

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B60G 17/015 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510078926.3

[45] 授权公告日 2009 年 4 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 100475578C

[22] 申请日 2005.6.17

[21] 申请号 200510078926.3

[30] 优先权

[32] 2004.6.18 [33] US [31] 10/871,796

[73] 专利权人 伯斯有限公司

地址 美国马萨诸塞州

[72] 发明人 阿马·G·博斯

[56] 参考文献

US2002/0109310A1 2002.8.15

EP0607516A2 1994.7.27

US5619413A 1997.4.8

US5029328A 1991.7.2

CN2319242Y 1999.5.19

审查员 梁玲玲

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

代理人 苏 娟

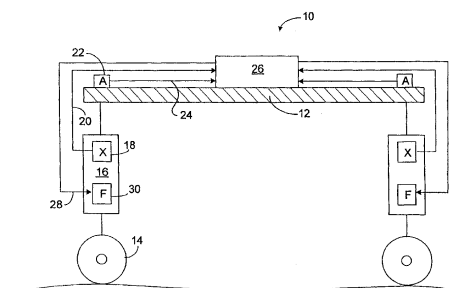
权利要求书 5 页 说明书 10 页 附图 5 页

[54] 发明名称

主动悬挂控制器

[57] 摘要

一种车辆的主动悬挂系统，在该系统中，控制器具有第一输入端和一个输出端。该第一输入端接收响应于车辆的转弯产生的倾侧指令信号。该输出端提供使车辆底盘倾侧由弯道确定的一个角度的控制信号。



1. 一种控制车辆主动悬挂系统的装置，该装置包括：

一控制器，它具有接收由与车辆转弯相关的一倾侧指令信号的一第一输入端和接收底盘的位置的第二输入端；以及

提供一控制信号而使车辆底盘响应所述倾侧指令信号倾侧一角度的一输出端，所述控制信号是部分基于所述第一输入端和第二输入端的结合来确定的。

2. 如权利要求1所述的装置，其特征为，它还包括一倾侧指令信号发生器，该倾侧指令信号发生器具有：接收表示所选择的转弯属性的数据的一输入端；以及向所述控制器的第一输入端提供所述倾侧指令信号的一输出端。

3. 如权利要求2所述的装置，其特征为，所述倾侧指令信号发生器至少部分地根据下列数据产生一倾侧指令信号：

表示车辆速度幅值的速度数据；和

表示转弯曲率半径的方向数据。

4. 如权利要求2所述的装置，其特征为，所述倾侧指令信号发生器至少部分地根据一偏转信号而产生一倾侧指令信号，所述偏转信号表示转弯属性。

5. 如权利要求2所述的装置，其特征为，设置所述倾侧指令信号发生器以导出表示转弯属性的量。

6. 如权利要求5所述的装置，其特征为，所述量为转弯速度。

7. 如权利要求6所述的装置，其特征为，所述转弯速度计算为表示车辆速度幅值的速度数据的平方与表示转弯曲率半径的方向数据的乘积。

8. 如权利要求5所述的装置，其特征为，所述倾侧指令信号发生器产生为所述量的函数的一倾侧指令信号。

9. 如权利要求8所述的装置，其特征为，在所述量的值的选定范围内，所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一量。

10. 如权利要求9所述的装置，其特征为，根据轮胎性质选择一比例常数。

11. 如权利要求 8 所述的装置,其特征为,在所述量的值的选定范围内,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使所述控制器将底盘倾侧非线性地依赖于所述量的一量。

12. 如权利要求 8 所述的装置,其特征为,在所述量的值的第一范围内,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一量;和

在所述量的值的第二范围内,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一个量,其中,所述值的第一和第二范围的比例常数互不相同。

13. 如权利要求 8 所述的装置,其特征为,在所述量的值的第一范围内,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一个量;和

在所述量的值的第二范围内,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使所述控制器将底盘倾侧与所述量无关的一个量。

14. 如权利要求 8 所述的装置,其特征为,对于小于一阈值的所述量的值,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一个量;和

对于大于所述阈值的所述量的值,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使控制器将底盘倾侧与所述量无关的一个量。

15. 如权利要求 8 所述的装置,其特征为,对于大于一阈值的所述量的值,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一个量;和

对于小于所述阈值的所述量的值,所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号,使控制器将底盘倾侧与所述量无关的一个量。

16. 如权利要求 1 所述的装置,其特征为,所述第二输入端接收所述底盘的垂直位置。

17. 如权利要求 1 所述的装置,其特征为,所述控制器产生一使得倾侧取决于轮胎压缩的一角度的控制信号。

18. 如权利要求 1 所述的装置,其特征为,所述控制信号使车辆的底盘向着转弯的中心倾侧。

19. 如权利要求 18 所述的装置,其特征为,所述控制器使车辆底盘向

内且向着转弯的中心倾侧，以实现一负的倾侧角度。

20. 如权利要求 18 所述的装置，其特征为，它还包括一个倾侧指令信号发生器，所述发生器具有：接收表示所选择的转弯属性的数据的一输入端；和将所述倾侧指令信号提供给所述控制器的第一输入端的一输出端。

21. 如权利要求 20 所述的装置，其特征为，所述倾侧指令信号发生器至少部分地根据下列数据产生一倾侧指令信号：

表示机动车辆速度幅值的速度数据；和

表示转弯的曲率半径的方向数据。

22. 如权利要求 20 所述的装置，其特征为，所述倾侧指令信号发生器至少部分地根据一偏转信号产生一倾侧指令信号，所述偏转信号表示转弯属性。

23. 如权利要求 20 所述的装置，其特征为，所述倾侧指令信号发生器导出表示转弯属性的一量。

24. 如权利要求 23 所述的装置，其特征为，所述倾侧指令信号发生器产生为所述量的函数的一倾侧指令信号。

25. 如权利要求 24 所述的装置，其特征为，在所述量的值的选定范围内，所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一量。

26. 如权利要求 24 所述的装置，其特征为，

在所述量的值的第一范围内，所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一个量；和

在所述量的值的第二范围内，所述倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一个量，

其中，所述值的第一和第二范围的比例常数互不相同。

27. 如权利要求 18 所述的装置，其特征为，所述第二输入端接收所述底盘的垂直位置。

28. 一种包括如权利要求 1 所述的装置的主动悬挂系统。

29. 一种包括如权利要求 1 所述的装置的机动车辆。

30. 一种包括如权利要求 18 所述的装置的机动车辆。

31. 一种包括如权利要求 18 所述的装置的主动悬挂系统。

32. 一种响应机动车辆的转弯，控制机动车辆底盘的倾侧角度的方法，

所述方法包括:

接收表示所述底盘的垂直位移的一反馈信号;

将表示所选择的转弯属性的一倾侧指令信号与所述反馈信号结合,产生一修正的反馈信号;和

至少部分地根据所述修正的反馈信号,确定一个控制信号以促使倾侧角度向着所希望的值。

33. 如权利要求 32 所述的方法,其特征为,它还包括:使选择的转弯属性包括导出表示转弯属性的量。

34. 如权利要求 33 所述的方法,其特征为,所述倾侧指令信号发生器产生为所述量的函数的一个倾侧指令信号。

35. 如权利要求 34 所述的方法,其特征为,它还包括:

确定所述量在所选择的值范围内;并且

产生一倾侧指令信号,使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一个量。

36. 如权利要求 34 所述的方法,其特征为,导出所述量的步骤包括至少部分地根据下列数据导出所述量:

表示机动车辆速度幅值的速度数据;和

表示转弯的曲率半径的方向数据。

37. 如权利要求 36 所述的方法,其特征为,它还包括通过平方所述速度数据并将其结果与所述方向数据相乘来计算所述量。

38. 如权利要求 32 所述的方法,其特征为,它还包括至少部分地根据一偏转信号导出一量,所述偏转信号表示转弯属性。

39. 如权利要求 32 所述的方法,其特征为,所述控制信号促使底盘向着转弯的中心倾侧。

40. 如权利要求 39 所述的方法,其特征为,它还包括:使车辆底盘向内且向着转弯的中心倾侧,以实现一负的倾侧角度。

41. 如权利要求 39 所述的方法,其特征为,它还包括使选择的转弯属性包括表示转弯属性的一量。

42. 如权利要求 41 所述的方法,其特征为,所述倾侧指令信号发生器产生为所述量的函数的一个倾侧指令信号。

43. 如权利要求 42 所述的方法,其特征为,它还包括:

确定所述量在所选择的值范围内；和
产生一倾侧指令信号，使所述控制器将底盘倾侧与所述量成比例的一个量。

44. 如权利要求 42 所述的方法，其特征为，导出所述量的步骤包括至少部分地根据下列数据导出所述量：

表示机动车辆速度幅值的速度数据；和
表示转弯的曲率半径的方向数据。

45. 如权利要求 41 所述的方法，其特征为，定义所述量的步骤包括至少部分地根据一偏转信号导出所述量。

46. 一种实现权利要求 32 所述的方法的主动悬挂系统。

47. 一种实现权利要求 39 所述的方法的主动悬挂系统。

主动悬挂控制器

技术领域

本发明涉及机动车辆的悬挂系统，特别是主动悬挂系统。

背景技术

当车辆进入转弯时，其底盘有在离开该转弯的中心的方向上向外倾侧（roll）的趋势。对于许多乘客，这可能即使没有令人惊慌，也是一种不舒服的感觉。

主动悬挂系统通过测量底盘相对于车轮的姿态和施加力而克服引起车辆转弯倾侧的那些力，来克服这种向外倾侧的趋势。这些系统可以在转弯过程中保持底盘的水平。

发明内容

本发明包括控制车辆的主动悬挂系统的装置，包括这种装置的主动悬挂系统和/或包括这种装置的车辆。

在一个方面中，该装置包括一个具有第一输入端和输出端的控制器。该第一输入端接收与车辆的转弯相关的倾侧指令信号。该输出端响应所述倾侧指令信号提供一个使该车辆底盘倾侧一个角度的控制信号。

在一些实施方式中，该控制器还包括接收该底盘的垂直位置的第二输入端。在这些实施方式中，该控制器至少部分地根据位置信号和该倾侧指令信号的结合，确定控制信号。

在另一些实施方式中，该控制器可产生一倾侧取决于轮胎压缩情况的角度的控制信号。

一些其他的实施方式还包括一个倾侧指令信号发生器，该发生器具有接收表示所选择的转弯属性的数据的输入端，和给该控制器的第一输入端提供该倾侧指令信号的输出端。

该倾侧指令信号发生器至少部分地根据速度数据和方向数据，产生一倾侧指令信号。该速度数据表示车辆速度的幅值。该方向数据表示转弯的

曲率半径。

另外，该倾侧指令信号发生器至少部分地根据偏转信号，可以产生一倾侧指令信号。在这个实施方式中，该偏转信号表示转弯属性。

该倾侧指令信号发生器可导出表示转弯属性的量。一个示例性的量为转弯速度。转弯速度可将该速度数据平方并将结果与该方向数据相乘来计算。

对于倾侧指令信号发生器可导出表示转弯属性的量的这些实施方式，该倾侧指令信号发生器可用各种方法实现。

在这些实施方式的一些实施方式中，该倾侧指令信号发生器产生一为该量的函数的倾侧指令信号。例如，该倾侧指令信号发生器产生一使控制器将该底盘倾侧一个与该量成比例的量的倾侧指令信号。比例常数可根据例如轮胎的性质选择。或者，在该量的值的一个选择的范围内，该倾侧指令信号发生器可产生一倾侧指令信号，使该控制器将底盘倾侧一个非线性地依赖于该量的一个量。

另一方案是，在该量的值的第一范围内，该倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使该控制器将底盘倾侧一个与该量成比例的量；而在该量的值的第二范围内，该倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使该控制器将该底盘倾侧一个与该量成比例的量。一般，该第一和第二值的范围的比例常数互不相同。

在其它实施方式中，在该量的值的第一范围内，该倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使该控制器将底盘倾侧一个与该量成比例的量。在该量的值的第二范围内，该倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使该控制器将该底盘倾侧与该量无关的一个量。

在其它实施方式中，对于小于阈值的该量的值，该倾侧指令信号发生器可产生一倾侧指令信号，使该控制器将底盘倾侧一个与该量成比例的量。对于大于阈值的该量的值，该倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使该控制器将底盘倾侧一个与该量无关的量。

还有一些实施方式，对于大于阈值的该量的值，该倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使该控制器将该底盘倾侧一个与该量成比例的量。对于小于阈值的该量的值，该倾侧指令信号发生器产生一倾侧指令信号，使该控制器将底盘倾侧一个与该量无关的量。

在另一个方面中，本发明包括响应于车辆的转弯，控制车辆底盘的倾侧角度的方法和实现该方法的主动悬挂系统。

这种方法包括接收表示底盘垂直位移的反馈信号，和将表示所选择的转弯属性的倾侧指令信号与该反馈信号结合。这会产生修正的反馈信号。至少部分地根据该修正的反馈信号，可确定促使倾侧角度向着所希望的值变化的控制信号。

在包括确定选择的转弯属性的方法的实施方式中，包括导出表示该转弯属性的量。

在实施方式中还包括产生为表示转弯属性的量的函数的倾侧指令信号的倾侧指令信号发生器。这可以包括确定该量在选择的值范围内和产生一倾侧指令信号，使该控制器将底盘倾侧一个与该量成比例的量。

包括导出一个量的其他实施方式包括至少部分地根据速度数据和方向数据导出该量。该速度数据表示车辆速度的幅值。该方向数据表示转弯的曲率半径。

计算该量有各种方法。该方法的一个实施方式包括通过将速度数据的平方与方向数据相乘来计算该量。另一个实施方式包括至少部分地根据偏转信号导出该量。在这种情况下，该偏转信号表示转弯属性。

在另一个方面中，本发明包括机动车辆的主动悬挂系统。该系统包括带有第一输入端和输出端的一个控制器。该第一输入端接收响应于车辆的转弯产生的倾侧指令信号。该输出端形成使车辆的底盘向着转弯的中心倾侧的一个控制信号。

在一些实施方式中，该控制器可使车辆底盘向内且向着弯道的中心倾侧，以达到一个负的倾侧角。

其他实施方式包括具有一个输入端和一个输出端的倾侧指令信号发生器。该输入端接收表示所选择的转弯属性的数据。该输出端提供送至该控制器的第一输入端的倾侧指令信号。在一些实施方式中，该倾侧指令信号发生器至少部分地根据表示车辆速度幅值的速度数据，和表示转弯的曲率半径的方向数据，产生一倾侧指令信号。

在另一些实施方式中，该倾侧指令信号发生器至少部分地根据偏转信号产生一倾侧指令信号。该偏转信号表示转弯属性。

在另一些实施方式中，该倾侧指令信号发生器导出表示转弯属性的量。

在另一些实施方式中,该倾侧指令信号发生器产生一为该量的函数的倾侧指令信号。例如,在该量的值的选定范围内,该倾侧指令信号发生器可以产生一倾侧指令信号,使该控制器将底盘倾侧一个与该量成比例的量。或者,在该量的值的第一范围内,该倾侧指令信号发生器可产生一倾侧指令信号,使该控制器将底盘倾侧一个与该量成比例的量;而在该量的值的第二范围内,该倾侧指令信号发生器可产生一倾侧指令信号,使该控制器将底盘倾侧一个与该量成比例的量。该值第一和第二范围的比例常数可以互不相同。

另一些实施方式包括该控制器包括接收底盘的垂直位置的第二输入端。在这些实施方式中,该控制器至少部分地根据该位置信号和倾侧指令信号的结合,确定控制信号。

在另一个方面中,本发明包括响应于车辆的转弯,控制车辆底盘的倾侧角度的方法和实现该方法的主动悬挂系统。

实施方式包括接收表示底盘垂直位移的测量的反馈信号。然后将一个倾侧指令信号与反馈信号结合,以产生一修正的反馈信号。该倾侧指令信号表示所选择的转弯属性。至少部分地根据该修正的反馈信号,可确定控制信号,使得可促使底盘向着弯道的中心倾侧。

实施方式还包括促使车辆底盘向内且向着转弯的中心倾侧,以达到一个负的倾侧角。

其他实施方式包括定义表示转弯属性的量。在这些实施方式中,该倾侧指令信号发生器可以产生一为该量的函数的倾侧指令信号。

产生这种倾侧指令信号的具体例子包括确定该量在选择的值范围内,和产生一倾侧指令信号,使该控制器将底盘倾侧一个与该量成比例的量。

有各种方法可导出该量。例如,至少部分地可根据表示车辆速度幅值的速度数据和表示转弯的曲率半径的方向数据,导出该量。或者,可至少部分地根据偏转信号导出该量。

本发明的其他特点和优点从以下的详细说明和权利要求书中将会清楚。

附图说明

图1为一个主动悬挂系统的示意性侧视图;

图 2~4 为在弯道上的底盘的示意性侧视图;

图 5 为控制器的方框图; 和

图 6~10 表示示例性的增益函数。

具体实施方式

图 1 所示的车辆 10 包括一个底盘 12, 它通过在其四个角的每一个上的主动悬挂部件 16 与四个车轮 14 (图中只表示出两个) 耦接。每一个主动悬挂部件 16 动态地接收控制信号 (控制信号可由与悬挂部件同在一个地点或放置在车辆别处的部件产生), 最终使主动悬挂部件改变或控制该底盘 12 相对于车轮 14 的姿态。主动悬挂系统使用四个主动悬挂部件 16 来动态地控制车辆的姿态。

为了控制底盘 12 的姿态, 首先测量它是有用的。为此, 车辆 10 包括 8 个传感器, 在该车辆 10 的每一个角结合有两个传感器。四个传感器为位置传感器 18。每一个位置传感器提供表示参考基准和该车辆 10 的底盘 12 上的一个相应点之间的垂直距离的位置信号 20。该参考基准可以为车轮上的一个点。另外, 该位置传感器 18 可以报告底盘 12 和路面之间的距离。一个适当的位置传感器 18 在题为“数字式绝对位置编码器”的美国专利 5574445 中说明, 现引入其内容供参考。

其余的四个传感器为安装在底盘 12 的四个角上的加速度计 22。每一个加速度计提供一个输出端, 当被积分时, 该输出端为表示相对参考车辆的车架的底盘 12 的垂直速度的速度信号 24。这些传感器 18, 22 一起提供表示底盘 12 的姿态的信息。

位置传感器 18 和加速度计 22 将相应的位置和速度信号 20, 24 传递给控制器 26。根据这些信号, 控制器 26 计算四个动态地产生的控制信号 28, 并将这些信号传递给在每一个悬挂部件 16 内的四个相应的力换能器 30。响应于控制信号 28, 每一个力换能器 30 引起在相应的车轮 14 和底盘 12 之间施加力。控制器 26 计算控制信号 28, 使得所产生的加在底盘 12 和每一个车轮 14 之间的力共同作用, 以维持底盘 12 的所希望的姿态。

题为“沿着路径的线性传感”的美国专利 4981309 说明了适用于车辆 10 的力换能器 30。题为“车轮组件悬挂”的美国专利 4960290 说明了在每一个车轮 14 上结合有力换能器 30 和其他传感器的一个例子。这里引入这

两个专利的内容供参考。

当车辆 10 转弯时，产生的动量的改变使车辆受到离心力作用。该离心力在弯道的外侧压缩悬挂部件和轮胎，并在弯道的内侧扩张该悬挂部件和轮胎。如图 2 所示，这些作用综合起来，使车辆 10 向外倾侧，偏离弯道的中心 32。

控制器 26 的任务之一是要动态地产生控制信号 28，使得可在一个所希望的设定点上保持倾侧角度 $\phi 15$ 。该所希望的设定点可以任意设定。该设定点可以为车辆动力学的任意函数。例如，如图 3 所示，不论转弯是如何急速或快速，该控制器 26 可使底盘 12 保持与道路水平。然而，在这种情况下，乘客可感受到被横向力从其座位向侧面推开的不适的感觉。

另外，该所希望的设定点可以取决于离心力。例如，如图 4 所示，控制器 26 可以使底盘 12 向内且向着弯道的中心 32 倾侧。可以动态地控制向内倾侧的程度，使得乘客感受到转弯如同感受适当地倾斜的飞机转弯一样。

为了说明，正的倾侧角 $\phi 15$ 表示车辆底盘相对于转弯的中心向外倾侧，如图 2 所示那样，而负的倾侧角 $\phi 15$ 表示车辆底盘相对于转弯的中心向内倾侧，如图 4 所示那样。

如图 5 所示，控制倾侧角 15 的控制器 26 包括一个接收倾侧速度信号 24 的倾侧速度控制器 34。该倾侧速度控制器可以为一个简单的常规类型的比例增益控制器。

控制器 26 还包括接收倾侧位置信号 20 的一个倾侧位置控制器 36。然而，在该倾侧位置信号 20 提供给位置控制器 36 以前，其受到倾侧指令信号 38 的偏置 (biased)。

可以通过计算倾侧速度 $V_{ROLL}24$ 和倾侧位移 $X_{ROLL}20$ 开始计算在车辆的每一个角达到设定点姿态所需要的力的过程，该倾侧速度和倾侧位移可分别根据在车辆的角上的速度和倾侧位移的测量值，在方框 22 和 18 中计算。在方框 22 中实现的计算 $V_{ROLL}24$ 的一个常用的方法由下式给出：

$$V_{ROLL} = \frac{1}{4} (V_{LF} + V_{LR} - V_{RR} - V_{RF})$$

式中 V_{LF} , V_{LR} , V_{RR} , V_{RF} 分别为车辆左前角，左后角，右后角和右前角的速度。同样，利用下式，通过结合四个位置信号，可以计算的四轮车辆 20 的倾侧位移，如方框 18 中所实现：

$$X_{\text{ROLL}} = \frac{1}{4} (X_{\text{LF}} + X_{\text{LR}} - X_{\text{RR}} - X_{\text{RF}})$$

式中, X_{LF} , X_{LR} , X_{RR} 和 X_{RF} 分别为车辆左前角, 左后角, 右后角和右前角的位置。这样, 倾侧速度的幅值提供了车辆倾侧有多快的一个量度, 并且倾侧速度的符号表示车辆到底是向内且向着弯道的中心倾侧, 还是向外, 离开弯道的中心倾侧。同样, 倾侧位移提供了倾侧角 15° 以及车辆 10° 到底是向内且向着弯道的中心倾斜, 还是向外离开弯道的中心倾斜的量度。

有各种方法计算车体的实体 (solid-body) 倾侧速度和倾侧位移。还可以使用其他的线性组合。另外, 可以只使用传感器的子集或使用不同组合和形式的传感器来计算实体的自由度。

再参见图 5, 速度的倾侧分量 V_{ROLL} 利用倾侧速度控制器 34 处理, 而位移的倾侧分量 X_{ROLL} 由倾侧位置控制器 36 处理。这些控制器的输出端结合起来形成倾侧控制信号 28。通过使 V_{ROLL} 和 X_{ROLL} 公式反转 (invert), 可以将该倾侧控制信号 28 分配至四个角。具体地说, 对于给出的例子, 车辆的左角使用倾侧控制信号 28, 而车辆的右角使用信号 28 的负值。

更一般地说, 在矩阵表示中, 该位置控制器 36 的输出端由 $T^{-1}KT(\vec{x} + \vec{y})$ 给出, 这里 $\vec{x}$ 为包括位置传感器测量值

$$\begin{pmatrix} X_{\text{LF}} \\ X_{\text{LR}} \\ X_{\text{RR}} \\ X_{\text{RF}} \end{pmatrix}$$

的一个向量, $\vec{y}$ 为包括位置指令信号的一个向量。T 为将 $\vec{x}$ 变换为包括倾侧的可反转的坐标系的一个矩阵。一个这种坐标系为由平移 (heave), 俯仰 (pitch), 倾侧和扭转 (twist) 坐标确定的坐标系:

$$T = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

还可以使用其他坐标系。K 为包括倾侧控制的一个任意的 4×4 位置控制器矩阵。

在一个实施方式, 该倾侧位置控制器 36 为比例积分 (PI) 控制器或 PID

控制器。在这种情况下，倾侧指令信号 38 和倾侧位置信号 20 之间的误差被最后积分掉。在另一个实施方式中，倾侧位置控制器 36 为比例(P)增益控制器。在这种情况下，有一个非零的直流(DC)误差。可以选择 PI, PID 或 P 控制器的参数以满足各种性能指标。例如，可以选择参数，使闭环带宽在预先确定的范围(例如几个 Hz(1 ~ 5Hz))内。

该倾侧指令信号 38 由与速度传感器 42 和方向传感器 44 连接的一个倾侧指令信号发生器 40 产生。该方向传感器 44 提供表示转弯的曲率半径的一个方向信号 46。该方向传感器 44 例如可以与方向盘连接，以提供与由前轮相对于车辆 10 的纵轴线形成的角度相应的方向信号 46。该速度传感器 42 提供表示车辆速度向量幅值的速度信号 48。该速度传感器 42 可与控制速度计的相同信号耦接。

该倾侧指令信号发生器 40 结合该速度信号和该方向信号，产生一个称为转弯速度的量 ω ，该量为车辆 10 围绕与其行进平面垂直的轴线的角加速度的量度。该转弯速度度量转弯有多“困难”。例如，该倾侧指令信号发生器 40 可将速度信号的平方与方向信号相乘，以产生该转弯速度 ω 。或者，该倾侧指令信号发生器 40 可与一个偏转传感器连接。在这种情况下，转弯速度 ω 可从测量的偏转速度导出来。

在一个实施方式中，可以利用 ω 作为与倾侧位置信号 20 结合的倾侧指令信号 38。然而，为了控制底盘 12 倾侧的程度，希望提供一个其幅值取决于 ω 的增益 $A(\omega)$ 。在这种情况下，该倾侧指令信号 38 变成 $A(\omega)\omega$ 。取决于 ω 的符号的该倾侧指令信号 38 的符号，控制在转弯过程中，底盘 12 应该向内或向外倾侧。该增益 $A(\omega)$ 的幅值控制根据弯道不同所希望的该底盘 12 倾侧的程度。该倾侧位置控制器 36 的增益控制根据弯道不同，底盘 12 倾侧的倾侧速度。

图 6 表示 $A(\omega)$ 和 ω 之间的线性关系。假设轮胎压缩和 ω 之间为线性关系，通过适当选择 $A(\omega)$ 的斜率，可以利用所示的增益函数，以抵消将伴随轮胎压缩的倾侧。对于轮胎压缩和 ω 之间为非线性关系的一般情况，可以使用非线性的 $A(\omega)$ 和 ω (例如下面的图 10)。在实际中，通过测量不同 ω 值下的轮胎压缩量，可用实验方法确定增益 $A(\omega)$ 的斜率。增加增益 $A(\omega)$ 的幅值还会使车辆不但补偿轮胎压缩，而且可以在转弯过程中向内倾侧。向内倾侧的量由增益 $A(\omega)$ 的斜率确定。该函数关于 $\omega=0$ 轴线为对称的，

使得 ω 的正值为使底盘 12 在第一方向倾侧, 和 ω 的负值为使底盘 12 在与第一方向相反的第二方向倾侧。

图 7 表示增益函数 $A(\omega)$ 的另一个例子。当 ω 的幅值在某个阈值 t_1 以下时, 所示增益函数随着 ω 线性地变化。在该阈值以上, 增益保持为常数。这相应于限制对大的 ω 值的倾侧补偿的最大量的控制器。

图 8 表示增益函数 $A(\omega)$ 的又一个例子。对于 ω 值的幅值在第一阈值 t_1 以下和 ω 值的幅值在第二阈值 t_2 以上, 所示的增益函数为常数。在这两个阈值之间, 该增益函数为具有特定斜率的直线。这相当于在转弯足够困难(即 ω 超过 t_1 后)逐渐使车辆 10 倾侧至较大角度, 但在这以前并不动作的一个控制器。当 ω 达到第二阈值 t_2 时, 达到倾侧补偿的最大量。

图 9 表示一个增益函数的例子, 对于 ω 的幅值在阈值幅值 t_1 以下, 该函数为选择斜率较平缓用以抵消会伴随轮胎压缩的倾侧的直线。在该阈值以外, 该函数为斜率较陡的直线。这形成附加的倾侧, 选择该倾侧的程度以增强在转弯过程中乘客的舒适性。倾侧角度 15 的最优值及其与转弯速度的依赖关系是要研究的问题, 并可由实验确定。一般, 车辆 10 的理想的向内倾侧角度 15 小于几度。当 ω 的幅值达到第二阈值 t_2 时, 达到倾侧补偿的最大量。

图 10 表示任意的非线性增益函数的一个例子。

图 6, 7, 8, 9 和 10 表示示例性的增益函数。然而, 可以利用其他的增益函数来达到相同和其他效果。例如, 虽然所述的所有函数都是关于 $\omega=0$ 轴线对称的, 但这点不是必需的。增益函数也可以关于该轴线不对称。增益函数可以表示为 ω 的分段线性函数, 如图 6~9 所示那样, 或者可以为图 10 所示的 ω 的任意的非线性函数。

其他的实现方式都在权利要求的范围内。例如, 虽然已就由四个车轮 14 支承的底盘 12 说明了主动悬挂系统, 但该系统可以容易地适用于由三个车轮或多于四个车轮支承的底盘 12 的情况。

力换能器 30 可作为每一个车轮上的唯一的悬挂部件。另一种方案是, 力换能器 30 可以与另外的悬挂部件(例如弹簧或阻尼器)共同存在。可以使用任何形式的力换能器 30, 例如线性的电磁致动器, 液压动力缸, 回转电机或可变弹簧。一般, 本发明可用于带有任何形式的可控制的悬挂部件的车辆悬挂系统。

在一些实施方式中，控制器 26 为天钩 (skyhook) 式的阻尼器控制器。然而，底盘 12 的倾侧角度 15 可以通过将倾侧指令信号 38 送入任何线性或非线性的控制器中进行控制。另外，虽然上述的说明涉及汽车中的主动悬挂系统的控制器，但该控制器也可用于控制其他机动车 (例如卡车，公共车辆和有蓬货运车辆) 的主动悬挂系统，以及控制三轮车辆或火车上的主动悬挂系统。

另外，虽然结合有车轮的车辆说明该控制器，但该控制器也可用于控制其他陆上车辆 (例如移动扫雪车) 或履带车辆 (例如坦克) 或重型建筑设备中的主动悬挂系统。

本说明只是为了描述，不限制所附权利要求书的范围。

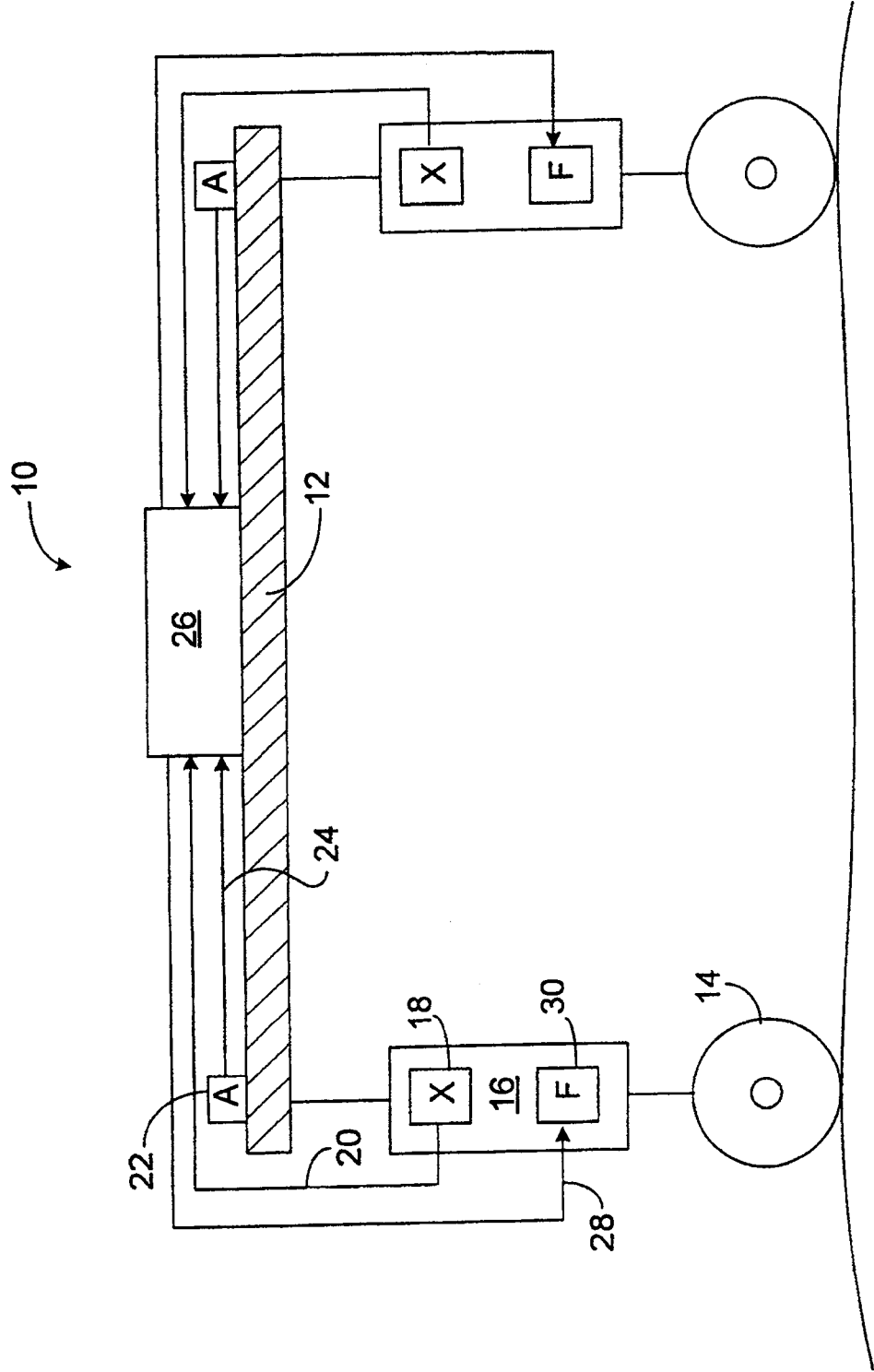
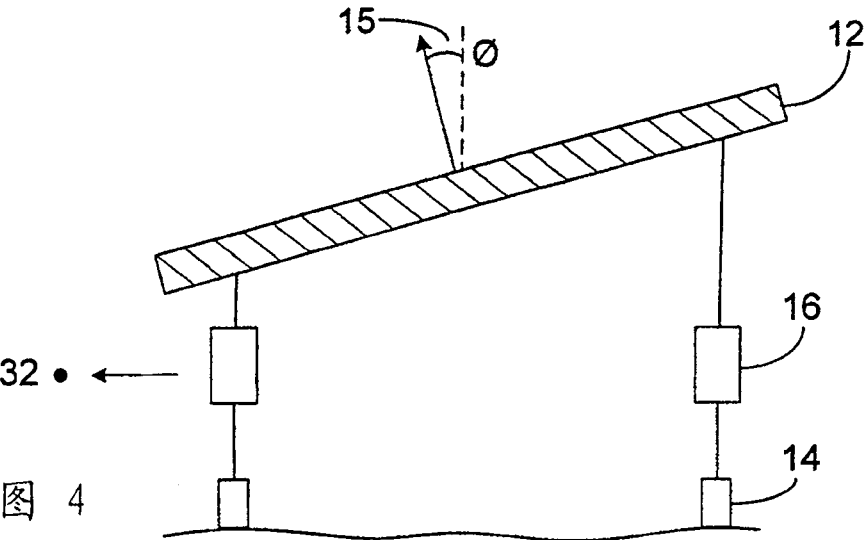
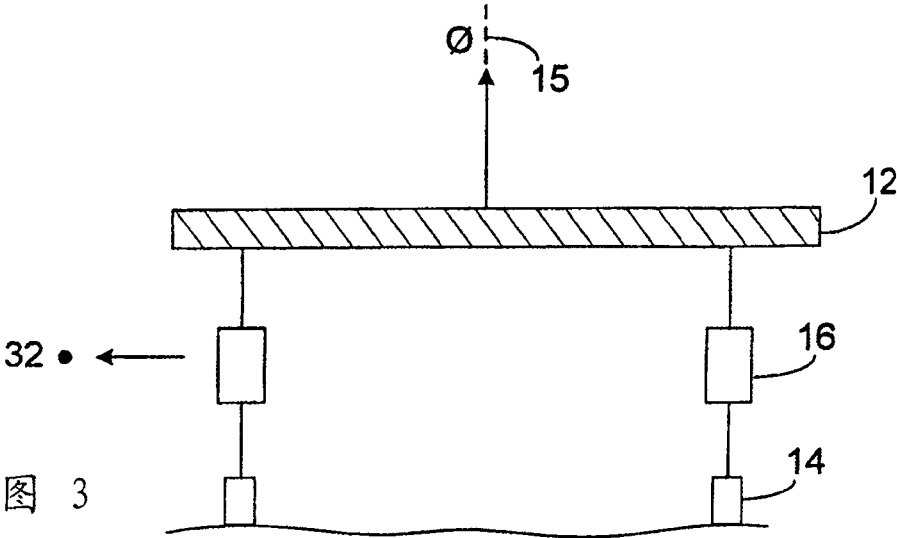
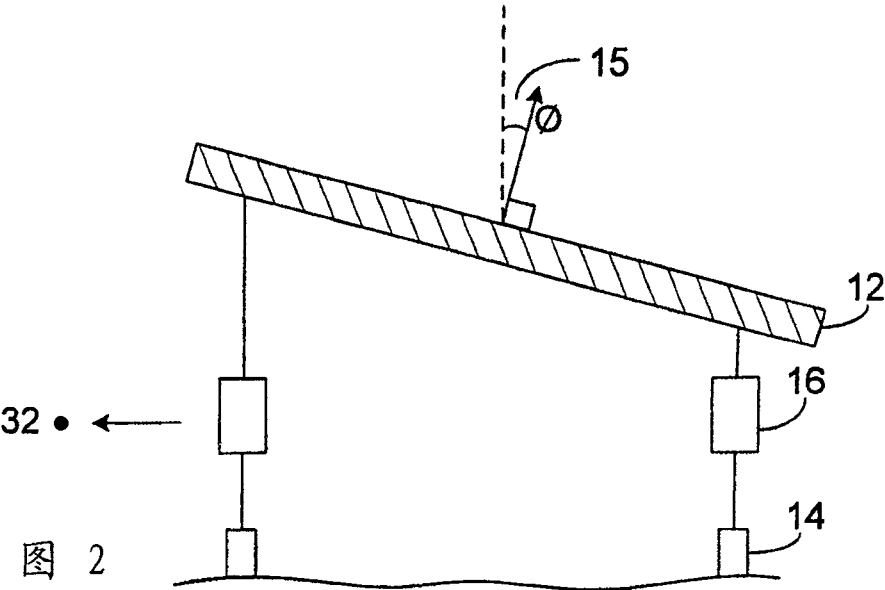


图 1



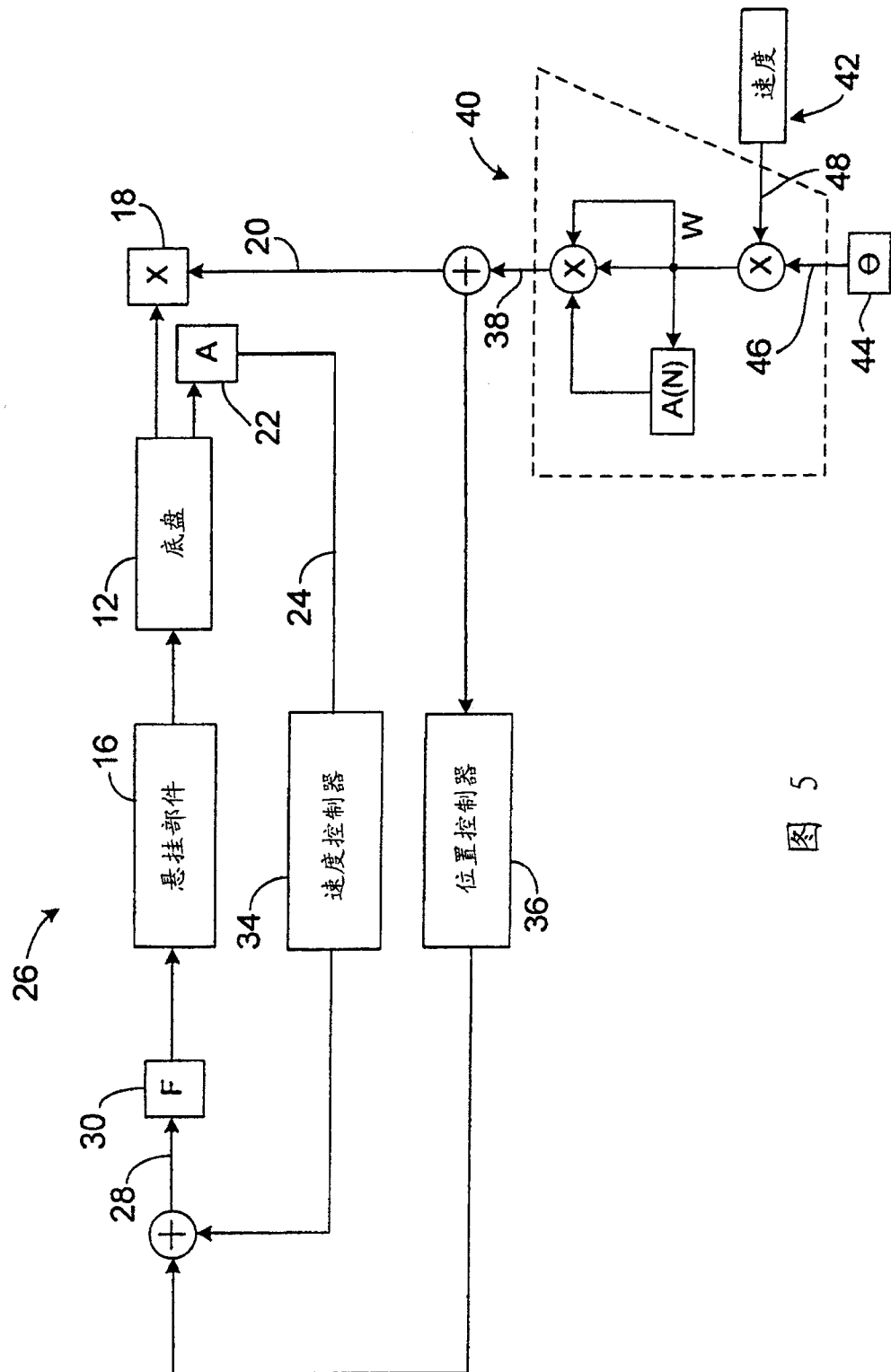


图 5

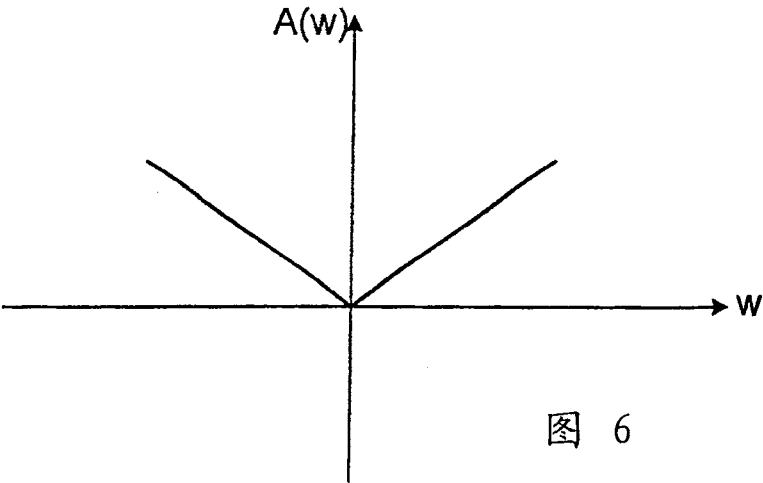


图 6

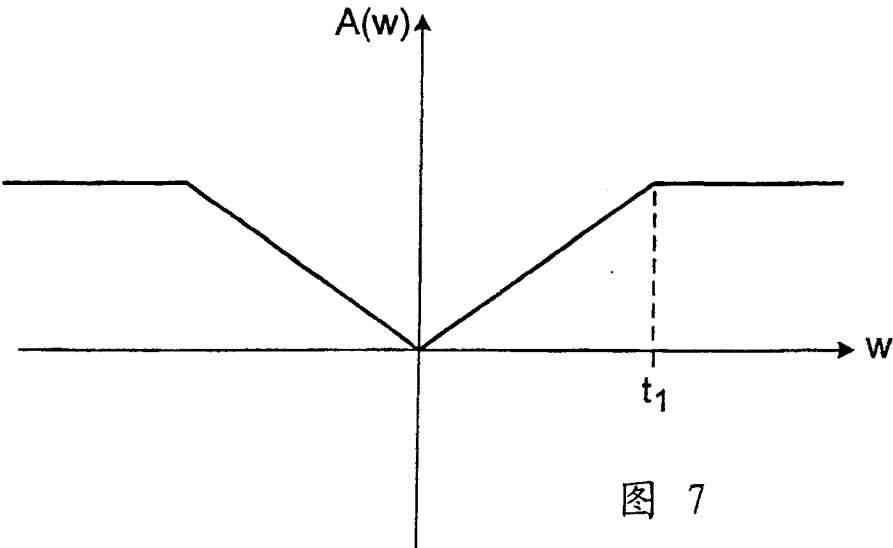


图 7

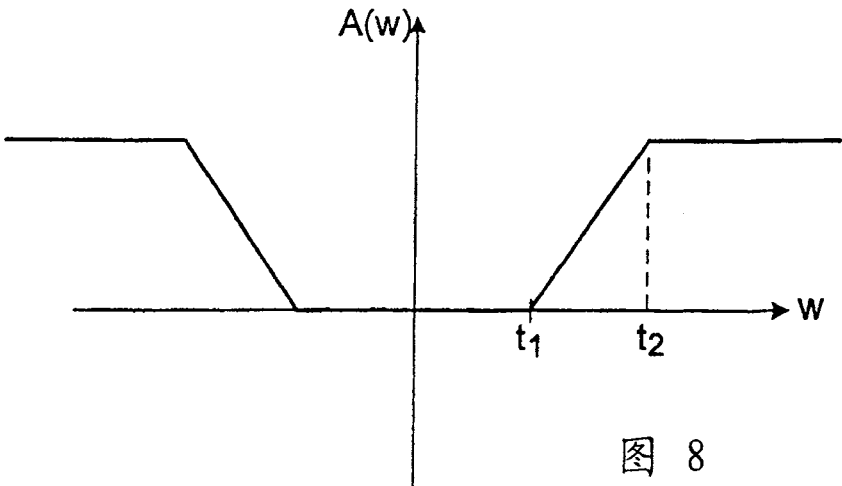


图 8

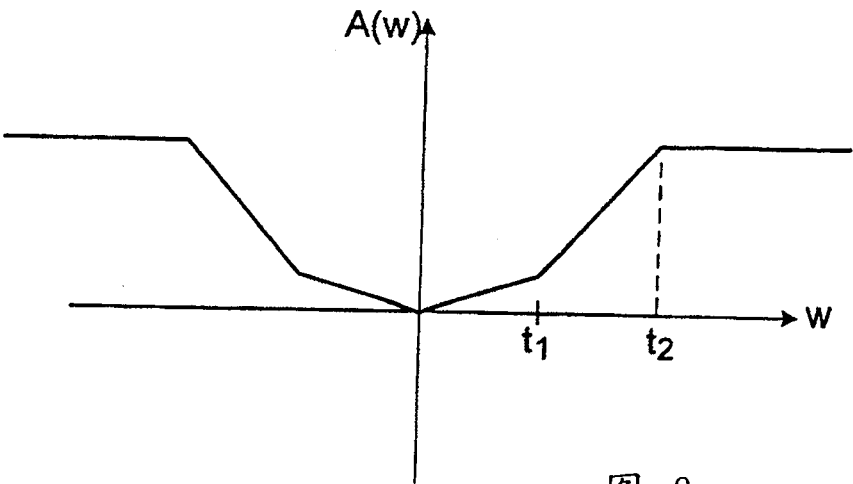


图 9

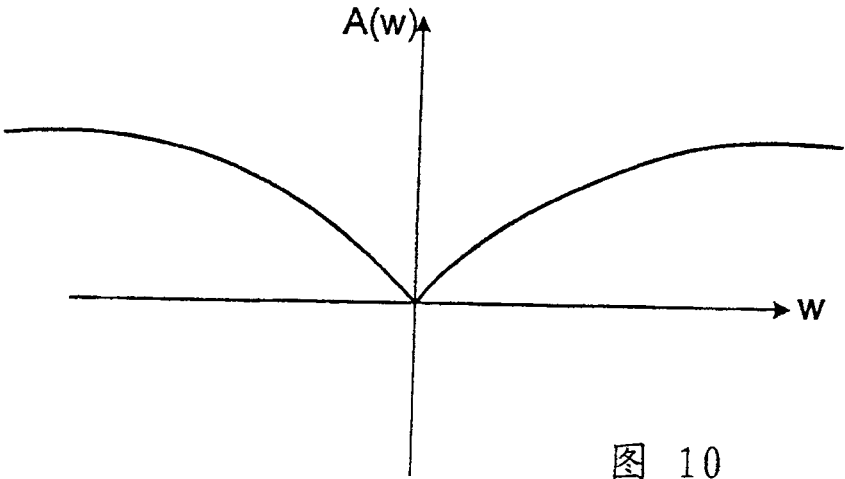


图 10