

关于变化的磁场产生感生电场的辨析

黄蕊

(华北电力大学科技学院 河北 保定 071002)

赵继广

(中国邮政集团公司保定市分公司 河北 保定 071002)

(收稿日期:2016-09-12)

摘要:根据实际问题,判断分析放在变化的磁场中的闭合回路是否产生感应电流,从而加深对感生电场的理解及运用.

关键词:变化的磁场 感应电流 感生电场

变化的磁场能激发感生电场,是电磁学的重要研究内容,也被广泛的应用于工业生产、日常生活中的物理知识,如冶炼金属、电磁炉等^[1].那么我们对感生电场的了解是否透彻,应用起来又是否熟练呢?下面我们分析一个问题.

1 问题提出

图1所示的电路中,回路A、B、C均是长矩形导体回路(并且长边间的距离较远),其中导体回路A和B在同一平面内,完全相同,A和B两回路电流等大反向,回路C与回路A和B所在平面相垂直,且其长边 de 在回路A和B组成的平面内,到的距离回路A和B相等,A和B回路的开关 S_1 和 S_2 均先断开,问:同时闭合开关 S_1 和 S_2 的瞬间,回路C中的检流计G指针会不会偏转?

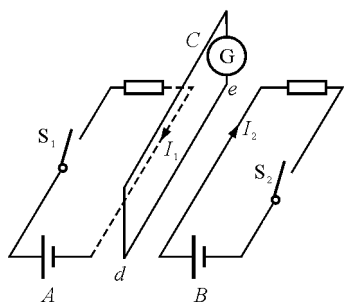


图1 提出问题的电路

2 问题解答

(1)有人认为回路C中的检流计G指针会发生偏转.

原因:电流 I_1 和 I_2 在回路C长边 de 处产生的磁场 B 均是垂直于A和B回路向上,如图2所示,有磁场,且磁场变化,根据法拉第电磁感应定律,则回路C有感应电流,则回路C中检流计G指针会发生偏转.

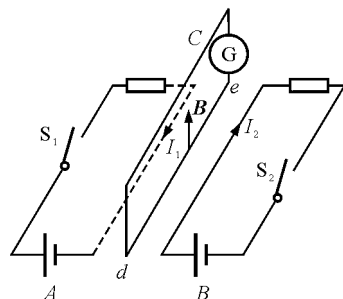


图2 解答问题的电路

(2)也有人认为回路C中的检流计G指针不会发生偏转.

原因:回路C所处位置的磁场 B 的方向与线圈C平行,如图2所示,也就是没有磁感线穿过线圈,穿过线圈的磁通量始终为零,没有磁通量变化,所以回路C中检流计G指针不会发生偏转.

以上两个结论哪个对?解释是不是合理?

3 实验现象

实际实验结果是怎样的呢?下面按照原理图连接电路进行验证,闭合开关的瞬间,发现检流计G指针并没有发生偏转,为什么会出现如此现象?第2种解释又是否合理?

4 理论解释

电流 I_1 和 I_2 在回路 C 长边 de 处产生的磁场 B 均是垂直于 A 和 B 回路向上,同时闭合开关 S_1 和 S_2 的瞬间,向上的磁场 B 变化,变化的磁场产生感生电场,长直导线通以变化电流所产生的感生电场应当是与长直导线平行,即沿轴向的^[2],也就是说变大的电流 I_1 和 I_2 产生的感生电场 E_1^i 和 E_2^i ,如图3所示,因为回路 C 的长边 de 到回路 A 和 B 距离相等,所以根据对称性,感生电场 E_1^i 和 E_2^i 的大小相等、方向相反,恰好相互抵消,长边 de 处总的感生电场为零,相应可分析出离 A, B 所在平面较远的边 fg 处感生电场也为零,所以回路 C 中没有感生电动势,不会产生感应电流,检流计 G 指针不发生偏转。

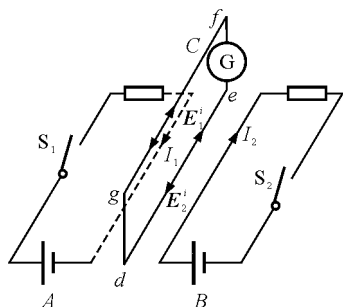


图3 对现象做出解释的电路

由此可见,第1种说法给出的结论及解释都是错误的.检流计指针不偏转,是由于总感生电场为零,回路 C 中没有感生电动势,从而没有感生电流。

那么,法拉第电磁感应定律与感生电场理论对电磁感应现象的解释结论是否统一呢?下面应用法拉第电磁感应定律再次对上述问题进行分析。

因为回路 C 与 A, B 对称放置,回路 A, B 中两电流等大反向,回路 A, B 中的电流在回路 C 所在平面任意一点激发的磁感强度大小及方向,如图4所示,(图4为图1中 A, B 两电路距离最近两条平行导线通电和产生磁场的剖面图),根据对称性可知, B_1 和 B_2 的大小相等,方向关于回路 C 所在的平面对称,则 B_1 和 B_2 的合磁感强度 $B_{\text{合}}$,方向与回路 C 所在平面平行(图4),即回路 C 中无磁感线穿过,其磁通量恒为零,不随时间发生变化,根据法拉第电磁感应定律,回路 C 中没有感应电动势,也就没有感应电流产生,回路 C 中的检流计 G 指针不会偏转.所以,第(2)种说法,分析出了磁通量是一直为零,不随时间发生变化,因而没有感应电流产生,是正确的。

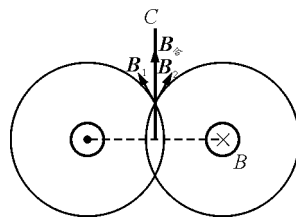


图4 图1中的剖面图

以上的理论解释是否合理呢?下面我们改变 A 回路中电流的方向,其他条件保持不变,再进行实验验证。

5 实验拓展

如图5所示, A, B 两回路距离最近的两条平行导线中电流等大同向,再次进行试验,在同时闭合两开关 S_1 和 S_2 的瞬间,发现检流计 G 的指针发生偏转。

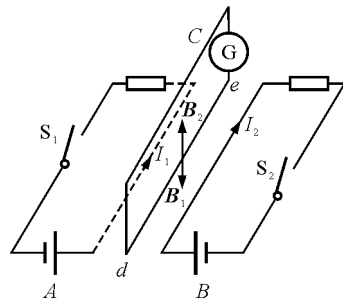


图5 两电流等大同向,产生磁场的情况

电流 I_1 和 I_2 在回路 C 长边 de 处产生的磁场 B_1 和 B_2 大小相等、方向相反,如图5所示,但同时闭合开关 S_1 和 S_2 的瞬间,电流 I_1 和 I_2 变大,电流产生的磁场也变大,变化的磁场产生感生电场 E_1^i 和 E_2^i ,如图6所示.根据参考文献^[2]及对称性,感生电场 E_1^i 和 E_2^i 的大小相等、方向相同,则回路 C 的长边 de 处有感生电场,边 fg 离 A, B 所在平面较远,边 fg 处感生电场与 de 处感生电场方向相同,因为 fg 距 I_1 和 I_2 较远,因此 fg 处感生电场很小,小于 de 处的感生电场,所以回路 C 中有感生电动势,有感应电流,检流计 G 指针会发生偏转。

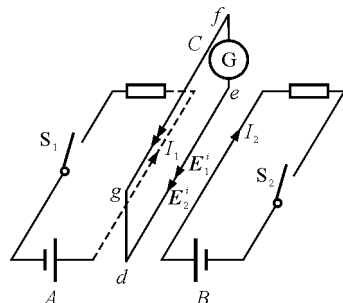


图6 两电流等大同向,感应电场情况

从磁通量变化产生感应电动势的角度来分析,回路A和B中的电流在回路C所在平面任意一点激发的磁感应强度 B_1 和 B_2 大小及方向,如图7所示,根据对称性,回路A、B中的电流在该点激发的磁场的合磁场 $B_{\text{合}}$ 方向向右(图7),因此 $B_{\text{合}}$ 穿过回路C的磁通量不为零,若回路A和B中的电流发生变化,则穿过回路C的磁通量也就随时间发生变化,则根据法拉第电磁感应定律,回路C中会产生感应电流,回路C中的检流计G指针发生偏转.

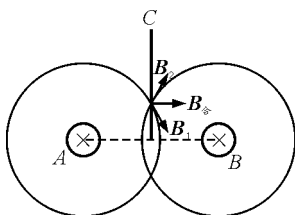


图7 A和B中的电流在回路C所在平面任一点激发的磁场

6 辨析及结论

之所以有上述的错误解答,是由于没有抓到放在变化磁场中的闭合线圈产生感应电流的本质.闭合导体回路中产生感应电流的本质是通过该回路的磁通量发生了变化,通过导线回路中的磁通量变化有多种形式,可以是磁场不变,导体回路运动;可以是导体回路静止,磁场变化;或者是磁场变化,导体回路也运动^[1].

上述问题中闭合线圈保持静止不动,引起磁通量发生变化的因素是磁场的变化,根据麦克斯韦理论,变化的磁场产生感生电场,也就是说在闭合线圈恒定不变的情况下,产生感应电流的本质,是变化的

磁场产生感生电场,感生电场力提供非静电力,引起感应电动势,从而在闭合导体回路中形成感应电流.

对于图1的情况来说,回路C中长边 de 处有磁场,有磁场的变化,但是由于变化的磁场而产生的感生电场方向是大小相等、方向相反的,相互抵消,所以总感生电场为零.此情况下,没有感生电场,就没有感生电动势,也就没有感应电流.

对于图5,虽然回路C中长边 de 处的磁场相互抵消,但是由于磁场变化产生的感生电场并不是相互抵消,所以总感生电场不为零.此情况下,有感生电场,则有感生电动势,线圈回路C中也就有感应电流.事实上,回路C中只有长边 de 所在平面处的磁场相互抵消,回路C的其他位置的磁场只抵消了磁场在竖直方向的分量,合磁场的方向沿水平方向向右(图7),穿过闭合回路C中的磁通量不为零,磁场的变化引起闭合C处磁通量的变化,所以闭合回路中有感应电流.

此实验充分地解释了放置在变化的磁场中的恒定闭合线圈产生感生电流的本质,是由于变化的磁场产生感生电场,感生电场的存在才使得闭合回路中有感应电流.当然此问题也可以用法拉第电磁感应定律做出解释,也就是说,变化的磁场产生感生电场的理论与法拉第电磁感应定律是完美统一的.

参考文献

- 1 上海交通大学物理教研室.大学物理学(下册).上海.上海交通大学出版社.2011.111
- 2 苏景顺.长直导线通以变化电流产生的涡旋电场.大学物理.1995(1):45~47

The Judgement and Analysis about Changing Magnetic Field Produces Induced Electric Field

Huang Rui

(North China electric power university science and technology college, Baoidng, Hebei 071000)

Zhao Jiguang

(Chian Post Group Corporation Baoding Branch, Baoidng, Hebei 071000)

Abstract: According to the practical problems, judged and analyzed whether the closed loop in the changing magnetic field produces induced current or not, thereby deepened the understanding and application of the induced electric field.

Key words: changing magnetic; induced current; induced electric field