(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109923294 A
(43)申请公布日 2019.06.21

(21)申请号 201780063429.7

(22)申请日 2017.05.15

(30)优先权数据
102016219890.4 2016.10.12 DE

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.04.12

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2017/061640 2017.05.15

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2018/068905 DE 2018.04.19

(71)申请人 世倍特集团有限责任公司
地址 德国汉诺威

(72)发明人 T.K.B.谢 T.克拉夫特
A.博登施泰纳 W.扎斯勒

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 邹松青 李雪莹

(51)Int.Cl.
F02D 41/20(2006.01)
F02M 63/00(2006.01)
F02D 41/38(2006.01)
H01F 7/18(2006.01)
F02D 41/24(2006.01)

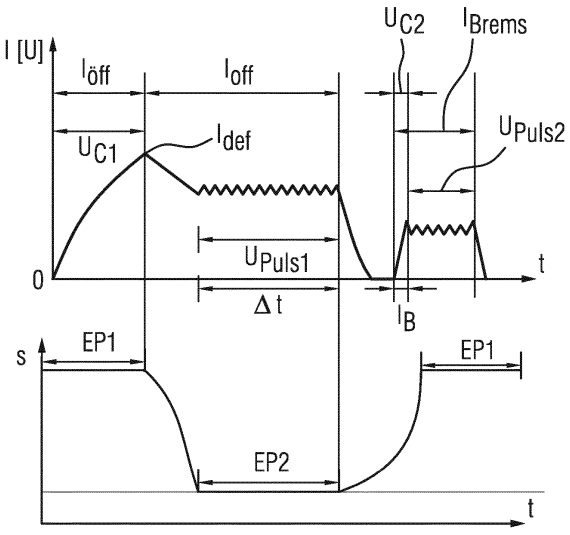
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

用于控制开关阀的方法和控制器

(57)摘要

本发明涉及用于控制开关阀(16)的方法,在该方法中,将恒定电压(U_{C1})施加到致动器(22)直到由致动器(22)致动的关闭元件(36)被设定成处于运动中时为止,并且然后立即结束恒定电压(U_{C1})的施加并将脉冲电压(U_{Puls1})施加到致动器(22)。本发明还涉及适合于实施该方法的控制装置(40)。



CN 109923294 A

1.一种用于控制开关阀(16)、特别是用于控制用于燃料喷射系统(10)的压力耗散阀(14)的方法，

其中，所述开关阀(16)具有：

- 关闭元件(36)，所述关闭元件能够在第一终点位置(EP1)和第二终点位置(EP2)之间移动，在所述第一终点位置中，所述关闭元件将阀开口(24)关闭，在所述第二终点位置中，所述关闭元件至少部分地打开所述阀开口(24)，

- 弹簧(38)，所述弹簧使所述关闭元件(36)经受作用在所述第一终点位置(EP1)的方向上的弹簧力(F_F)，

- 电磁致动器(22)，在电压(U)被施加到所述电磁致动器时，所述电磁致动器使所述关闭元件(36)经受致动器力(F_A)，所述致动器力与所述弹簧力(F_F)相反地作用在所述第二终点位置(EP2)的方向上，

其中，所述方法具有以下步骤：

- 将恒定电压(U_{C1})施加到所述致动器(22)以便引发打开电流脉冲($I_{öff}$)，直到所述关闭元件(36)与所述弹簧力(F_F)相反地被设定成处于运动中时为止，并且然后，立即结束所述恒定电压(U_{C1})的施加，并且将脉冲电压(U_{Puls1})施加到所述致动器(22)以便引发基本上恒定的保持打开电流强度(I_{off})，

- 维持所述脉冲电压(U_{Puls1})、且因此维持所述保持打开电流强度(I_{off})达预定的持续时间(Δt)，以便将所述关闭元件(36)保持在所述第二终点位置(EP2)中，

- 在所述预定的持续时间(Δt)之后中断电压的施加，使得所述关闭元件(36)通过所述弹簧力(F_F)移动到所述第一终点位置(EP1)中。

2.根据权利要求1所述的方法，

其特征在于，由于所引发的打开电流脉冲($I_{öff}$)的电流强度(I)而作用在所述关闭元件(36)上的所述致动器力(F_A)就大小而言大于所述弹簧(38)的所述弹簧力(F_F)，和/或由于所述所引发的保持打开电流强度(I_{off})而作用在所述关闭元件(36)上的所述致动器力(F_A)就大小而言基本上对应于所述弹簧力(F_F)。

3.根据权利要求1和2中任一项所述的方法，

其特征在于，中断电压的施加，直到获得$I = 0$的所引发的电流强度(I)时为止。

4.根据权利要求1至3中任一项所述的方法，

其特征在于，在所述关闭元件(36)在中断电压的施加之后运动到所述第一终点位置(EP1)中期间，将恒定电压(U_{C2})施加到所述致动器(22)以便引发制动电流强度(I_{Brems})，其中，用于引发所述制动电流强度(I_{Brems})的电压的施加的持续时间(Δt)短于用于引发所述打开电流脉冲($I_{öff}$)的电压的施加的持续时间(Δt)。

5.根据权利要求4所述的方法，

其特征在于，由于所述所引发的制动电流强度(I_{Brems})而作用在所述关闭元件(36)上的所述致动器力(F_A)低于所述弹簧(38)的所述弹簧力(F_F)。

6.根据权利要求4和5中任一项所述的方法，

其特征在于，结束所述恒定电压(U_{C2})的施加，并且然后立即将脉冲电压(U_{Puls2})施加到所述致动器(22)直到所述关闭元件(36)位于所述第一终点位置(EP1)中时为止，并且然后结束电压的施加。

7.一种控制装置(40),所述控制装置用于控制开关阀(16)、特别是用于控制用于燃料喷射系统(10)的压力耗散阀(14),其中,所述控制装置(40)被构造成用于实施根据权利要求1至6中任一项所述的方法。

用于控制开关阀的方法和控制器

技术领域

[0001] 本发明涉及用于控制开关阀的方法，且涉及被设计成用于控制所述类型的开关阀的控制装置。

背景技术

[0002] 在燃料喷射系统中，所谓的主动阀(其通常呈开关阀的形式)布置在各种位置处。这些开关阀能够借助于致动器主动地打开和关闭，借此能够获得对燃料流的针对性调节。

[0003] 例如，所述类型的开关阀被布置为燃料喷射系统的高压侧上的压力耗散阀，以便能够主动地调节燃料喷射系统中的系统压力。此处，已知燃料压力优选地被调节到期望的设定点压力。此处，借助于根据需要激活在燃料喷射系统的低压侧上的计量单元来实现对系统压力的调节的一部分。此处，根据高压燃料泵相对于驱动马达的传动比，利用关于燃料喷射系统中的高压燃料泵的喷射部段或泵部段的部段同步性来执行压力积聚和耗散。借助于高压传感器来检测在燃料喷射系统的高压侧上占优势的实际压力，并将该实际压力传输到控制装置。为了在高压侧上获得期望的设定点压力，借助于所谓的数字压力耗散阀来主动地耗散系统压力。该压力耗散阀通常被形成为开关阀且因此被形成为主动阀，类似于喷射器地起作用，且因此从高压侧中排放出限定的燃料量以便耗散燃料压力。此处，在打开和关闭期间，主动压力耗散阀产生噪声，这迄今尚未得到考虑。

发明内容

[0004] 本发明的目的是指定用于控制开关阀的方法和控制装置，利用该方法和控制装置有可能更安静地操作压力耗散阀。

[0005] 所述目的借助于具有权利要求1的特征的组合的用于控制开关阀的方法来实现。

[0006] 用于控制所述类型的开关阀的控制装置是并列权利要求的主题。

[0007] 本发明的有利构型是从属权利要求的主题。

[0008] 开关阀、特别是用于燃料喷射系统的压力耗散阀具有：关闭元件，其能够在第一终点位置和第二终点位置之间移动，在第一终点位置中，该关闭元件将阀开口关闭，在第二终点位置中，该关闭元件至少部分地打开阀开口；弹簧，其使关闭元件经受作用在第一终点位置的方向上的弹簧力；以及电磁致动器，该电磁致动器在电压被施加到其时使关闭元件经受致动器力，该致动器力与弹簧力相反地作用在第二终点位置的方向上。此处，特别地，致动器包括线圈，能够从外部源将电压施加到该线圈。此处，电压的施加导致所引发的电流强度，从而实现致动器力。

[0009] 在用于控制所述类型的开关阀的方法中，首先将引发打开电流脉冲的恒定电压施加到致动器，直到打开电流脉冲的电流强度达到预限定的最大值时为止。所述最大值被限定成以便对应于关闭元件与弹簧力相反地被设定成处于运动中所在的点。预定的最大值可例如借助于校准测量来确定，在该校准测量中，检测关闭元件的运动开始所在的所引发的电流强度。

[0010] 当获得电流强度的预限定的最大值时，立即结束恒定电压的施加，并且作为替代将脉冲电压施加到致动器。所述脉冲电压引发基本上恒定的保持打开电流强度。此处，选择脉冲(也就是说，每个单独脉冲的持续时间和在两个相继脉冲之间的时间间隔)，使得所引发的保持打开电流强度优选地低于电流强度的预限定的最大值。

[0011] 脉冲电压及因此保持打开电流强度被维持达预定的持续时间，以便将关闭元件保持在第二终点位置中。

[0012] 随后，在预定的持续时间之后中断电压的施加，使得关闭元件通过弹簧力移动到第一终点位置中。

[0013] 开关阀有利地被设计为在电气断电时关闭的开关阀，也就是说，打开电流脉冲用于将关闭元件移动到打开位置中。

[0014] 迄今为止，已经已知将电压施加到致动器直到关闭元件已撞击到第二终点位置中时(其被称为所谓的峰值时间)为止，并且随后将由脉冲电压引发的保持电流施加到压力耗散阀，该保持电流已被维持直到期望的打开状态结束为止。

[0015] 与此相反，现在提出的是，将电压施加到致动器以便引发打开电流脉冲仅被执行直到电流强度达到所限定的最大值为止。这是关闭元件开始在第二终点位置的方向上远离第一终点位置移动所在的点。将用于引发打开电流脉冲的恒定电压施加到致动器仅直到恰好该点，以便实现关闭元件抬离第一终点位置。对于关闭元件在第二终点位置的方向上的进一步运动，不再需要如此大的引发电流强度，由于这个原因，电压以仅脉冲而非恒定的形式作用在致动器上，以便因此获得减小的所引发的电流强度，该减小的所引发的电流强度正好足以实现关闭元件在其已到达第二终点位置时能够正好被保持打开。

[0016] 将关闭元件保持在第二终点位置中所需要的所引发的电流强度低于将关闭元件设定成处于运动中所需要的所引发的电流强度。因此，所引发的保持打开电流强度有利地低于在限定的最大值(也就是说，关闭元件抬离座所在的点)处的所引发的电流强度。

[0017] 借助于这种电压施加的方式，峰值时间相对于先前被减小，并且直到关闭元件撞击到第二终点位置中才执行电压到致动器的施加。借助于与致动器力相反的弹簧的弹簧力，关闭元件被制动并以降低的速度撞击，从而导致在关闭元件的打开期间降低噪声。

[0018] 由于打开电流脉冲的所引发的电流强度而作用在关闭元件上的致动器力就大小而言有利地大于弹簧的弹簧力。因此，有可能克服弹簧的弹簧力并且将关闭元件设定成处于运动中。此外，有利的情况是，由于所引发的保持打开电流强度而作用在关闭元件上的致动器力就大小而言基本上对应于弹簧力。特别有利的情况是，所引发的保持打开电流强度略微大于弹簧的弹簧力，以便因此在最佳能量条件下使关闭元件有可能与作用的弹簧力相反地被保持在的第二终点位置中。

[0019] 在这种情况下，所引发的保持打开电流强度被有利地保持恒定历时预定的持续时间。

[0020] 应在致动器处维持保持打开电流强度所历时的预定的持续时间是预先确定的，并且取决于待从高压侧排放出的燃料量。待排放出的燃料越多，关闭元件必须被保持在第二终点位置中所历时的持续时间就越长。

[0021] 在有利的实施例中，中断将电压施加到电磁致动器，直到获得$I = 0$的所引发的电流强度时为止。然而，也有可能在更短的时间段内中断电压的施加，使得所引发的电流强度

无法被完全消除到I = 0。

[0022] 关闭元件被保持在第二终点位置中所历时的预定的持续时间对应于所谓的保持阶段，只要有必要借助于压力耗散阀进行压力耗散，就需要该保持阶段。

[0023] 如果然后在该预定的持续时间之后中断电压的施加，则通过弹簧的弹簧力迫使关闭元件返回到最初位置(也就是说，第一终点位置)中。

[0024] 在关闭元件在中断电压的施加之后运动到第一终点位置中期间，以下情况是有利的：将恒定电压施加到致动器以便引发制动电流强度。此处，施加电压的持续时间短于用于引发打开电流脉冲的持续时间。

[0025] 因此，该制动电流强度构成了脉冲，该脉冲被附到激活脉冲自身并在关闭元件撞击到第一终点位置中之前对关闭元件进行制动。由于因此降低了速度，所以在开关阀关闭期间噪声被降低。由于制动电流强度不需要完全克服弹簧的弹簧力而是仅仅必须起到以便减小所述弹簧力的作用，因此制动电流强度有利地低于保持打开电流强度，这是由于恒定电压的作用达较短时间来实现的。

[0026] 这是因为被施加到线圈的电压有利地就其大小而言不可变。因此，致动器中的所引发的电流强度受到电压施加的持续时间和形式(恒定或脉冲)的影响。

[0027] 由于所引发的制动电流强度而作用在关闭元件上的致动器力优选地低于弹簧的弹簧力。

[0028] 在有利的实施例中，在已获得期望的所引发的制动电流强度之后，结束恒定电压的施加并且将脉冲电压施加到致动器，直到关闭元件完全位于第一终点位置中时为止。然后，完全结束电压的施加。然而，脉冲电压也有可能被维持达甚至更长，超过了关闭元件的关闭时间。

[0029] 在关闭元件的运动期间而不仅仅在关闭元件已经再次到达第一终点位置之后，执行将电压施加到致动器以便引发制动电流强度。由于弹簧的弹簧力是已知的，因此还已知在完全撤回电气通电之后关闭元件需要从第二终点位置返回到第一终点位置中的时间。该持续时间可例如被存储在对应的特性场中。然后，在该已经已知的持续时间期间执行致动器的激活，使得在此时间期间制动作用在关闭元件上作用。

[0030] 用于控制开关阀、特别是用于燃料喷射系统的压力耗散阀的控制装置被设计成使得它能够实施上文所描述的方法。

[0031] 为此目的，特别地，控制装置具有用于输出电压的输出装置，具体地使得由电压引发的电流强度是可变的。此外，控制装置包括最大值检测装置，借助于该最大值检测装置，控制装置能够识别何时存在打开电流脉冲的电流强度中的限定的最大值且因此能够检测关闭元件何时抬离第一终点位置。附加地，控制装置包括持续时间确定装置，以便确定所需要的预定的持续时间以便将关闭元件保持在第二终点位置中(也就是说，保持在打开位置中)，以便能够从高压侧排放出期望的燃料量。此外，控制装置包括确定装置，借助于该确定装置，有可能确定电压是否已完全切断，使得所引发的电流强度能够被消除例如到I = 0的值。此外，在控制装置中，存储有特性场，该特性场基于弹簧的已知弹簧力来指定关闭元件在没有电气通电的情况下从第二终点位置进入到第一终点位置中所需要的持续时间。

附图说明

[0032] 下文将基于附图更详细地解释本发明的有利实施例，在附图中：

图1是开关阀的示意性剖视图，该开关阀用作用于从燃料喷射系统中的高压侧耗散压力的压力耗散阀；

图2示出了示意图，其图示如从现有技术已知的图1的开关阀的电流-时间激活曲线与开关阀的关闭元件的行程-时间曲线(取决于电流-时间激活曲线)之间的关系；

图3示出了示意性流程图，其图示用于实施用于控制图1的开关阀的方法的单独的步骤；

图4示出了示意图，其图示图1的开关阀的电流-时间激活曲线与开关阀的关闭元件的行程-时间曲线(取决于电流-时间激活曲线)之间的关系；以及

图5示出了示意性框图，其示出能够实施如根据图3的方法的控制装置。

具体实施方式

[0033] 图1示出了燃料喷射系统10在高压侧12上的子区域的示意性纵向剖视图，在该处布置有呈开关阀16形式的压力耗散阀14以达到耗散在高压侧12中占优势的燃料压力的目的。

[0034] 压力耗散阀14具有阀区域18和带有致动器22的致动器区域20。在阀区域18中，通过阀球26与阀座28的相互作用来封闭通往燃料喷射系统10的高压侧12的阀开口24。致动器区域20具有电磁致动器22，该电磁致动器包括线圈30、极靴32和衔铁34。此处，衔铁34与关闭元件36一体地形成，该关闭元件与阀球26相互作用。附加地提供了弹簧38，该弹簧呈压缩弹簧的形式并且布置在极靴32和衔铁34之间。

[0035] 应指出的是，图1示意性地示出了开关阀16的示例，在这种情况下，该开关阀呈在电气断电时关闭的开关阀16的形式。特别地，致动器22以及在衔铁34、关闭元件36和密封元件(在这种情况下呈阀球26的形式)之间的连接也可以以不同的方式构造。

[0036] 压力耗散阀14的操作模式如下：

从高压侧12，液压力F_H作用在阀球26上，并且将通常推动阀球26离开阀座28。然而，从相对侧，弹簧38以弹簧力F_F作用在衔铁34上且因此同时作用在关闭元件36和阀球26上，使得阀球26不会抬离其阀座28而是保持处于其关闭位置中。所述关闭位置构成了关闭元件36的第一终点位置EP1。

[0037] 如果现在将电压U施加到线圈30，则这引发电流强度I，衔铁34被极靴32吸引，并且弹簧38的弹簧力F_F被克服，也就是说，致动器22的致动器力F_A变得大于弹簧力弹簧38的弹簧力F_F。因此，衔铁34、关闭元件36和阀球26远离阀座28移动并且至少部分地打开阀开口24。当弹簧力F_F已被完全克服时，则关闭元件36位于第二终点位置EP2中。

[0038] 借助于控制装置40来实现线圈30的激活，借助于此，能够实现关闭元件36且因此阀球26在第二终点位置EP2的方向上的运动。

[0039] 图2示意性地示出了在电流-时间激活曲线和行程-时间曲线之间的关系，这两种曲线构成线圈30的激活曲线，诸如，从现有技术中所已知的激活曲线。

[0040] 此处，在上图中，相对于时间t绘制了由于电压U被施加到线圈30而在致动器22中引发的电流I。在下图中，同样相对于时间t绘制了当电压施加到线圈30时由关闭元件36所

涵盖的行程s，其中，这些图的时间单位重叠。

[0041] 在上图中，能够看出的是，由于施加恒定电压U_{C1}，由电压U引发的打开电流脉冲$I_{öff}$的电流强度I最初增加到平坦区。当与下图比较时，能够看出的是，该平坦区区域是关闭元件36结束其运动(也就是说，撞击到第二终点位置EP2中)所在的区域。在平坦区区域之后不久，在电流-时间激活曲线中出现电流峰值I_{max}，这是由关闭元件36已撞击到第二终点位置EP2中引起的。电流强度I随后急剧下降并保持处于恒定的保持打开电流强度I_{off}，在该情况下脉冲电压U_{Puls1}被施加到线圈30。这对应于保持阶段，其中关闭元件36被保持在第二终点位置EP2中以便因此保持压力耗散阀14打开并准许从高压侧12中排放出燃料。该保持阶段被维持达预定的持续时间Δt，该预定的持续时间Δt已根据高压侧12上所期望的设定点压力与高压侧12上占优势的实际压力之间的差异预先确定。如果已达到设定点压力值，则完全结束电压的施加，并且所引发的电流强度I被消除到I = 0的值。此处，弹簧38的弹簧力F_F于是再次占优势，使得关闭元件36被推动回到第一终点位置EP1中。

[0042] 在关闭元件36撞击到第二终点位置EP2中所在的时间和在关闭元件36由于弹簧力F_F而撞击到第一终点位置EP1中所在的时间二者处，由于撞击冲力而产生了强烈的噪声。

[0043] 因此，现在提出，为了减少这些噪声，修改图2中所示并且从现有技术中已知的激活策略，如在图3中的流程图中示意性地图示的。

[0044] 此处，首先，将恒定电压U_{C1}施加到线圈30，使得引发打开电流脉冲$I_{öff}$。在下一步骤中，确定所引发的电流强度I是否位于限定的最大值I_{def}处。该最大I_{def}已在校准测量中预先确定，并且对应于关闭元件36抬离第一终点位置EP1所在的时间t。如果是这种情况，则结束恒定电压U_{C1}的施加，并且切换到施加脉冲电压U_{Puls1}，该脉冲电压引发保持打开电流强度I_{off}，具体地历时预定的持续时间Δt，该预定的持续时间Δt已预先被确定。在该预定的持续时间Δt已消逝之后，中断电压至致动器22的施加，直到所引发的电流强度I已达到例如I = 0的值时为止。然而，等待这么久并非必要的，并且可在所引发的电流强度I已被完全消除之前重新开始电压的施加。随后，仍然在通过弹簧38的弹簧力F_F实现的关闭元件36运动返回到第一终点位置EP1中期间，由于恒定电压U_{C2}被施加到致动器22而引发制动电流强度I_{Brems}，其中，由于该制动电流强度I_{Brems}而作用在关闭元件36上的致动器力F_A抵消弹簧力F_F并因此对关闭元件36的运动速度进行制动。电压U从恒定电压U_{C2}被切换到脉冲电压U_{Puls2}，并且被维持直到关闭元件36已到达第一终点位置EP1时为止。随后，完全结束将电压至致动器22的施加，直到电流强度I已再次呈现I = 0的值。

[0045] 在图4中示意性地示出了该激活策略。

[0046] 在图4中，上图再次示出了电流-时间激活曲线，该电流-时间激活曲线图示了由电压的施加所引发的激活电流强度I相对于时间t，而下图图示了行程-时间曲线，该行程-时间曲线示出了关闭元件36如何根据上图中的激活曲线移动。

[0047] 能够看出的是，施加恒定电压U_{C1}的以便引发打开电流脉冲$I_{öff}$并非如先前已经已知的那样执行直到能够检测到电流峰值I_{max}时(也就是说，直到关闭元件36已撞击到第二终点位置EP2中)，而是已经在达到所引发的电流强度I的限定的最大值I_{def}时、且因此在关闭元件36被设定成处于运动中的时刻，电流强度I由于结束恒定电压的施加而被降低，并且通过施加脉冲电压U_{Puls1}而引发保持打开电流强度I_{off}。这被维持达持续时间Δt，该持续时间Δt对应于已预先确定的预定的持续时间Δt以便根据需要从高压侧12排放压力。在该预定

的持续时间Δt结束时，中断电压的施加，例如，直到所引发的电流强度I能够被消除到I = 0的值时为止。然而，与现有技术相比，激活在此处并未结束，而是如下的情况：制动电流强度I_{Brems}由于再次施加恒定电压U_{C2}而被引发，使得即使在关闭元件36在第一终点位置EP1的方向上执行关闭运动期间，致动器力F_A也与弹簧38的弹簧力F_F相反地起作用。

[0048] 借助于图4中所示的激活曲线，关闭元件36在打开阶段和关闭阶段两者中都被制动，使得在两个终点位置EP1、EP2中的撞击不那么明显，并且能够减小噪声的产生。

[0049] 图5示出了图示图1中的控制装置40的框图，该控制装置适合于实施上文所描述的激活方法。为此目的，控制装置40具有输出装置42，借助于该输出装置，能够将用于引发相应的电流强度I的期望电压U施加到线圈30。附加地，提供最大值检测装置44，其能够检测打开电流脉冲$I_{öff}$何时处于所限定的最大值I_{def}，也就是说关闭元件36何时被设定成处于运动中。此外，控制装置40包括持续时间确定装置46，该持续时间确定装置确定关闭元件36必须被保持在第二终点位置EP2中(也就是说，在打开位置中)所在的时间长度，以便能够实现高压侧12上的期望的压力耗散。附加地还提供了确定装置48，其确定电压U是否已完全切断。此外，控制装置40还包括特性场50，该特性场中存储有关闭元件36仅在弹簧力F_F的作用下从第二终点位置EP2移动返回到第一终点位置EP1中所需要的持续时间Δt。

[0050] 借助于控制装置40，因此有可能将新的激活曲线施加到线圈30，在该情况下，在激活脉冲自身(其由打开电流脉冲$I_{öff}$和保持打开电流强度I_{off}构成)后面的是三个另外的阶段。这些具体地是中断阶段(其中例如I = 0的减小的电流强度I占优势)和其中施加并维持制动电流强度I_{Brems}的阶段。

[0051] 由于打开电流脉冲$I_{öff}$的阶段相对于现有技术被缩短了，并且在激活脉冲自身后面的是三个另外的阶段，因此有可能减小关闭元件36在两个终点位置EP1、EP2中的撞击速度，且因此实现开关阀16的致动中的噪声降低。

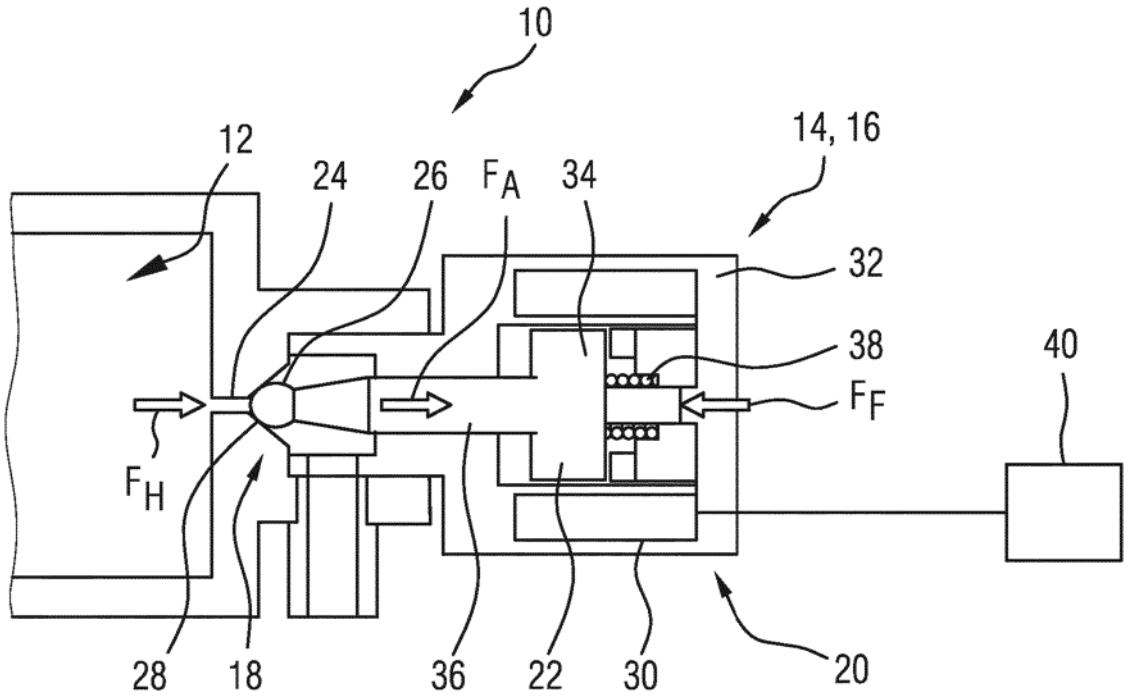

10
12
24
26
F_A
34
14, 16
32
38
40
F_F
F_H
28
18
36
22
30
20

图 1

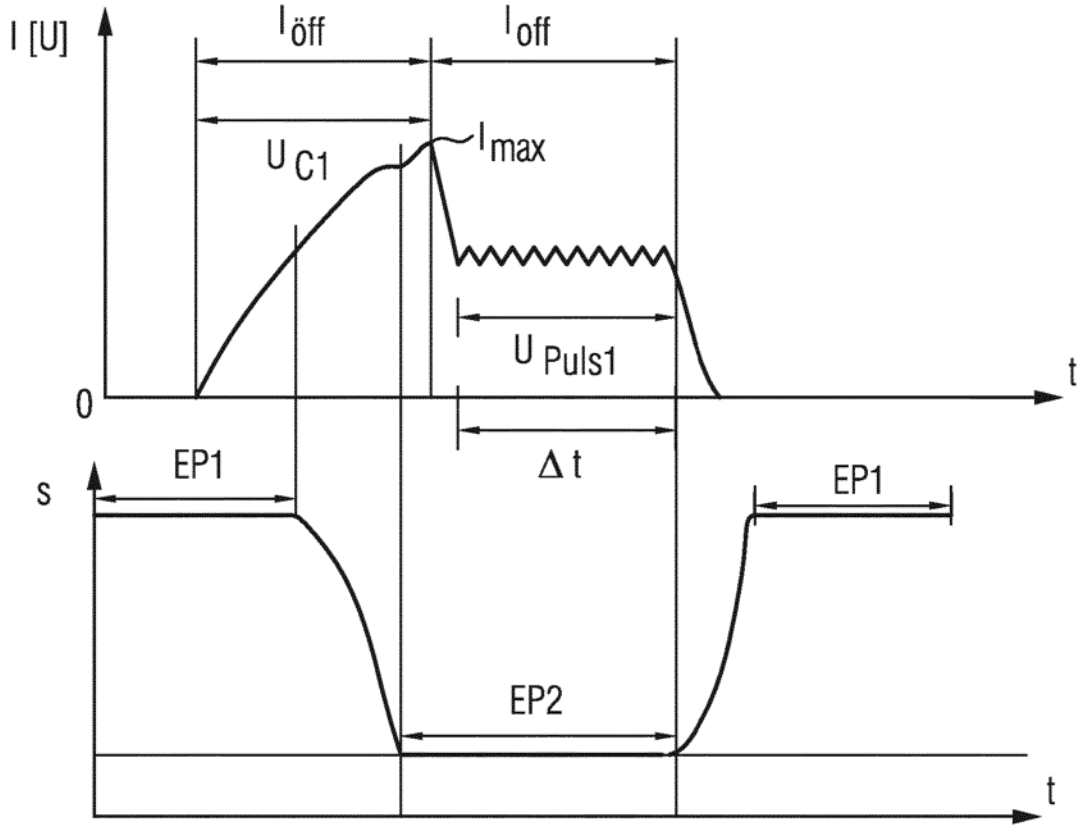

I [U]
$I_{öff}$
I_{off}
U_{C1}
I_{max}
U_{Puls1}
0
t
Δ t
s
EP1
EP1
EP2
t

图 2(现有技术)

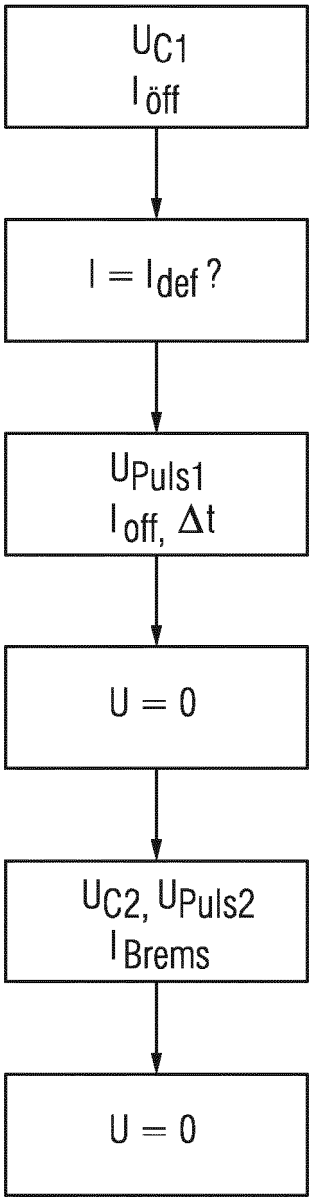


图 3

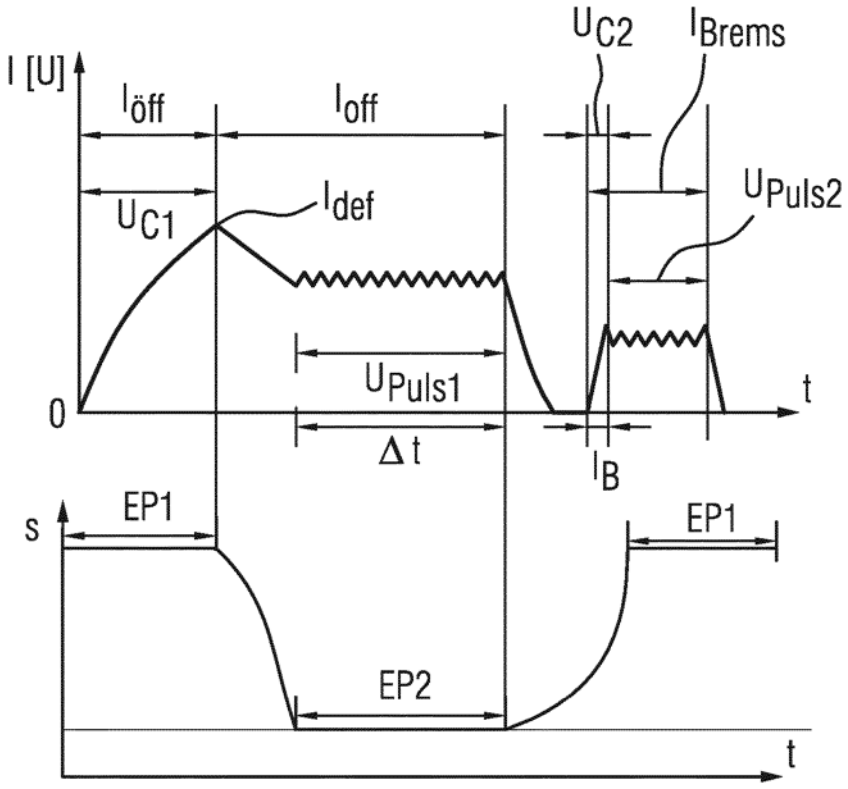

I [U]
Iöff
Ioff
UC2
IBrems
UPuls2
UC1
Idef
UPuls1
0
t
Δt
IB
s
EP1
EP1
EP2
t

图 4

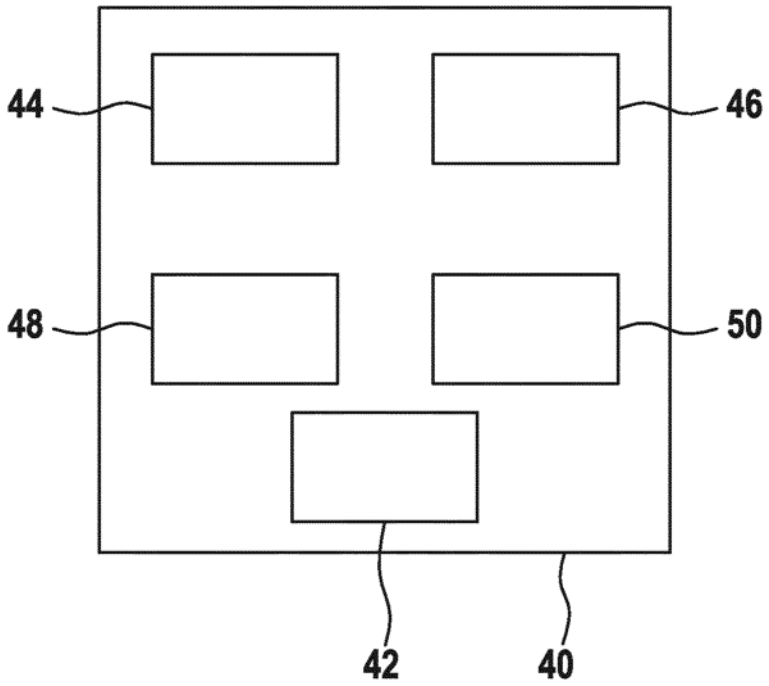

44
46
48
50
42
40

图 5