



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110326121 A

(43)申请公布日 2019.10.11

(21)申请号 201880013395.5

(22)申请日 2018.02.12

(30)优先权数据

17157520.2 2017.02.23 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.08.22

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2018/053381 2018.02.12

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/153708 EN 2018.08.30

(71)申请人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 A·希尔格斯 M·T·约翰逊

D·A·范登恩德

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 刘兆君

(51)Int.Cl.

H01L 41/04(2006.01)

H01L 41/193(2006.01)

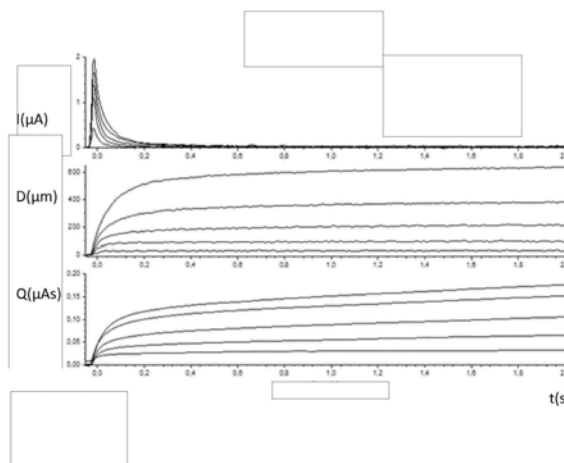
权利要求书1页 说明书10页 附图6页

(54)发明名称

并入了电活性聚合物致动器的致动器设备和驱动方法

(57)摘要

场驱动电活性聚合物致动器被提供有用于感测流到致动器的电流的电流传感器。控制电路用于驱动所述致动器,所述控制电路包括电压源。所述致动器的驱动取决于感测到的电流来控制,由此提供预定电荷递送以用于所述致动器的致动水平的具体改变。这为电压驱动的电活性聚合物致动器提供了组合的基于电压和基于电流的驱动方案,并且它使得致动器的机械移动能被更可靠地重复。



1. 一种用于将电输入转换成机械输出的致动器设备,包括:
场驱动电活性聚合物致动器 (66);
电流传感器 (64),其用于感测流到所述电活性聚合物致动器的电流;以及
控制电路 (66),其用于驱动所述电活性聚合物致动器,其中,所述控制电路包括可控电压源 (60),

其中,所述控制电路适于取决于感测到的电流来控制对所述致动器的驱动,由此基于电流监测来向所述致动器提供预定电荷递送以实现致动水平的特定改变,并且然后使用电压控制来维持致动水平。

2. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述特定改变包括致动到特定致动水平。

3. 根据权利要求1或2所述的设备,其中,所述电压源适于递送至少50V或至少100V或至少200V的最大电压。

4. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述预定电荷递送是以超过在所述电压控制期间的电压水平的致动电压提供的。

5. 根据任一前述权利要求所述的设备,其中,所述预定电荷递送是由所述控制电路的电流源来提供的。

6. 根据权利要求1至4中任一项所述的设备,其中,所述预定电荷递送是通过调节所述控制电路的所述电压源的电压水平来提供的。

7. 根据任一前述权利要求所述的设备,还包括电流限制电路以限制提供给所述致动器的充电电流。

8. 根据任一前述权利要求所述的设备,其中,所述控制器还适于监测所述致动器的电阻值,并且响应于所监测的电阻值而调整所述预定电流递送。

9. 一种用于驱动场驱动电活性聚合物致动器的方法,包括:

(90) 将电压应用于所述致动器以改变所述致动器的致动状态;

(92) 感测流到所述致动器的电流;以及

(94) 取决于感测到的电流来控制对所述致动器的致动,由此提供预定电荷递送以用于所述致动器的致动水平的特定改变,并且然后使用电压控制来维持致动水平。

10. 根据权利要求9所述的方法,包括应用至少50V或至少100V或至少200V的最大电压。

11. 根据权利要求9或10所述的方法,包括使用电流源或者通过调整电压源的电压水平来提供所述预定电荷递送。

12. 根据权利要求9至11中任一项所述的方法,还包括限制提供给所述致动器的充电电流。

13. 根据权利要求9至12中任一项所述的方法,包括监测所述致动器的电阻值,并且响应于所监测的电阻值而调整所述预定电流递送。

并入了电活性聚合物致动器的致动器设备和驱动方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电活性聚合物致动器。

背景技术

[0002] 电活性聚合物 (EAP) 是电响应材料的领域内的新兴类别的材料。EAP能够作为传感器或致动器来工作,并且能够容易地制造成各种形状,以允许容易地集成到各种系统内。

[0003] 在过去的十年中,已经发展了具有已显著提高的特性(诸如致动应力和应变)的材料。技术风险已经减小到对于产品开发而言的可接受水平,使得EAP在商业上和技术上变得日益引起兴趣。EAP的优点包括低功率、小的形状因子、柔韧性、无噪声操作、准确度、高分辨率的可能性、快速响应时间和循环致动。

[0004] EAP材料的改善的性能和特定的优点导致了对新应用的适用性。

[0005] 基于电致动,EAP设备能够在期望部件或特征的少量运动的任何应用中使用。类似地,该技术能够用于感测小的运动。本发明具体涉及致动器。

[0006] 与普通致动器比较,由于小的体积或薄的形状因子中相对大的变形和力的组合,EAP在致动器设备中的使用允许实现以前不可能的功能,或提供优于普通致动器解决方案的大优势。EAP致动器还给出了无噪声操作、准确的电子控制、快速响应和大范围的可能的致动频率,诸如0-1MHz,最常见的是在20kHz之下。

[0007] 使用电活性聚合物的设备能够被细分成场驱动的和离子驱动的材料。

[0008] 场驱动的EAP的范例包括压电聚合物、电致伸缩聚合物(诸如基于PVDF的弛豫聚合物)和介电聚合物。其他范例包括电致伸缩接枝聚合物、电致伸缩纸、驻极体、电致粘弹性弹性体E和液晶弹性体。

[0009] 离子驱动的EAP的范例是共轭/导电聚合物、离子聚合物金属复合物(IPMC)和碳纳米管(CNT)。其他范例包括离子聚合物凝胶。

[0010] 本发明具体涉及并入了场驱动的EAP材料的致动器设备。这些设备由电场通过直接机电耦合致动。由于其电容性质,它们需要高场强(伏每米)但是低电流。聚合物层通常是薄的,以保持驱动电压尽可能低。

[0011] EAP的第一著名子类是压电和电致伸缩聚合物。虽然常规压电聚合物的机电性能有限,但是在改善这种性能方面的突破已经得到PVDF弛豫聚合物,所述PVDF弛豫聚合物示出了自发的电极化(场驱动对齐)。这些材料能够被预应变以便改善沿应变方向的性能(预应变导致更好的分子对齐)。通常,金属电极被使用,因为应变通常在中等范围内(1-5%)。也可以使用其他类型的电极(诸如导电聚合物、碳黑基的油、凝胶或弹性体等)。电极可以是连续的或分段的。

[0012] EAP的感兴趣的另一子类是介电弹性体的子类。这种材料的薄膜可以被夹在顺应性电极之间,形成平行板电容器。在介电弹性体的情况下,由施加的电场诱发的麦克斯韦应力导致膜上的应力,引起它在厚度上收缩并在面积上扩展。应变性能通常通过给弹性体预加应变来扩大(需要框架来保持预应变)。应变能够是可观的(10-300%)。这也限制能够被

使用的电极的类型：对于低应变和中等应变，可以考虑金属电极和导电聚合物电极，对于高应变范围，通常使用碳黑基的油、凝胶或弹性体。电极能够是连续的或分段的。

[0013] 图1和2示出了EAP设备的两种可能的操作模式。

[0014] 设备包括电活性聚合物层14，其被夹置于所述电活性聚合物层14的相对两侧上的电极10、12之间。

[0015] 图1示出了未被夹住的设备。使用电压来使电活性聚合物层如所示出地在所有方向上扩展。

[0016] 图2示出了被设计为使得扩展只在一个方向上出现的设备。该设备由载体层16支撑。使用电压来使电活性聚合物层被弯曲或弯折。

[0017] 这种运动的性质例如来自致动时扩展的主动层和被动载体层之间的相互作用。为了得到如所示出的绕着轴的不对称弯曲，可以例如应用分子取向（膜拉伸），以促使一个方向上的运动。

[0018] 在一个方向上的扩展可以源自EAP聚合物中的非对称性，或它可以源自载体层的属性中的非对称性，或者两者的组合。

[0019] 场驱动电活性聚合物的一个问题是，如上面提到的，需要相当高的操作电压来实现设备中的高电场强度以实现期望的偏转。电子驱动电路用来生成这些高电压，并且执行其他信号处理。针对这些EAP需要高达1kV的驱动电压幅值，使得高电压设备需要被使用和实施，极大地增加了电子设备的成本（和尺寸）。

[0020] 由于其性质，通常场驱动的（即电压驱动的）EAP通过（恒定）电压源来操作。为EAP提供的期望的电压，以实现所需的操作点，即期望的机械偏转。然而，在这样的EAP的实验研究期间，已经意识到，尽管相同的电压已经被应用于EAP，但是机械致动水平是不同的，尤其是在循环操作模式下。当然在需要以非常可靠的方式实现非常精确的致动水平的具体应用中，这将会导致不可接受的偏移。

[0021] 为了补偿致动水平中的这些偏移，可以考虑闭环架构或前馈配置。第一种方法需要诸如光学反馈的反馈方案，而第二种方法可以例如基于定义补偿方案的查找表。两种解决方案在成本和/或空间和/或处理功率等方面需要极大的费用。

[0022] 将会希望实现允许偏转偏移的实时补偿的电压驱动的EAP以降低的费用的操作。

发明内容

[0023] 上面的需要至少部分地利用如通过独立权利要求定义的本发明来满足。从属权利要求提供了有利的实施例。

[0024] 根据本发明的一方面的范例提供了一种用于将电输入转换成机械输出的致动器设备，包括：

[0025] 场驱动电活性聚合物致动器；

[0026] 电流传感器，其用于感测流到所述电活性聚合物致动器的电流；以及

[0027] 控制电路，其用于驱动所述电活性聚合物致动器，其中，所述控制电路包括可控电压源，

[0028] 其中，所述控制电路适合于取决于感测到的电流来控制所述致动器的驱动，由此基于电流监测为所述致动器提供预定电荷递送以实现对致动器的致动水平的特定改变，并

且使用电压控制来维持致动水平。

[0029] 该设备包括场驱动的并且因此电压驱动的电致动器设备,但是它使用电流控制基于被提供给致动器设备的电流(并且因此被存储在致动器设备中的电荷)的实时监测来控制。因此,代替仅利用电压源操作电压驱动的电致动器,设备利用电流源(以及例如在电流控制的时段期间恒定电压)或利用电压控制但是基于电流感测反馈控制循环来操作。这允许机械致动偏移的实时补偿,尤其是在循环操作模式下。

[0030] 电流感测(其可以基于测量电流或电荷流)具体发生在当存在致动水平的改变时的致动时间期间。在该时间期间,存在被提供给设备并且被存储在设备上的电荷的改变。在稳态操作期间,存在小的漏电流,但是已经发现在致动时间期间递送的电荷的改变与通过致动器到达的最终机械致动状态相关联。电流因此能够以这样的方式来控制:对于每个致动水平,总是为EAP提供正确的电流曲线或总电荷以导致期望的机械致动。

[0031] 所述具体改变例如包括达到特定致动水平的致动。例如,达到完全机械变形状态的致动可以与具体所需的到达致动器的电荷流相关联。

[0032] 电压源例如可控制为递送至少50V或至少100V或至少200V的最大电压。因此,致动器是高电压场驱动设备并且因此是电压驱动的设备,其通常仅基于所应用的电压来控制。

[0033] 控制电路适于基于电流监测为致动器提供预定电荷递送以实施致动水平的改变,并且然后使用电压控制来维持致动水平。因此,稳态操作以常规方式使用电压控制来维持,这对于场驱动的设备是期望的,因为它实现了对于损失的更好补偿/容许。然而,致动水平的改变额外地利用基于电流的反馈控制方法。

[0034] 可以为预定电荷递送提供超过电压控制期间的电压水平的致动电压。

[0035] 在一组范例中,所述预定电荷递送由所述控制电路的电流源来提供。因此,电流注入可以用来确保伴随的致动到具体水平所需的电荷的递送。电流源例如包括电压源。电压源递送高到足以将所需的电流留在设备内但是低到不足以对部件造成破坏的幅值,并且然后利用用于反馈控制的电流测量机制来控制电流。

[0036] 控制电路然后包括电流源以及具有可控电压。这提供了混合的基于电流和基于电压的控制方法。

[0037] 在另一组范例中,所述预定电荷递送通过调整所述控制电路的所述电压源的电压水平来提供。在这种情况下,存在电流控制反馈循环,但是所应用的电压被控制以实现期望的电流注入。

[0038] 可以提供电流限制电路来限制被提供给致动器的充电电流。这避免了将会致使电荷监测更不准确的电流峰值。它还能够改善EAP材料的寿命。

[0039] 所述控制器还适合于监测所述致动器的电阻值,并且响应于所监测的电阻值而调整所述预定电流递送。该电阻值可以是寄生并联电阻,其涉及在致动器设备的稳态状况下的恒定漏电流。通过在已知的驱动电压下监测该电流,电阻能够被确定,并且这能够用来调整驱动方案以考虑设备的老化。

[0040] 根据本发明的另一方面的范例提供了一种用于驱动场驱动电活性聚合物致动器的方法,包括:

[0041] 将电压应用于所述致动器以改变所述致动器的致动状态;

[0042] 感测流到所述致动器的电流;以及

[0043] 取决于感测到的电流来控制所述致动器的致动,由此提供预定电荷递送以用于所述致动器的致动水平的特定改变,并且然后使用电压控制来维持致动水平。

[0044] 所述方法可以包括应用至少50V或至少100V或至少200V的最大电压。

[0045] 所述预定电荷递送可以使用电流源或通过调整电压源的电压水平来提供。所述方法可以还包括限制为所述致动器提供的充电电流。此外,所述方法可以包括监测所述致动器的电阻值,并且响应于所监测的电阻值而调整所述预定电流递送。

附图说明

[0046] 现在将参考附图详细地描述本发明的范例,在附图中:

[0047] 图1示出了未被夹住的已知电活性聚合物设备;

[0048] 图2示出了由背衬层约束的已知电活性聚合物设备;

[0049] 图3示出了用来图示可能出现的机械漂移的循环致动波形的示例;

[0050] 图4示出了使用图3的波形测试致动器的结果;

[0051] 图5示出了在一个循环内的两个最大幅值时间段期间向EAP递送的电荷;

[0052] 图6示出了在电荷、电流和偏转方面EAP对致动的响应;

[0053] 图7示出了用于提供电压和电流控制的控制电路;

[0054] 图8示出了导数波形以图示致动的重要充电阶段能够如何被分析;

[0055] 图9示出了致动器的电流受限的充电可以如何被实施;并且

[0056] 图10示出了驱动场驱动电活性聚合物致动器的方法。

具体实施方式

[0057] 本发明提供了一种场驱动电活性聚合物致动器,所述场驱动电活性聚合物致动器被提供有用于感测流到致动器的电流的电流传感器。控制电路用于驱动所述致动器,所述控制电路包括电压源。所述致动器的驱动取决于感测到的电流来控制,由此提供预定电流递送以用于所述致动器的致动水平的具体改变。这为电压驱动的EAP致动器提供了组合的基于电压和基于电流的驱动方案,并且它使得致动器的机械移动能被更可靠地重复。

[0058] 一般来说,场驱动电活性聚合物(EAP)致动器由嵌入在两个导电材料之间的电隔离材料组成。根据所应用的电压,电极之间的电场引起EAP的机械变形。如上面解释的,通过将具有不同伸展系数(例如刚性)的额外材料用到EAP层,机械变形能够指向某些方向。通过实施多层技术,能够增加电极之间的场强度,并且因此需要更低的电压幅值来操作EAP致动器,或更高的机械变形能够实现。

[0059] 本发明涉及给定电压致动曲线可以引起不同机械致动水平因此引起机械偏移的问题。

[0060] 现在将借助于已经使用标准电压驱动的EAP致动器进行的一组测量来描述机械偏移。样品根据随机循环方案来致动,其中,不同的致动水平如在图3中示出的那样来解决。

[0061] 从非激活状态(等于没有致动电压被应用于EAP致动器)开始,致动器通过200V的电压来致动,随后是分别100V和50V的降低的致动电压以及200V的第二最大电压。最后,EAP致动器通过将所应用的电压向下降至零而被停用。

[0062] 尽管具体循环是任意地选择的,但是它表示应用中的典型致动循环,其中在特定

时间帧期间需要采用最小(停用)水平与局部最大水平之间的不同致动水平。在实验期间,循环被连续地应用于EAP致动器(14次)。

[0063] 图4示出了全部测试结果。在图3中示出了所应用的电压(并且相对于图4的两个绘图的计时能够从图4的底部绘图清楚地看出)。顶部绘图示出了留在设备内的积分电荷,而底部绘图示出了机械致动水平(如通过偏转测量探针测量的电压)。

[0064] 为了便于表示,示出了一个循环,在 $t=0$ 处开始。尽管提供了连续操作,但是每个循环被表示为在 $t=0$ 处开始并且 $Q=0$,使得每个绘图示出了14个不同轨迹的叠加,每个轨迹包括循环中的一个。这允许致动水平的任何差异的良好比较。

[0065] 不同绘图之间的差异示出了致动器响应如何随着时间不保持一致。

[0066] 特别感兴趣的是当将200V的最大电压应用于EAP致动器时实现的机械致动水平。在一个循环内,在初始脉冲和结束脉冲期间是这样的情况。

[0067] 底部绘图示出了当没有电压被应用于EAP致动器时零(正常)位置的典型微小变化,在于零水平是粗线——指示14个轨迹具有稍微不同的零值。在不同的致动水平下也存在微小致动变化。

[0068] 然而,图4还示出了每个循环内的第二最大致动脉冲幅值(200V,对于每个循环)导致比每个个体循环内的第一脉冲稍微更低的偏转幅值。这能够从虚线看出,其使第一与第二脉冲之间的机械驱动水平的大致减少清楚。偏移为大约0.05V(对于0.8mm/V的偏转灵敏性,其对应于40 μm)。即使相同的200V的驱动电压被应用于EAP致动器,也是这样的情况。

[0069] 能够看出,具体地当存在致动水平的快速改变时问题出现,因为下一个循环的第一最大脉冲被示为恢复到期望的水平。

[0070] 与这种影响的清楚关系能够通过分析示出留在EAP致动器内的电荷的顶部绘图来观察。

[0071] 图5的顶部部分示出了在两个相继循环期间向EAP致动器递送的电荷。绘图50是在第一循环期间递送的电荷,并且绘图52是在第二循环期间递送的电荷。所递送的电荷的差异在第二高幅值脉冲期间是最显著的。这引起机械致动水平随着时间而改变,在循环的第二高幅值脉冲期间最显著,如能够从图5的底部部分看出的。

[0072] 为了补偿这种影响,可以稍微增加一个循环内的第二最大致动脉冲的驱动幅值,以使它在电压方面比第一脉冲更高。然而,清楚的是电压幅值需要高多少。

[0073] 驱动幅值的偏移可以从偏转的实时测量(和对应的控制循环)或基于查找表来生成。第一方案需要显著的测量和控制费用,而第二方案需要在应用之前的分量的详细表征以便生成这样的查找表。

[0074] 本发明基于组合电流感测反馈方法(例如电流源驱动方法)与高电压致动方法来提供致动器的更一致偏转响应。

[0075] 例如,电压驱动的EAP致动器可以(至少部分地)由电流源而非电压源来致动。在这种情况下,每个致动循环或致动循环的一部分期间的电流(即电荷流)能够被测量,并且控制适合于确保每个脉冲(即致动循环或致动循环的一部分)具有相同的曲线或相同的到EAP致动器内的总电荷注入。电流能够容易地通过已知方案来测量,诸如通过测量跨过与致动器串联的感测小电流的电阻器的电压降。

[0076] 该电荷流控制在存在致动水平的改变的致动曲线的部分期间发生。在致动曲线的

这些部分之间,可以存在先前的最终致动水平被维持的时间段。在这些时间期间,使用电压控制来维持致动状态。因此,致动曲线具有第一时段(进行致动水平改变的致动循环的曲线部分)和在第一时段之前的第二时段。第二时段例如具有比第一时段更长的持续时间,使得存在使调整阶段和保持阶段交替的循环控制信号。

[0077] 图6示出了偏转响应于在时间 $t=0$ 处应用的DC激活电压在电荷、电流和偏转方面EAP对致动的响应。致动电压是40V、80V、120V、160V和200V。顶部窗格示出了流到EAP的电流,中部窗格示出了偏转,并且底部窗格示出了所积聚的电荷。在所有曲线图中,最高曲线(即最大电流、偏转和电荷)是针对最高致动电压(即200V),并且最低曲线是针对最低致动电压(即40V)。

[0078] 图6示出了对于这种致动器设计,在大约300ms之后电荷的斜率变得恒定,并且然后跟随机械变形的斜率。在该时间之后抽取非常少的额外电流。发现总变形幅值为在45秒之后读出的 $800\mu\text{m}$ (对于 $V_{dc}=200\text{V}$)。

[0079] 在300ms时间点处,对于200V致动,偏转已经到达 $600\mu\text{m}$ 。因此,能够看出电荷控制可以用于相对短的时段,并且电压控制然后能够接管。

[0080] 一种可能的控制方案是,一旦电荷绘图(当然其为电流)的斜率变得恒定或变为零,系统就能够转换为电压驱动的操作模式。阈值可以针对电流进行设置,并且无论何时电流降至某一阈值之下,就可以采取电压控制。阈值可以例如是最大电流幅值的10%(对于该特定范例)。

[0081] 一旦偏转的期望改变已经被控制就到基于电压的控制的转换是期望的,因为电压控制能够容许损失。例如由材料的非完美绝缘产生的并行损失机制引起的损失。这些损失是温度依赖的且不可预测的,并且因此难以使用电流控制来补偿。这些损失替代地通过电压控制来自动补偿,因为电流的任何变化(由于可变损失)将会被恒定电压源覆盖。因此,电压控制对于场驱动的EAP设备的一般操作是期望的,并且电流控制仅用作改善偏转可以被控制的准确性的暂时措施。

[0082] 图7示出了控制电路。存在可控电压源60、以及用于为电压源提供控制电压 $V_{\text{控制}}$ 的控制器62。还可以提供注入电流 $I_{\text{输出}}$,如将会在下面解释的。在所有范例中,除了致动器的电压驱动之外,还存在电流控制回路。

[0083] 控制器62从电流传感器(例如与EAP致动器串联的电流感测电阻器64)接收电流量。电压驱动的EAP致动器被示为电容 C 与串联电阻 R_s 和跨电阻器-电容器对 R_s 、 C 的并联电阻 R_p 的其等效电路66。控制器能够通过随着时间监测电流来监测电流曲线的形状。这也能够用来随着时间监测致动器上存储的电荷。

[0084] 等效电路66是电压驱动的EAP致动器的第一近似。相比于串联电阻器,并联电阻器 R_p 是大损失电阻器。小电流将会流过并联电阻器 R_p ,使得实际上有助于机械致动的电流将会稍微低于总的所测量的电流。为了使电荷控制更精确,充电过程可以与稳态操作模式(其中小电流仅流过并联电阻器)分离。小电流然后能够被确定,并且因此动态电流曲线可以被更准确地确定。

[0085] 这能够通过研究通过EAP致动器的电流的斜率来实现。

[0086] 在图4和图5中,能够清楚地看出在电荷波形的第一部分(大约200ms)期间,斜率不同于其后,其后它实质上具有线性(恒定)斜率。此后,基于导数或更高阶导数分析的电荷曲

线的斜率能够被使用,以便在充电阶段与(伪)稳态操作模式之间进行分离。波形形状的差异出现在充电阶段期间,并且因此对于充电阶段需要补偿。

[0087] 通常,并联电阻在大约 $10\text{M}\Omega$ 的范围内,使得在 200V 处, $200\text{V}/10\text{M}\Omega = 20\mu\text{A}$ 的电流正流过该并联电阻器。

[0088] 图8示出了导数波形以图示致动的重要充电阶段能够如何被分析。

[0089] 顶部窗格示出了针对(图3的)驱动波形的第一高脉冲的充电特性,并且底部窗格示出了针对驱动波形的第二高脉冲的充电特性。

[0090] 在两个窗格中,顶部绘图示出了在相应 200V 脉冲的第一部分秒期间流到EAP致动器的积分电流(即电荷)(顶部窗格示出了第一脉冲的 1s ,并且底部窗格示出了第二脉冲的 0.8s 以及在先的 0.2s)。

[0091] 电荷的变化能够在从更低致动状态到更高致动状态的转变期间观察到。更高的电荷对应于更高的偏转。

[0092] 中间绘图示出了一阶导数,即电流水平。底部绘图示出了二阶导数,即电流的导数。

[0093] 充电阶段因此能够被识别为在二阶导数到达零之前的时段(即然后存在恒定电流),并且反馈控制然后可以基于产生额外的电荷流以在那时候补偿电荷的改变(即每个窗格的顶部图像中的两个绘图之间的差异)。一旦额外的补偿电荷被提供,致动器就会继续正确的稳态响应。

[0094] 本发明利用电压源来驱动致动器(如常规的),但是控制电路适合于取决于感测到的电流来实施控制。以此方式,预定的电流曲线或总的电流曲线能够针对致动器的致动水平的具体改变来递送。

[0095] 在一个范例中,电流被感测,并且所应用的电压经由控制循环来调整。因此,不存在这样的电流源,但是电流通过控制电压来控制。

[0096] 备选方案是提供与电流感测电阻器串联的晶体管,使得通过EAP致动器的电流能够通过晶体管来控制。在这种情况下,电压源能够在电流控制时段期间具有恒定电压幅值,该恒定电压幅值需要高到足以递送所需的电流。电压源提供高到足以递送所需的电流的电压(例如,等于能够被应用于EAP致动器而不对它造成破坏的最大电压)。通过EAP的电流然后经由充当可变电阻器的串联晶体管来控制。这具有与降低电压源的电压相同的功能。

[0097] 对于从更低致动水平到最大致动水平的所有致动事件,电流控制可以发生,如上面解释的。与对于从另一水平到最大水平(例如,具有 25% 至 100% 的转变的图3的第二高脉冲)的转变相比,对于从一个水平到最大水平(例如具有 0% 至 100% 转变的图3的第一高脉冲)的转变,可以期望不同的电荷注入。对于完全(0% 至 100%)致动步骤,所需的电荷注入可以通过从所需的电流注入外插来获得,其可以被存储在数据库中。

[0098] 然而,该方法可以被延伸为在其他中间致动(包括未到达完全 100% 水平的致动)期间包括电流控制。这可以再次基于在中间致动水平之间内插。

[0099] 如果致动水平的改变非常小,这样的精确控制可以不被需要。

[0100] 在极限情况下,电荷流的连续测量可以发生,使得致动器的整个控制基于电流控制以及电压控制。

[0101] 通过使用电压过冲来加速机械偏转是可能的。该方法也可以被使用。例如,EAP致

动器可以在短时刻内以更高电压来操作,在此期间电流被实时测量。一旦所需的电流已经被递送,电压幅值然后将会被降低或在串联电流限制元件上面的电压降可以被改变。

[0102] 当针对给定转变(例如0%至100%)设置所需的电流曲线时,所需的电流被预先设置,例如被提供在数据表中。可以使用学习系统来改善系统性能。如之前提到的,电荷的改变能够在转变阶段期间观察到,而在稳态操作中,不存在所生成的额外偏移,因为曲线是平行的。因此仅需要确保总电荷流在不比转变本身长得多的短时间期间到达期望值,直至电荷导数是恒定的或几乎恒定的。因此,电流控制反馈循环可以在转变时候仅需要以低占空比操作,并且正常电压控制可以在其他时候被使用。

[0103] 存在实施控制策略的各种方式。

[0104] 第一范例利用作为控制器62的一部分的电流源(在图6中)。电流源用来通过相同电荷留在设备内来保证相同期望的致动水平总是被实现。作为时间的函数,进入电压驱动的电致动器的充电电流/电荷以及所释放的放电电流/电荷随着时间被监测。

[0105] 只要所需的电荷已经被留在设备内,EAP就能够通过高操作电压来致动。致动期间(即当改变致动器设置时)的初始致动电压可以稍微高于通常用于所需的致动水平。然而,当已经到达所需的电荷水平时,电压能够被降回到与所处理的致动水平相关联的正常操作电压。

[0106] 在上面概述的主要范例中,存在电流的直接控制以及电压控制。

[0107] 在第二范例中,致动器被驱动到与期望的致动器设置相关联的标准电压。电流被监测,并且小电压补偿然后可以基于所监测的电流来应用。这用来精调机械致动。这将会需要小查找表在所需的电流与所需的额外补偿电压之间映射,而且将会需要仅几个条目,因为修正正是小的。

[0108] 在第三范例中,EAP致动器再次通过所需的操作电压来操作,同时电流被监测。如果控制器识别完全相同致动设置点处的电荷的差异,则驱动电压被进一步增加(或降低)直至相同电荷留在EAP致动器内。在这种情况下,在先前的致动水平期间存储的电荷需要被控制器记录和存储。

[0109] 上面的第二范例例如利用查找表用于精调,并且第三范例利用历史数据来例如额外地补偿老化影响。系统可以实施学习,使得到达相等设置点所需的电荷被存储并且随着时间被平均。这实现了随着时间的改善的再现性。

[0110] 在第四范例(其可以与上面的其他范例中的任一个进行组合)中,当驱动致动器时,受限的电流被强加。

[0111] 图9示出了EAP的电流受限的充电。绘图80示出了标准充电曲线,并且绘图82示出了电流受限的充电电流。为此目的,具有电流限制器的电路被安装在控制器62中,这确保充电电流不超过特定值。这具有电流控制更准确的添加优点,因为初始电流峰值被避免(在初始电流峰值期间,电流的监测必须在高分辨率中以避免在电荷和位移方面的不准确性)。这具有限制EAP致动器上的过多电流的优点,这能够改善EAP材料的寿命。当速率限制被很好地选择时,致动的延迟被限制并且是可接受的(取决于应用)。

[0112] 在第五范例(其可以与上面的其他范例中的任一个进行组合)中,提供了针对EAP的老化的一些补偿。EAP的不可预测元素中的一个能够是等效电路中的电阻器的值。最显著地,由于EAP材料随着时间的退化,电阻值趋向于改变。

[0113] 如果电阻值改变,诱发EAP上的某一电荷所需的总电流也改变。基于上面的方法,电阻值可以基于电流曲线和已知电压的分析来确定。

[0114] 系统然后能够在(一个或多个)电阻器值随着时间的改变的基础上预测EAP上的最佳注入电流应当是什么,以便获得EAP上的所需的电荷和相关联的位移。

[0115] 本发明的最简单实施方式可以使用具有电流源控制的双水平电压供应(开启或关闭),以在从关闭到开启的转变时提供精调。然而,多水平控制是优选的,在此情况下可以形成更复杂的致动曲线(如上面示出的)。

[0116] 例如对于循环操作,致动波形可以被提前确定,在此情况下将会发生的转变是已知的,并且用于电流反馈控制的数据能够在校准期间或从在制造时提供的数据库获得。备选地,驱动水平可以基于使用感测的反馈控制或用户输入被自动控制。电流控制循环然后可以响应于出现的致动器驱动水平的具体转变而动态地操作。

[0117] 图10示出了驱动场驱动电活性聚合物致动器的方法,包括:

[0118] 在步骤90中,将电压应用于致动器以改变致动器的致动状态;

[0119] 在步骤92中,感测流到致动器的电流;以及

[0120] 在步骤94中,取决于感测到的电流来控制致动器的致动,由此提供预定电流递送以用于致动器的致动水平的特定改变。

[0121] 适合于场驱动的EAP层的材料是已知的。

[0122] 电活性聚合物包括但不限于下述子类别:压电聚合物、机电聚合物、弛豫铁电聚合物、电致伸缩聚合物、电介质弹性体、液晶弹性体。

[0123] 子类别电致伸缩聚合物包括但不限于:

[0124] 聚偏二氟乙烯(PVDF),聚偏二氟乙烯-三氟乙烯(PVDF-TrFE),聚偏二氟乙烯-三氟乙烯-氯氟乙烯(PVDF-TrFE-CFE),聚偏二氟乙烯-三氟乙烯-三氟氯乙烯(PVDF-TrFE-CTFE),聚偏二氟乙烯-六氟丙烯(PVDF-HFP),聚氨酯或其共混物。

[0125] 子类别电介质弹性体包括但不限于:

[0126] 丙烯酸酯、聚氨基甲酸酯、硅树脂。

[0127] 如果电镀电极布置在非对称配置中,则所施加的电压能够引起所有类型的变形,诸如扭曲、滚动、扭转、旋转和非对称的弯曲变形。

[0128] 在所有这些范例中,额外的被动层可以被提供用于响应于应用的电场而影响EAP层的电性和/或机械行为。

[0129] 每个单元的EAP层可以夹置在电极之间。电极可以是可伸展的,使得它们跟随EAP材料层的变形。适合于电极的材料也是已知的,并且例如可以选自由薄金属膜组成的组中,诸如金、铜、或铝、或有机导体,诸如碳黑、碳纳米管、聚苯胺(PANI)、聚(3,4-乙烯二氧噻吩)(PEDOT)(例如聚(3,4-乙烯二氧噻吩)聚(苯乙烯磺酸)(PEDOT:PSS))。金属化的聚酯膜也可以被使用,诸如金属化的聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET),例如使用铝涂层。

[0130] 本发明能够被应用在许多EAP和光活性聚合物应用中,包括对致动器的被动矩阵阵列感兴趣的范例。

[0131] 在许多应用中,产品的主要功能取决于对人类组织的(局部)操纵、或接触界面的组织的致动。在这些应用中,EAP致动器例如提供独特的益处,主要由于小的形状因子、柔性和高能量密度。因此,EAP和光敏聚合物能够被集成在柔软的3D成形的和/或微型的产品和

界面中。这些应用的范例是：

[0132] 皮肤美容处置，诸如基于响应性聚合物的皮肤贴片形式的皮肤致动设备，其将恒定的或循环的伸展应用于皮肤以便张紧皮肤或减少皱纹；

[0133] 具有患者接口面罩的呼吸设备，所述患者接口面罩具有基于响应性聚合物的主动衬垫或密封，以为皮肤提供减少或防止面部红印的交替的垂直压力；

[0134] 具有适应性剃须刀头的电动剃须刀。皮肤接触表面的高度能够使用响应性聚合物致动器来调整，以便影响紧密与刺激之间的平衡；

[0135] 口腔清洁设备，诸如空气洁牙器，其具有动态喷嘴致动器以改善特别是牙齿之间的空间中的喷雾的到达。替代地，牙刷可以被提供有激活的丛毛；

[0136] 消费电子设备或触摸面板，其经由被集成在用户接口中或附近的一系列响应性聚合物换能器提供局部触觉反馈；

[0137] 具有可操纵顶端以实现蜿蜒血管中的容易导航的导管；

[0138] 人体生理参数的测量，诸如心跳、SpO₂和血压。

[0139] 受益于此类致动器的另一类相关应用涉及光的修改。诸如透镜、反射表面、光栅等的光学元件能够通过使用这些致动器的形状或位置适应来进行调整。此处，EAP的一个益处例如是更低的功率消耗。

[0140] 本领域技术人员通过研究附图、公开内容以及权利要求，在实践请求保护的发明时能够理解并实现对所公开的实施例的其他变型。在权利要求中，“包括”一词不排除其他元件或步骤，并且词语“一”或“一个”不排除多个。单个处理器或其他单元可以实现在权利要求中记载的若干项的功能。尽管特定措施是在互不相同的从属权利要求中记载的，但是这并不指示不能有利地使用这些措施的组合。权利要求中的任何附图标记都不应被解释为对范围的限制。

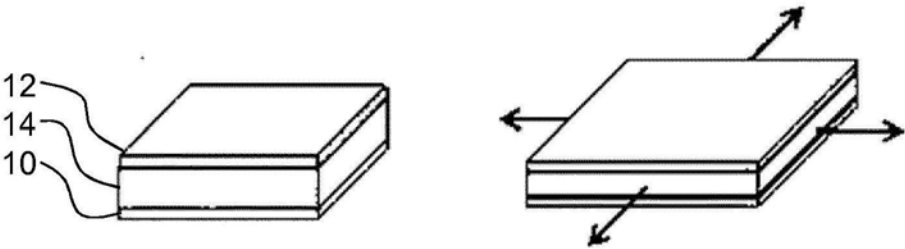


图1

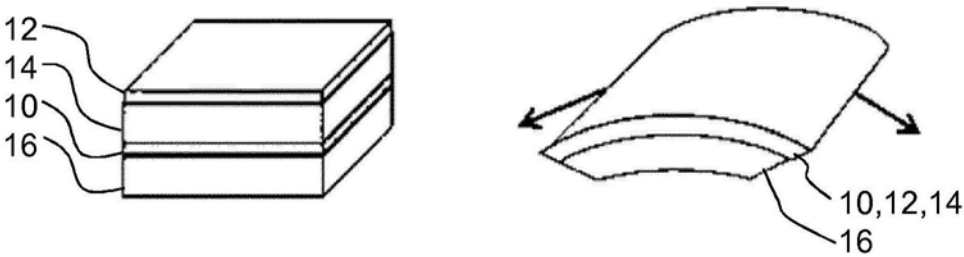


图2

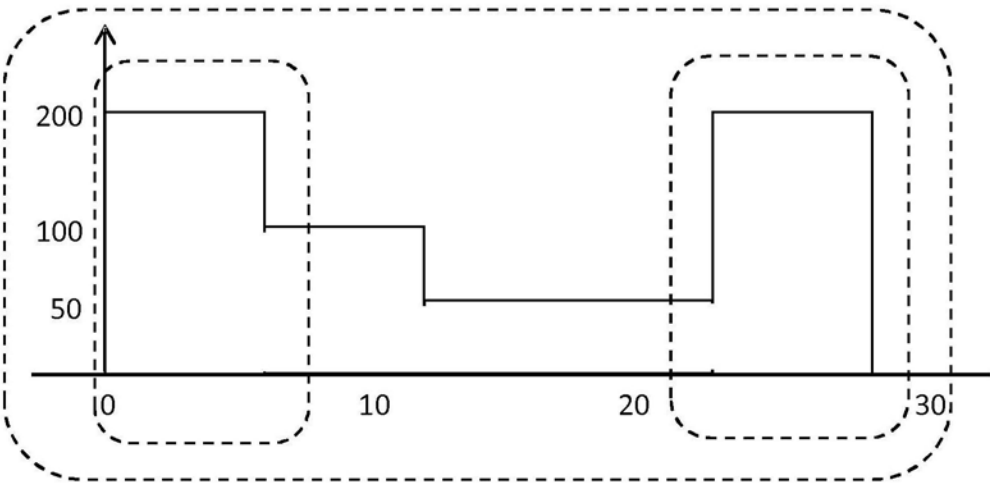


图3

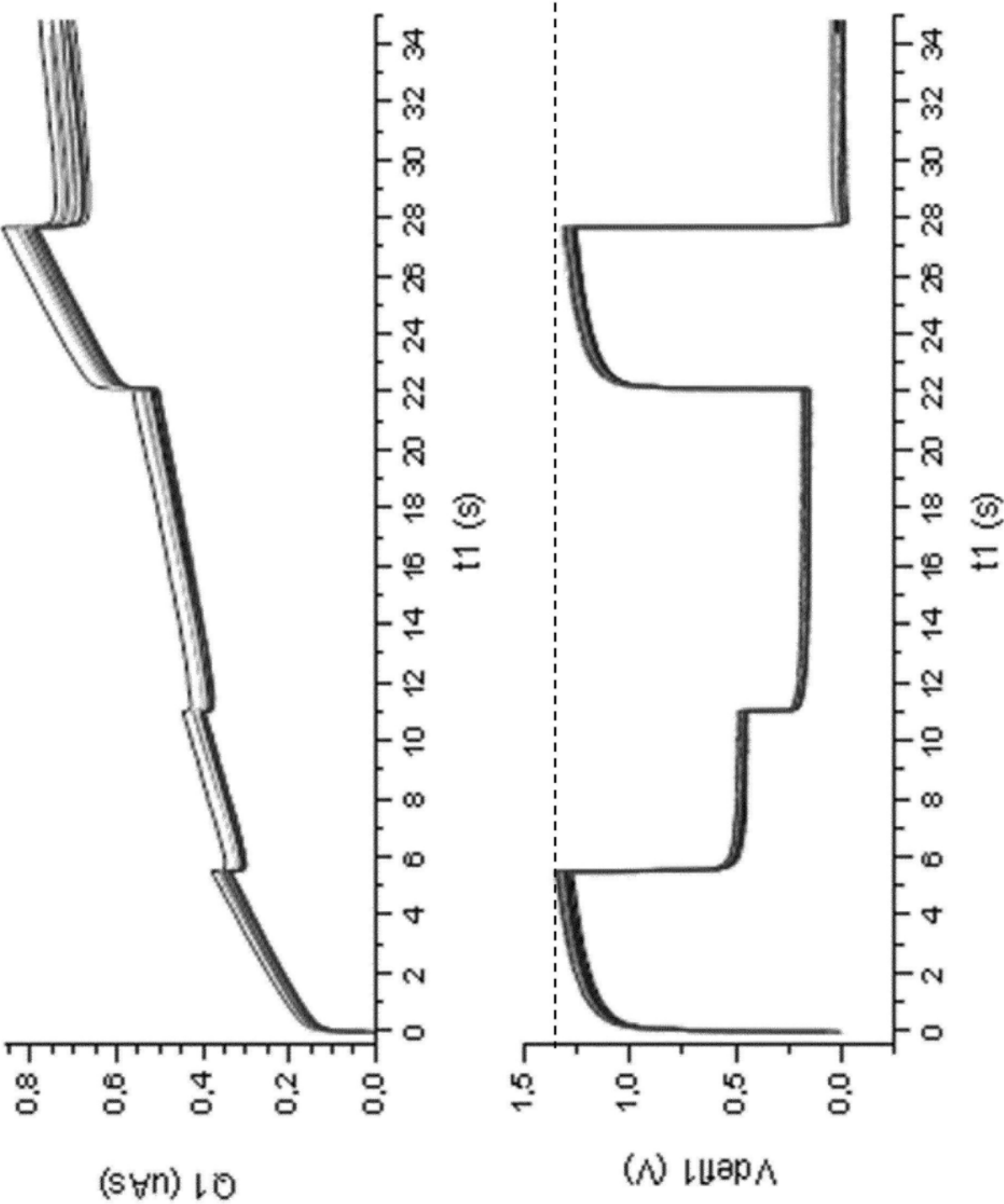


图4

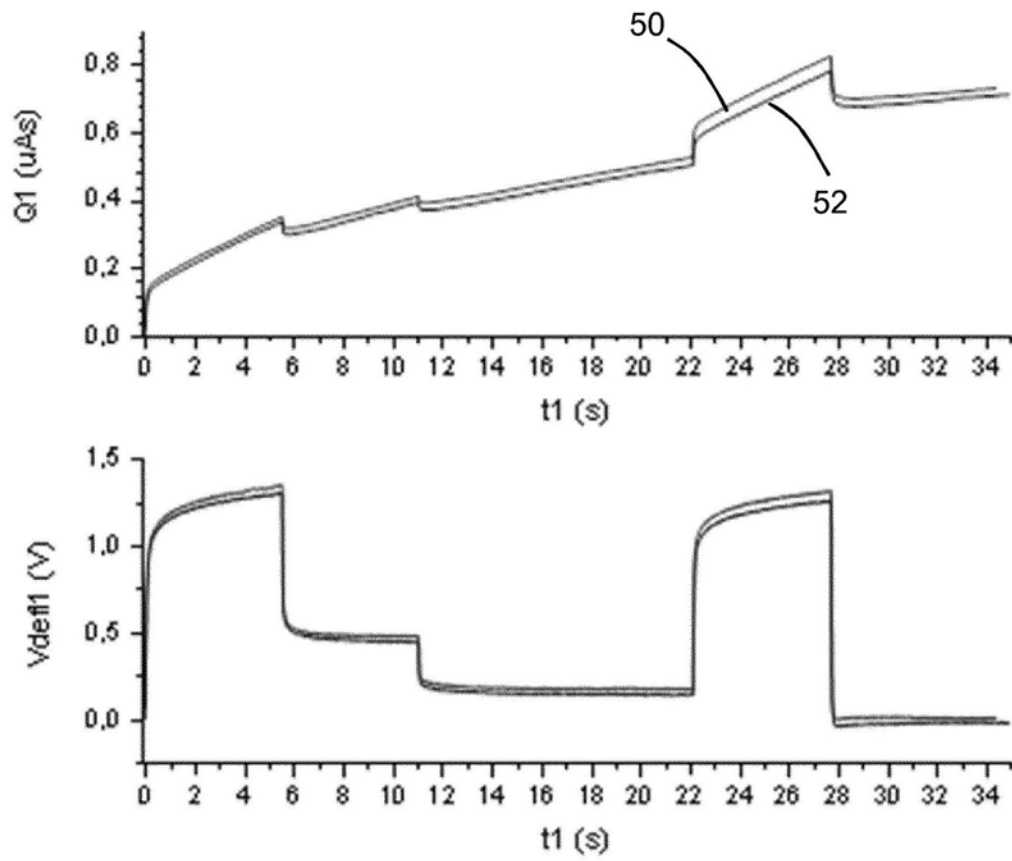


图5

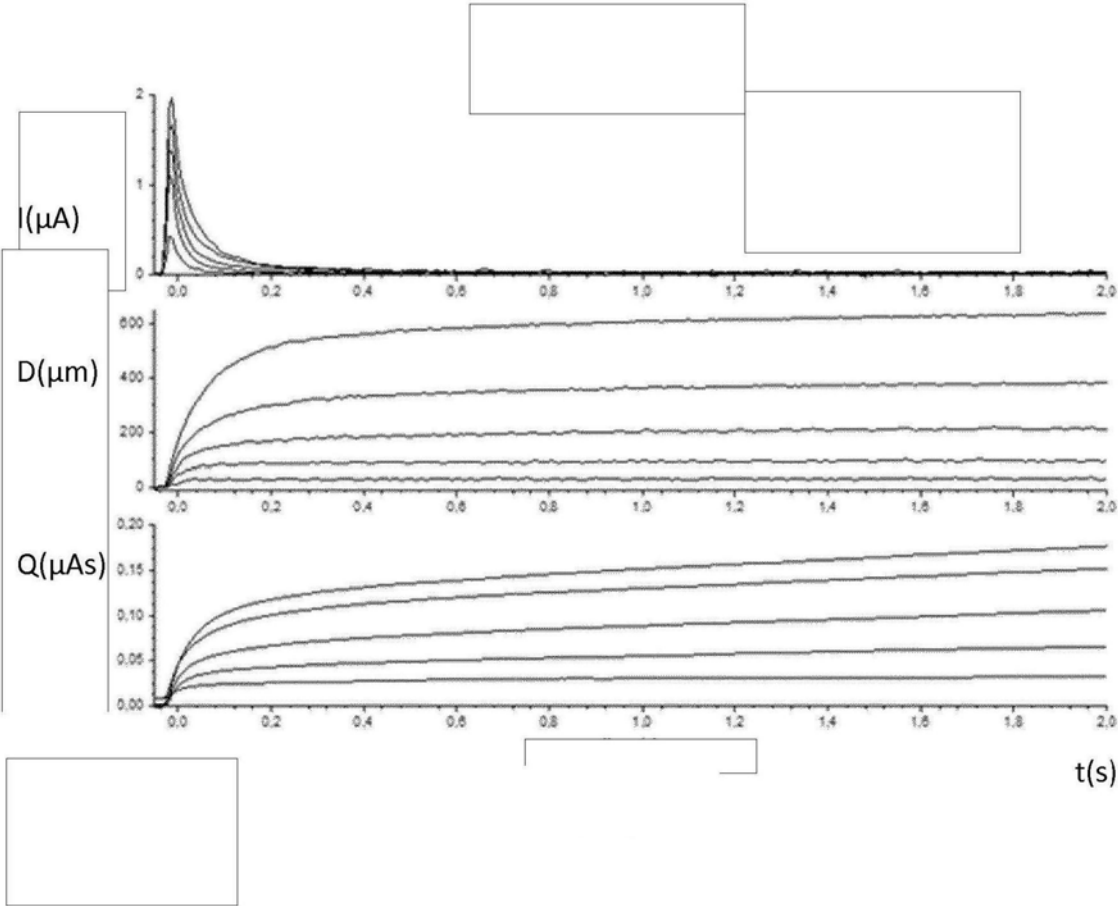


图6

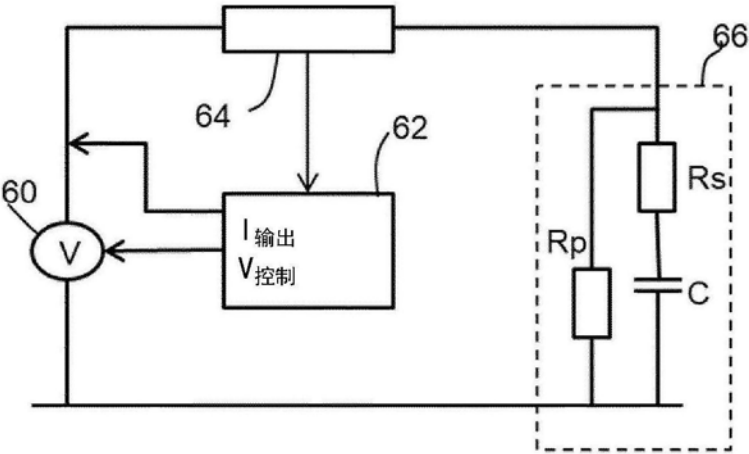


图7

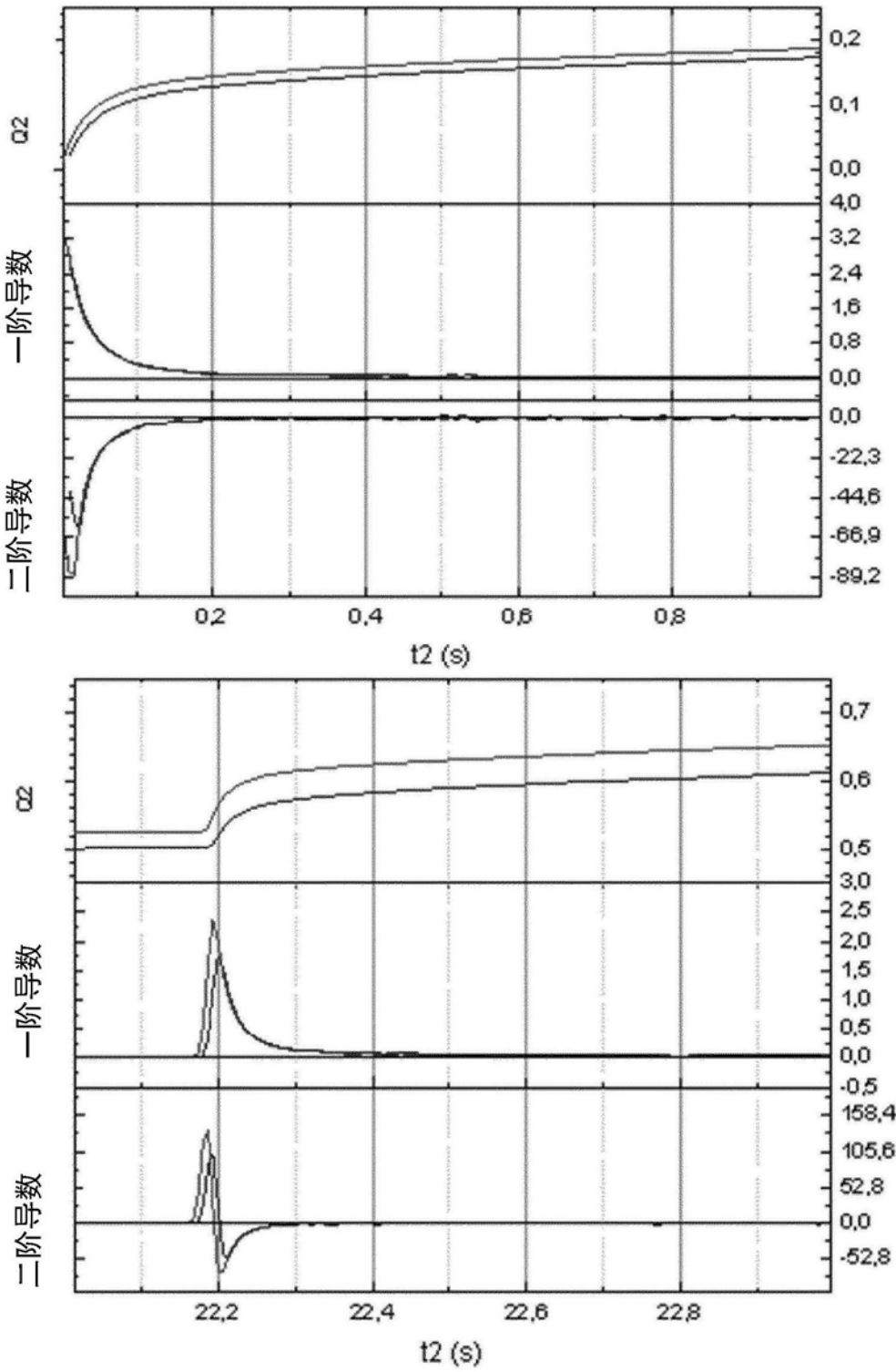


图8

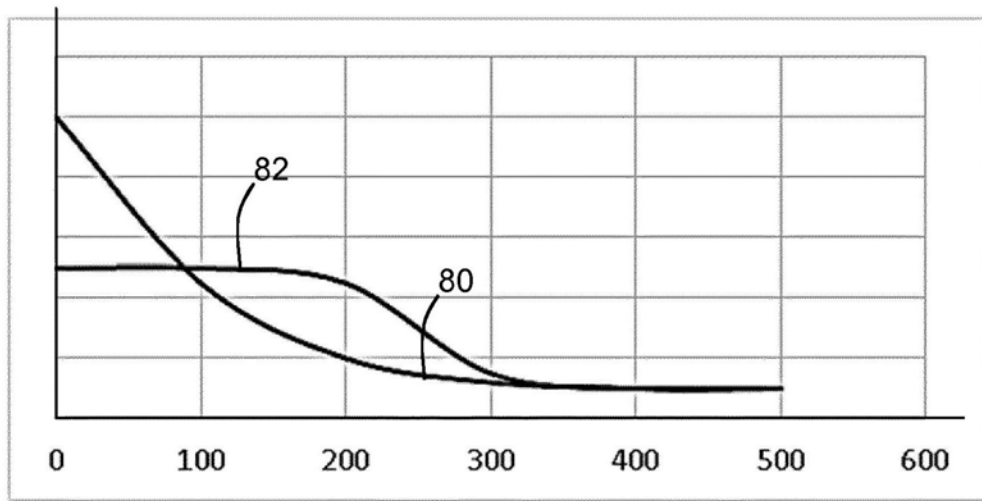


图9

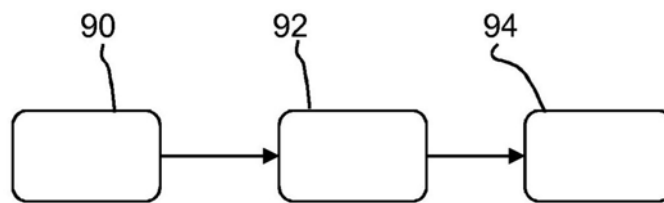


图10