



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102278409 A

(43) 申请公布日 2011. 12. 14

(21) 申请号 201110131422. 9

(22) 申请日 2011. 05. 20

(71) 申请人 宁波大学

地址 315211 浙江省宁波市江北区风华路  
818 号

(72) 发明人 冯志敏 伍广彬 候振宁 张刚  
胡海刚

(74) 专利代理机构 宁波奥圣专利代理事务所  
(普通合伙) 33226

代理人 程晓明

(51) Int. Cl.

F16F 9/53(2006. 01)

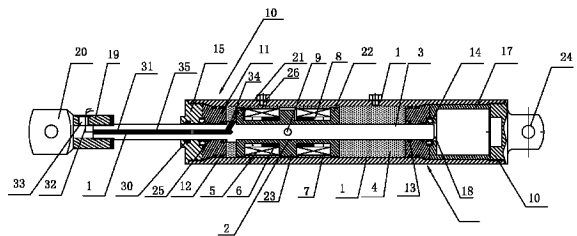
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种双线圈活塞式磁流变阻尼器

(57) 摘要

本发明公开了一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,包括缸体,缸体内设置有活塞和活塞杆,活塞同轴套设在活塞杆上,活塞包括第一端部活塞体、第二端部活塞体和中间活塞体,第一端部活塞体与中间活塞体之间设置有第一励磁线圈和第一永磁铁,第二端部活塞体与中间活塞体之间设置有第二励磁线圈和第二永磁铁,第一励磁线圈缠绕在第一永磁铁上,第二励磁线圈缠绕在第二永磁铁上,特点是第一永磁铁与第二永磁铁极性相对,第一励磁线圈与第二励磁线圈反相串联,优点是在解决磁流变液沉降问题的同时,减小了动态响应时间,且中间活塞体的阻尼间隙和两个端部活塞体的阻尼间隙的磁力线密集程度基本相等,提高了磁流变阻尼器的输出阻尼力和可调系数。



1. 一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,包括缸体,所述的缸体内设置有活塞和活塞杆,所述的活塞同轴套设在所述的活塞杆上,所述的活塞包括第一端部活塞体、第二端部活塞体和中间活塞体,所述的第一端部活塞体与所述的中间活塞体之间设置有第一励磁线圈和第一永磁铁,所述的第二端部活塞体与所述的中间活塞体之间设置有第二励磁线圈和第二永磁铁,所述的第一励磁线圈缠绕在所述的第一永磁铁上,所述的第二励磁线圈缠绕在所述的第二永磁铁上,其特征在于所述的第一永磁铁与所述的第二永磁铁极性相对,所述的第一励磁线圈与所述的第二励磁线圈反相串联。

2. 如权利要求 1 所述的一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,其特征在于所述的活塞杆的两端均设置有密封装置,所述的密封装置包括密封体,所述的密封体与所述的缸体之间设置有第一 O 型圈,所述的密封体与所述的活塞杆之间设置有斯特封、第二 O 型圈和骨架封。

3. 如权利要求 1 所述的一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,其特征在于所述的缸体的两端分别设置有前端盖和后端盖,所述的活塞杆穿过所述的前端盖,所述的前端盖与所述的活塞杆之间设置有 H839 防尘密封。

4. 如权利要求 1 所述的一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,其特征在于所述的活塞与所述的活塞杆通过定位销相互固定。

5. 如权利要求 1 所述的一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,其特征在于所述的活塞是用电工纯铁制成的,所述的缸体是用型号为 Q235-A 的碳素结构钢制成的。

6. 如权利要求 1 所述的一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,其特征在于所述的第一永磁铁与所述的第二永磁铁均是由合抱在活塞体上的两个半圆瓦状永磁体构成的。

7. 如权利要求 1 所述的一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,其特征在于所述的第一端部活塞体与所述的第二端部活塞体、所述的第一永磁铁与所述的第二永磁铁和所述的第一励磁线圈与所述的第二励磁线圈均相对于所述的中间活塞体的中心线对称。

## 一种双线圈活塞式磁流变阻尼器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种磁流变阻尼器,尤其是涉及一种双线圈活塞式磁流变阻尼器。

### 背景技术

[0002] 现有的磁流变阻尼器是利用磁流变液(MR Fluids)在强磁场下的快速可逆流变特性而制作的一种振动控制装置,在汽车、桥梁、机械等振动控制领域具有良好的应用前景。

[0003] 1995年美国 Lord 公司首次推出商用汽车座椅悬架减振用磁流变阻尼器。美国内华达大学 CIML 试验室设计制作磁流变阻尼器,改善了车辆的越野性和舒适稳定性,取得良好试验效果。近年来,国内磁流变阻尼器减振技术也得到较快发展,部分成果已试用于轻型车、重型装备车的悬架系统、斜拉索桥斜拉索系统。欧进萍、李忠献、张红辉等学者对磁流变阻尼器结构及性能开展多方面研究,设计制作出不同用途的磁流变阻尼器。

[0004] 双线圈活塞式磁流变阻尼器是目前常用较为新型的磁流变阻尼器。如 2010 年 10 月 27 日授权公告的 200810242953.3 号中国发明专利专利书中公开了一种高耗能自解耦式磁流变阻尼器,该发明通过在活塞上设置永磁铁解决了磁流变液的沉降问题。

[0005] 但是双线圈活塞式磁流变阻尼器除了磁流变液在长时间静置过程中产生的沉降和凝聚问题外,还存在着以下几个问题:一是动态响应时间较长,直接影响了磁流变阻尼器的应用范围和减振效果;二是励磁线圈产生的磁场分布不合理,导致了在活塞上不能有效地产生尽可能大的输出阻尼力。

### 发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是提供一种动态响应时间相对较短、能输出较大的阻尼力且能有效防止磁流变液沉降的双线圈活塞式磁流变阻尼器。

[0007] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:一种双线圈活塞式磁流变阻尼器,包括缸体,所述的缸体内设置有活塞和活塞杆,所述的活塞同轴套设在所述的活塞杆上,所述的活塞包括第一端部活塞体、第二端部活塞体和中间活塞体,所述的第一端部活塞体与所述的中间活塞体之间设置有第一励磁线圈和第一永磁铁,所述的第二端部活塞体与所述的中间活塞体之间设置有第二励磁线圈和第二永磁铁,所述的第一励磁线圈缠绕在所述的第一永磁铁上,所述的第二励磁线圈缠绕在所述的第二永磁铁上,其特征在于所述的第一永磁铁与所述的第二永磁铁极性相对,所述的第一励磁线圈与所述的第二励磁线圈反相串联。

[0008] 所述的活塞杆的两端均设置有密封装置,所述的密封装置包括密封体,所述的密封体与所述的缸体之间设置有第一 O 型圈,所述的密封体与所述的活塞杆之间设置有斯特封、第二 O 型圈和骨架封。

[0009] 所述的缸体的两端分别设置有前端盖和后端盖,所述的活塞杆穿过所述的前端盖,所述的前端盖与所述的活塞杆之间设置有 H839 防尘密封。

[0010] 所述的活塞与所述的活塞杆通过定位销相互固定。

[0011] 所述的活塞是用电工纯铁制成的,所述的缸体是用型号为 Q235-A 的碳素结构钢制成的。

[0012] 所述的第一永磁铁与所述的第二永磁铁均是由合抱在活塞体上的两个半圆瓦状永磁体构成的。

[0013] 所述的第一端部活塞体与所述的第二端部活塞体、所述的第一永磁铁与所述的第二永磁铁和所述的第一励磁线圈与所述的第二励磁线圈均相对于所述的中间活塞体的中心线对称。

[0014] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0015] 1、第一励磁线圈与第二励磁线圈反向串联,通过改变两个励磁线圈的连接方式减小了电感与电阻比值,从而减小了动态响应时间,当外界产生振动激励时,磁流变阻尼器能够更迅速的做出反应,输出相应的阻尼力来阻止系统的振动,使减振效果更为理想;

[0016] 2、由于串联电路的控制电流要小于并联电路,这样也可以降低电流控制器的负担,节约能耗;

[0017] 3、反向串联的两个励磁线圈产生的磁极将是 S-N-N-S 或者 N-S-S-N 的形式,这样两个励磁线圈在中间活塞体处产生的磁力线方向相同,两者叠加使磁场强度加强,此时由每个励磁线圈形成的磁力线在整个活塞上就比较均匀,中间活塞体的阻尼间隙和两个端部活塞体的阻尼间隙的磁力线密集程度基本相等,这样充分利用了中间活塞体,提高了磁流变阻尼器的输出的阻尼力和可调系数;

[0018] 4、在本发明的这种结构下,采用了一个活塞的形式来完成多个活塞输出阻尼力的效果,节约了活塞的安装空间,进而提高阻尼器的工作行程;

[0019] 5、第一永磁铁和第二永磁铁的极性相对,一是可以通过增大永磁体体积或者磁性强度的办法来增加阻尼器在零电流情况下的输出阻尼力,二是可以解决磁流变液的沉降问题;

[0020] 6、使用 O 型圈、骨架封、斯特封等密封件进行多级密封,可以有效防止磁流变阻尼器在长期工作过程中的漏油现象;

[0021] 7、活塞与活塞杆通过定位销相互固定,加工、安装方便,固定可靠,不会发生滑移和旋转;

[0022] 8、活塞和缸体分别是用的电工纯铁和型号为 Q235-A 的碳素结构钢制成,由于这两种材料的导磁性能比较好,具有收拢磁感线的作用,漏磁率很低,可以忽略不计,因此不需要再加隔磁材料;

[0023] 9、第一永磁铁与第二永磁铁均由合抱在活塞体上的两个半圆瓦状永磁体构成,可以简化加工工艺,提高安装精度。

#### 附图说明

[0024] 图 1 为本发明磁流变阻尼器的结构示意图;

[0025] 图 2 为本发明磁流变阻尼器的第一励磁线圈与第二励磁线圈的连接示意图;

[0026] 图 3 为磁流变阻尼器两个励磁线圈顺串连接示意图;

[0027] 图 4 为磁流变阻尼器两个励磁线圈同侧并联和异侧并联的两种情况示意图,(a) 为同侧并联,(b) 为异侧并联;

[0028] 图 5 为阻尼器两励磁线圈输入同向电流与异向电流的磁力线分布比较图, (a) 为同向电流, (b) 为异向电流;

[0029] 图 6 为磁流变阻尼器两个励磁线圈在三个活塞体上的磁感应强度分布示意图, (a) 为第一励磁线圈的磁感应强度分布, (b) 为第二励磁线圈的磁感应强度分布。

### 具体实施方式

[0030] 以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。

[0031] 如图所示, 一种双线圈活塞式磁流变阻尼器, 包括缸体 1, 缸体 1 内设置有活塞 2 和活塞杆 3, 活塞 2 和缸体 1 分别是用纯铁和 Q235-A 制成的, 缸体 1 的两端设置有前端盖 15 和后端盖 16, 活塞 2 通过定位销 9 固定在活塞杆 3 上, 活塞杆 3 的一端的缸体 1 内设置有导向管 17, 导向管 17 上设置有允许活塞杆 3 进出的导向孔 18, 活塞杆 3 的另一端穿过前端盖 15, 在活塞杆 3 的该端端部设置有活塞备紧螺母 19, 备紧螺母 19 一端设置有双支耳 20, 后端盖 16 上设置有单支耳 24, 活塞杆 3 两端与缸体 1 之间均设置有密封装置 10, 在两端的密封装置 10 之间的缸体 1 内充满了磁流变液 4, 磁流变液 4 通过缸体 1 上的孔 26 注入, 密封装置 10 包括密封体 11, 密封体 11 与缸体 1 之间设置有第一 O 型圈 12, 密封体 11 与活塞杆之间设置有斯特封 13、第二 O 型圈 25 和骨架封 14, 前端盖 15 与活塞杆 3 之间设置 H839 防尘密封 30, 活塞 2 包括第一端部活塞体 21、第二端部活塞体 22 和中间活塞体 23, 第一端部活塞体 21 与中间活塞体 23 之间设置有第一励磁线圈 5 和第一永磁铁 6, 第二端部活塞体 22 与中间活塞体 23 之间设置有第二励磁线圈 7 和第二永磁铁 8, 第一永磁铁 6 由合抱在活塞 2 上的两个半圆瓦状永磁体构成, 第一励磁线圈 5 缠绕在第一永磁铁 6 上, 第二永磁铁 8 同样由合抱在活塞 2 上的两个半圆瓦状永磁体构成, 第二励磁线圈 7 缠绕在第二永磁铁 8 上, 第一永磁铁 6 与第二永磁铁 8 极性相对, 第一励磁线圈 5 与第二励磁线圈 7 反相串联, 活塞杆 3 上设置有轴向导线孔 31, 电线 32 从双支耳 20 上的进口 33 进入, 穿过轴向导线孔 31 从活塞杆 3 上的出口 34 穿出与第一励磁线圈 5 和第二励磁线圈 7 连接, 导线孔 31 中充满了密封胶 35。

[0032] 根据上述实施例, 下面对本发明的磁流变阻尼器的响应时间和磁场分布做一个简单的分析。

[0033] 1. 磁流变阻尼器内部的控制电路比较简单, 主要是有两个励磁线圈缠绕在铁芯上组成的, 若忽略涡流的影响, 其内部的控制电路可以等效为一个电阻和一个电感串联的形式。但由于电感具有储能作用, 对磁流变阻尼器进行控制过程中, 控制电流不能发生阶跃性变化, 需要有一个瞬态变化过程, 所以影响着阻尼力的响应时间, 甚至占有相当大的比例。磁流变阻尼器内部等效控制电路可以等效为电感 L 和电阻串联 R 的形式。

[0034] 根据电工学原理可知, 控制电路的响应时间  $\propto \frac{L}{R}$ , 控制电流达到稳态值的 95% 所消耗的时间约为  $\frac{2.1L}{R}$ s, 达到稳态值的 98% 大约需要  $\frac{3.1L}{R}$ s。由此可见, 减小磁流变阻尼器电路响应时间, 可以通过减小电感与电阻比值的方法来实现。

[0035] 由电路消耗的功率  $P = i^2 R$  可知, 增加磁流变阻尼器电路的电阻, 会浪费更多的电能, 产生大量的热量, 影响磁流变液的性能, 因此电感不变时, 增大电阻的方法来减小响应时间不可行。而且电阻不变时, 减小电感的方法亦不可行。因为电感  $L = \mu n^2 S l$ , 其中  $\mu$

为铁芯的导磁率,  $n$  为线圈匝数,  $S$  为铁芯的横截面积,  $l$  为螺线管的长度, 所以减小电感要通过减小线圈匝数、铁芯的横截面积或者螺线管的长度办法来实现。但这些因素又影响到阻尼器的输出阻尼力和可调系数, 使其受到一定程度的限制。因此可以在电阻和电感不变的情况下, 通过改变两个励磁线圈连接方式的方法来减小动态响应时间最为合适。

[0036] 两个励磁线圈的连接方式有串联和并联两种, 这两种连接方式又可根据电流的不同流向, 分为正向连接和反向连接, 所以共有四种不同的连接方法。无论哪种连接方法, 对磁流变阻尼器的响应时间都有影响。下面对这四种连法进行讨论:

[0037] 图 2 和图 3 为两个励磁线圈反串和顺串的两种情况, 图 2 励磁线圈反串时, 线圈中的等效电阻  $R_{反串} = R$ , 等效电感为  $L_{反串} = \frac{L}{4} - 2M$ , 则电感与电阻的比值为  $\frac{L-8M}{4R}$ ; 图 3 励磁线圈的等效电阻为  $R_{顺串} = R$ , 等效电感为  $L_{顺串} = \frac{L}{4} + 2M$ , 则电感与电阻的比值为  $\frac{L+8M}{4R}$ , 其中  $M$  为两个线圈的互感。由此可以看出, 在串联电路中, 励磁线圈的反向串联的电感与电阻的比值小于顺向串联的, 因此, 反向串联的响应速度比顺向串联快。

[0038] 图 4 为两个励磁线圈同侧并联和异侧并联的两种情况, 图中 (a) 为同侧并联, 其等效电阻为  $R_{同并} = \frac{R}{4}$ , 等效电感为  $L_{同并} = \frac{L+8M}{16}$ , 则电感与电阻的比值为  $\frac{L+8M}{4R}$ ; 图中 (b) 为异侧并联, 其等效电阻为  $R_{异并} = \frac{R}{4}$ , 等效电感为  $L_{异并} = \frac{L-8M}{16}$ , 则电感与电阻的比值为  $\frac{L-8M}{4R}$ 。可见异侧并联的电感与电阻的比值比同侧并联小, 即异侧并联响应速度快。

[0039] 通过上面的计算可以看出, 反串和异侧并联的电感与电阻的比值相等, 但都小于同串和同侧并联的, 所以可以采用励磁线圈反串或者异侧并联的办法减小阻尼器的响应时间。然而, 当两个励磁线圈能够同时正常工作时, 需要对这两个相同的励磁线圈输入相同的电流, 这样对反串电路只需输入单倍的线圈电流即可, 而异侧并联电路需要输入两倍的线圈电流, 增大了电流控制器的负担, 使阻尼器外界电路耗能发热增加, 此外由于在制造两个励磁线圈时, 不可能完全的相同, 可能会导致电流分配不均, 甚至造成烧坏励磁线事故。因此, 采用反串连接的方式不仅能提高磁流变阻尼器响应时间, 还能够降低电路的能耗。

[0040] 2. 本发明的双线圈活塞式磁流变阻尼器内部的磁场是由励磁线圈和永磁铁共同产生的, 而永磁铁产生的磁场与励磁线圈通入电流后产生的一样, 则可以把永磁铁等效为励磁线圈, 因此其内部结构可以简化为图 6 所示。下面来讨论线圈电流流向对磁场分布的影响:

[0041] (1) 两个励磁线圈电流同向

[0042] 假设第一励磁线圈产生的磁场分布如图 6(a) 所示, 则第二励磁线圈产生的磁场分布就如图 6(b) 所示, 令磁场方向往外为正, 由此可知: 两个励磁线圈在第一端部活塞体 21 处产生的磁场感应强度  $B_{1同} = B_{11} + B_{12}$ , 在第二端部活塞体 22 处产生磁感应强度  $B_{2同} = -B_{21} - B_{22}$ , 在中间活塞体 23 处产生的磁感应强度  $B_{3同} = B_{32} - B_{31}$ 。由于两个励磁线圈以及两个端部活塞体是对称的, 所以两个端部活塞体处的磁感应强度的大小相等, 中间活塞体处的磁感应强度非常小, 近似为零。可以看出, 此时, 两个端部活塞体的磁感应强度最大, 而中间活塞体磁感应强度接近为零, 没有得到充分利用。

[0043] (2) 两个励磁线圈电流异向

[0044] 两个励磁线圈异向时, 设第一励磁线圈的电流磁场分亦如图 6(a) 所示, 则此时第二励磁线圈的磁场方向将与图 6(b) 中方向相反, 大小相等。令磁场方向亦往外为正, 则在

第一端部活塞体 21 处产生的磁感应强度  $B_{1反} = B_{11} - B_{12}$ , 在第二端部活塞体 22 处产生的磁感应强度  $B_{2反} = B_{22} - B_{21}$ , 中间活塞体 23 处产生磁感应强度  $B_{3反} = -B_{31} - B_{32}$ 。由此可知, 两个励磁线圈在两个端部活塞体处产生的磁感应强度矢量相加时减弱了, 而在中间活塞体处矢量叠加, 却得到增强。

[0045] 由上面的分析可以看出, 两励磁线圈电流同向使两个端部活塞体处的磁感应强度大于电流反向的, 此时磁流变阻尼器更容易产生磁场强度饱和现象。但同向电流产生磁感应强度在中间活塞体进行叠加时抵消了, 异向电流却使之叠加增强, 充分利用中间活塞体。两励磁线圈电流同向和异向时, 运用 ANSYS 软件对阻尼器磁感应强度分布进行了有限元模拟, 模拟结果如图 5 所示。由图 5 亦可以看出, 电流同向时, 磁力线主要分布在两个端部活塞体间隙处, 而中间活塞体间隙处约为零。而电流异向时, 磁力线在整个活塞上分布比较均匀, 充分利用了中间活塞体, 增大了最大输出阻尼力和可调系数。

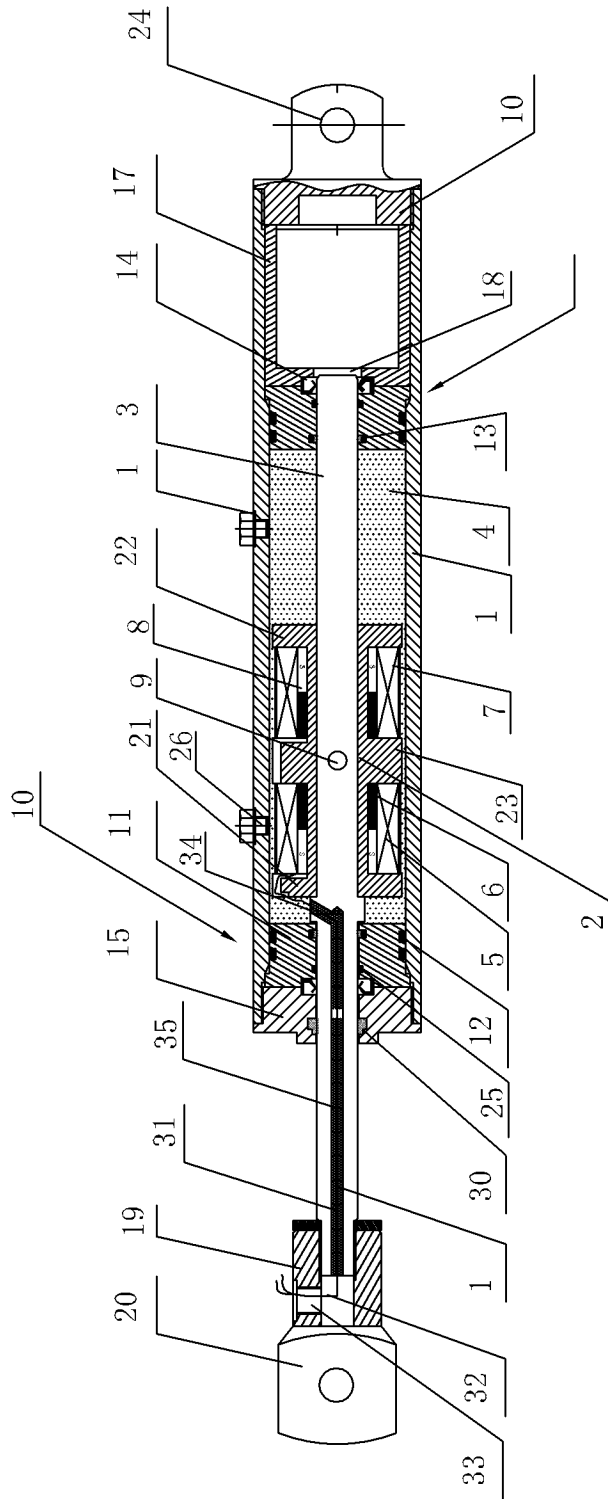


图 1

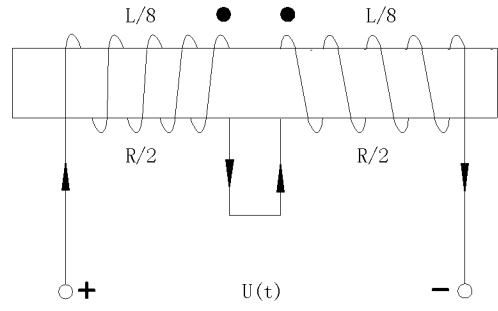


图 2



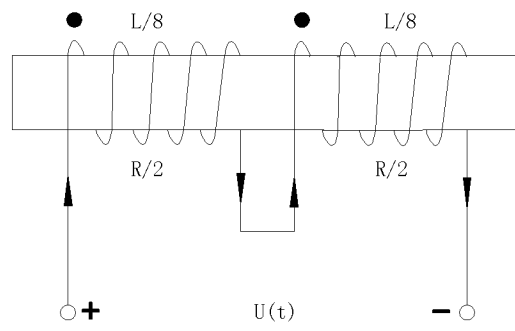


图 3

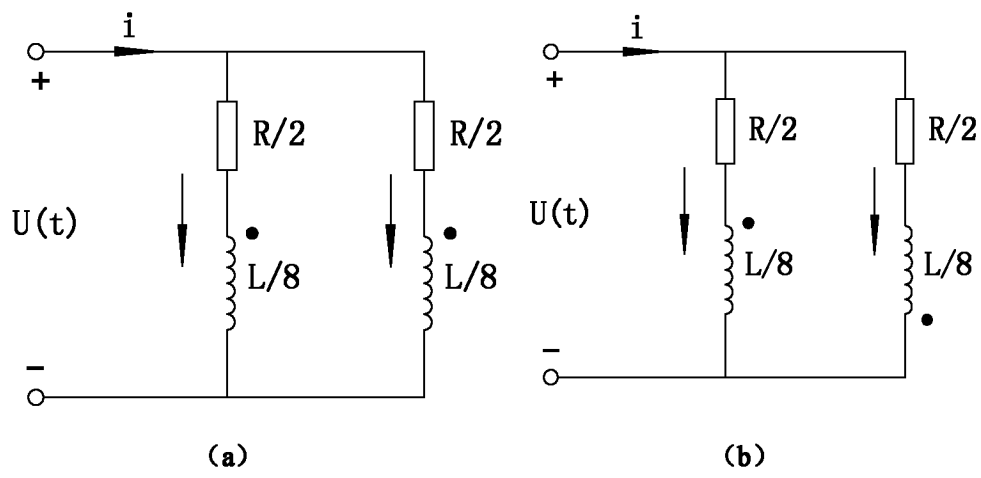


图 4

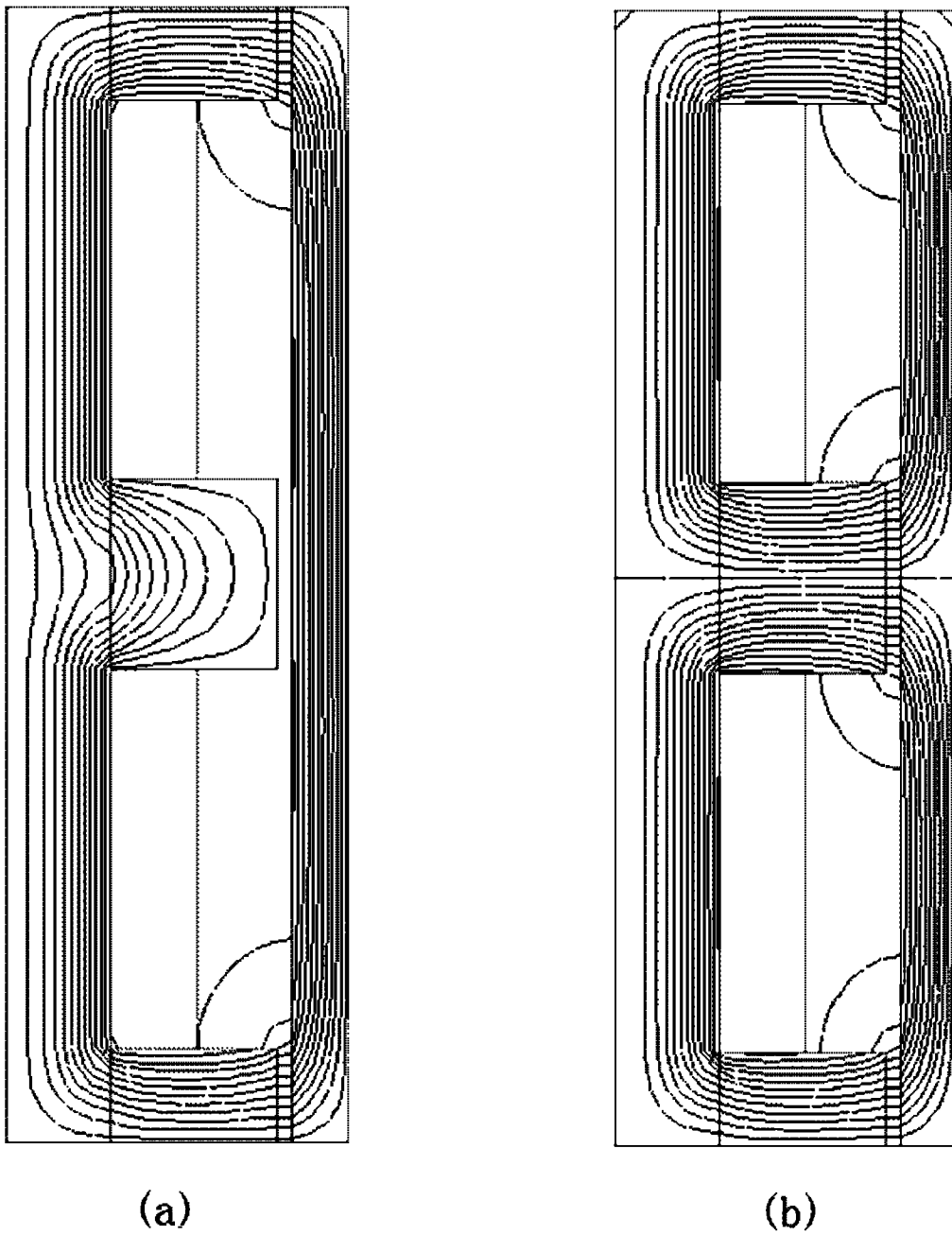


图 5

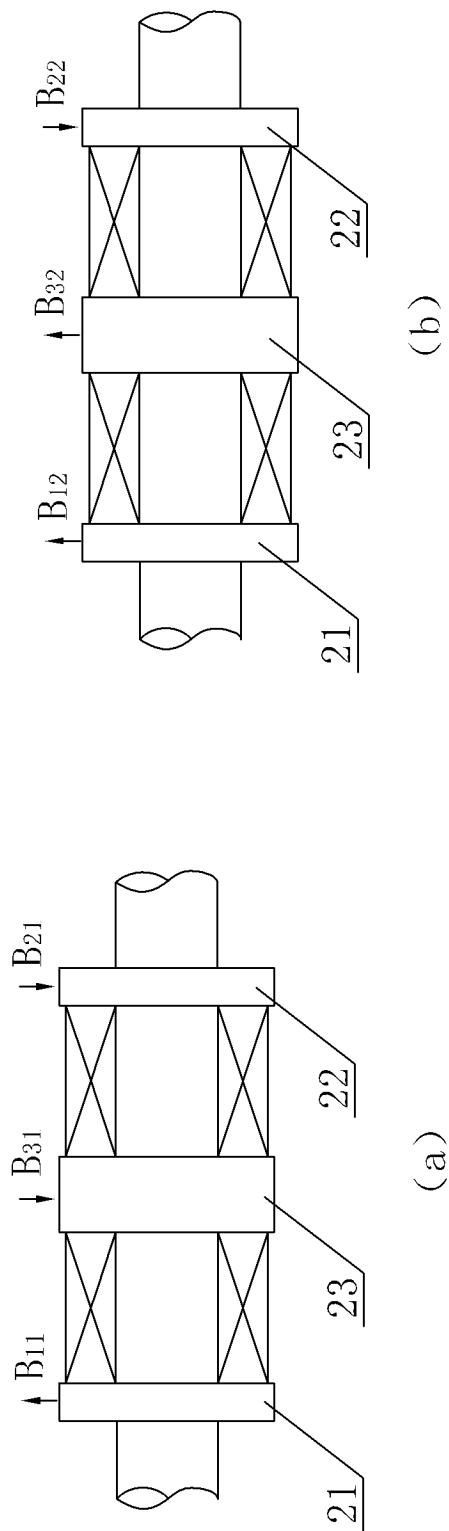


图 6