



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108387138 B

(45)授权公告日 2019.12.10

(21)申请号 201810124215.2

(22)申请日 2018.02.07

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108387138 A

(43)申请公布日 2018.08.10

(73)专利权人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

(72)发明人 张亚东 龚宇佳 阮江军

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 张火春

(51)Int.Cl.
F41F 1/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 205403588 U,2016.07.27,
CN 202442648 U,2012.09.19,
US 5217948 A,1993.06.08,
US 5122506 A,1992.06.16,
US 2007234893 A1,2007.10.11,

审查员 张凯乐

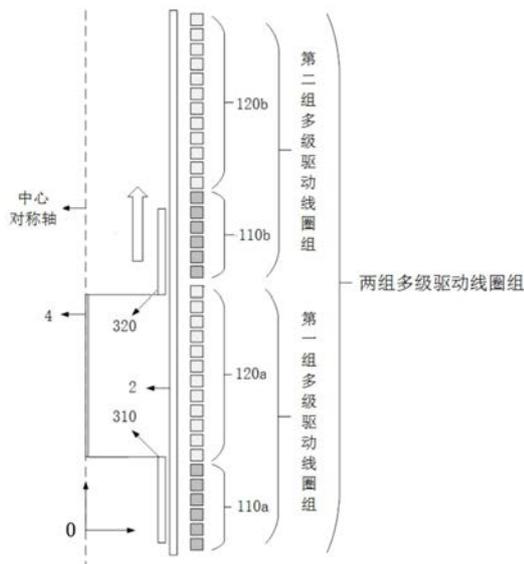
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

组合式异步感应电磁线圈发射器及其点火方法

(57)摘要

本发明公开了组合式异步感应电磁线圈发射器及其点火方法,包括若干组多级线圈发射器、炮管和若干连接件,各组多级线圈发射器均包括一多级驱动线圈组和一对应的电枢,各段多级驱动线圈沿炮管轴向顺次绕制于炮管外,各电枢沿炮管轴向顺次置于炮管内,且相邻的电枢间通过连接件相连;未触发时,各电枢分别位于对应的多级驱动线圈组内;触发后,各段多级驱动线圈对其内的电枢提供沿炮管轴向且指向炮口的作用力。本发明可实现不同脉宽、幅值、波形的推进力,可避免电枢加速度断层,从而可使加速度更为平滑;同时,还可提高受力、发射速度和发射效率;更加适用于对推力精度要求更高的场合。



1. 组合式异步感应电磁线圈发射器,其特征是:

包括若干组多级线圈发射器、炮管和若干连接件,其中:

各组多级线圈发射器均包括一多级驱动线圈组和一对应的电枢,所述多级驱动线圈组包括两段不存在电连接的多级驱动线圈,各段多级驱动线圈通交流电;

各段多级驱动线圈沿炮管轴向顺次绕制于炮管外,其中,属于同组多级驱动线圈组的两段多级驱动线圈相邻;各电枢沿炮管轴向顺次置于炮管内,且相邻的电枢间通过连接件相连;

未触发时,各电枢分别位于对应的多级驱动线圈组中第一段多级驱动线圈内,第一段多级驱动线圈即各多级驱动线圈组中靠近炮管底部的一段多级驱动线圈;

触发后,各段多级驱动线圈对其内的电枢提供沿炮管轴向且指向炮口的作用力。

2. 如权利要求1所述的组合式异步感应电磁线圈发射器,其特征是:

各多级驱动线圈组中,靠近炮管炮口的一段多级驱动线圈的级数不小于另一段多级驱动线圈的级数。

3. 如权利要求1所述的组合式异步感应电磁线圈发射器,其特征是:

各段多级驱动线圈的级数均为6的倍数,且各段多级驱动线圈中各级驱动线圈采用先串联后并联的连接方式。

4. 如权利要求1所述的组合式异步感应电磁线圈发射器,其特征是:

各多级驱动线圈组中,靠近炮管炮口的一段多级驱动线圈的线圈参数均相同,远离炮管炮口的另一段多级驱动线圈的线圈参数均相同。

5. 如权利要求1所述的组合式异步感应电磁线圈发射器,其特征是:

所述电枢为金属筒形物或线圈。

6. 如权利要求1所述的组合式异步感应电磁线圈发射器,其特征是:

所述连接件为金属杆或发射体。

7. 如权利要求1所述的组合式异步感应电磁线圈发射器,其特征是:

各电枢和对应的第一段多级驱动线圈具体的相对位置为:

最靠近炮管底部的电枢,其底部和对应的第一段多级驱动线圈中第一级驱动线圈的中截面平齐;

除最靠近炮管底部的电枢以外的其他电枢,其底部位于对应的第一段多级驱动线圈中第一级驱动线圈的中截面以下,但不低于该第一级驱动线圈下方相邻的一级驱动线圈的中截面,相邻的一级驱动线圈指另一段多级驱动线圈的最后一级驱动线圈。

8. 权利要求1所述的组合式异步感应电磁线圈发射器的点火方法,其特征是:

将各组多级驱动线圈组中靠近炮管底部的一段多级驱动线圈记为第一段多级驱动线圈,另一段多级驱动线圈记为第二段多级驱动线圈;

各段多级驱动线圈的触发时序为:

首先,沿着炮管底部向炮管炮口的方向,从最接近炮管底部的第一段多级驱动线圈开始,顺次触发各组多级驱动线圈组中的第一段多级驱动线圈;

然后,沿着炮管底部向炮管炮口的方向,从最接近炮管底部的第二段多级驱动线圈开始,顺次触发各组多级驱动线圈组中的第二段多级驱动线圈。

9. 如权利要求8所述的点火方法,其特征是:

各段多级驱动线圈的触发时序通过利用延时器控制触发时刻来实现。

组合式异步感应电磁线圈发射器及其点火方法

技术领域

[0001] 本发明涉及导弹等大质量物体发射技术领域,尤其涉及组合式异步感应电磁线圈发射器及其点火方法。

背景技术

[0002] 由于弹丸加速需要的磁场行波的速度越来越高,因此应当把整个线圈分成若干段。为了获得从一段到另一段相速增加的行波,应该增加激励电源的频率,或者增大驱动线圈的极距(半波长)。极距的大小由相数、单级驱动线圈长度和单级驱动线圈间的间距决定。极距越小,弹丸的加速度越平稳,加速力也更大。但是减小极距,磁行波速度也会同比例的减小,这样也会减小弹丸的加速效果。并且由于为了兼顾发射效率与发射速度,发射体长度一般为一个极距长,实际应用中,发射体长度也较短,因此过大的增加极距是不实际的,而沿炮管长度增加供电频率较为合适。可以每段使用一个频率,仅逐段增频即可。因此,异步感应线圈炮各段需要不同的激励频率。

[0003] 由于不同负载的应力需求不同,依靠单独的多级同步感应线圈发射器得到的推进力幅值、脉宽、波形都十分有限,难以满足不同的受力载荷要求。

[0004] 例如,加速特性对于一些敏感载荷(如导弹等)是非常重要的限制条件,加速力平滑有利于负载元器件的结构设计。而由于线圈发射器的原理是多级线圈逐级驱动,导致产生的电磁推力具有一定的波动性,难以满足一些负载抖动要求苛刻的情况。

[0005] 综上,现有线圈发射器普遍存在如下问题:

[0006] (1) 弹丸加速需要的磁场行波速度越来越高,不能兼顾发射效率与发射速度;

[0007] (2) 大功率驱动线圈易于破坏;

[0008] (3) 线圈发射器的电枢加速过程中的加速力不够平滑稳定;

[0009] (4) 依靠单独一组同步感应线圈发射器难以实现不同脉宽、幅值、波形的推进力,工业及科学领域中的应用有限。

发明内容

[0010] 本发明的目的是提供一种可使发射体加速度更平滑且可提高发射速度和发射效率的组合式异步感应电磁线圈发射器及其点火方法。

[0011] 本发明组合式异步感应电磁线圈发射器,包括若干组多级线圈发射器、炮管和若干连接件,其中:

[0012] 各组多级线圈发射器均包括一多级驱动线圈组和一对应的电枢,所述多级驱动线圈组包括两段不存在电连接的多级驱动线圈,各段多级驱动线圈通交流电;

[0013] 各段多级驱动线圈沿炮管轴向顺次绕制于炮管外,其中,属于同组多级驱动线圈组的两段多级驱动线圈相邻;各电枢沿炮管轴向顺次置于炮管内,且相邻的电枢间通过连接件相连;

[0014] 未触发时,各电枢分别位于对应的多级驱动线圈组中第一段多级驱动线圈内,第

一段多级驱动线圈即各多级驱动线圈组中靠近炮管底部的一段多级驱动线圈；

[0015] 触发后,各段多级驱动线圈对其内的电枢提供沿炮管轴向且指向炮口的作用力。

[0016] 作为优选,各多级驱动线圈组中,靠近炮管炮口的一段多级驱动线圈的级数不小于另一段多级驱动线圈的级数。

[0017] 进一步的,各段多级驱动线圈的级数均为6的倍数,且各段多级驱动线圈中各级驱动线圈采用先串联后并联的连接方式。

[0018] 进一步的,各多级驱动线圈组中,靠近炮管炮口的一段多级驱动线圈的线圈参数均相同,远离炮管炮口的另一段多级驱动线圈的线圈参数均相同。

[0019] 进一步的,所述电枢为金属筒形物或线圈。

[0020] 进一步的,所述连接件为金属杆或发射体。

[0021] 作为优选,各电枢和对应的第一段多级驱动线圈具体的相对位置为:

[0022] 最靠近炮管底部的电枢,其底部和对应的第一段多级驱动线圈中第一级驱动线圈的中截面平齐;

[0023] 除最靠近炮管底部的电枢以外的其他电枢,其底部位于对应的第一段多级驱动线圈中第一级驱动线圈的中截面以下,但不低于该第一级驱动线圈下方相邻的一级驱动线圈的中截面。

[0024] 本发明提供的上述组合式异步感应电磁线圈发射器的点火方法,包括:

[0025] 将各组多级驱动线圈组中靠近炮管底部的一段多级驱动线圈记为第一段多级驱动线圈,另一段多级驱动线圈记为第二段多级驱动线圈;

[0026] 各段多级驱动线圈的触发时序为:

[0027] 首先,沿着炮管底部向炮管炮口的方向,从最接近炮管底部的第一段多级驱动线圈开始,顺次触发各组多级驱动线圈组中的第一段多级驱动线圈;

[0028] 然后,沿着炮管底部向炮管炮口的方向,从最接近炮管底部的第二段多级驱动线圈开始,顺次触发各组多级驱动线圈组中的第二段多级驱动线圈。

[0029] 进一步的,各段多级驱动线圈的触发时序通过利用延时器控制触发时刻来实现。

[0030] 和现有技术相比,本发明具有如下优点和有益效果:

[0031] (1) 多组多级线圈发射器交叉点火,同一个电枢受到不同的电磁力叠加,可实现不同脉宽、幅值、波形的推进力;通过调整触发时序,可避免电枢加速度断层,从而可使加速度更为平滑;同时,还可提高受力、发射速度和发射效率;更加适用于对推力精度要求更高的场合。

[0032] (2) 可将驱动线圈应力分散到多组多级线圈发射器中,从而分散各驱动线圈所受的电磁力,从而驱动线圈不易损坏。

附图说明

[0033] 图1是具体实施方式中组合式异步感应电磁线圈发射器的结构示意图;

[0034] 图2是具体实施方式中电枢与对应的多级驱动线圈组的相对位置示意图;

[0035] 图3是图1所示组合式异步感应电磁线圈发射器的二维轴对称仿真模型;

[0036] 图4是具体实施方式中第一组多级驱动线圈组的控制外电路图;

[0037] 图5是实施例组合式异步感应电磁线圈发射器的交叉点火和同时点火下受力波

形对比图；

[0038] 图6是实施例中组合式异步感应电磁线圈发射器的交叉点火和同时点火下速度波形对比图。

[0039] 所有附图中,相同的附图标记自始至终表示相同的结构或者元件,其中:

[0040] 110a-第一段多级驱动线圈,111a-第一级驱动线圈,120a-第二段多级驱动线圈,110b-第一段多级驱动线圈,111b-第一级驱动线圈,120b-第二段多级驱动线圈;

[0041] 2-炮管;

[0042] 310-第一电枢,320-第二电枢;

[0043] 4-连接件。

具体实施方式

[0044] 为了更清楚地说明本发明和/或现有技术中的技术方案,下面将对照附图说明本发明的具体实施方式。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图,并获得其他的实施方式。

[0045] 应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0046] 需要注意的是,如无特殊说明,所述周向、径向、轴向均指炮管的周向、径向、轴向,同样也是电枢的周向、径向、轴向;所述中心对称轴指炮管的中心对称轴,同样也是电枢的中心对称轴。

[0047] 见图1和图3,本具体实施方式中,组合式异步感应电磁线圈发射器包括两组多级线圈发射器、一炮管2和一连接件4;各组多级线圈发射器均包括一多级驱动线圈组和一对应的电枢,多级驱动线圈组用来给电枢提供沿轴向的作用力;多级驱动线圈组包括两段不存在电连接的多级驱动线圈,一般,各多级驱动线圈组中,靠近炮管2炮口的一段多级驱动线圈的级数应大于或等于另一段多级驱动线圈。各组多级驱动线圈组沿轴向顺次绕制于炮管2外,各电枢沿轴向顺次置于炮管2内,相邻的电枢通过连接件4连接,连接件4用来传递动能。电枢可以为铜、铝等材质制作的筒形物,也可以采用线圈;连接件4可以为金属杆或发射体本身。

[0048] 为便于后文描述,从炮管2底部向炮管2炮口方向,将所包含的四段多级驱动线圈依次记为第一段多级驱动线圈110a、第二段多级驱动线圈120a、第一段多级驱动线圈110b、第二段多级驱动线圈120b,其中,第一段多级驱动线圈110a和第二段多级驱动线圈120a构成第一组多级驱动线圈组,第一段多级驱动线圈110b和第二段多级驱动线圈120b构成第二组多级驱动线圈组,第一段多级驱动线圈110a和第一段多级驱动线圈110b的线圈参数完全相同,第二段多级驱动线圈120a和第二段多级驱动线圈120b的线圈参数完全相同。同样,从炮管2底部向炮管2炮口方向,将所包含的电枢依次记为第一电枢310、第二电枢320。

[0049] 本具体实施方式中,第一段多级驱动线圈110a和第一段多级驱动线圈110b均长21.3cm,且均包括六级驱动线圈,每级驱动线圈10匝,绕为两层,驱动线圈径向厚1.35cm,内半径4.1cm,轴向长度为2.55cm,三个驱动电容的电容值均为1500 μ F,初始电压均为3kV。第

二段多级驱动线圈120a和第二段多级驱动线圈120b均长42.6cm,且均包括十二级驱动线圈,每级驱动线圈的线圈参数同第一段多级驱动线圈110a和第一段多级驱动线圈110b的线圈参数,三个驱动电容的电容值均为1125 μ F,初始电压均为4kV。

[0050] 本具体实施方式中,连接件4为发射体本身,长20cm,径向厚2.25mm,内半径为3.6cm,采用铝材制备,重300g。第一电枢310和第二电枢320的质量均为300g,第一电枢310和第二电枢320由发射体连接,可保持运动一致。考虑到连接件4为发射体本身,整个发射体的质量设定为600g。

[0051] 未触发的静态下,各电枢分别位于对应的多级驱动线圈组中第一段多级驱动线圈内,本发明中,将各组多级驱动线圈组中靠近炮管底部的一段多级驱动线圈记为第一段多级驱动线圈,另一段多级驱动线圈记为第二段多级驱动线圈;电枢和第一段多级驱动线圈最佳的相位位置可通过重复试验确定。本具体实施方式提供了电枢和第一段多级驱动线圈的最佳相对位置,具体见图2,即第一电枢310底部和第一段多级驱动线圈110a中的第一级驱动线圈111a的中截面平齐,第二电枢320底部位于第一段多级驱动线圈110b中的第一级驱动线圈111b的中截面下,但不应低于第一级驱动线圈111b下方相邻的一级驱动线圈的中截面,这里第一级驱动线圈111b下方相邻的一级驱动线圈指第二段多级驱动线圈120a的最后一级驱动线圈。当多级驱动线圈组的组数超过2组时,除位于最下方的电枢外,其他电枢和对应的多级驱动线圈组的相对位置均同第二电枢320。

[0052] 本发明中,各段多级驱动线圈中各级驱动线圈均采用传统的先串联后并联的连接方式、以及传统的触发时序,下面将结合图4提供一种具体的先串联后并联连接方式以及触发时序,但不限于此。图4所示为具体实施方式中第一组多级驱动线圈组的控制外电路图,其中,图4中的(a)~(c)表示第一组多级驱动线圈组中第一段多级驱动线圈110a的控制外电路,从图中可以看出,第一段多级驱动线圈110a中各级驱动线圈的连接方式为:第一级驱动线圈和第四级驱动线圈串联,第二级驱动线圈和第五级驱动线圈串联,第三级驱动线圈和第六级驱动线圈串联,所获得的串联支路分别记为支路A、支路B、支路C,其中,支路B和支路C还串联有延迟器,延迟器用来控制各支路的触发时刻。本具体实施方式中,第一段多级驱动线圈110a中各级驱动线圈的触发时序依次为支路A、支路C、支路B。

[0053] 图4中的(d)~(f)表示第一组多级驱动线圈组中第二段多级驱动线圈120a的控制外电路,本具体实施方式中,第二段多级驱动线圈120a包括十二级驱动线圈,依次记为第七级驱动线圈、第八级驱动线圈、……第十七级驱动线圈、第十八级驱动线圈。从图中可以看出,第二段多级驱动线圈120a中各级驱动线圈的连接方式为先串联后并联,即:将第七级驱动线圈和第十级驱动线圈串联、以及第十三级驱动线圈和第十六级驱动线圈串联后并联,之后再串联延时器,所得串联支路记为支路A';将第八级驱动线圈和第十一级驱动线圈串联、以及第十四级驱动线圈和第十七级驱动线圈串联后并联,之后再串联延时器,所得串联支路记为支路B';将第九级驱动线圈和第十二级驱动线圈串联、以及第十五级驱动线圈和第十八级驱动线圈串联后并联,之后再串联延时器,所得串联支路记为支路C'。第二段多级驱动线圈120中各级驱动线圈的触发时序同样依次为支路A'、支路C'、支路B'。由于多级驱动线圈的控制外电路中有电容器,而电容器放电具有时延,因此,触发时间应提前。

[0054] 本发明组合式异步感应电磁线圈发射器利用了法拉第电磁感应原理和洛伦兹力原理,基本工作原理为:驱动线圈通电后,脉冲电源在毫秒级的短时间内将存储的电磁能加

载至驱动线圈,驱动线圈内电流在炮管内部产生瞬变磁场,瞬变磁场在电枢内感应出以周向分量为主的涡流,瞬变磁场的径向分量与涡流相互作用,使电枢所受洛伦兹力以轴向分量为主,洛伦兹力即向炮管的炮口方向推动电枢和发射体。当电枢到达合适的位置时,触发下一级驱动线圈,以同样的方式给予电枢推力,并尽量避免电枢受到反方向的拉力;直至将发射体从炮口射出。基于该工作原理,可通过增加驱动线圈级数,来获得较大的炮口速度。

[0055] 为使发射体材料有效利用,必须使发射体上作用力最大化、受力波形均匀化,才能最大化发射体的平均加速度。为此,本具体实施方式还提供了可进一步提高发射体受力大小、且可使发射体加速度更为持续和平滑的交叉点火方法,即各段多级驱动线圈的触发顺序为:第一段多级驱动线圈110a、第一段多级驱动线圈110b、第二段多级驱动线圈120a、第二段多级驱动线圈120b。通过控制各段多级驱动线圈的触发时刻来控制触发顺序。该触发顺序下,电枢的运动过程为:最先触发的第一段多级驱动线圈110a对第一电枢310进行加速,第一电枢310通过连接件4带动第二电枢320运动;接着触发的第一段多级驱动线圈110b对第二电枢320进行加速;再接着触发的第二段多级驱动线圈120a又对第一电枢310进行加速;最后触发第二段多级驱动线圈120b又对第二电枢320进行加速。通过电枢在各段多级驱动线圈所受受力波形的叠加,可避免电枢受力出现较大间隔,从而使加速力持续和平滑。

[0056] 本发明中,电枢的触发位置和触发时间为经验值,可通过多次重复试验确定。具体的,可采用如下方式确定最佳触发位置:将电枢分别置于第一段多级驱动线圈110a所对应炮管区域不同位置,将该不同位置分别作为触发位置,仅触发第一段多级驱动线圈110a,经模拟计算或实测,获得各不同触发位置下电枢的发射速度,从而描绘出触发位置与发射速度间的关系曲线。选取大于预设值的发射速度所对应的触发位置,并分析电枢在这些触发位置的受力,得到受力波形。选取受力波形最均匀的触发位置作为第一段多级驱动线圈110a所对应的最佳触发位置。

[0057] 具体的,可采用如下方式确定最佳触发时间:保持电枢的触发位置不变,改变第一段多级驱动线圈110b的触发时间,仅触发第一段多级驱动线圈110a和第一段多级驱动线圈110b,在各触发时间下分别进行模拟计算或实测,获得不同触发时间对应的电枢的发射速度,从而描绘触发时间与发射速度的关系曲线。选取大于预设值的发射速度所对应的触发时间,并分析电枢在触发时间时所在位置的受力,得到受力波形。最均匀受力波形所对应的触发时间,即第一段多级驱动线圈110b的最佳触发时间。

[0058] 第二段多级驱动线圈120a和第二段多级驱动线圈120b所对应的最佳触发时间均采用该方法确定。所不同之处为,确定第二段多级驱动线圈120a的最佳触发时间时,需按交叉点火的顺序触发第一段多级驱动线圈110a、第一段多级驱动线圈110b和第二段多级驱动线圈120a,第一段多级驱动线圈110a、第一段多级驱动线圈110b的触发时间固定,改变第二段多级驱动线圈120a的触发时间。确定第二段多级驱动线圈120b的最佳触发时间时,需按交叉点火的顺序触发第一段多级驱动线圈110a、第一段多级驱动线圈110b、第二段多级驱动线圈120a和第二段多级驱动线圈120b,第一段多级驱动线圈110a、第一段多级驱动线圈110b、第二段多级驱动线圈120a的触发时间固定,改变第二段多级驱动线圈120b的触发时间。

[0059] 为验证交叉点火方法的技术效果,本具体实施方式对组合式异步感应电磁线圈发射器分别使用了交叉点火和同时点火两种点火方式,并对两种点火方式的技术效果进行对

比。所述同时点火即：首先，同时触发第一段多级驱动线圈110a和第一段多级驱动线圈110b；然后，同时触发第二段多级驱动线圈120a和第二段多级驱动线圈120b。

[0060] 图5~6为交叉点火和同时点火情况下电枢的受力波形和速度波形示意图，从图5可以看出，交叉点火情况下，电枢的受力较平稳，平均受力值为15.88kN，标准偏差为18.62kN；而同时点火情况下，平均受力为10.42kN，标准偏差为25kN；因此，采用交叉点火方法，发射体的平均受力得到提高，且相对均匀程度也得到了改善，炮管长度得到了有效的利用。从图6中可以看出，交叉点火情况下，电枢在炮管出口处的速度为159.4m/s，综合效率为8.1%；而同时点火情况下，电枢在炮管出口处的速度则不到100m/s；因此，交叉点火方法具有更高的速度和效率。

[0061] 采用同时点火方法，当电枢从第一段多级驱动线圈110a内进入第二段多级驱动线圈120a内时，由于还带有第一段多级驱动线圈110a所感应的电流，该感应电流会对电枢产生反作用力，从而出现加速断层。而交叉点火方法可解决该问题。采用交叉点火方法，可将第二电枢320的加速时间提前，使第一电枢310和第二电枢320相互作用，受力峰谷叠加，可大幅减小整体电枢加速过程中受力突然减小为0的时间，从而使加速度变的更为平滑，平均受力得到提升。

[0062] 本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

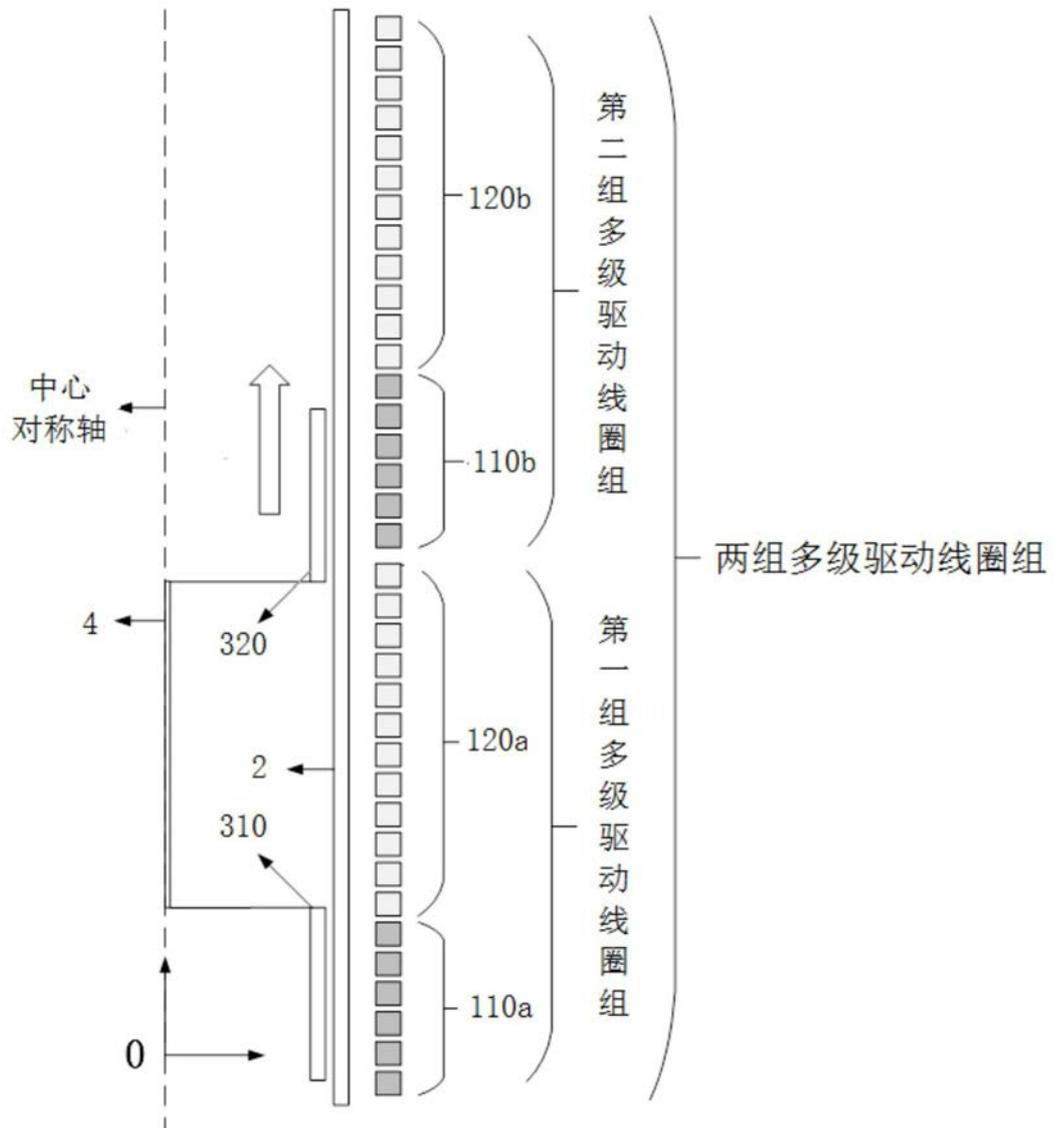


图1

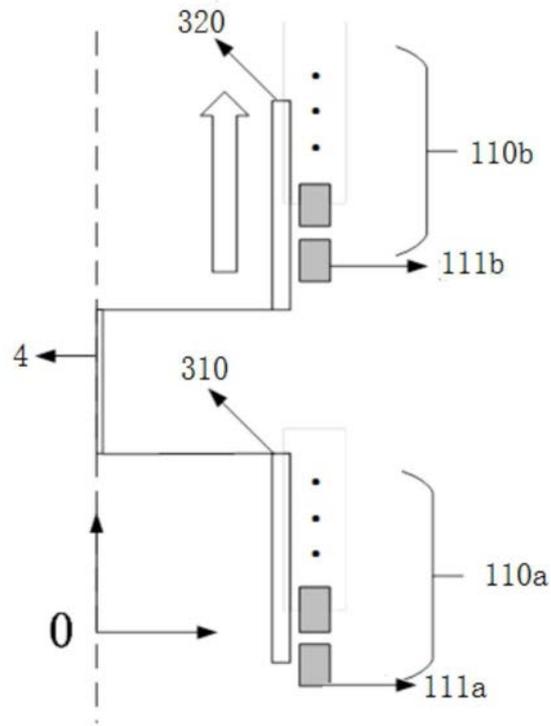


图2

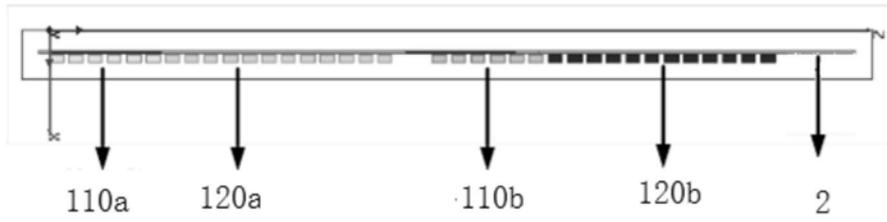


图3

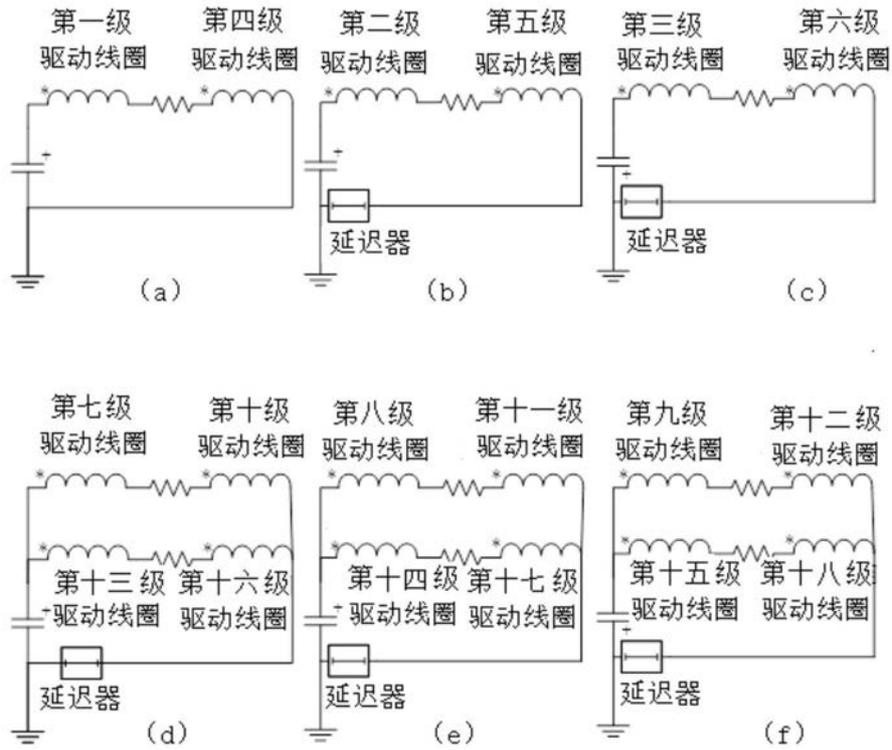


图4

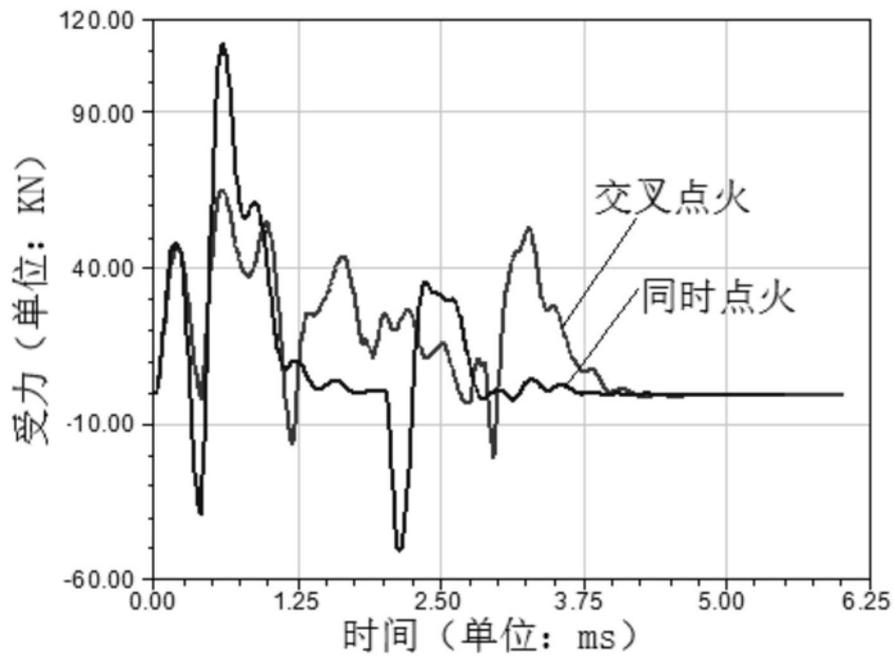


图5

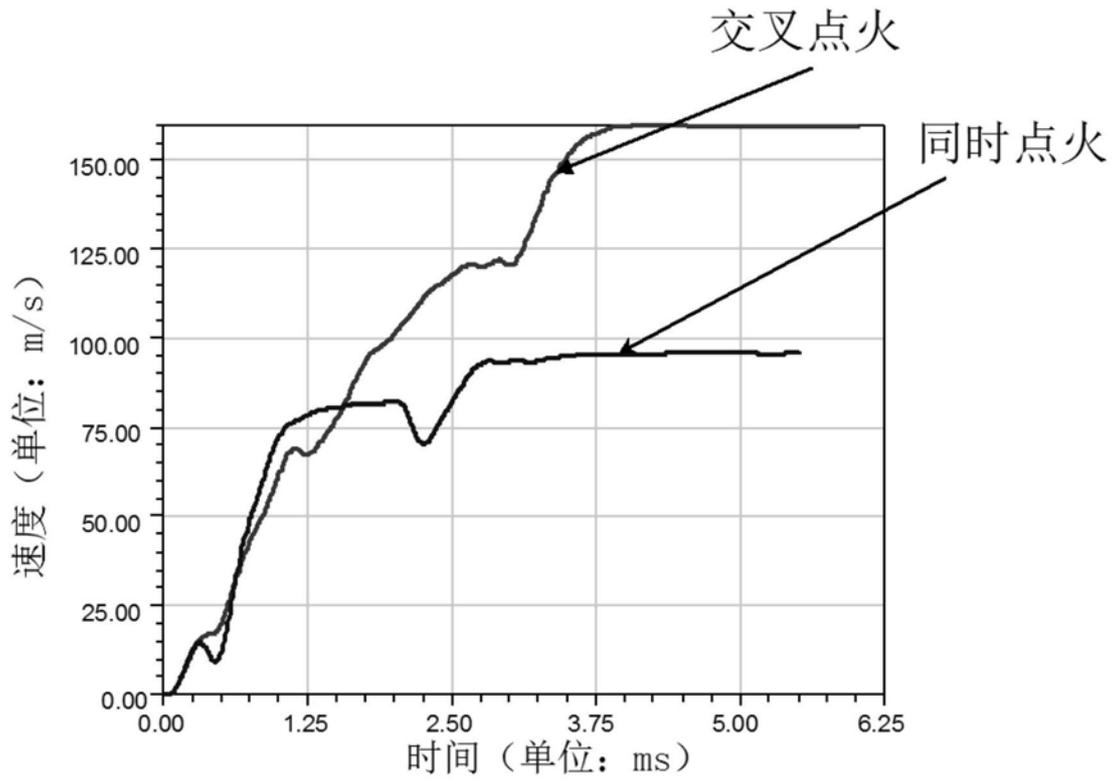


图6