(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 105307923 B
(45)授权公告日 2018.06.26

(21)申请号 201480022385.X

(22)申请日 2014.03.06

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105307923 A

(43)申请公布日 2016.02.03

(30)优先权数据
1304156.1 2013.03.07 GB

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.10.20

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/GB2014/050668 2014.03.06

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/135885 EN 2014.09.12

(73)专利权人 TRW有限公司
地址 英国西米德兰兹

(72)发明人 N·普拉兰德

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038
代理人 李晓芳

(51)Int.Cl.
B62D 5/04(2006.01)
H02P 23/03(2006.01)

(56)对比文件
CN 1734923 A,2006.02.15,
CN 101716953 A,2010.06.02,
US 2007073462 A1,2007.03.29,
US 2007107978 A1,2007.05.17,
CN 2792901 Y,2006.07.05,
JP 2010069975 A,2010.04.02,

审查员 王粉粉

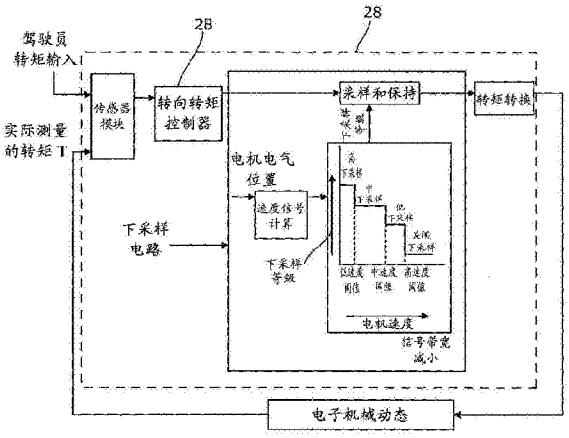
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

用于电动助力转向系统的电机控制

(57)摘要

一种电机驱动电路，包括具有多个相的电机；包括多个电气开关的开关电路；电机电流控制器，其生成要被传递到用于所述开关的驱动电路的电压要求信号，所述驱动电路接着生成用于所述开关电路的脉冲宽度调制的开关信号，所述开关信号使得所述开关能够选择性地将所述相连接到电源，从而使得电流能够通过所述电机的相；和电机转矩控制器，其产生被馈送到所述电流控制器的输入的要求信号，所述电机电流控制器对至少部分依赖于所述要求信号的值的误差信号做出响应。所述转矩控制器在使用中以第一采样率更新所述要求信号。所述电机驱动电路进一步包括下采样电路，其在使用中在特定运行状况下修正所述要求信号，以使得仅仅以低于所述第一采样率的第二采样率更新所述要求信号。



CN 105307923 B

1.一种电机驱动电路，包括具有多个相的电机；包括多个电气开关的开关电路；电机电流控制器，其生成要被传递到用于所述开关的驱动电路的电压要求信号，所述用于所述开关的驱动电路接着生成用于所述开关电路的脉冲宽度调制的开关信号，所述开关信号使得所述开关能够选择性地将所述相连接到电源，从而使得电流能够通过所述电机的相，

电机转矩控制器，其产生被馈送到所述电流控制器的输入的要求信号，所述电机电流控制器对至少部分依赖于所述要求信号的值的误差信号做出响应，

其中所述转矩控制器在使用中以第一速率更新所述要求信号，并且其特征在于所述电机驱动电路进一步包括：

下采样电路，其在使用中在特定运行状况下修正所述要求信号，以使得仅仅以低于所述第一速率的第二速率更新所述要求信号，

其中所述下采样电路包括系统状况识别电路，其被适配为识别所述电机静止或以非常低的速度旋转的系统运行状况，当此特定运行状况被识别时使用所述第二速率。

2.根据权利要求1所述的电机驱动电路，其中所述转矩控制器以对应于所述第一速率的频率输出离散的要求信号值，并且在所述要求信号以所述第二速率被更新时，继续以此频率输出离散的转矩或电流要求信号。

3.根据权利要求1所述的电机驱动电路，其中所述第一速率是所述第二速率的整数N倍。

4.根据权利要求1所述的电机驱动电路，其中所述要求信号表示要由所述电机产生的转矩。

5.根据权利要求1所述的电机驱动电路，其中所述要求信号包括在随电机转子旋转的旋转d-q坐标系中表达的电流要求值。

6.根据权利要求1所述的电机驱动电路，其中所述下采样电路包括采样和保持电路，其接收具有所述第一速率的所述要求信号，并且被适配为以所述第二速率对所述要求信号采样，所述采样和保持电路在取样之间在它的输出处保持采样值，并且其中所述采样和保持电路的输出接着以所述第一速率被采样以产生被馈送到所述电流控制器的下采样的要求信号。

7.根据权利要求1所述的电机驱动电路，其中所述第二速率是固定的速率。

8.根据权利要求1所述的电机驱动电路，其中所述第二速率是可变的速率，所述下采样电路被适配以响应于表示所述电机驱动电路的运行状况的一个或多个信号而改变所述第二速率。

9.根据权利要求8所述的电机驱动电路，其中表示状况的所述信号包括电机速度信号，以使得所述第二速率依赖于所述电机速度而变化。

10.根据权利要求9所述的电机驱动电路，其中所述第二速率逐步地被增大直到所述电机速度达到预先确定的阈值速度，在此点处所述下采样电路将认为所述特定运行状况不再被满足，并且所述要求信号将回复到所述第一速率。

11.根据权利要求1所述的电机驱动电路，其形成电动助力转向系统的一部分，其中电机将转矩施加到所述转向系统的一部分以帮助驾驶员转动方向盘，并且其中所述转矩控制器被布置为在第一输入处接收表示施加到方向盘的转矩的信号，并且在第二输入处接收表示由所述电机下游的转向系统的一部分负载的转矩的信号，并且其中所述转矩控制器将这

两个转矩信号传递通过算法以产生所述要求信号。

12.一种控制电机驱动电路的方法，此类电机驱动电路包括具有以星形或三角形配置连接到一起的多个相的电机；包括被布置在桥中的多个电气开关的开关电路；电机电流控制器，其产生要被传递到用于所述开关的驱动电路的电压要求信号，所述用于所述开关的驱动电路接着产生用于所述开关电路的脉冲宽度调制的开关信号，所述开关信号使得所述开关选择性地将所述相连接到电源从而使得电流流过所述电机的相，

电机转矩控制器，其产生被馈送到电流控制器的输入的要求信号，所述电机电流控制器对表示所述要求信号与表示在电机中流动的实际电流的实际电机电流值之间的差异的误差信号做出响应，

其中该方法包括以第一速率更新所述要求信号，并且在特定运行条件下对所述要求信号下采样，以使得仅仅以低于第一速率的第二速率更新所述要求信号，

其中所述下采样包括识别所述电机静止或以非常低的速度旋转的系统运行状况，当此特定运行状况被识别时使用所述第二速率。

用于电动助力转向系统的电机控制

技术领域

[0001] 本发明涉及电机控制电路的改进，特别是涉及对电动助力转向系统中的多相无刷电机的脉冲宽度调制(PWM)控制。

背景技术

[0002] 用于PWM受控电动机、特别是直流电机的控制系统，通常需要测量流过电机的绕组或相的电流，并且这可以通过每相单独的电流传感器进行、或通过置于电路中的单一电流传感器进行以便测量在直流电源与桥式电路和电机的组合之间流过的总的瞬时电流。在单一电流传感器系统中，通过对将所需要的电压施加到每相的开关的PWM模式偏置，并且在适合的点处对电流传感器采样，获得多个电机相电流。

[0003] 在电动助力转向系统中所要求的电流的值被生成作为从电机要求的转矩的函数。转矩要求信号主要是对在给定的时间电机应该产生的转矩的量的度量。

[0004] 测量到的电流通常被转换到随转子旋转的旋转d-q坐标系中，并且然后与表示从电机要求的电流、也在d-q坐标系中的电流要求信号相结合，以产生电流误差信号。

[0005] 误差信号表示为了获得所期望的转矩而要求的电流与在电机中流动的实际电流之间的差异。误差信号被馈送到产生一组电压要求信号的电流控制器，所述电压要求信号通常也在d-q坐标系中，表示要被施加到电机每一相的、会将误差信号最好地驱动到零的电压。依赖于使用哪种PWM策略，d-q电压信号然后被转换为用于电机的相的PWM信号。因此控制器运行来改变PWM相电压以便尝试不断地使误差信号的幅度最小化，从而确保电机电流尽可能地接近所要求的电流。

[0006] 在实际系统中，电流控制器将包括一个PI或PID或其他类型的反馈控制器。电流控制器的功能是修正施加到电机上的电压，其目标在于保持误差信号值尽可能小。控制器形成闭合环路。

[0007] 电机被用于广泛的应用范围中，并且与本发明相关的一个特别的应用是电动助力转向系统。在典型的电动助力转向系统中，电动机连接到转向柱或转向架。通过驾驶员转动方向盘施加到转向柱的转矩被测量或估计。

[0008] 围绕电流控制器，由转矩控制器产生要求信号，转矩控制器形成另一个闭合环路，其中对在电机的转向下游中的转矩的测量或估计作为一个输入，而施加到方向盘的转矩作为另一个输入。控制器计算表示从电机要求以帮助驾驶员转动方向盘的辅助转矩的量的要求信号。例如，如果电机施加使转向柱在与驾驶员施加的转矩相同的方向上转动的转矩，将产生使转向更容易转动的效果。由转矩控制器使用合适的算法计算要求信号的值，并且在本领域中许多不同的算法是已知的。例如，在这里以引用的方式被包含的一种算法在专利申请(参考)中被公开。可以用转矩值或在d-q参考坐标系中的电流来表达要求信号。

[0009] 在本领域中使用反馈控制和PWM的电机驱动电路已经被熟知。例如，WO2006005927公开了一种典型的系统，该文件的教导在这里以引用的方式被包含。在附图2中示出控制系统通常的布局。

发明内容

[0010] 根据第一方面，本发明提供一种电机驱动电路，其包括具有多个相的电机，包括被布置在桥中的多个电气开关的开关电路，电机电流控制器，其生成要被传递到用于开关的驱动电路的电压要求信号，驱动电路接着生成用于开关电路的脉冲宽度调制的开关信号，所述开关信号使得开关能够选择性地将相连接到电源，从而使得电流能够流过电机的相，

[0011] 电机转矩控制器，其产生被馈送到电流控制器的输入的要求信号，电机电流控制器对至少部分依赖于要求信号的值的误差信号做出响应，

[0012] 其中转矩控制器在使用中以第一采样率更新要求信号，并且其特征在于电机驱动电路进一步包括：

[0013] 下采样电路，使用其在特定运行状况下修正要求信号，以使得仅仅以低于第一速率的第二采样率更新要求信号。

[0014] 申请人已经认识到在诸如电动助力转向之类的某些应用中，在转向柱静止的负载状况下，可能存在非常高水平的触觉和声学噪声。申请人还认识到要求信号中的噪声可以是此噪声的一个原因，并且这通常是由转矩传感器的输出信号中的误差造成的。本发明的电机驱动电路在可以使得噪声存在的状况(或至少会感觉到或听到噪声的状况)时减小要求信号的更新率，并且将此更新率被减小的信号馈送到电流控制器，有效地减小被馈送到电流控制器的要求信号的带宽，使得噪声不被传递通过控制器。

[0015] 转矩控制器可以以对应于第一更新速率的频率输出离散的要求信号值，并且可以在以第二较低的率更新要求信号时，以此频率输出离散的转矩要求信号。离散值意味着转矩要求信号包括一连串数字化的值，每个值以第一速率产生每个值。可替代地，它可以是以第一速率更新的连续的模拟信号。

[0016] 第二较低的更新速率可以是第一更新速率的整数倍。因此，如果第一速率对应于每N秒更新一次信号，其中N通常小于0.1或0.01秒或更低，则第二速率可以对应于每N*M秒更新一次，其中M是诸如2、3、或4或5或更大的数之类的大于1的整数。将仍然以每秒N个的速率输出样本，但在一行中的M个样本将具有相同的值。例如，如果M是4，则一行中的每4个样本将具有相同的值，此值被更新，并且下面4个将具有相同的值等等。

[0017] 要求信号可以具有表示要由电机产生的转矩的值。可替代地，要求信号可以包括具有表示在随着电机转子旋转的旋转d-q坐标系中表达的电流的值的电流要求信号。d-q电流要求信号将实际上表示向电机要求的转矩，但被表达为电流。本发明的下采样可以任意转换到d-q轴电流基准之前被应用到转矩要求信号。

[0018] 由电流控制器使用的误差信号可以具有表示从电机要求的电流和电机中的实际电流之间的差异的值。

[0019] 下采样电路可以包括一种系统状况识别电路，其被适配以识别电机静止或以非常低的速度旋转的系统运行状况，当特定运行状况被识别时使用第二速率。

[0020] 下采样电路可以包括采样和保持电路，其接收具有第一速率的转矩要求信号，并且被适配为以第二速率对转矩要求信号采样，采样和保持电路在取样之间在输出处保持采样值，并且其中采样和保持电路的输出接着以第一速率被采样以产生被馈送到电流控制器的下采样转矩要求信号。

[0021] 第二速率可以是在运行状况被满足时使用的固定速率。例如，它可以是第一速率的固定的整数部分。

[0022] 可替代地，可以由下采样电路响应于表示驱动电路的运行状况的一个或多个信号改变第二速率。

[0023] 表示状况的信号可以包括电机速度信号以使得第二速率依赖于电机速度而变化。

[0024] 例如，在电机速度为零或接近于零时的第二速率可以低于在电机速度较高时的第二速率。

[0025] 第二速率可以分两步、三步或四步或更多步变化直到电机速度达到预先确定的阈值速度，在此阈值速度点上，下采样电路将认为特定运行状况不再被满足，转矩要求信号将回复到第一速率。下采样可以从第一速率的四分之一、三分之一到二分之一逐步地变化。

[0026] 驱动电路可以形成电动助力转向系统的一部分，其中电机将转矩施加到转向系统的一部分以帮助驾驶员转动方向盘，并且在这样的系统中转矩控制器可以在第一输入处接收表示施加到方向盘的转矩的信号，在第二输入处接收表示由电机下游的转向系统的一部分负载的转矩的信号。转矩控制器可以通过算法传递这两个转矩信号以产生转矩要求信号。

[0027] 电流控制器可以包括PID类型的控制器，其包括设置控制器的带宽的一个或多个增益项。

[0028] 转矩控制器还可以包括PID类型的闭合环路控制器，诸如PI控制器。电流控制环路可以在转矩控制环路内部被嵌套。

[0029] 根据第二方面，本发明提供一种控制电机驱动电路的方法，此类电机驱动电路包括具有以星形或三角形配置连接到一起的多个相的电机，包括被布置在桥中的多个电气开关的开关电路，电机电流控制器，其产生要被传递到用于开关的驱动电路的电压要求信号，驱动电路接着产生用于开关电路的、使得开关能够选择性地将相连接到电源从而使得电流能够流过电机的相的脉冲宽度调制开关信号，

[0030] 产生被馈送到电流控制器的输入的要求信号的电机转矩控制器，电机电流控制器对表示要求信号与表示在电机中流动的实际电流的实际电机电流值之间的差异的误差信号做出响应，

[0031] 其中所述方法包括以第一采样率更新所要求的电机转矩信号，以及在特定运行状况下对转矩要求信号下采样，以使得转矩要求信号仅仅以低于第一速率的第二采样率被更新。

[0032] 要求信号可以是电流要求信号，使得做出与实际电流的直接比较作为误差信号的源。可替代地，要求信号可以是转矩要求信号，可以利用电机运行状况和电机转子位置的知识从该转矩要求信号获得电流要求信号。

附图说明

[0033] 现在将参考如下附图说明，仅以示例的方式描述本发明的一个实施例。

[0034] 图1是三相无刷直流电机和形成本发明的电机驱动电路的实施例的一部分的开关电路的电路图；

[0035] 图2是被包含在电动助力转向系统中的整个驱动电路的总览图；

[0036] 图3是示出由存在噪声的转矩信号引起的噪声流过图2的驱动电路中的控制器的框图；

[0037] 图4是示出在以第一速率更新(菱形)时以及在以第二速率的四倍下采样(交叉)时从转矩控制器输出的转矩要求信号的幅度对时间的图形；

[0038] 图5是对第一速率的原始转矩要求信号和下采样信号随时间的变化的比较；

[0039] 图6是示出被混叠到第二速率的信号中的第二较高的频率的、在第一速率的原始信号中存在的基础频率的转矩要求信号幅度对频率的图形；以及

[0040] 图7是详细地示出随着电机速率改变下采样率以确保混叠频率处于控制器的带宽以外的下采样电路的框图。

具体实施方式

[0041] 参考图1，三相无刷电机1包括三个通常被指定为A相、B相和C相、在星形网络中相连接的电机绕组2、4、6。每个线圈的一端连接到各自的末端。线圈的另一端连接到一起形成星中心7。自由端连接到被布置为H桥的开关电路上。

[0042] 开关电路包括三相桥8，电机的每一相对应三相桥8中的一相。桥的每个臂10、12、14包括以在供电轨20和地线22之间串联连接的一个顶部晶体管16和一个底部晶体管18的形式的一对开关。电机绕组2、4、6每个从对应的互补的一对晶体管16、18之间分接出来。

[0043] 具体如图3所示，由电机控制器21以受控的方式开启和关断晶体管16、18，以提供对施加到相绕组中的每一个绕组的电位的脉冲宽度调制，从而控制跨越绕组2、4、6中的每一个绕组施加的电位差并且还控制流过绕组的电流。这接着控制由绕组产生的电磁场的强度和方向，其中所述电磁场设置由电机产生的转矩。

[0044] 在电机1和地之间的地线22中提供以电阻器24的形式的电流测量设备，使得控制器21可以测量流过全部绕组2、4、6的总电流。为了测量在每个绕组中的电流，不得不在PWM周期内、施加到绕组的每个末端的电压(并因此特定相的导电状态)是已知的精确位置处对总电流进行采样。优选地，可以针对每相提供单独的电流传感器。

[0045] 在此示例中的控制器使用空间矢量调制(SVM)算法，但任何调制技术可以在本发明的范围内同等地被使用，而这不应当被理解为限制性的。

[0046] 在三相系统中的每个绕组2、4、6可以仅仅连接到供电轨20或地线22上，并且因此控制电路的开关存在八个可能的状态。使用1来表示三相中的一相正处于正电压，并且使用0来表示连接到地的一相，状态1可以被表示为[100]，表示A相为1、B相位为0、而C相位为0。状态2被表示为[110]，状态3为[010]，状态4为[011]，状态5为[001]，状态6为[101]，状态0为[000]，以及状态7为[111]。状态1-6中的每一个状态是一种导电状态，其中电流流过绕组2、4、6中的全部绕组，沿一个方向流过其中一个绕组，而沿另一方向流过其他两个绕组。状态0是所有绕组连接到地的零伏状态，而状态7是所有绕组连接到供电轨的零伏状态。

[0047] 在正常运行期间，当开关电路被控制器21控制以产生脉冲宽度调制时，一旦处于每个PWM周期，相2、4、6中的每一相就会正常地被开启和关闭。每个状态占用的时间的相对长度将确定在每个绕组中产生的磁场的大小和方向，并且因此确定施加到转子的总转矩的大小和方向。

[0048] 图1和图2的电机控制电路可以被用在许多应用中，并且在这个实施例中形成了电

动助力转向系统的一部分。转向系统包括转矩传感器26，其测量在转向柱中的转矩并且将此馈送到转矩控制器。转矩控制器计算转矩要求信号，其表示要由电机产生的转矩。此转矩要求信号包括一系列以每秒M个样本的采样率输出的离散值。根据电机转子的角位置，此信号被转换为在旋转d-q坐标系中的电流要求信号。

[0049] 控制器使得电机运行并且提供所要求的转矩。由电机将此转矩施加到转向系统，使对于驾驶员来说转动方向盘变得更容易。因此系统具有两个闭合环路-转矩控制器环路和电流控制器环路。

[0050] 如图3所示，电流控制器将电流要求信号，以及对在电机中流动的、在d-q坐标系中表达并且从电流传感器24的输出中获得的实际电流的度量，馈送到减法器32。减法器的输出是表示所要求的d-q电流和实际测量的d-q电流之间的差异的误差信号。

[0051] 误差信号被馈送到比例积分(PI)控制器级34的输入，比例积分(PI)控制器级34将处于d-q坐标系的电流误差信号转换为在d-q坐标系中的电压信号，并且然后所述电压信号被dq-UVW转换器36转换为三相电压UVW。然后由PWM转换器利用所选择的SVW调制技术将此电压UVW转换为每相所需要的PWM电压信号。控制器不断地尝试将误差信号驱动为零，以确保电机各相中的电流与所要求的电流相匹配。

[0052] 在实际系统中，外部的转向(转矩)环路将产生以比电流控制器运行的速率更低的速率M更新的转矩要求信号值。在正常运行期间要求信号的更新率是每秒M个样本，其中M确定第一采样更新率。

[0053] 如图5所示，转矩控制器包括下采样电路，其可运行在电机的特定运行状况下，以对转矩要求信号进行下采样，即提供以较低的第二速率M/N更新值的转矩要求信号，其中N通常是整数值。然后由电流控制器利用此下采样的转矩要求信号。

[0054] 下采样电路在输入处接收电机速度的度量，并且确定电机处于当电机速度低于例如5mph或2mph的速度的阈值水平时下采样是有益的特定状况中。

[0055] 此方法的益处是通常任何高于40Hz的噪声高频分量不会以低或零速度通过电流控制器，例如因为低于此的任何噪声通常为随着车辆沿道路行进而引起的道路噪声。这帮助减少此高频噪声的影响，诸如如果电流控制器对噪声做出反应将出现的声学噪声。下采样有效地减小带宽，与利用滤波器的替代的带宽减小电路相比是有益的。与使用直接的滤波器相比，系统的相位滞后没有被损害那么多，因此对系统的稳定性的影响被减小。

[0056] 申请人发现噪声基底在控制环路内以第一速率得到放大，但传输路径在扩大噪声中起到重要的作用。在无负载的状况下，电机仍然易受到来自控制器的噪声的影响，但增益稍小(转矩控制器的高频路径增益在这些状况下相当恒定)。

[0057] 从以第一速率到以第二、较低的速率对转矩要求信号进行下采样，有效地减小信号的带宽，而未在信号中引入任何滞后(仅仅小的固定的滞后)。这减小了系统所暴露于的噪声的带宽，而仅仅引入了极小的有效延迟，与引入动态延迟的传统滤波方法不同。

[0058] 值得注意的是，利用在电流控制器内的这些信号的功能仍然以正常的速率运行-以第一速率接收转矩要求信号，即使在特定状况下它们以较低的第二速率改变值-意味着即使信号是静态的，功能仍然使用所述值用于计算，即功能将在看到如图4所示的变化之前看到用于多次迭代的相同的值。对于以下采样因子为4在1ms采样的信号，在更新一个新的值之前会有4个恒定的值，或带宽被减小到四分之一，从1KHz到250Hz，如图4所示。

[0059] 如图5所示，这阻止信号以高于下采样的带宽的速率变化。但这引入了混叠的问题，因为现在电机在旋转时具有更大的步距，这表现为系统中的高频噪声。在下面的部分提供理论上的解释。

[0060] 对与电机的接口上的输出进行下采样减小带宽。这给出了较高幅度的混叠内容的可能性，较高幅度的混叠内容由于电机的较高带宽可以引起不希望的行为。此设计被加强以充分地减小电机带宽以使混叠的内容衰减，但仍然保持足够的带宽以允许控制器在转向系统中的通常具有大约50Hz带宽的电子机械系统的活动动态区域中动作而不产生任何滞后。

[0061] 图5示出了下采样对转矩信号上的高频噪声的影响，高频噪声基本上被减少，而在信号中仅仅有极小的延迟。

[0062] 尽管下采样提供了如上图所示的非常干净的时域信号，但它引入了频域上的其它问题。对信号下采样可以产生混叠-当信号被下采样时，信号具有内容的频带被减小。如果信号仅仅以它被采样的速率被使用，这没有问题，但由于保持执行率(第一速率)，因此电流控制器的输入多次看到相同的值，其在频率内容的方面表现为反射光谱内容，如图6所示。

[0063] 为了克服由混叠引起的可能的问题，此实施例的驱动电路使用高质量的、低噪声的、被馈送到下采样电路的速度信号，以使得电路能够渐入和渐出下采样。

[0064] 图7示出用于随着电机速度改变下采样率的策略。通过以第一速率将转矩要求信号馈送到采样和保持电路来实现下采样，采样和保持电路的输出以第一速率被采样，而采样和保持电路以第二速率保持值。采样和保持电路有效地获得转矩要求信号的值并且在整数数目的样本期间保持它，例如如果第二速率是第一速率的二分之一，则在2个样本的期间保持，或如果第二速率是第一速率的三分之一，则在3个样本的期间保持。在可变的下采样中，采样和保持电路采样和保持输入信号的速率是变化的。

[0065] 申请人已经认识到动态的问题仅仅在转向柱旋转时被引入；如果当转向柱旋转时下采样退回到较小的值，将阻止电机对高频反射光谱做出反应。

[0066] 使用利用固定的电机位置变化所经过的时间以确定速度的算法来产生速度信号，在这种情况下，使用可以被测量到的最小的可能位置变化(即，电机电气位置)。所应用的下采样的量具有三个可能的等级，并且计算出的速度信号被用于在不同的等级之间转换。为了发展不同的前轴载荷，在每个等级上可用的下采样的量和速度阈值均保持可调。

[0067] 例如，如果7.5电度(在可能的位置中最小的分辨率)的位置变化在ΔT中发生，则信号的速度被计算为速度(电度/s)＝电机电分辨率/(ΔT)＝7.5/(ΔT)。

[0068] 不同的电机速度等级和相应的下采样等级在下面的表中示出。

[0069]

速度	下采样等级
低速度阈值	高下采样
中速度阈值	中下采样
高速度阈值	低下采样
高速度阈值禁用	正常信号

[0070] 对系统中的信号的下采样提供对隆隆噪声状况下系统中的整体噪声水平的很好的改进-这在混叠中产生一些不需要的副作用，但可以被电机控制环路中的相应设置抑制。

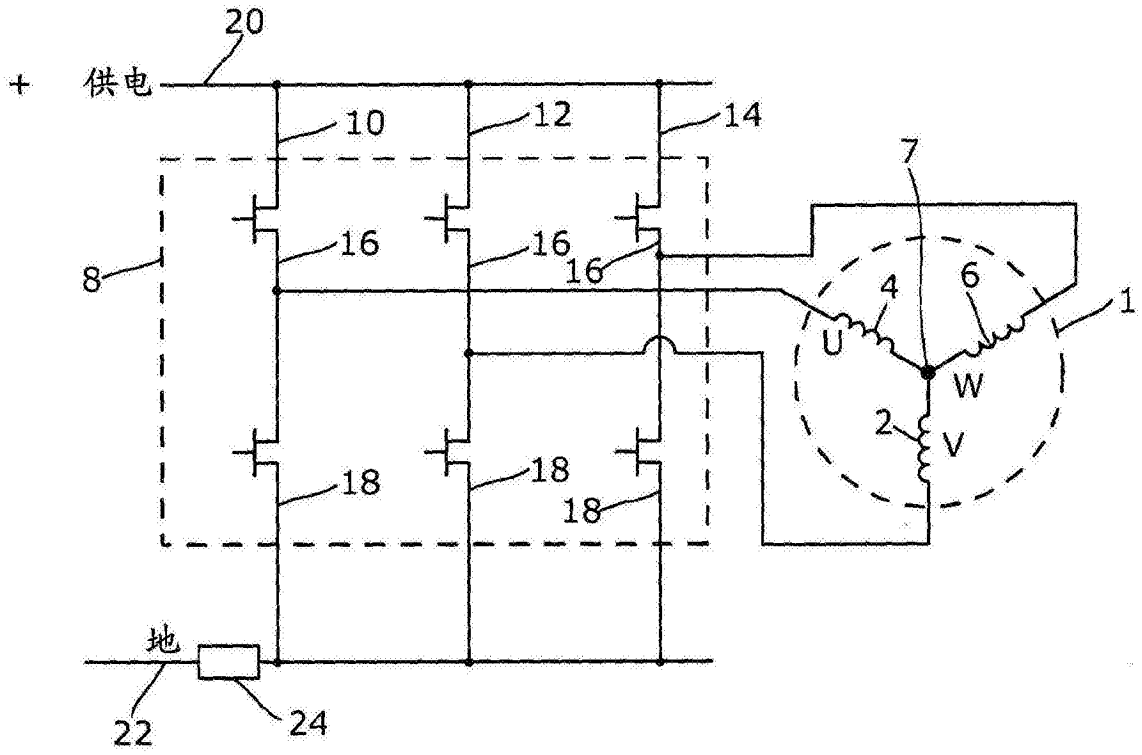

20
+
供电
10
12
14
7
16
16
16
8
4
6
1
U
W
2
V
18
18
18
地
22
24

图1

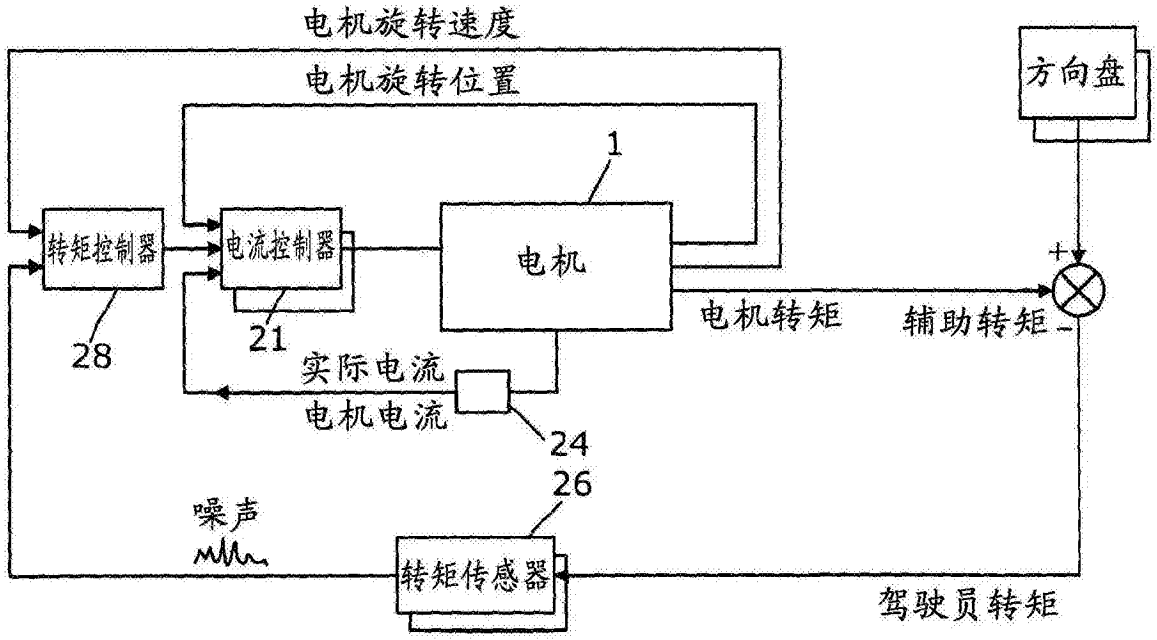

电机旋转速度
电机旋转位置
方向盘
1
转矩控制器
电流控制器
电机
+
28
21
电机转矩
辅助转矩
−
实际电流
电机电流
24
26
噪声
转矩传感器
驾驶员转矩

图2

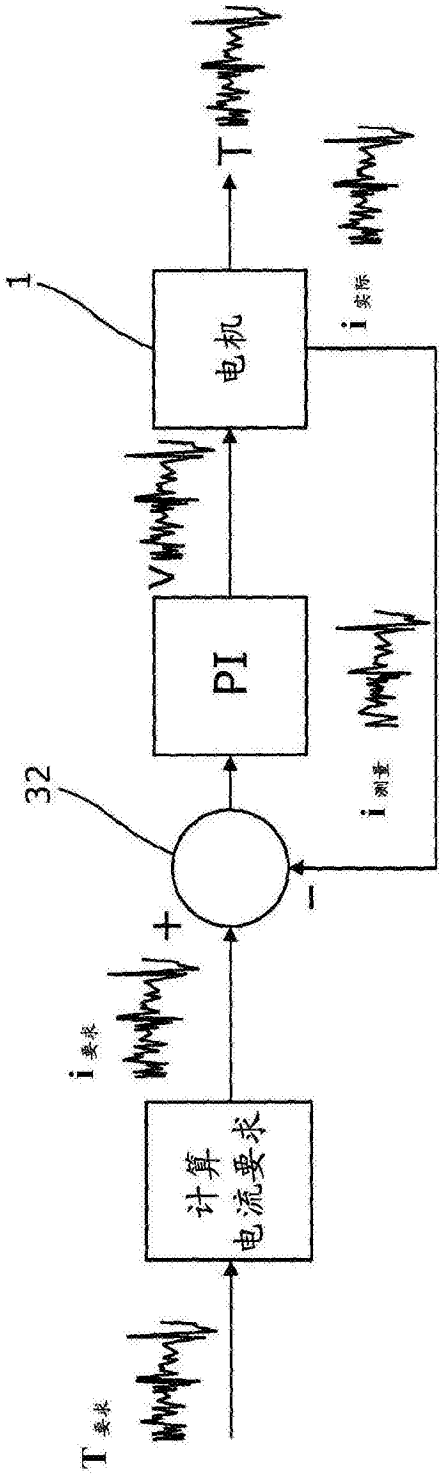


图3

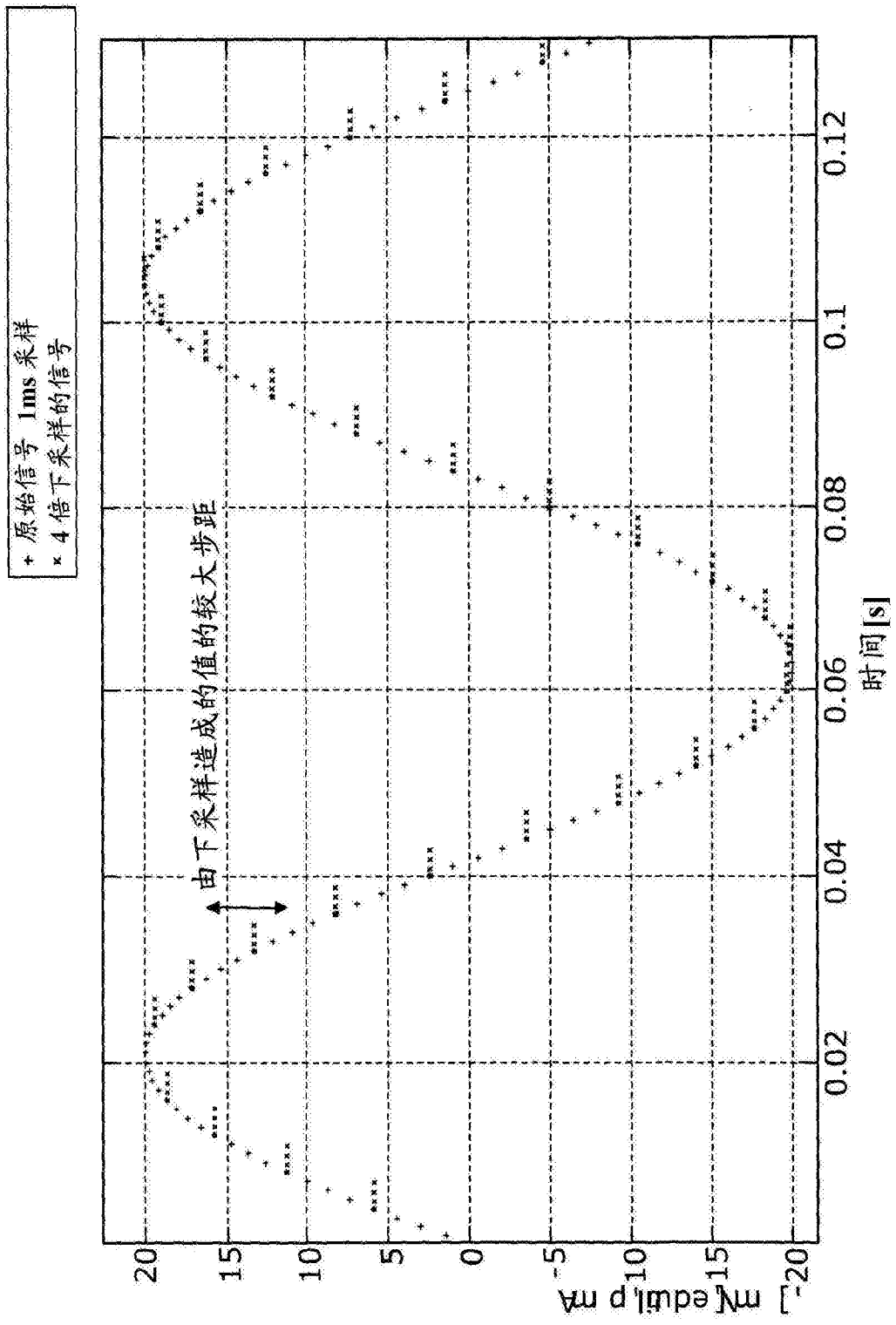

+ 原始信号 1ms 采样
× 4 倍下采样的信号
由下采样造成的值的较大步距
时间[s]
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1
0.12
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20

图4

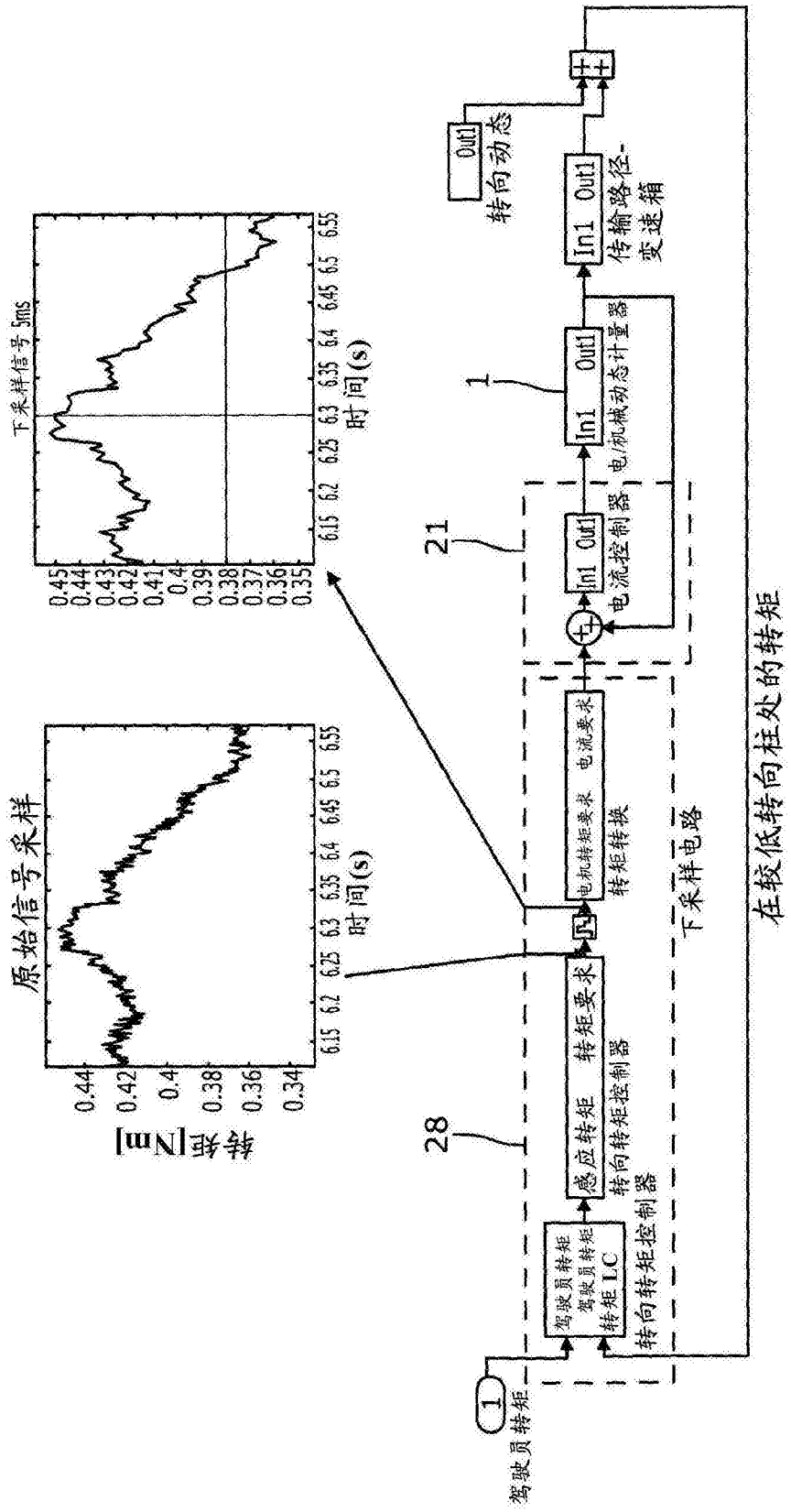

原始信号采样
转矩[Nm]
时间(s)
下采样信号 5ms
时间(s)
驾驶员转矩
转矩 LC
感应转矩
转矩要求
转向转矩控制器
28
电机转矩要求
电流要求
转矩转换
21
In1 Out1
电流控制器
In1 Out1
电/机械动态计量器
1
In1 Out1
传输路径-
变速箱
Out1
转向动态
下采样电路
在较低转向柱处的转矩

图5

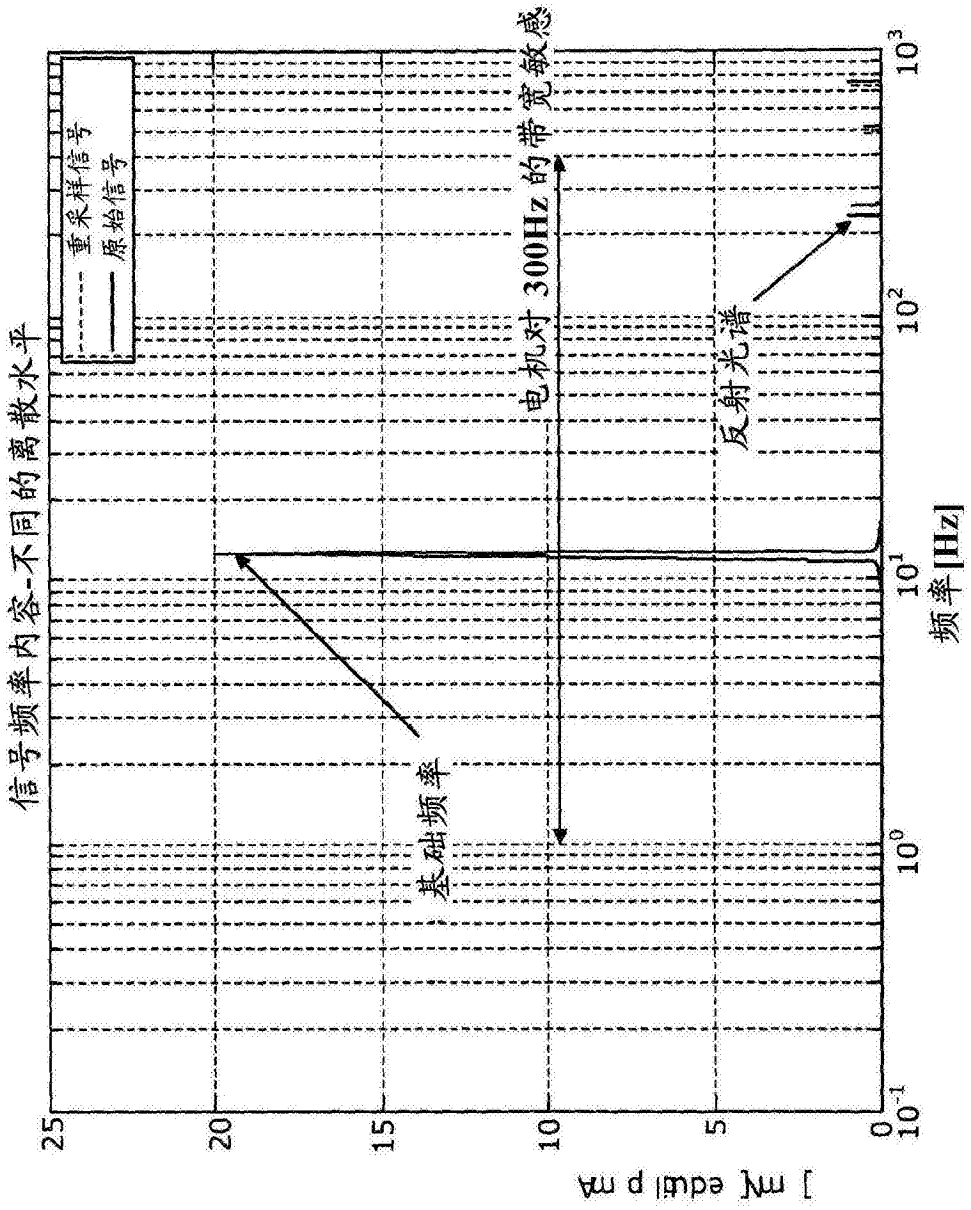

信号频率内容-不同的离散水平
重采样信号
原始信号
电机对 300Hz 的带宽敏感
反射光谱
基础频率
频率 [Hz]
] mV eduti p mA
25
20
15
10
5
0
10^3
10^2
10^1
10^0
10^{-1}

图6

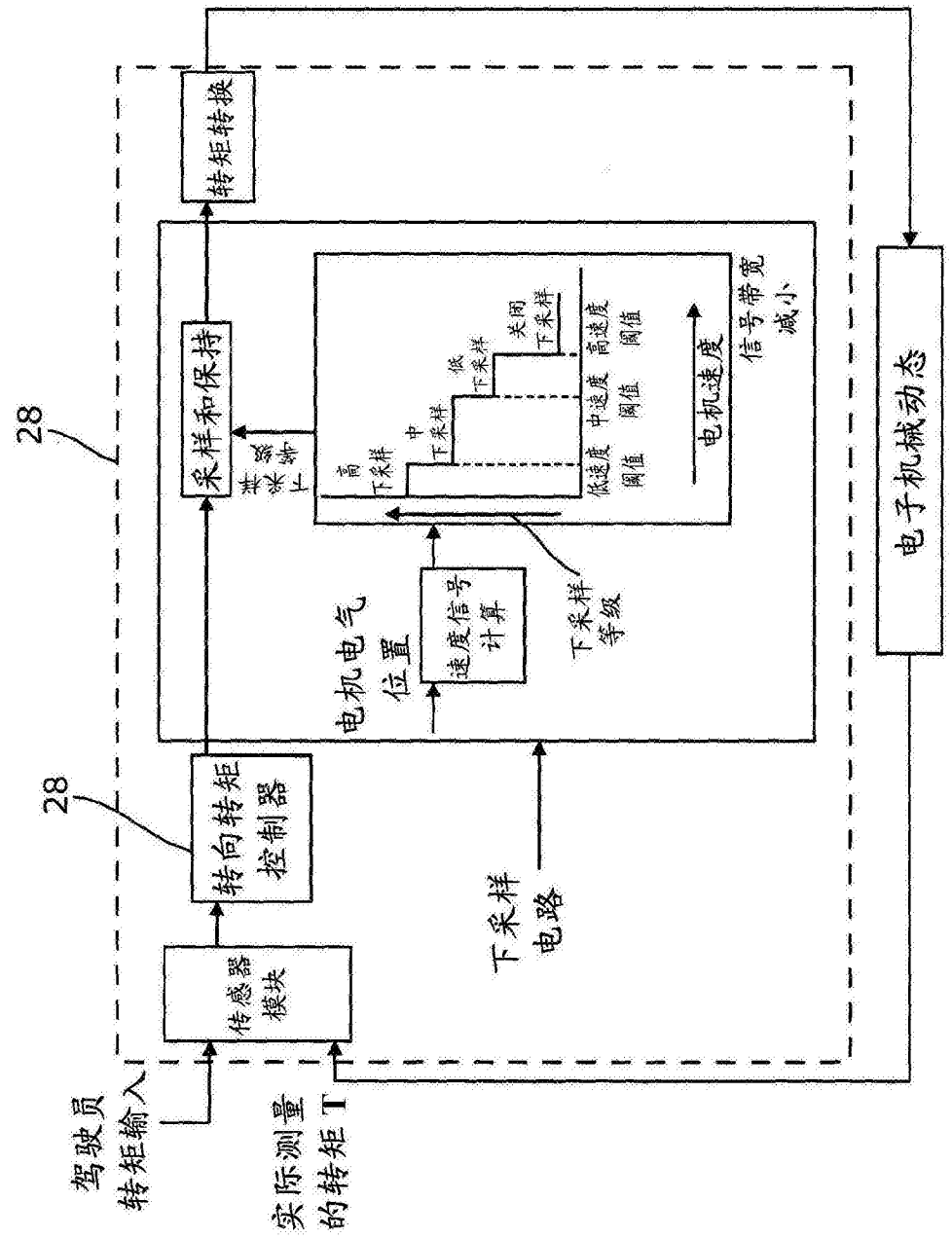

转矩转换
28
采样和保持
高下采样
中下采样
低下采样
关闭下采样
低速度阈值
中速度阈值
高速度阈值
电机速度
信号带宽减小
电机电气位置
速度信号计算
下采样等级
28
转向转矩控制器
传感器模块
下采样电路
电子机械动态
驾驶员转矩输入
实际测量的转矩T

图7