

Study of Longitudinal Electric Field and Superluminal Motion

Tsao Chang¹, Jing Fan²

¹Department of Nuclear Science and Technology, Fudan University, Shanghai

²Department of Electronics and Electrical Engineering, Nanyang Institute of Technology, Nanyang

Email: tsaochang@alu.fudan.edu.cn

Received: Aug. 20th, 2014; revised: Aug. 29th, 2014; accepted: Sep. 3rd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Research on superluminal phenomenon is a frontier of physics. The problem of superluminal associated with the longitudinal electric field is studied in this paper. It discusses the longitudinal electric field inside the metal wires and electrical energy transmission in DC circuits. In the metal wire, the difference of electrical potential drives the electrons and then forms a current. The potential energy of electrons is converted into kinetic energy. This process completes the cycle of energy conservation. In the case of the DC circuit, Poynting vector is just a mathematical definition, and there is no real energy flow. DC power is transmitted entirely in the metal wire. Theoretically, the longitudinal electric field is non-local, that is, the speed of the longitudinal electric field can be infinite. It gives the preliminary results of an experiment to measure the transient speed of longitudinal electric field in this paper.

Keywords

Electromagnetism, DC Circuit, Poynting Vector, Longitudinal Electric Field, Superluminal

纵向电场和超光速研究

张 操¹, 樊 京²

¹复旦大学, 核科学与技术系, 上海

²南阳理工学院, 电子与电气工程学院, 南阳

Email: tsaochang@alu.fudan.edu.cn

收稿日期：2014年8月20日；修回日期：2014年8月29日；录用日期：2014年9月3日

摘要

超光速研究是物理学中的一个前沿。本文研究了与纵向电场相关的超光速问题，讨论了直流电路中金属导线内的纵向电场以及电能的传输过程。在导线内，静电场的电势差驱动了电子，形成了电流，电子的势能转化为电子的动能，消耗了电功率。同时，电池的化学能产生了电动势，补充了电能，完成了能量的转化和守恒。在直流电路的情况，坡印廷矢量仅仅是一个数学定义，没有形成真实的能流。直流电能完全是在金属导线内传输的。从理论上讲，纵向电场是非局域的，也就是说，纵向电场的速度可以无限大。这篇论文给出了测量纵向电场瞬态速度的初步实验结果。

关键词

电磁学，直流电路，坡印廷矢量，纵向电场，超光速

1. 引言

近年来许多文献表明，超光速现象是客观存在的[1]-[5]。其中文献[3]-[5]讨论了低频近场电磁学中的超光速实验以及直流电路中金属导线内的电能传输过程。

根据库伦定律，静电场是无旋纵场。在直流电路中，金属导线中的直流电场也是纵场。虽然静电场与直流电场有一些相似性[5]-[8]，可是实际上有很大的差别。为了简化讨论，本文把稳恒电流简称为直流电，并且利用简单的直流电路进行分析和推导。典型的直流电路具有一个电池，电池二端由金属导线串联负载电阻。

电磁学教科书上的相关理论认为：直流电源中的能量不是通过导线内的电流传输到负载电阻，而是通过导线周围空间的电磁能流从侧面输入导线以及负载电阻的。下面的图示是从文献[6]引用来的。

在图1中，箭头代表电磁能流，即坡印廷能流矢量。

如果采用有金属屏蔽的同轴导线，或者用金属外罩屏蔽电池，简单试验表明，直流电路外面的电场分布(包括金属导线界面外的电场)发生了很大的变化，可是金属导线内的电场和电流基本上没有变化。

电源向外部空间输出能量；

电源以外导线， \vec{j} 与 \vec{E} 方向一致

*导线外部： $\vec{E}_{外}$ 一般有较强的法向分量，但界面上， $\vec{E}_{外}$ 的切向分量与 $\vec{E}_{内}$ 连续(边界条件)，所以能量从外向里输入；

总体图象：

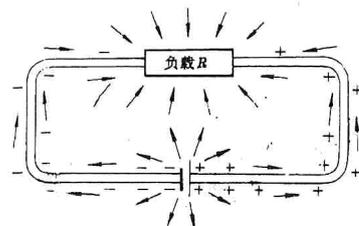
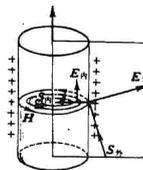


Figure 1. The flow of electromagnetic energy in the DC circuit

图1. 直流电路中电磁能流的示意图

文献[5]以及本文表明,在直流电路的情况,坡印廷矢量仅仅是一个数学定义,没有形成真实的能流。直流电能完全是在金属导线内传输的。本文还给出了测量纵向电场瞬态速度的初步实验结果。

2. 直流电路中的纵向电场和电流

金属导线是良导体。在通常情况下,金属导线是电中性的。导线内部的自由电子的负电荷与的导体晶格点阵的正电荷总数相等。对于电中性的金属导体,当通有稳恒电流时,在导体外部存在环形磁场 \mathbf{H} ,其方向可用右手螺旋定理确定。

金属导线内自由电子的运动速度是很慢的,小于 1 mm/s 。可是电路中电能的传播速度是非常快的。很多人认为,金属导线内电流的传输速度几乎等同于真空光速 c 。例如在电路的开关闭合时,电路中的电灯几乎是在一瞬间同时发光。由此可见,电路中的电能主要是由电场传输,而不是由导体内的自由电子运动传输的。

金属导线中的直流电场与静电场有一定的相似性,它们都是纵场,都是有源场,电场都不随时间变化。在金属导线的外部,静电场服从静电场环路定理:

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0 \quad (1)$$

它的微分形式可以写为:

$$\nabla \times \mathbf{E} = 0 \quad (2)$$

也就是说,静电场是无旋场以及保守场。

然而,金属内部的电场与外部的静电场又有重要的差别。金属导线中的直流电场与传导电流相关,它与静电场是有重要差别的。对于孤立电荷形成的静电场,空间某一点的电势由电荷与该点的距离决定。然而,在直流电路的情况,空间某一点的电势主要取决于直流电路的结构以及空间配位。在有直流电的金属导线内部,电源产生的纵向电场把作用力施加于金属导线内的自由电子,产生了电流,同时消耗了电源的功率。

根据安培定律,金属导线内的传导电流在金属导线外部产生了稳定的环型磁场。所以在金属导线外部,坡印廷矢量仅仅是一个数学定义,没有形成真实的能流。金属导线中的直流电能的传输与坡印廷矢量无关。

在金属导线中的直流电回路中,由于有非静电场的电源存在以及金属导线内有大量自由电子,欧姆定律起了重要的作用。欧姆定律的微分形式以及式可以写为:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (3)$$

其中, \mathbf{J} 是电流密度矢量,即是单位面积内电流强度,其方向与电场强度 \mathbf{E} 方向一致; σ 为导体的电导率,表征金属材料的导电性能。在金属导线内的电场强度 \mathbf{E} 由电流密度矢量以及导体的电导率决定。根据电流在金属导线内的经典微观理论,自由电子在纵向电场的作用下,沿电场强度 \mathbf{E} 方向有定向的漂移,产生了电流。自由电子的势能转化为动能。电子在运动的过程中不断地与金属晶格发生碰撞,失去部分动能,然后在电场的作用下重新加速运动,并反复与金属晶格发生碰撞。电子在两次碰撞之间走的平均距离为平均自由程,电子运动的平均漂移速度用 u 表示,导体内自由电子密度为 n ,电子的质量为 m ,电子的电荷量为 e , T 是二次碰撞之间的平均时间间隔。从经典微观理论,可以推导得到金属内电流密度与电场强度的关系为:

$$\mathbf{J} = (ne^2T/m)\mathbf{E} \quad (4)$$

对比公式(3)和(4),可以得到导体的电导率 $\sigma = (ne^2T/m)$ 。

3. 直流电路中电能的传输

在直流电路中，电功率 $P = IV$ ，单位体积的电功率密度为：

$$p = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} \tag{5}$$

从欧姆定律的微分形式，Eq. (5) 可以写为焦耳定律： $p = \sigma E^2$ 。

在电磁学理论中，电磁能的传播使用坡印廷矢量来表达。坡印廷矢量 $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ ，其中， \mathbf{S} 为坡印廷能流密度矢量， \mathbf{E} 是电场强度， \mathbf{H} 是磁场强度。坡印廷矢量表示单位时间内流过与电场以及磁场相垂直的单位面积上的电磁能流，亦称为功率流密度。 \mathbf{S} 的方向代表电磁能量流动的方向。

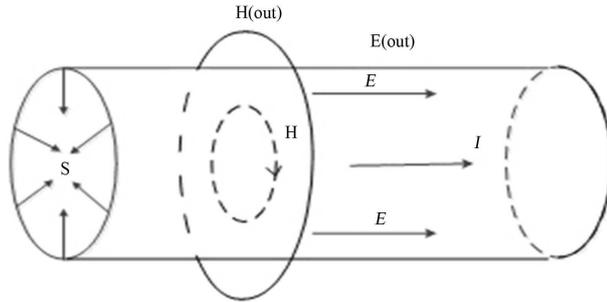


Figure 2. The electric and magnetic fields inside the conductor
图 2. 导体内部的电场和磁场

引入 \mathbf{S} 的过程需要利用麦克斯韦方程组，参见文献[6]-[12]。当金属导线中有直流电时，在导体内部存在稳定(不随时间变化的)的纵向电场以及环形磁场。假定金属导线的一小段是个圆柱形，从示意图 2 可以看出，坡印廷矢量指向圆柱形导体的中心。

在金属导线内部，根据安培环路定理，磁场强度 \mathbf{H} 的数值随所包围的导体的半径的减小而减小。越深入导体， \mathbf{H} 和 \mathbf{S} 的数值愈小。我们需要强调的是：由于电场和磁场都“静”在那里，虽然我们可以在数学上定义一个坡印廷矢量， $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ ，可是这仅仅是数学上的恒等式，事实上没有形成真实的能流。没有电磁能流从导线外部传输到导线内部；也没有电磁能流从导线的外层传输到导线的中心。在金属导线内，事实上是电场强度 \mathbf{E} 与金属导线内同一点的电流 \mathbf{j} 联合产生了电功率，把电子的势能转化为电子的动能。

4. 测量电场重新分布速度的初步实验

纵向电场是非定域的。当直流电路的开关导通时，电场重新分布的速度非常快。为了测量电场的重新分布速度，我们进行了初步实验。实验的示意图见图 3。

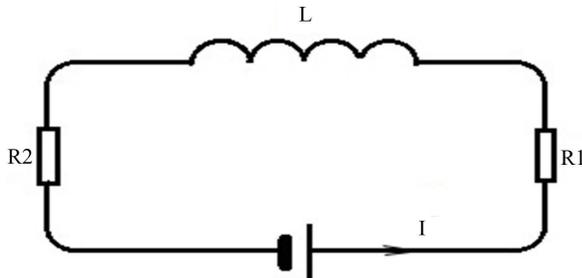


Figure 3. Schematic measuring the speed of electric field
图 3. 测量电场速度的示意图

在图 3 中, L 是约为 1.8 米长的金属铜导线。 R_1 和 R_2 取为 50 欧姆。我们取 R_1 和 R_2 的两端的电压, 输入到示波器的二个输入端。当电源开关闭合时, 示波器显示从 R_1 和 R_2 输出的电压波形。金属导线的直径为 1 mm。直流电路中导线的总电阻约为 0.6 欧姆。电源是 3 节 AA 电池带开关(4.5 V)。示波器的数据输入到 Matlab 软件。采用最小二乘法拟合曲线。拟合方程为:

$$V_R(t) = RI_0(1 - e^{-t/(R/L)}) \quad (6)$$

这是典型的 LR 电路的电压的解析解。在上面的公式中, L 代表导线的电感值, I_0 代表达到稳态时的电流值。我们从实验数据得到图 4 中的曲线。

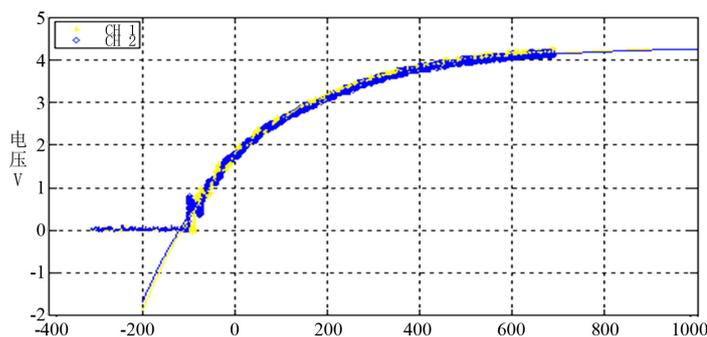


Figure 4. The output voltage on R1 and R2 varying with time
图 4. R1 和 R2 的输出电压随时间变化

在图 4, 蓝线和黄线代表的电压分别输入到示波器的通道 1 和通道 2。第 100 ns 的数据被截断, 因为电流还没有形成。被截断的位置对拟合结果有一定影响。由于电路受到分布电容的影响, 起始电流的高频成分形成了较大的电流跳变。在 200 ns 以后, 电流的低频成分起主导作用, 2 个拟合曲线的数据接近重合。所以作为初步结果, 我们采用图 4 中从 -50 ns 到 150 ns 的数据取时间间隔的平均值以及均方误差, 得到 2 个拟合曲线之间的时间间隔为 5.0 纳秒, 均方误差为 2.0 纳秒。考虑 R_1 和 R_2 之间的导线的长度为 1.8 米, 我们得到直流电场重新分布速度为:

$$u_{DC} = (1.2 \pm 0.5)c \quad (7)$$

这里 c 是光在真空中的速度。因为初步实验结果的误差比较大, 我们需要进行更多的测试。实验细节和更多的数据将另文报道。式(7)的结果表明, 导体内纵向电场的速度不排除超光速的可能性。这个实验结果与中微子质量平方值的实验值是类似的。

在现代一些实验中, 有些物理量很难测量得很正确, 所以误差比较大。例如近 20 年来, 全世界有多个国家用 H^3 的 Beta 谱仪测量中微子质量平方值, 多数实验结果是误差值比平均值大得多。这些数据发表在世界一流的期刊上, 并且为权威数据库收录。中微子质量平方值的近年数据是: $m^2(\text{ve}) = -1.1 \pm 2.4 \text{ eV}^2$ [13]。中微子质量平方值为负数, 表明中微子可能是超光速粒子[14]。

5. 结论

从理论上讲, 纵向电场是非局域的, 也就是说, 纵向电场的速度可以无限大。在直流电路中, 电场强度受到金属导线界面的限制, 电场在金属导线界面两侧发生了突变。

根据本文的理论分析以及实验结果, 我们得到如下几点推论:

(1) 在直流电路的情况, 在导线内, 电源产生的纵向电场把作用力施加于金属导线内的自由电子, 静电场的电势差驱动了电子, 形成了电流。电子的势能转化为电子的动能, 消耗了电功率; 同时, 电池的

化学能产生了电动势，补充了电能，完成了能量的转化和守恒。所以，直流电能完全是在金属导线内部传输的。

(2) 由于直流电路内的电位差以及电流，在金属导线界面外产生了稳定的环型磁场以及静电场。所以，坡印廷矢量仅仅是数学上的定义，事实上没有形成真实的能流，也就是说，没有电磁能流从导线外部传输到导线内部。

(3) 直流电场在金属导线内部瞬间重新分布的速度是允许超光速的。本文初步测量了电场瞬态重新分布的速度。

当电路的开关闭合时，电场瞬间在金属导线内部重新分布。电场强度 E 从电池的正极沿金属导线(内部)通向电池的负极。电场强度 E 带动了金属导线内自由电子，产生了电流，并且携带了力和功率。电场强度 E 与金属导线内同一点的电流 j 联合产生了电功率，并转化焦耳热。上述的描述，大致说明了在金属导线中直流电能传输的实际过程。

关于纵向电场在金属导线内部瞬间重新分布的速度，这是一个与电子和原子有关的微观过程，属于量子力学的研究范畴。从原则上讲，直流电场速度是允许超光速的。本文的研究结论可以推广至低频近场，这将为近场电磁学和超光速的研究带来广阔前景[15]。

致 谢

本文作者感谢与沈建其博士的有益讨论。

参考文献 (References)

- [1] Zhang, L., Zhan, L., Qian, K., et al. (2011) Superluminal propagation at negative group velocity in optical Fibers based on Brillouin lasing oscillation. *Physical Review Letters*, **107**, Article ID: 093903.
- [2] 张操 (2011) 物理时空理论探讨——超越相对论的尝试. 上海科学技术文献出版社, 上海.
- [3] Budko, N.V. (2009) Observation of locally negative velocity of the electromagnetic field in free space. *Physical Review Letters*, **102**, Article ID: 020401.
- [4] 樊京, 周治平, 田子建 (2013) 自由空间磁力线速度测量实验. *中国传媒大学学报: 自然科学版*, **2**, 64-67.
- [5] 樊京, 张操 (2014) 关于金属导线中直流电能的传输. *南阳理工学院学报*, **3**, 1-4.
- [6] 赵凯华, 陈熙谋 (2011) 电磁学(第3版). 高等教育出版社, 北京, 825-828.
- [7] 梁昌洪, 陈曦 (2012) 电磁理论前沿札记. 电子工业出版社, 北京.
- [8] 谢处方, 饶克谨 (2005) 电磁场和电磁波. 高等教育出版社, 北京.
- [9] Poynting, J.H., Thomson, J.J. (1914) A text-book of physics: Electricity and magnetism. Pts. I and II: Static electricity and magnetism. London, C. Griffin.
- [10] 胡望雨, 陈秉乾, 舒幼生 (2003) 电磁学专题研究. 高等教育出版社, 北京.
- [11] Jackson, J.D. (1962) Classical electrodynamics. John Wiley & Sons Ltd., New York.
- [12] 蔡圣善, 朱耘 (1985) 经典电动力学. 复旦大学出版社, 上海.
- [13] Data Group (2010) Review of particles physics. *Journal of Physics*, **G37**, 555.
- [14] Chang, T. (2013) Neutrinos as superluminal particles. *Journal of Modern Physics*, **4**, 6-11.
- [15] 黄志洵 (2011) 金属电磁学理论的若干问题. *中国传媒大学学报自然科学版*, **4**, 1-12.