到用于进行转向动作的特性改善的PI(比例积分)控制单元35中。在PI控制单元35中经过特性改善后的电压控制指令值Vref被输入到PWM控制单元36中，再经过作为驱动单元的逆变器37来对电动机20进行PWM驱动。电动机电流检测器38检测出电动机20的电动机电流值Im，由电动机电流检测器38检测出的电动机电流值Im被反馈到减法单元32B中。逆变器37作为驱动元件使用场效应晶体管(FET)，其由FET的电桥电路来构成。

[0008] 另外，在加法单元32A对来自补偿信号生成单元34的补偿信号CM进行加法运算，通过补偿信号CM的加法运算来进行转向系统的特性补偿，以便改善收敛性和惯性特性等。补偿信号生成单元34先在加法单元34-4将自对准扭矩(SAT)34-3与惯性34-2相加，然后，在加法单元34-5再将在加法单元34-4得到的加法结果与收敛性34-1相加，最后，将在加法单元34-5得到的加法结果作为补偿信号CM。

[0009] 能够将这样的电动助力转向装置定位为驾驶辅助控制装置，并且将其灵活应用在“进行转向操作的辅助”这个领域。还有，可以将“转向操作”定义成“使车辆轨迹跟随驾驶员所理解的目标轨迹”，并且，可以将“转向操作的安全”定义成“跟随误差在可以接受的范围内”。另外，为了提高转向操作的安全，因为由驾驶员进行的车辆轨迹的预测非常重要，所以需要驾驶辅助控制装置进行转向操作的辅助，以便提高车辆轨迹的可预测性。

[0010] 基于这样的观点，提出了一种用于辅助驾驶员的转向操作的装置。例如，日本专利第5291640号公报(专利文献1)通过设定相对于转向盘的转向角的横摆率的特性，并且使前方注视时间后的目标到达点的方向与转向盘的基准位置的方向一致，来改善车辆与驾驶员的一体感、操纵性等。也就是说，进行控制以便使驾驶员所看到的车辆特性成为中性转向特性(neutral steer characteristic)，从而目标轨迹的曲率与转向盘转向角变成一致。

[0011] 现有技术文献

[0012] 专利文献

[0013] 专利文献1：日本专利第5291640号公报

发明内容

[0014] 发明要解决的技术问题

[0015] 然而，在专利文献1所公开的装置中，为了进行所期望的控制，需要切断车轮和转向盘之间的机械连接，尽管专利文献1所公开的装置对装备了转向齿轮比可变机构、SBW(steer-by-wire，线控转向)机构等的豪华车来说会成为有效的驾驶辅助技术，但是很难将其应用在搭载了电动助力转向装置的一般车辆中。

[0016] 本发明是鉴于上述情况而完成的，以灵活使用电动助力转向装置为前提，本发明的目的在于提供一种使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，该驾驶辅助控制装置通过基于用来提高车辆轨迹的可预测性的条件来使转向扭矩信息适应驾驶员的特性，使得能够改善跟随目标轨迹的跟随性，并且提高转向操作的安全性。

[0017] 解决技术问题的技术方案

[0018] 本发明涉及一种使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置，其至少基于转向扭矩来运算出电流指令值，基于所述电流指令值来驱动电动机，以便对转向系统进行辅助控制，本发明的上述目的可以通过下述这样实现，即：具备SAT估计单元、SAT传递特性控制单元、外部干扰感度控制单元和车辆特性补偿控制单元，所述SAT估计单元估计出自对准扭

矩,所述SAT传递特性控制单元为了将自对准扭矩传递特性的时间常数变成所期望的值,对所述自对准扭矩进行补正,通过补正后的所述自对准扭矩来对所述转向扭矩进行补偿并将其作为第1补偿转向扭矩输出,所述外部干扰感度控制单元抑制所述自对准扭矩中所含的外部干扰,通过抑制了所述外部干扰之后的所述自对准扭矩来对所述第1补偿转向扭矩进行补偿并将其作为第2补偿转向扭矩输出,所述车辆特性补偿控制单元通过检测出的实际转向角来对所述第2补偿转向扭矩进行补偿,以便使从实际转向角到横摆率的车辆特性成为一阶滞后特性。

[0019] 本发明的上述目的还可以通过下述这样更有效地实现,即:所述车辆特性补偿控制单元使用用来将阻尼赋予给所述车辆特性的特性Cf(s)来对所述第2补偿转向扭矩进行补偿,所述特性Cf(s)被调整成“横摆率的阻尼系数随电动助力转向机构的固有振动频率而发生变化并且接近最高的阻尼系数”;或,所述特性Cf(s)被调整成“所述横摆率的阻尼系数约为0.8,横摆率的固有振动频率的范围为从大约2Hz到大约4Hz”;或,所述SAT传递特性控制单元被构成为外部干扰观测器;或,所述SAT传递特性控制单元使用由所期望的所述时间常数来定义的传递特性,来对所述转向扭矩进行补偿;或,所述外部干扰感度控制单元针对每个需要抑制的外部干扰都具备控制器;或,由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为因小幅度扭矩振动而产生的小幅度外部干扰,针对所述小幅度外部干扰的所述控制器是通过结构阻尼模型来构成的;或,由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为在悬架前后方向谐振点被激发起来的谐振点外部干扰,针对所述谐振点外部干扰的所述控制器被构成为外部干扰观测器;或,由所述外部干扰感度控制单元来抑制的外部干扰中的一个外部干扰为因道路超高而产生的超高外部干扰,针对所述超高外部干扰的所述控制器进行车辆的直行状态检测以及所述自对准扭矩的偏移补正。

[0020] 发明的效果

[0021] 根据本发明的使用了电动助力转向机构的驾驶辅助控制装置,通过基于用来提高车辆轨迹的可预测性的条件来构成控制单元,使转向扭矩信息适应驾驶员的特性,这样就能够改善跟随目标轨迹的跟随性,并且提高转向操作的安全性。

附图说明

[0022] 图1是表示电动助力转向装置的概要的结构图。

[0023] 图2是表示电动助力转向装置的控制单元(ECU)的结构示例的结构框图。

[0024] 图3是表示相对于具有弱不足转向特性(weak understeer characteristic)的车辆的转向扭矩的横摆率特性的测定结果的特性图。

[0025] 图4是表示本发明的结构示例的结构框图。

[0026] 图5是表示在从路面到转向之间产生的扭矩的样子的示意图。

[0027] 图6是表示通过横摆率的反馈将车辆特性简化为一阶滞后特性的场合的结构的结构框图。

[0028] 图7是表示通过实际转向角的反馈来进行与图6所示的结构同等的控制的场合的结构的结构框图。

[0029] 图8是通过外部干扰观测器来构成SAT传递特性控制单元的场合的结构框图。

[0030] 图9是表示在图8所示的结构中，实际的外部干扰与外部干扰观测器的估计值相等的场合的结构的结构框图。

[0031] 图10是表示通过结构阻尼模型来实现了小幅度外部干扰控制器的场合的结构的结构框图。

[0032] 图11是表示将谐振点外部干扰控制器构成为外部干扰观测器的场合的结构的结构框图。

[0033] 图12是表示在图11所示的结构中，实际的外部干扰与外部干扰观测器的估计值相等的场合的结构的结构框图。

[0034] 图13是表示具备了超高外部干扰控制器的结构的结构框图。

[0035] 图14是表示本发明的详细结构示例的结构框图。

[0036] 图15是表示本发明的动作示例的流程图。

具体实施方式

[0037] 在本发明中，基于用来提高车辆轨迹的可预测性的条件(下面，被称为“提高预测的条件”)，来使转向扭矩信息适应驾驶员的特性。在车辆轨迹的预测中，因为被设想成除了现有的视觉信息之外，还使用转向扭矩信息，所以以转向扭矩信息为对象。还有，作为提高预测的条件，列举这样的条件：“能够将驾驶员所看到的车辆特性简化为一阶滞后特性”(下面，被称为“第1条件”)、“相对于横摆率的转向扭矩的传递特性的时间常数在适当的范围内”(下面，被称为“第2条件”)以及“能够管理相对于外部干扰的车辆轨迹的预测误差的感度以便使其在驾驶员可以接受的范围内”(下面，被称为“第3条件”)。

[0038] 下面，对各个条件进行说明。

[0039] 首先，对第1条件进行说明。

[0040] 一般来说，大家都知道，当考虑转向操作的时候，作为车辆特性，最好是弱不足转向特性。并且，弱不足转向特性的阻尼系数(damping factor)约为0.8。阻尼系数为0.8的特性为这样一种特性，即，因为特性稍微有点超射(overshoot)，所以能够修正因诸如侧风之类的外部干扰而造成的横向位移，从而在“驾驶员按照自己的意图来进行转向”的转向时和在“因外部干扰而导致被转向”的被转向时，均为良好的特性。因为能够通过阻尼系数为1的一阶滞后特性来近似这种弱不足转向特性并对其进行处理，所以如果可以将车辆特性简化为一阶滞后特性的话，则转向感会变得良好，并且还能够提高车辆轨迹的可预测性。因此，导出了第1条件。在这里，车辆特性是通过从实际转向角到横摆率的传递特性来定义的。

[0041] 接下来，对第2条件进行说明。

[0042] 在车辆轨迹预测中，以“使用基于转向扭矩信息估计出的横摆率信息并且第1条件成立”为前提，来导出从转向扭矩到横摆率的特性的话，则该特性的传递特性D(s)变成下述式1。

[0043] 式1

[0044] $$D(s)=\frac{G_r C_s}{\tau_r s+1}$$

[0045] G_r为横摆率增益，C_s为顺应性特性(compliance characteristic)，τ_r为横摆率的响应时间常数，s为拉普拉斯运算子。在这里，对用式1来表示的特性进行分析。图3是相对于

“具有弱不足转向特性并且转向感被评价为良好”的车辆的转向扭矩的横摆率特性的测定结果。如图3所示，纵轴为转向扭矩，横轴为横摆率，示出了“转向输入频率为相当于通常操作的0.3Hz”的场合、“转向输入频率为相当于稍微有点急的变换车道的0.5Hz”的场合以及“转向输入频率为超过前面两种场合的转向输入频率的1.5Hz”的场合的结果。在本测定中，从转向扭矩约为2Nm(牛顿米)处起，产生辅助力。从图3可知，当转向输入频率为等于或小于横摆率固有振动频率的0.3Hz以及0.5Hz的时候，转向扭矩与横摆率基本上成比例，并且也看不到因频率而带来的变化。当转向输入频率为等于或大于横摆率固有振动频率的1.5Hz的时候，可以看到因相位滞后而带来的椭圆形状和增益的下降。因此，可以认为“滞后特性在1.5Hz附近出现”的用式1来表示的特性与图3的特性基本上一致。还有，因为具有图3的特性的车辆被评价为在转向时具有一体感，所以如果适当地设定相对于横摆率的转向扭矩的传递特性的时间常数的话，则能够变成具有一体感的转向，并且还能够提高车辆轨迹的可预测性。因此，导出了第2条件。此外，车辆的横摆率固有振动频率为去除了电动助力转向装置的电动机的场合的转向盘的自由振动的振动频率。还有，通过进行以转向角为输入的频率扫描(frequency sweep)，也就是说，以一定的比例来改变频率，并且，测定相对于那个时候的横摆率的转向扭矩，就能够导出相对于横摆率的转向扭矩的传递特性。

[0046] 最后，对第3条件进行说明。

[0047] 在将外部干扰作为引起相对于目标轨迹的车辆轨迹的误差的主要因素的情况下，外部干扰中含有转向操作安全所需的驾驶环境信息。因此，驾驶员需要将外部干扰视为信息，并且对其进行管理以便使跟随目标轨迹的跟随性不受阻碍。还有，因为在与车辆举动有关的信息传递与降低相对于外部干扰的感度之间存在权衡关系(trade-off relationship)，所以根据这些情况，导出了第3条件。

[0048] 在本发明中，针对上述3个条件(第1条件、第2条件以及第3条件)，具备了具有用来满足各个条件的功能的控制单元。具体来说，针对第1条件，车辆特性补偿控制单元进行用来满足第1条件的处理；针对第2条件，SAT传递特性控制单元进行用来满足第2条件的处理；针对第3条件，外部干扰感度控制单元进行用来满足第3条件的处理。尽管各个控制单元为了使转向扭矩信息适应驾驶员的特性而进行处理，但对于检测出的转向扭矩，按照SAT传递特性控制单元、外部干扰感度控制单元、车辆特性补偿控制单元的顺序来进行处理。

[0049] 就这样，通过使用满足基于使用了转向扭矩信息的车辆轨迹的预测的重要性导出的“提高预测的条件”的功能，来对检测出的转向扭矩进行补偿，使得能够改善跟随目标轨迹的跟随性，并且提高转向操作的安全性。

[0050] 下面，参照附图对本发明的实施方式进行说明。

[0051] 图4示出了本发明的实施方式的结构示例。此外，因为图4的电流指令值运算单元31的结构与图2所示的电流指令值运算单元31的结构相同，所以省略其说明。还有，在图4中，电流指令值运算单元31之后的结构与图2所示的结构相同，电流指令值运算单元31之后的动作与如上所述的动作相同。

[0052] SAT估计单元70基于转向扭矩Ts、辅助扭矩Tm、电动机角速度ωm以及电动机角加速度αm，估计出自对准扭矩(SAT)T_{SAT}。SAT传递特性控制单元40基于估计出的自对准扭矩T_{SAT}对转向扭矩Ts进行补偿以便使得满足第2条件，输出补偿转向扭矩Ts1。外部干扰感度控制单元50基于估计出的自对准扭矩T_{SAT}、操舵角θg以及车速V对补偿转向扭矩Ts1进行补偿

以便使得满足第3条件，输出补偿转向扭矩Ts2。车辆特性补偿控制单元60基于实际转向角θt对补偿转向扭矩Ts2进行补偿以便使得满足第1条件，将补偿转向扭矩Ts3输出到电流指令值运算单元31。

[0053] 对各个单元进行详细说明。

[0054] 例如，能够将日本专利第4192442号公报所公开的技术适用于SAT估计单元70。对日本专利第4192442号公报所公开的技术的概略进行说明。

[0055] 图5示出了在从路面到转向之间产生的扭矩的样子。如图5所示，通过驾驶员操纵转向盘，这样就产生了转向扭矩Ts，电动机按照该转向扭矩Ts来产生辅助扭矩Tm。其结果为，车轮被转向，产生了作为反力的SAT。此时，因电动机的惯性J以及摩擦(静摩擦)Fr，而产生成为“驾驶员操纵转向盘时的阻力”的扭矩。基于这些力的平衡，可以获得如下述式2所示那样的运动方程式。

[0056] 式2

[0057] $J \cdot \alpha_m + Fr \cdot \mathrm{sign}(\omega_m) + T_{SAT} = T_m + T_s$

[0058] 在这里，通过将初始值设定为零，对上述式2进行拉普拉斯变换，求解T_{SAT}，就可以获得下述式3。

[0059] 式3

[0060] $T_{SAT}(s) = T_m(s) + T_s(s) - J \cdot \alpha_m(s) + Fr \cdot \mathrm{sign}(\omega_m(s))$

[0061] 从上述式3可知，通过预先求出作为常数的电动机的惯性J以及静摩擦Fr，就可以基于电动机角速度ωm、电动机角加速度αm、辅助扭矩Tm以及转向扭矩Ts来估计出自对准扭矩T_{SAT}。

[0062] 此外，因为在将估计出的自对准扭矩原封不动地反馈回去的情况下，有时转向会变得太重，不能提高转向感，所以也可以使用具有频率特性的滤波器来对自对准扭矩T_{SAT}进行信号处理，只输出提高转向感所需的充分的信息。还有，也可以通过本方法以外的方法来估计出自对准扭矩。

[0063] 接下来，对车辆特性补偿控制单元60进行说明。

[0064] 被车辆特性补偿控制单元60作为对象的第1条件是有关车辆特性的条件。车辆特性是由从实际转向角到横摆率的传递特性来定义的，从二轮模型中的实际转向角θt到横摆率r的传递特性成为下述式4。

[0065] 式4

[0066] $$r(s) = G_0 \frac{\tau_r s + 1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\xi s}{\omega_n} + 1} \theta_t(s)$$

[0067] 式5

[0068] $$\omega_n = \frac{2L}{V} \sqrt{\frac{K_f K_r}{mI}} \sqrt{1 + KV^2}$$

[0069] 式6

[0070] $$\xi = \frac{m(L_f^2 K_f + L_r^2 K_r) + I(K_f + K_r)}{2L\sqrt{mIK_f K_r(1 + KV^2)}}$$

[0071] 式7

[0072] $$K=-\frac{m}{2L^2}\frac{L_fK_f-L_rK_r}{K_fK_r}$$

[0073] G_0为增益，τ_r为横摆率时间常数，ξ为横摆率的阻尼系数(阻尼项)，ω_n为横摆率固有振动频率，L为轴距(wheelbase)，Kf和Kr分别为前轮和后轮的转弯力(cornering power)，m为车辆的质量，I为车辆的偏航惯性力矩(yaw moment of inertia)，Lf为前车轴的重心点之间的距离，Lr为后车轴的重心点之间的距离。

[0074] 针对这样的车辆特性，例如在基于阻尼系数将其简化为一阶滞后特性的情况下，需要检测出横摆率的变化率并且将其反馈回去。用结构框图来表示这种情况的话，则成为图6。在图6中，T_{STG}为转向扭矩，g_{tot}为总齿轮比，K_{STG}为常数，Vr(s)为车辆特性，Cr(s)为反馈特性，由将g_{tot}/K_{STG}作为增益的增益单元610、具有Vr(s)的特性单元620、具有Cr(s)的特性单元630以及加法单元640来构成。

[0075] 然而，在电动助力转向装置中，直接检测不出横摆率，能够检测出来的是实际转向角，输出的是辅助扭矩。因此，为了使用电动助力转向机构来进行与图6同等的控制，在图7所示的结构中，需要设置具有变成与图6等价的特性Cf(s)的特性单元650。在图6所示的结构中的传递特性成为下述式8，在图7所示的结构中的传递特性成为下述式9，使式8变成与式9等价的特性Cf(s)是由下述式10来表示的。

[0076] 式8

[0077] $$\frac{r(s)}{T_{STG}(s)}=\frac{g_{tot}}{K_{STG}}\frac{V_r(s)}{1-V_r(s)C_r(s)}$$

[0078] 式9

[0079] $$\frac{r(s)}{T_{STG}(s)}=\frac{g_{tot}}{K_{STG}}\frac{V_r(s)}{1-\frac{g_{tot}}{K_{STG}}C_f(s)}$$

[0080] 式10

[0081] $$C_f(s)=\frac{K_{STG}}{g_{tot}}V_r(s)C_r(s)$$

[0082] 因为用来通过一阶滞后特性而能够近似车辆特性的必要条件为ξ≈1，所以需要使ξ≈1成立的驾驶辅助功能。因此，将阻尼(衰减)赋予给横摆率。在图6中，将由下述式11来表示的Cr(s)代入到式4中的话，则从实际转向角θt到横摆率r的传递特性，即，车辆特性就成为下述式12，这样就将阻尼赋予给了横摆率。

[0083] 式11

[0084] $$C_r(s)=\frac{K_ds}{\tau_rs+1}\frac{1}{\omega_n}$$

[0085] 式12

[0086] $$r(s)=G_0\frac{\tau_rs+1}{\frac{s^2}{\omega_n^2}+\frac{(2\xi+G_0K_d)}{\omega_n}s+1}\theta_t(s)$$

[0087] K_d为调整增益。基于式10以及式12，变成等价的特性Cf(s)成为下述式13。

[0088] 式13

[0089] $$C_f(s) = G_0 \frac{K_{STG}}{g_{tot}} \frac{K_d s}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{(2\xi + G_0 K_d)}{\omega_n} s + 1}$$

[0090] 尽管通过使用特性Cf(s)能够将阻尼赋予给横摆率，但由于实际的横摆率特性可以用将车辆的横摆率特性和转向特性串联起来得到的串联特性来表示，所以需要考虑转向特性。也就是说，因为横摆率的阻尼系数随用于形成转向特性的电动助力转向机构的固有振动频率而发生变化，所以需要以考虑该变化的方式来调整特性Cf(s)。具体来说，调整特性Cf(s)，以便使电动助力转向机构的固有振动频率ω_{STG}接近“使横摆率的阻尼系数成为最高的阻尼系数”的下述式14的值。

[0091] 式14

[0092] $$\omega_{STG} \approx \sqrt{\frac{1}{\tau_{SAT}} \frac{1}{\tau_r}}$$

[0093] τ_{SAT}为自对准扭矩传递特性的时间常数。此外，固有振动频率ω_{STG}为在因进行脉冲式转向(impulse steering)操作(即，瞬间快速转动转向盘的操作)而产生自由振动的场合的振动频率。

[0094] 如上所述那样，作为横摆率的阻尼系数，适当的值约为0.8。还有，驾驶员能够进行操作控制的横摆率的振动(变化率)的上限约为2Hz，因为考虑到设想了紧急转向的车辆的响应性，所以横摆率的固有振动频率的范围优选为从大约2Hz到大约4Hz。在这里，在横摆率的固有振动频率的范围为从大约0.4Hz到大约2Hz的情况下，驾驶员能够进行控制。因此，根据这些情况，来调整特性Cf(s)。具体来说，调整特性Cf(s)，例如以便使转向特性的极变得稳定并且使其变成等于或小于大约2Hz。此外，在横摆率的固有振动频率等于或小于大约0.4Hz的情况下，能够进行横摆率的控制，通过使横摆率与转向扭矩之间具有比例关系，这样就能够通过转向扭矩来控制横摆率。因为如上所述那样，这在图3所示的特性中可以看出来，所以通过满足第2条件，就能够实现了。

[0095] 由图7的虚线包围起来的特性单元650以及加法单元660构成了车辆特性补偿控制单元60。特性单元650具有由式13来表示的特性Cf(s)，使用特性Cf(s)来变换实际转向角θt。还有，特性Cf(s)的参数被调整成满足式14。

[0096] 接下来，对SAT传递特性控制单元40进行说明。

[0097] 如上所述那样，被SAT传递特性控制单元40作为对象的第2条件的内容为“相对于横摆率的转向扭矩的传递特性的时间常数在适当的范围内”。关于与这个条件有关的横摆率以及转向扭矩，尽管两者之间的关系随转向输入频率而发生变化，但如图3所示那样，因为在“具有弱不足转向特性并且转向感被评价为良好”的车辆中，在转向输入频率为0.3Hz以及0.5Hz的场合，成为几乎相同的特性，所以可以认为“对于驾驶员来说，车辆轨迹是很容易预测的”。因此，用具有不足转向特性的车辆来实现这样的特性就足够了。为此，需要“设定高的车辆的横摆率固有振动频率”、“通过转向特性来对自对准扭矩传递特性的时间常数τ_{SAT}的影响进行补偿”等。其中，因为通过电动助力转向机构能够实现“对τ_{SAT}的影响进行补偿”，所以SAT传递特性控制单元40被用来对应此状况。

[0098] 在本实施方式中，将SAT传递特性控制单元构成为外部干扰观测器。这是因为在将SAT视为外部干扰并具有反馈控制系统的电动助力转向机构中，通过作为输入误差模型的外部干扰观测器，能够容易地求出外部干扰扭矩。

[0099] 图8是通过外部干扰观测器来构成SAT传递特性控制单元的场合的结构框图。在图8中，θd为转向角，Tr_{SAT}为实际的SAT，K_{tor}为扭力杆刚性，C(s)为包含了扭力杆的控制系统的特性，STG(s)为转向特性，$F_1(s)$为滤波器特性，由将K_{tor}作为增益的增益单元410、具有C(s)的特性单元420、具有STG(s)的特性单元430、具有$STG^{-1}(s)$的特性单元440、具有$F_1(s)$的滤波器450、加法单元460、加法单元461、减法单元462以及减法单元463来构成。估计出的自对准扭矩T_{SAT}被输入到滤波器450中，通过在滤波器450中对自对准扭矩T_{SAT}进行补正，就实现了“对τ_{SAT}的影响进行补偿”。因此，需要设定用来实现这样的功能的$F_1(s)$。

[0100] 在图8中，假定实际的外部干扰与外部干扰观测器的估计值相等的话，则如图9所示那样，T_{SAT}以使其本身通过“$1+F_1(s)$”的特性的方式来发挥作用。通过了这个“$1+F_1(s)$”后的T_{SAT}变成了具有所期望的时间常数的特性的话，则能够“对τ_{SAT}的影响进行补偿”。

[0101] 如果横摆率的阻尼系数接近1的话，则相对于操舵角θg的自对准扭矩T_{SAT}的传递特性可以由下述式15来表示。

[0102] 式15

[0103] $$T_{SAT} = G_{SAT}\frac{\tau_{SAT}s+1}{\tau_r s+1}\theta_g$$

[0104] G_{SAT}为SAT增益。还有，将所期望的时间常数设为τ_{SATR}，并且将所期望的SAT设为T_{SATR}的话，则相对于操舵角θg的自对准扭矩T_{SAT}的传递特性会成为下述式16。

[0105] 式16

[0106] $$T_{SATR} = G_{SAT}\frac{\tau_{SATR}s+1}{\tau_r s+1}\theta_g$$

[0107] 如果在T_{SAT}与T_{SATR}之间像下述式17那样的关系成立的话，则T_{SAT}就具有所期望的时间常数，就能够“对τ_{SAT}的影响进行补偿”。

[0108] 式17

[0109] $(1+F_1(s))T_{SAT}=T_{SATR}$

[0110] 通过将式15和式16代入到式17中，并且设定$\omega_{SAT}=1/\tau_{SAT}$和$\omega_{SATR}=1/\tau_{SATR}$，来求出$F_1(s)$的话，则$F_1(s)$可以由下述式18来表示。

[0111] 式18

[0112] $$F_1(s) = \frac{\omega_{SAT}-\omega_{SATR}}{\omega_{SATR}}\frac{s}{s+\omega_{SAT}}$$

[0113] 使用这个$F_1(s)$来对自对准扭矩T_{SAT}进行补正。

[0114] 由图8的虚线包围起来的滤波器450以及加法单元460构成了SAT传递特性控制单元40。滤波器450具有由式18来表示的特性$F_1(s)$，使用特性$F_1(s)$来变换自对准扭矩T_{SAT}。

[0115] 最后，对外部干扰感度控制单元50进行说明。

[0116] 尽管外部干扰感度控制单元50的目的为“能够管理相对于外部干扰的车辆轨迹的预测误差的感度以便使其在驾驶员可以接受的范围内”，但如上所述那样，因为外部干扰中含有转向操作安全所需的驾驶环境信息，所以并不是抑制了所有的外部干扰就可以了。另

外，因为在与车辆举动有关的信息传递与降低相对于外部干扰的感度之间存在权衡关系，所以需要均衡这两者之间的关系。因此，确定出需要抑制的外部干扰，根据其特性，单独地抑制该外部干扰。

[0117] 外部干扰感度控制单元50主要抑制的外部干扰为“因小幅度扭矩振动而产生的外部干扰(小幅度外部干扰)”、“在悬架前后方向谐振点被激发起来的外部干扰(谐振点外部干扰)”以及“因道路超高(road cant)而产生的外部干扰(超高外部干扰)”。

[0118] 因为小幅度外部干扰不会给跟随目标轨迹的跟随性带来影响，并且，其作为驾驶环境信息也没有大的意义，所以抑制小幅度外部干扰的话，就能够减轻驾驶员的负担，针对依赖于这样的幅度(在本实施方式中，为转向扭矩的幅度)的外部干扰，通过“结构阻尼”来进行的抑制是有效的。所谓“结构阻尼”，指的是依赖于力的幅度、位移的大小的摩擦，有时被称为“内部阻尼”或“迟滞阻尼”，其在利萨如波形上作为依赖于幅度的迟滞现象可以被观察到。

[0119] 为了通过电动助力转向机构来实现依赖于转向扭矩幅度的摩擦特性，通过SAT的函数来赋予摩擦特性。为此，首先，对要应用的结构阻尼模型进行说明。

[0120] 因为结构阻尼是因“因例如像橡胶那样的粘弹性体所具有的位移的函数而产生的能量损失”而引起的阻尼，所以将阻尼项(阻尼系数)和位移项结合在一起的话，包含了用于表现位移和速度之间的相位移(phase displacement)的虚数j。还有，当电动助力转向机构的固有振动频率足够大并且稳定的时候，如果使用s＝jω的话，则结构阻尼模型成为由下述式19来表示的特性。

[0121] 式19

[0122] $$\frac{\theta_d}{T_{SAT}}=\frac{1}{(J_h+J_{STG})\omega^2+K_{SAT}+j\eta K_{SAT}}$$

[0123] J_h为转向盘惯性的振动参数，J_{STG}为电动机惯性的振动参数，K_{SAT}为常数，η为结构阻尼系数。上述式19显示了结构阻尼项被包含在位移项中。

[0124] 尽管$j\eta K_{SAT}$为与操舵角θg成比例的大小，但其表示了“在相位偏移了90度的时刻，负载在工作”。因此，为了实施结构阻尼的效果，关于作为操舵角速度(θg的微分值)的函数的阻尼，以与θg成比例的幅度来赋予负载就可以了。

[0125] 因此，图10示出了具有结构阻尼模型的结构的结构框图。在图10中，$F_2(s)$为滤波器特性，由将K_{tor}作为增益的增益单元410、具有C(s)的特性单元420、具有STG(s)的特性单元430、具有$STG^{-1}(s)$的特性单元440、结构阻尼模型510、具有$F_2(s)$的滤波器511、微分单元512、加法单元461、减法单元462、减法单元463以及减法单元513来构成。由图10的虚线包围起来的结构阻尼模型510、滤波器511、微分单元512以及减法单元513构成了外部干扰感度控制单元50中的小幅度外部干扰用的控制器(下面，被称为“小幅度外部干扰控制器”)。

[0126] 作为具体的小幅度外部干扰控制器，例如可以使用日本专利第46964572号公报所公开的技术。在本公报所记载的电动助力转向装置中，通过按照顺方向转动转向盘或反方向转动转向盘的判定结果将SAT与正或负的增益相乘，并且从电流指令值中减去其信号，使得能够对“因路面反力而产生的转向盘回正”进行制动，这样就不会产生过度的转向盘回正。顺方向转动转向盘/反方向转动转向盘判定单元使用转向扭矩以及角速度来进行顺方向转动转向盘或反方向转动转向盘的判定，增益单元输入SAT后将SAT与增益相乘。因此，通

过使图10的结构阻尼模型510具有顺方向转动转向盘/反方向转动转向盘判定单元以及增益单元的功能，并且输入转向扭矩Ts和通过微分单元512对操舵角θg进行微分而计算出的操舵角速度ωg，就能够使用本公报所记载的方法来抑制小幅度外部干扰。在这种情况下，尽管不需要滤波器511，但也可以通过使小幅度外部干扰控制器具有本公报所记载的函数变换单元的功能，来解决“因太强的路面反力而导致转向盘急速旋转”的问题。

[0127] 此外，作为小幅度外部干扰控制器，也可以使用日本专利第46964572号公报所记载的技术以外的结构阻尼模型。

[0128] 谐振点外部干扰被激发起来的悬架的前后方向的谐振点是通过轮胎刚性、悬架的衬套刚性与转向系统动态特性的结合来表示的谐振点。在现有技术中，针对在这样的悬架的前后方向谐振点增大的轮胎摆振和制动颤动，是通过“作为悬架的衬套，采用具有阻尼特性的衬套”的方法或“将橡胶安装在用来支撑悬架的副车架”的方法来对应的。然而，因为这些方法会将多余的顺应性赋予给转向系统，所以会产生“提高预测的条件的第1条件以及第2条件恶化”的权衡问题。因此，在本实施方式中，使用外部干扰观测器来抑制谐振点外部干扰。因为轮胎摆振和制动颤动是通过转向机构传递到转向盘的，所以使用“使电动机产生相反相位的振动并进行抵消”的外部干扰观测器。

[0129] 图11是通过外部干扰观测器来构成了谐振点外部干扰用的控制器(下面，被称为“谐振点外部干扰控制器”)的场合的结构框图。在图11中，$F_3(s)$为滤波器特性，由将K_{tor}作为增益的增益单元410、具有C(s)的特性单元420、具有STG(s)的特性单元430、具有$STG^{-1}(s)$的特性单元440、具有$F_3(s)$的滤波器520、加法单元461、减法单元462、减法单元463以及减法单元521来构成。

[0130] 与图8的场合相同，在图11中，假定实际的外部干扰与外部干扰观测器的估计值相等的话，则如图12所示那样，外部干扰是通过具有“$1-F_3(s)$”的特性的滤波器522来传递的。因此，通过将用来抵消悬架前后方向谐振的模型作为分子，并且将抵消后的特性作为分母，这样滤波器522的特性就成为下述式20。

[0131] 式20

[0132] $$1-F_3(s)=\frac{s^2+2\xi_2\omega_{SUS}s+\omega_{SUS}^2}{s^2+2\xi_1\omega_{SUS}s+\omega_{SUS}^2}$$

[0133] ξ_1以及ξ_2为阻尼系数，它们被设定为满足$\xi_1>>\xi_2$。ω_{SUS}为悬架前后方向谐振频率，是通过下述式21来计算出的。

[0134] 式21

[0135] $$\omega_{SUS}=\frac{V}{2\pi R}$$

[0136] R为车轮半径。

[0137] 基于式20，滤波器520的特性$F_3(s)$成为下述式22。

[0138] 式22

[0139] $$F_3(s)=1-\frac{s^2+2\xi_2\omega_{SUS}s+\omega_{SUS}^2}{s^2+2\xi_1\omega_{SUS}s+\omega_{SUS}^2}$$

[0140] 由式22来表示的特性$F_3(s)$为带通滤波器特性，可知其被用来“抵消谐振峰”。

[0141] 由图11的虚线包围起来的滤波器520以及减法单元521构成了外部干扰感度控制

单元50中的谐振点外部干扰控制器。滤波器520使用特性$F_3(s)$来变换自对准扭矩T_{SAT}。

[0142] 超高外部干扰为定常外部干扰，定常外部干扰意味着“车辆处于直行状态时的SAT发生了偏移”。因此，超高外部干扰用的控制器(下面，被称为“超高外部干扰控制器”)以车辆的直行状态检测和SAT的偏移补正为基本结构。

[0143] 图13是具备了超高外部干扰控制器的结构的结构框图，该结构由将K_{tor}作为增益的增益单元410、具有C(s)的特性单元420、具有STG(s)的特性单元430、具有$STG^{-1}(s)$的特性单元440、用来进行中立点学习的中立点学习单元530、根据车速对偏移补正值进行补正的可变增益单元531、用来进行调整以便逐渐地进行补正的渐变单元532、用来变换SAT的滤波器单元533、开关534、加法单元461、减法单元462、减法单元463以及减法单元535来构成。

[0144] 因为超高外部干扰控制器对因道路超高而产生的横向流动的影响进行补偿，所以基于直行状态时的SAT来计算出偏移补正值。在计算偏移补正值的时候，首先，计算出成为基本的偏移补正值(下面，被称为“基本偏移补正值”)，在计算出基本偏移补正值之后，使用基本偏移补正值来计算出最终使用的偏移补正值(下面，被称为“最终偏移补正值”)。还有，基本偏移补正值是使用任意设定的期间(下面，被称为“中立点学习期间”)中的直行状态时的SAT来计算出的，例如，是使用从检测出直行状态的时刻起的所规定的期间中的直行状态时的SAT来计算出的。在计算基本偏移补正值时所使用的SAT为通过滤波器单元533变换后得到的SAT(下面，被称为“变换SAT”)。滤波器单元533用来抑制叠加在自对准扭矩T_{SAT}上的超高外部干扰以外的外部干扰，例如，用来抑制小幅度外部干扰和谐振点外部干扰。因此，也可以使用小幅度外部干扰控制器和谐振点外部干扰控制器的功能。中立点学习单元530进行基本偏移补正值的计算(中立点学习)。中立点学习单元530到了中立点学习期间的话，则通过发送指令等，以便使得开关534与接点534a相连接。还有，通过“转向盘位于中立点附近”来检测出直行状态，使用从判定为直行状态时的滤波器单元533输出的变换SAT来计算出基本偏移补正值。直行状态检测使用公知的技术，作为基本偏移补正值，例如使用变换SAT的平均值。中立点学习期间结束的话，则中立点学习单元530通过发送指令等，以便使得开关534与接点534b相连接。计算出的基本偏移补正值被保持在中立点学习单元530。作为基本偏移补正值，除了平均值之外，例如还可以使用众数等，或者，还可以使用其他的统计方法。

[0145] 通过车速补正函数来变换基本偏移补正值使得即使车速发生变化也可以灵活使用，为了防止在补正过程中产生不协调的感觉，逐渐地进行补正。因为SAT的偏移量在具有不足转向特性的车辆中成为车速的函数，所以将其作为SAT的定常增益G_{SAT}，并且使用二轮模型来表示的话，则成为下述式23。

[0146] 式23

[0147] $$G_{SAT}=\frac{mL_fG_\alpha}{L}$$

[0148] 式24

[0149] $$G_\alpha=\frac{1}{1+KV^2}\frac{V^2}{L}$$

[0150] 式25

[0151] $$K=\frac{m}{2L^2}\frac{L_fK_f-L_rK_r}{K_fK_r}$$

[0152] 在车速补正函数中使用这个定常增益G_{SAT}。

[0153] 中立点学习期间结束后，开关534与接点534b相连接的话，则渐变单元532输入被保持在中立点学习单元530的基本偏移补正值，为了逐渐地进行补正，例如，最初，输出基本偏移补正值的1/N倍(N为任意的自然数)的数据，在那之后，输出像2/N倍、3/N倍那样按照一定的比例变大的数据(下面，将在渐变单元532中进行的处理称为“渐变处理”)。当然，也可以使用除此之外的方法，例如也可以使用“以二次函数的方式逐渐地进行补正”的方法。可变增益单元531输入从渐变单元532输出的数据，与通过使用被输入进来的车速V而计算出的定常增益G_{SAT}相乘后，作为最终偏移补正值输出。在与定常增益G_{SAT}相乘后的结果超过了所规定的最大值(例如3Nm)的情况下，将该最大值作为最终偏移补正值。

[0154] 由图13的虚线包围起来的中立点学习单元530、可变增益单元531、渐变单元532、滤波器单元533、开关534以及减法单元535构成了外部干扰感度控制单元50中的超高外部干扰控制器。

[0155] 此外，外部干扰感度控制单元50也可以抑制“小幅度外部干扰、谐振点外部干扰以及超高外部干扰”以外的外部干扰。例如，也可以将侧风的影响作为外部干扰并对其进行抑制。抑制相对于“因侧风而作用在车身上的力”的车辆的轨迹变化，尤其是抑制横向位移。当抑制横向位移的时候，最好是弱不足转向特性。这是因为，在弱不足转向特性的场合，横摆率变得稍微有点振动，所以一旦产生的横向位移会被返回。反过来，在不足转向特性强烈地表现出来，横摆率振动的情况下，会发生“驾驶员采取不了适当的安全行动”的危险。因此，横摆率的阻尼系数被认为是“最好约为0.8”。使用成为该阻尼系数的控制器，来抑制因侧风的影响而产生的外部干扰。

[0156] 基于上述说明，图4所示的本发明的实施方式的结构示例变成如图14所示那样的结构。

[0157] 参照图15的流程图，对图14所示的结构的动作示例进行说明。此外，将外部干扰感度控制单元50的超高外部干扰控制器中的中立点学习期间设定为从检测出直行状态的时刻起的所规定的期间(例如，5秒的期间)，在下面的动作说明中，前提为，中立点学习单元530将通过使用“在中立点学习期间内从滤波器单元533输入进来的变换SAT中的判定为直行状态的时刻的变换SAT”而计算出的平均值作为基本偏移补正值来保持，并且，开关534与接点534b相连接。

[0158] 动作开始的话，则输入转向扭矩Ts、电动机角速度ωm、电动机角加速度αm、辅助扭矩Tm、操舵角θg、实际转向角θt和车速V(步骤S1)。其中，转向扭矩Ts被输入到加法单元460以及SAT估计单元70中，电动机角速度ωm、电动机角加速度αm以及辅助扭矩Tm被输入到SAT估计单元70中，操舵角θg被输入到外部干扰感度控制单元50的微分单元512中，实际转向角θt被输入到车辆特性补偿控制单元60的特性单元650中，车速V被输入到外部干扰感度控制单元50的可变增益单元531以及电流指令值运算单元31中。此外，通过对电动机角速度ωm进行微分，来计算出电动机角加速度αm。还有，也可以基于操舵角θg并且按照$\theta t=g_{tot}\cdot\theta g$，来计算出实际转向角θt。

[0159] SAT估计单元70使用转向扭矩Ts、电动机角速度ωm、电动机角加速度αm以及辅助

扭矩Tm并且按照式3，来计算出自对准扭矩T_{SAT}(步骤S2)。计算出的自对准扭矩T_{SAT}被输入到SAT传递特性控制单元40的滤波器450和外部干扰感度控制单元50的滤波器511、滤波器520以及滤波器单元533中。

[0160] 在SAT传递特性控制单元40中，滤波器450通过由式18来表示的$F_1(s)$来对自对准扭矩T_{SAT}进行补正(步骤S3)，将补偿信号Cs1输出到加法单元460。加法单元460将补偿信号Cs1与转向扭矩Ts相加后，输出补偿转向扭矩Ts1(步骤S4)。

[0161] 在外部干扰感度控制单元50中，通过小幅度外部干扰控制器的结构阻尼模型510、滤波器511以及微分单元512，并且使用自对准扭矩T_{SAT}以及操舵角θg(有时还使用转向扭矩Ts)，来求出用来抑制小幅度外部干扰的补偿信号Cs2(步骤S5)。补偿信号Cs2被输入到减法单元513中，减法单元513从补偿转向扭矩Ts1中减去补偿信号Cs2后，输出补偿转向扭矩Ts2a(步骤S6)。

[0162] 输入了自对准扭矩T_{SAT}的外部干扰感度控制单元50的滤波器520通过由式22来表示的$F_3(s)$来对自对准扭矩T_{SAT}进行补正使得能够抑制谐振点外部干扰(步骤S7)，将补偿信号Cs3输出到减法单元521。减法单元521从补偿转向扭矩Ts2a中减去补偿信号Cs3后，输出补偿转向扭矩Ts2b(步骤S8)。

[0163] 外部干扰感度控制单元50的渐变单元532以及可变增益单元531使用被保持在中立点学习单元530的基本偏移补正值，并且通过渐变处理、定常增益G_{SAT}的乘法以及最大值限制，来计算出用来抑制超高外部干扰的最终偏移补正值Oc(步骤S9)。最终偏移补正值Oc被输入到减法单元535中，减法单元535从补偿转向扭矩Ts2b中减去最终偏移补正值Oc后，输出补偿转向扭矩Ts2(步骤S10)。

[0164] 输入了实际转向角θt的车辆特性补偿控制单元60的特性单元650通过由式13来表示的$F_f(s)$，并且使用实际转向角θt，来求出补偿信号Cs4(步骤S11)。补偿信号Cs4被输入到加法单元660中，加法单元660将补偿信号Cs4与补偿转向扭矩Ts2相加后，输出补偿转向扭矩Ts3(步骤S12)。

[0165] 补偿转向扭矩Ts3被输入到电流指令值运算单元31中。

[0166] 此外，因为在操舵角θg与电动机角θm之间存在$\theta g \propto \theta m$的关系，所以也可以通过输入电动机角θm来代替“输入操舵角θg”，微分单元512在按照$\theta g = G \cdot \theta m$(G为常数)并且基于电动机角θm来计算出操舵角θg之后，进行微分。在这种情况下，通过对电动机角θm进行微分，来计算出电动机角速度ωm。

[0167] 在上述的实施方式中，尽管车辆特性补偿控制单元基于“将阻尼(衰减)赋予给横摆率”来使车辆特性近似成一阶滞后特性，但车辆特性补偿控制单元也可以通过其他的方法来使车辆特性近似成一阶滞后特性。

[0168] 还有，尽管在上述的实施方式中通过外部干扰观测器来构成了SAT传递特性控制单元，但也可以通过除此之外的2自由度结构来构成SAT传递特性控制单元。

[0169] 附图标记说明

[0170] 1 转向盘(方向盘)

[0171] 2 柱轴(转向轴或方向盘轴)

[0172] 20 电动机

[0173] 30 控制单元(ECU)

[0174]	31	电流指令值运算单元
[0175]	40	SAT传递特性控制单元
[0176]	50	外部干扰感度控制单元
[0177]	60	车辆特性补偿控制单元
[0178]	70	SAT估计单元

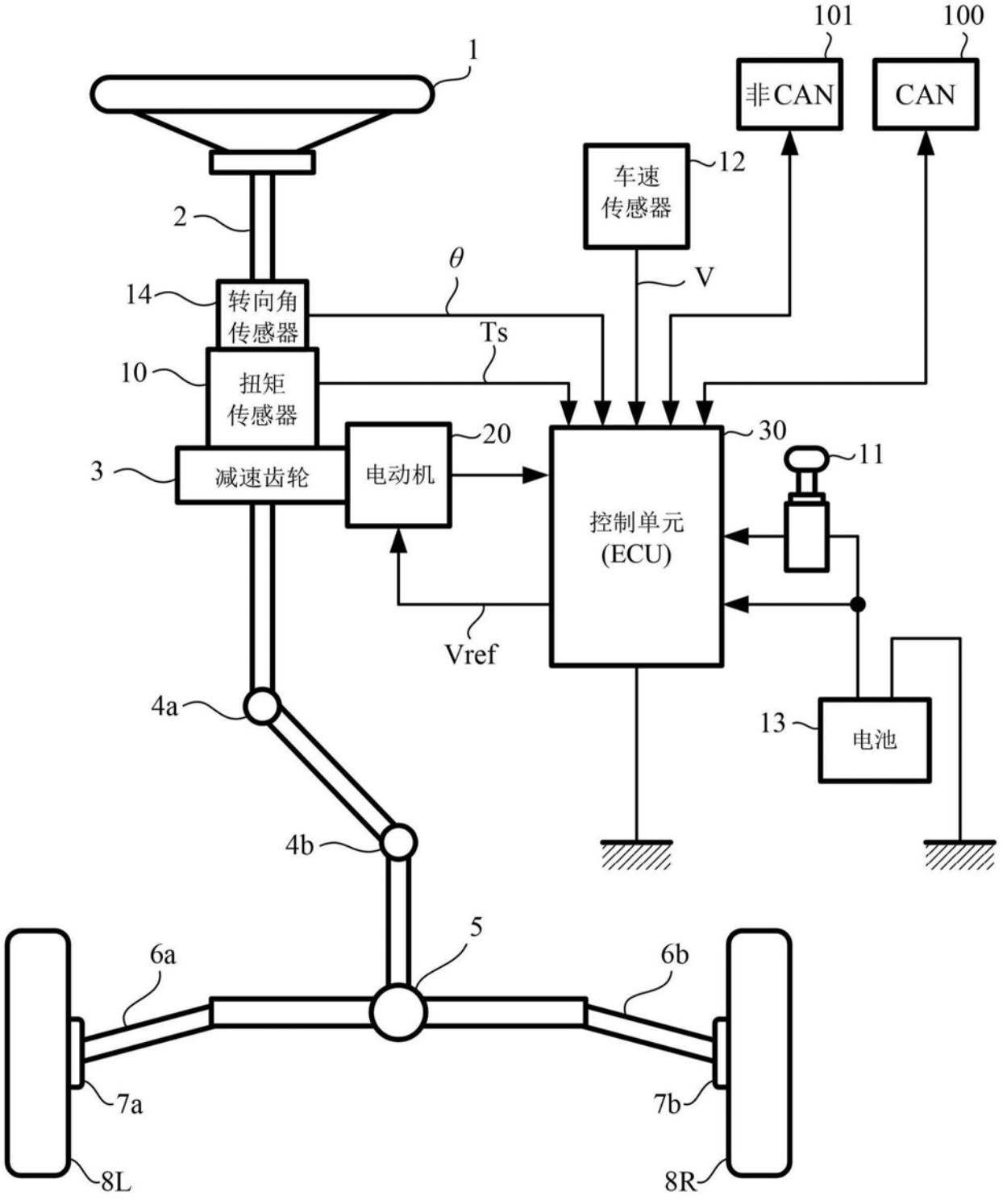

101
100
非CAN
CAN
1
车速
传感器
12
2
θ
V
14
转向角
传感器
Ts
10
扭矩
传感器
20
30
11
3
减速齿轮
电动机
控制单元
(ECU)
Vref
4a
13
电池
4b
5
6a
6b
7a
7b
8L
8R

图1

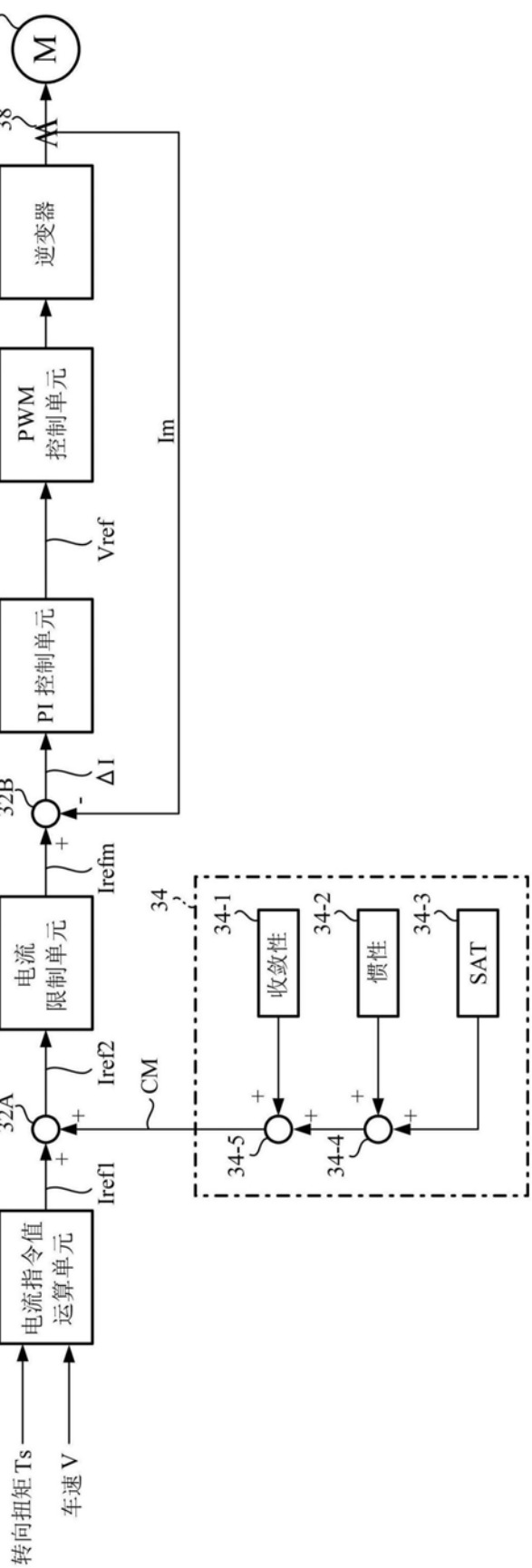

转向扭矩 Ts
车速 V
31
电流指令值运算单元
Iref1
32A
+
+
CM
Iref2
33
电流限制单元
34
34-1
收敛性
34-2
惯性
34-3
SAT
34-5
34-4
+
+
+
+
+
+
Irefm
32B
+
-
ΔI
35
PI 控制单元
Vref
36
PWM 控制单元
37
逆变器
38
Im
20
M

图2

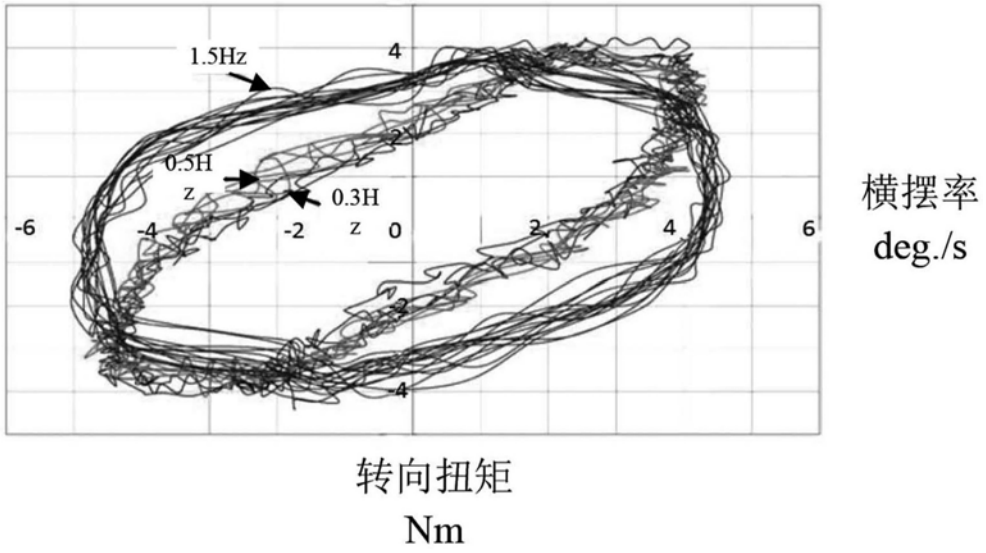

1.5Hz
0.5Hz
0.3Hz
4
2
-2
-4
-6
-4
-2
0
2
4
6
横摆率
deg./s
转向扭矩
Nm

图3

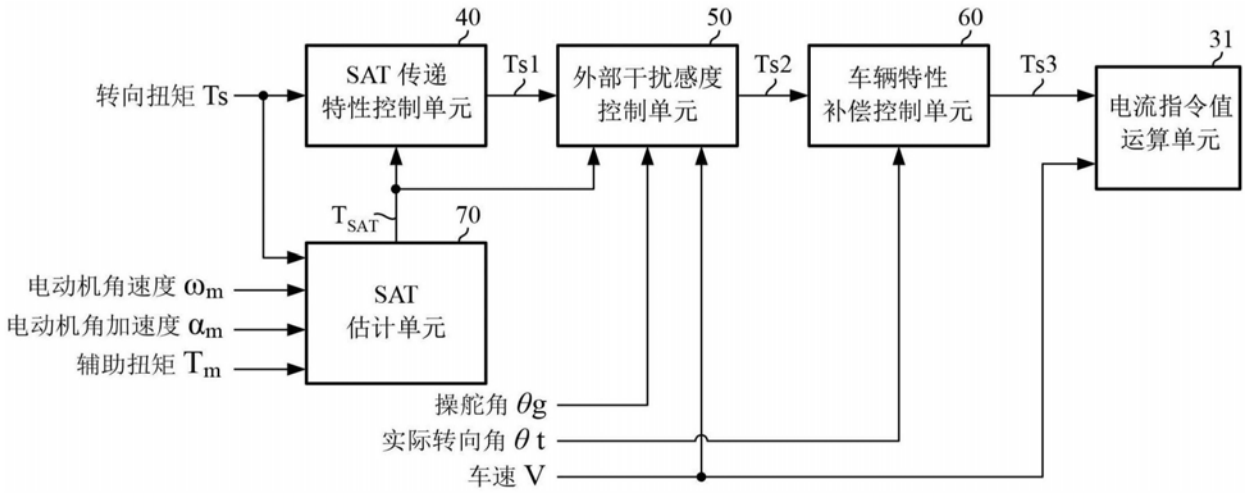

40
50
60
31
转向扭矩 Ts
SAT 传递
特性控制单元
Ts1
外部干扰感度
控制单元
Ts2
车辆特性
补偿控制单元
Ts3
电流指令值
运算单元
TSAT
70
电动机角速度 ωm
电动机角加速度 αm
辅助扭矩 Tm
SAT
估计单元
操舵角 θg
实际转向角 θt
车速 V

图4

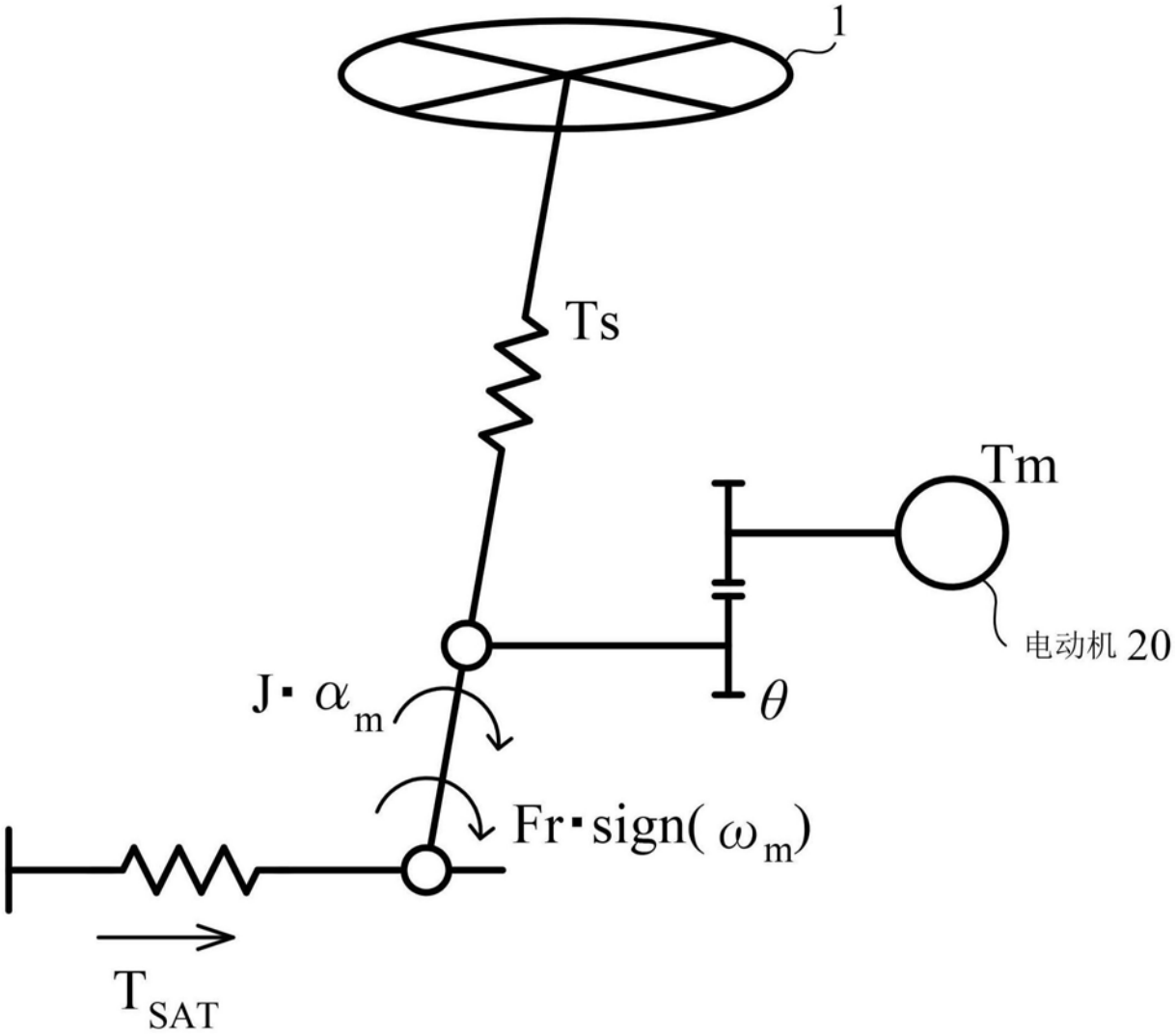

1
Ts
Tm
电动机 20
J· α_m
θ
Fr·sign(ω_m)
T_{SAT}

图5

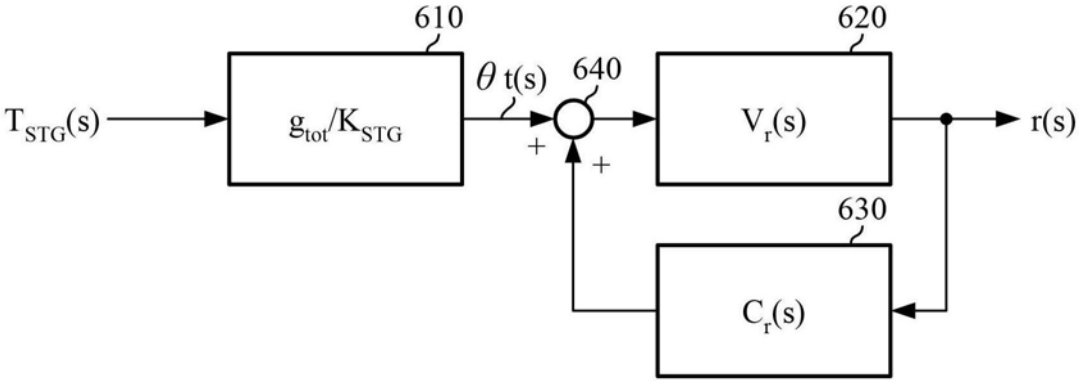

610
620
640
T_{STG}(s)
g_{tot}/K_{STG}
θ t(s)
V_r(s)
r(s)
+
+
630
C_r(s)

图6

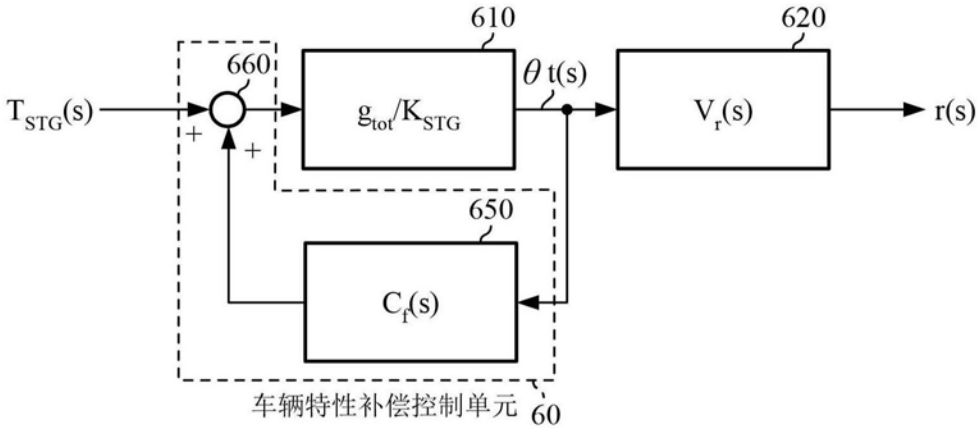

610
620
660
θ t(s)
T_STG(s)
g_tot/K_STG
V_r(s)
r(s)
650
C_f(s)
车辆特性补偿控制单元 60

图7

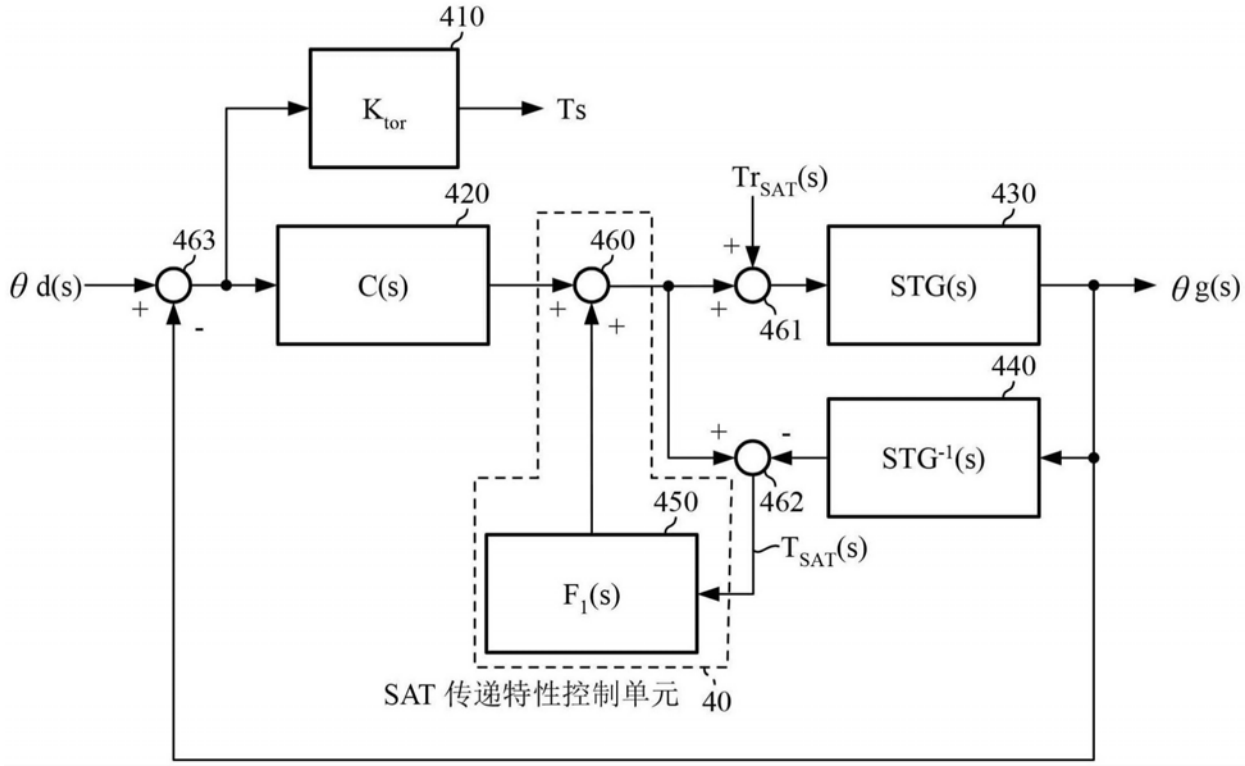

410
K_tor
Ts
Tr_SAT(s)
420
430
463
460
θ d(s)
C(s)
STG(s)
θ g(s)
461
440
STG^-1(s)
462
450
T_SAT(s)
F_1(s)
SAT 传递特性控制单元 40

图8

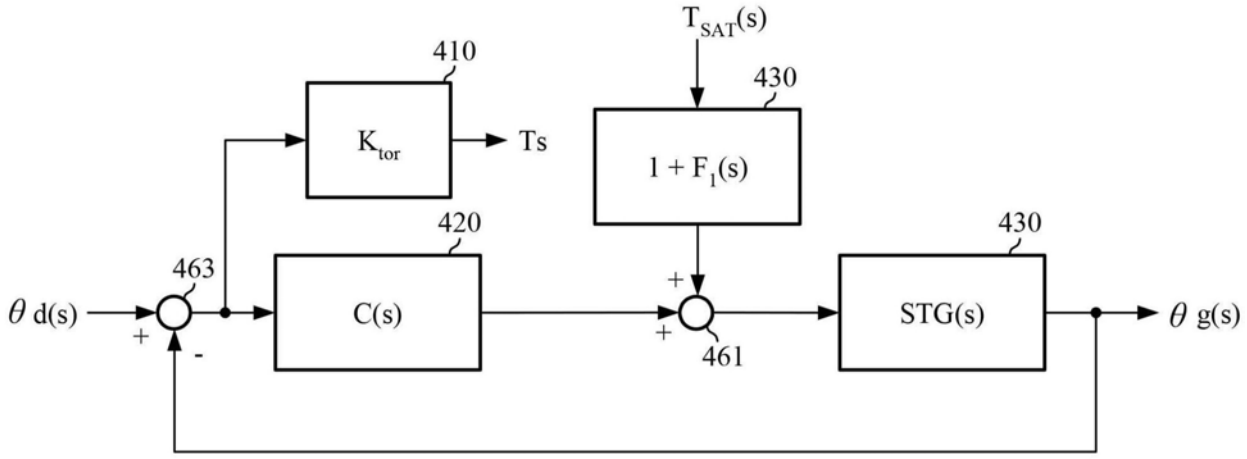

$T_{SAT}(s)$
410
430
K_{tor}
Ts
$1 + F_1(s)$
420
430
463
θ d(s)
C(s)
STG(s)
θ g(s)
461

图9

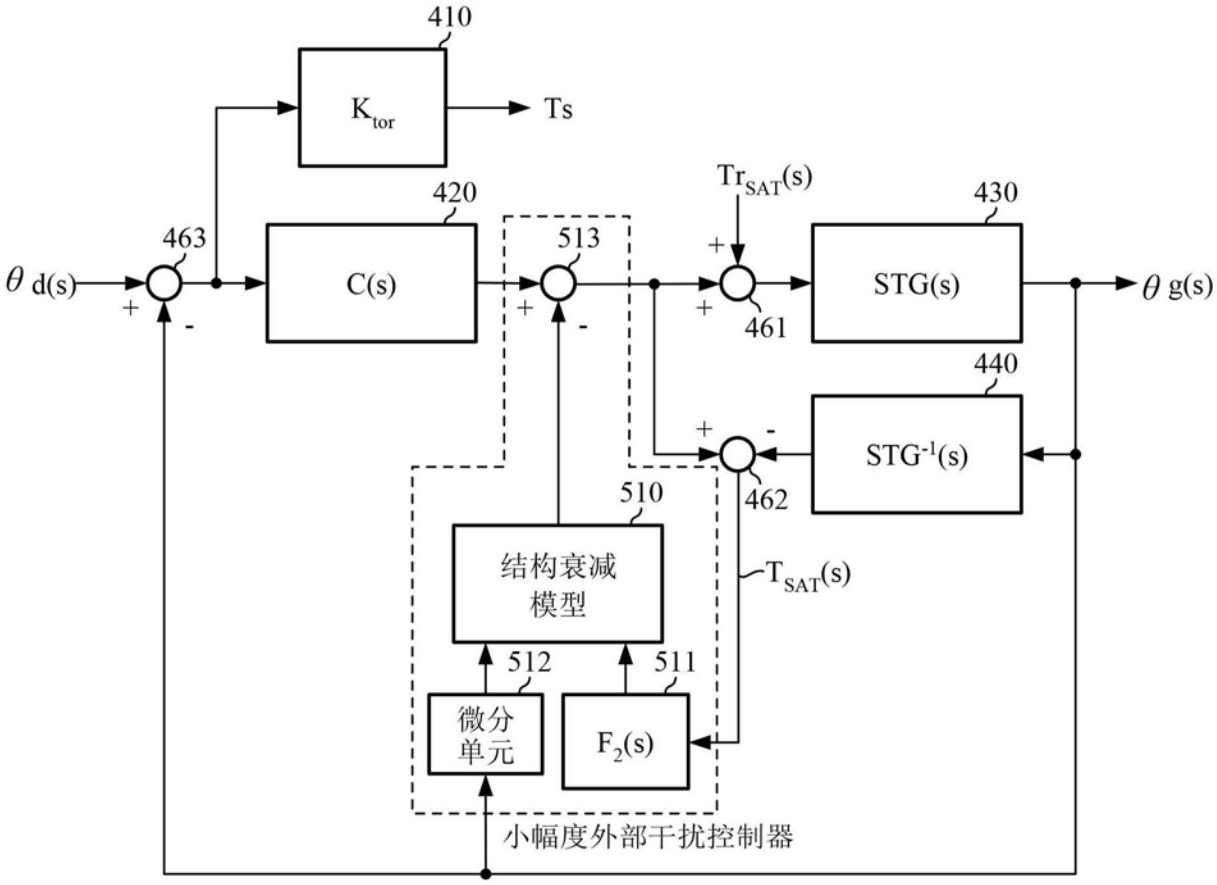

410
K_{tor}
Ts
$Tr_{SAT}(s)$
420
430
463
513
θ d(s)
C(s)
STG(s)
θ g(s)
461
440
$STG^{-1}(s)$
462
510
结构衰减
模型
$T_{SAT}(s)$
512
511
微分
单元
$F_2(s)$
小幅度外部干扰控制器

图10

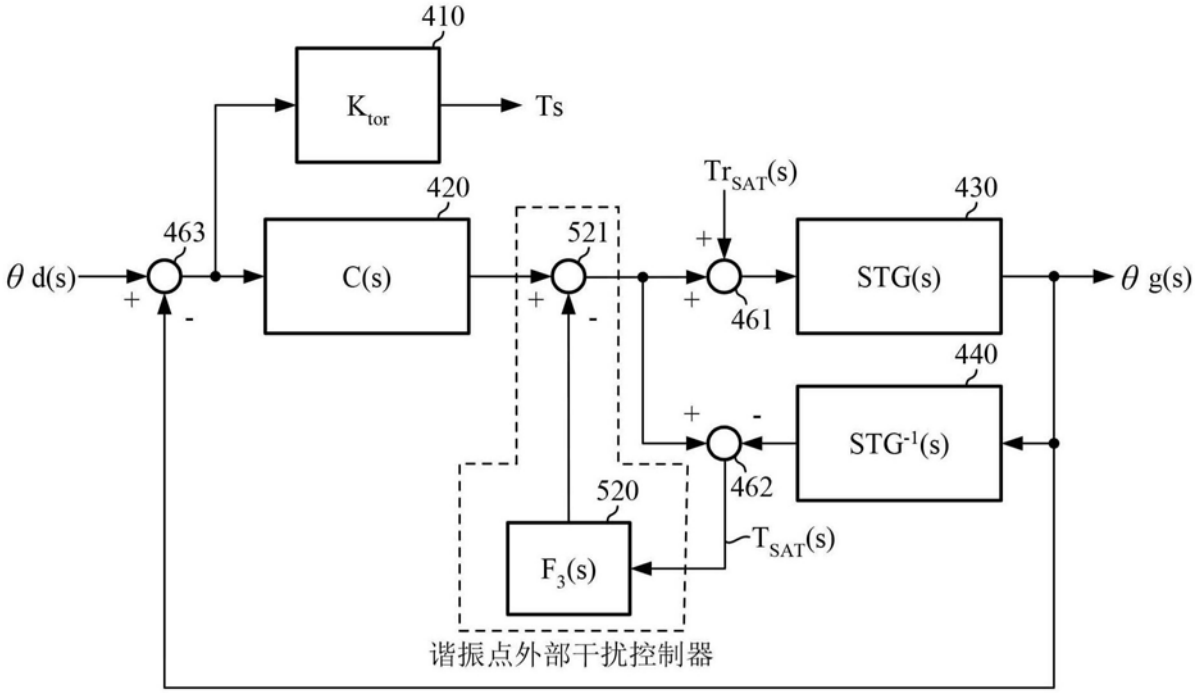

410
K_{tor}
Ts
420
C(s)
463
θ d(s)
521
$Tr_{SAT}(s)$
430
STG(s)
θ g(s)
461
440
$STG^{-1}(s)$
462
520
$F_3(s)$
$T_{SAT}(s)$
谐振点外部干扰控制器

图11

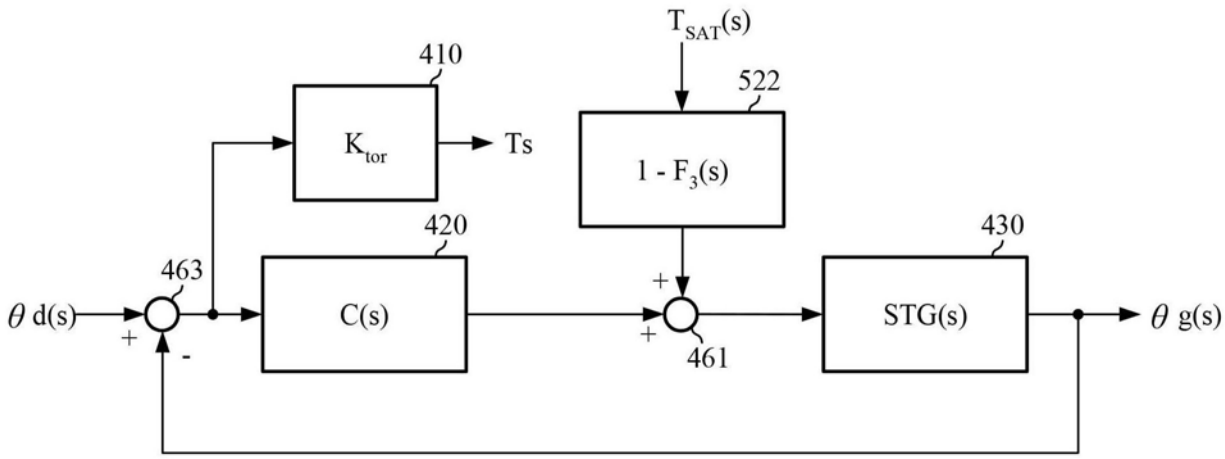

$T_{SAT}(s)$
522
410
K_{tor}
Ts
$1 - F_3(s)$
420
C(s)
463
θ d(s)
430
STG(s)
θ g(s)
461

图12

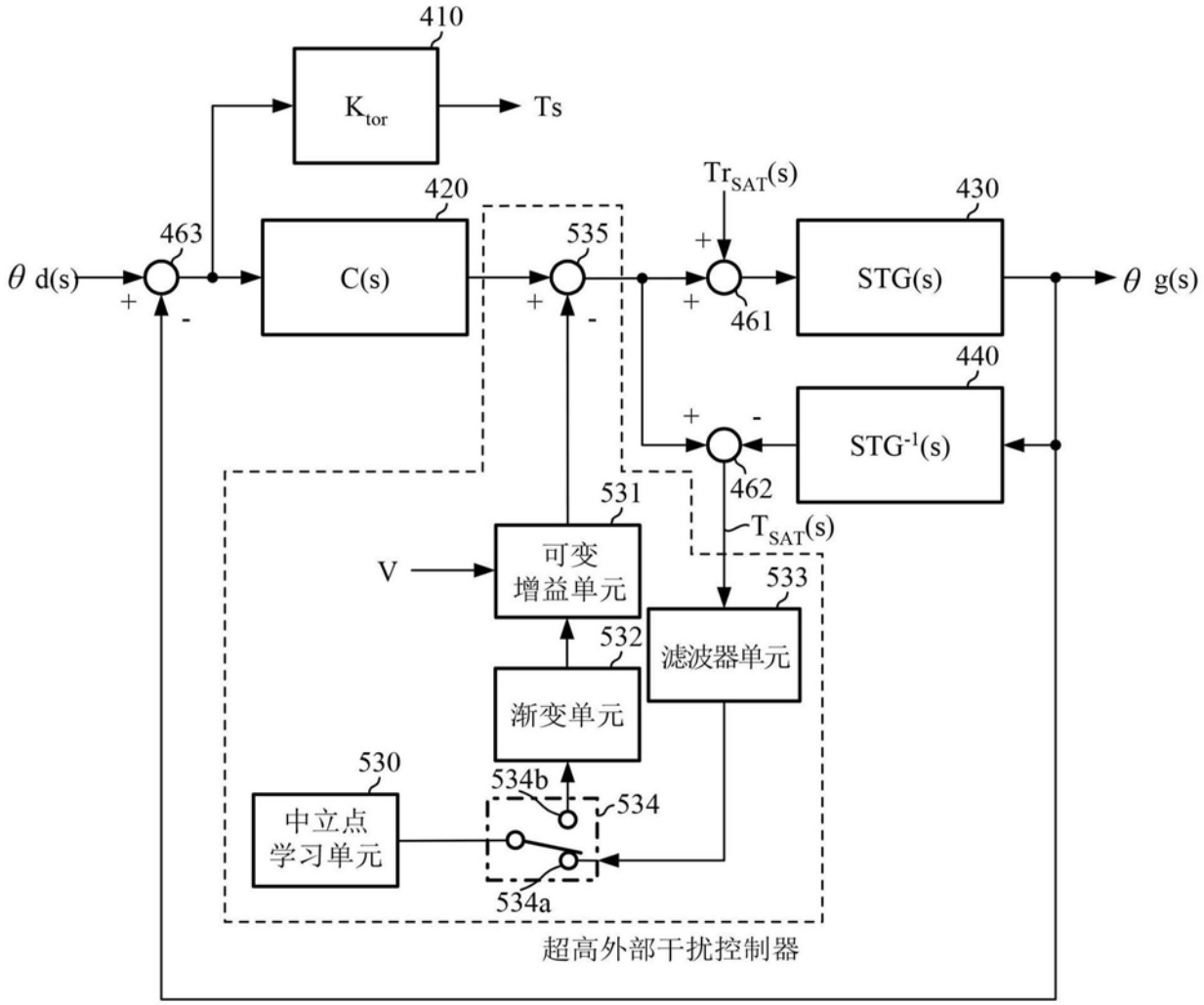

410
K_{tor}
Ts
$Tr_{SAT}(s)$
420
430
463
535
θ d(s)
C(s)
STG(s)
θ g(s)
461
440
$STG^{-1}(s)$
462
531
$T_{SAT}(s)$
V
可变
增益单元
533
532
滤波器单元
渐变单元
530
534b
534
中立点
学习单元
534a
超高外部干扰控制器

图13

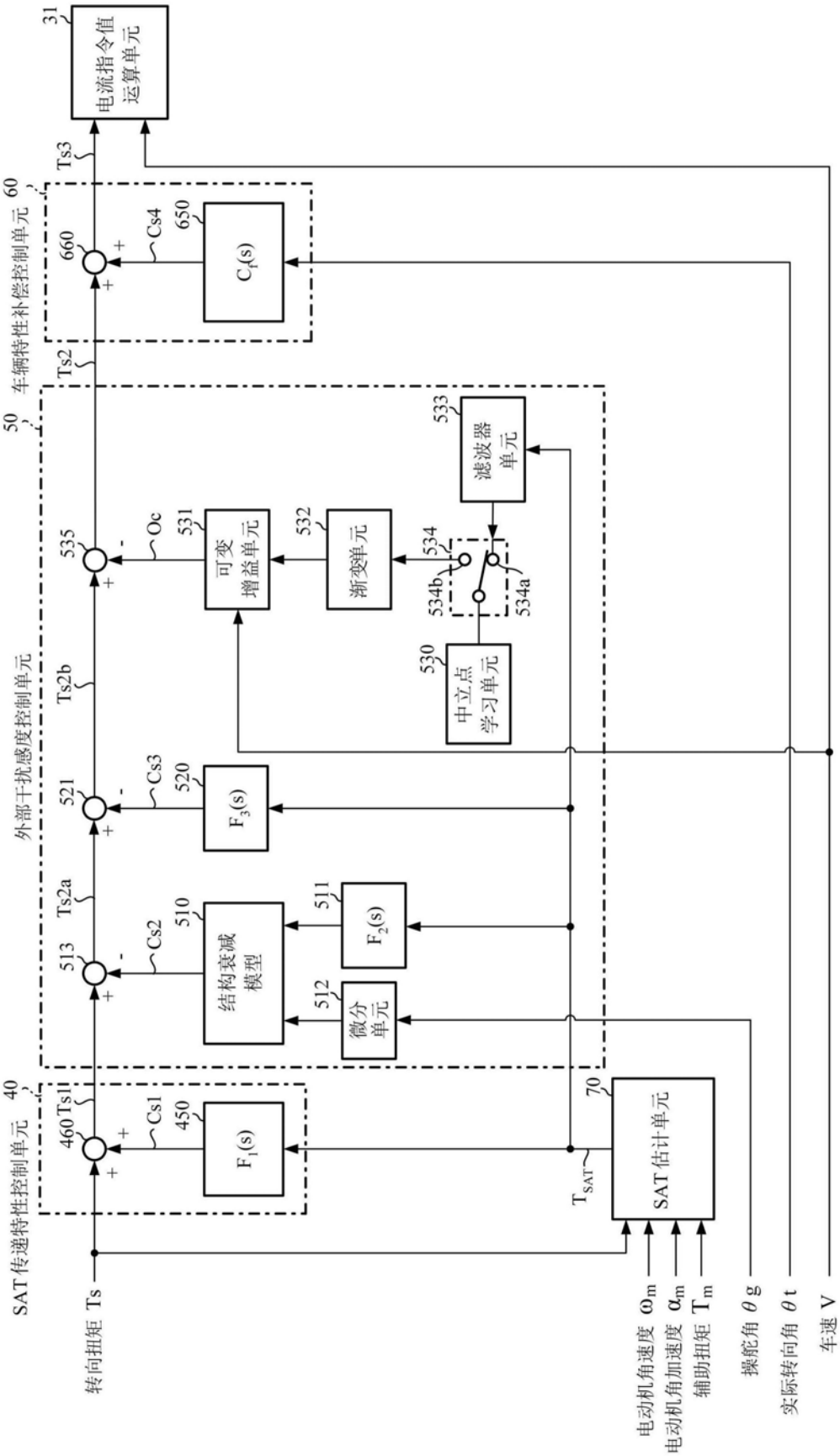

31
电流指令值运算单元
Ts3
60
车辆特性补偿控制单元
660
Cs4
650
$C_f(s)$
Ts2
50
外部干扰感度控制单元
533
滤波器单元
Oc
531
可变增益单元
532
渐变单元
534
534b
534a
535
530
中立点学习单元
Ts2b
Cs3
520
$F_3(s)$
521
Ts2a
Cs2
510
结构衰减模型
511
$F_2(s)$
513
512
微分单元
40
SAT传递特性控制单元
460
Ts1
Cs1
450
$F_1(s)$
70
SAT估计单元
T_{SAT}
转向扭矩 Ts
电动机角速度 ω_m
电动机角加速度 α_m
辅助扭矩 T_m
操舵角 θg
实际转向角 θt
车速 V

图14

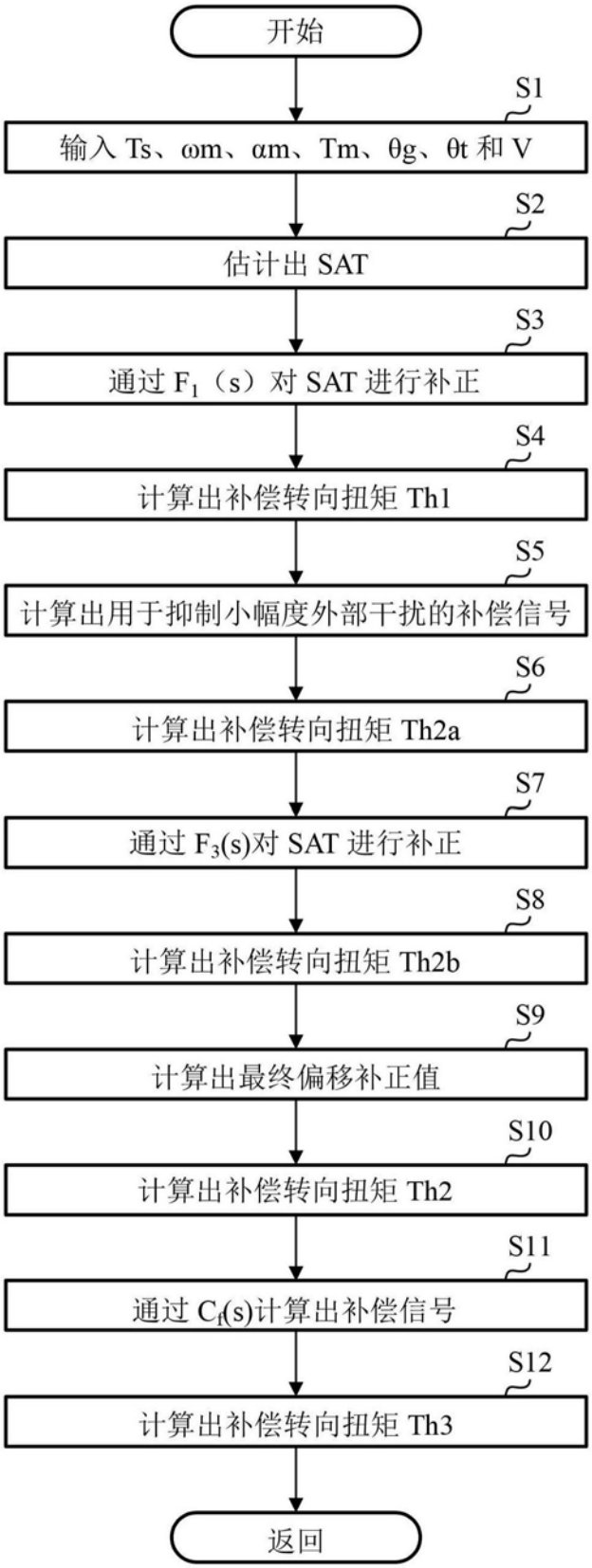

开始
S1
输入 Ts、ωm、αm、Tm、θg、θt 和 V
S2
估计出 SAT
S3
通过 F_1（s）对 SAT 进行补正
S4
计算出补偿转向扭矩 Th1
S5
计算出用于抑制小幅度外部干扰的补偿信号
S6
计算出补偿转向扭矩 Th2a
S7
通过 F_3(s)对 SAT 进行补正
S8
计算出补偿转向扭矩 Th2b
S9
计算出最终偏移补正值
S10
计算出补偿转向扭矩 Th2
S11
通过 C_f(s)计算出补偿信号
S12
计算出补偿转向扭矩 Th3
返回

图15