

Measurement of Time Delay of Alternating Electric Field in Wires

Tsao Chang^{1,2}, Kongjia Liao¹, Jing Fan²

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

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

Email: tsaochang@alu.fudan.edu.cn

Received: Jan. 18th, 2015; accepted: Feb. 1st, 2015; published: Feb. 6th, 2015

Copyright © 2015 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

AC electromotive force generates a potential difference and a longitudinal electric field in a circuit. The longitudinal electric field drives the electrons, and forms a current. Longitudinal electric field is non-localized. Due to the distributed self-inductance of the metal wire, it generates a time delay. This paper gives the results of preliminary measurements of time delay of low-frequency AC electric field. Experimental results show that, in less than 3 MHz frequency region, the speed of longitudinal electric field is more than 20 times of the speed of light.

Keywords

AC Circuit, Longitudinal Electric Field, Time Delay, Superluminal Speed

导线中交流电场时间延迟的测定

张 操^{1,2}, 廖康佳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, 河南 南阳

Email: tsaochang@alu.fudan.edu.cn

收稿日期: 2015年1月18日; 录用日期: 2015年2月1日; 发布日期: 2015年2月6日

摘要

交流电源产生的电动势在电路的金属导线内产生了电势差以及纵向电场。纵向电场驱动了电子，形成了电流。纵向电场是非局域的。由于金属导线自身分布电感的存在，产生了时间延迟。这篇论文给出了电路中低频交流电场的初步测量结果。实验结果表明，在小于3 MHz的频率区，纵向电场的速度超过光速20倍以上。

关键词

交流电路，纵向电场，时间延迟，超光速

1. 引言

在现代的电路理论中，低频交流电的时间延迟通常是忽略不计的。原因之一，电路的尺度与一秒时间内的光程相比是很小的。原因之二，由于电磁学的成功，人们在没有精确实验数据的情况下，电磁学教科书就假定电路中低频交流电场的速度就是光速[1]-[3]。然而，近年来许多文献表明，在低频近场的情况，存在超光速现象[4]-[6]。

根据库伦定律，静电场是无旋纵场。静电场服从静电场环路定理：

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

在低频交流电路中，金属导线中的电场与静电场有一定的相似性，它们都是纵场，都是有源场。金属导线中的纵向电场与能流方向一致。我们日常应用的 50 Hz 交流电路，是典型的超低频似稳电路。

方程式(1)与电路理论中的基尔霍夫第二定律是一致的。对于复杂电路中的任一闭合回路，基尔霍夫第二定律要求其全部组成支路上的电压代数数和为零，即回路电压方程。所以，在电路理论中隐含了一个假定：纵向电场是瞬时的。

虽然电路中的纵向电场与真空中的静电场有一些相似性，可是实际上它们有很大的差别。在电路理论中，起主导作用的是由电源产生的电动势，电路中的电阻和电感，以及联系它们的具有感抗的欧姆定律。实验和理论表明，对于频率是 10 GHz 以下的交变电场，欧姆定律都有效。本文研究的是 1~10 MHz 的交变电场，所以是属于低频电场。

由于金属导线中存在电感，使得电路中的纵向电场产生了微小的时间延迟。直导线的电感值由以下近似公式计算：

$$L = 2 \times 10^{-7} \times l \times [\ln(\frac{2l}{r}) - 0.75] \quad (2)$$

在式(2)中， l 为导线长度， r 为导线截面的半径。长度以 m 为单位取数值，计算结果单位是 H (亨利)。通过计算，可得直径为 1.0 mm，长度为 0.4 m 的铜导线的分布电感为 530 nH；长度为 6.4 m 的铜导线的分布电感为 11,200 nH。

本文给出了低频交流电路中电场的时间延迟的初步测量结果。实验结果表明，在小于 5 MHz 的频率区，纵向电场的速度是明显超光速的。

2. 实验装置和测量原理

测量交变电场时间延迟的实验示意图参见图 1。由函数发生器作为信号源，产生频率为 1~100 MHz

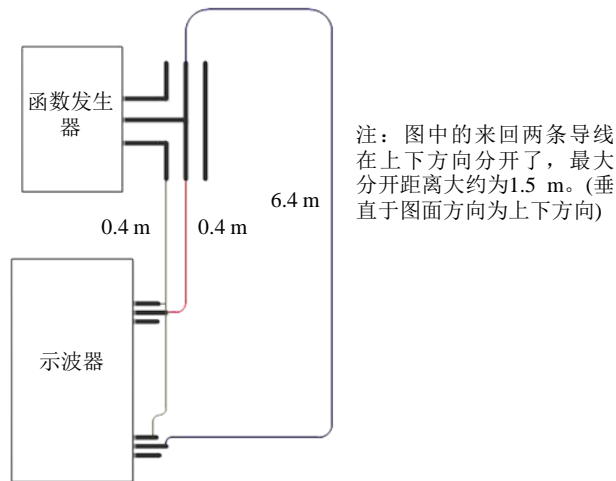


Figure 1. Schematic diagram of the time delay experiments
图 1. 时间延迟实验的示意图

的正弦交变电场信号。在输出端有一个“双通”元件，分别连接一根短的铜导线以及一根长的铜导线。短铜线长度为 0.4 m，长铜线长度为 6.4 m。二根铜线的另一端分别连接到数值示波器的二个通道。示波器显示的红线代表通过 0.4 m 导线的信号，蓝线代表通过 6.4 m 导线的信号。示波器显示图像的纵座标代表测量到的电压，横座标代表测量到的时间。这样，通过二根不同长度的导线的时间差就在示波器上明确地显示出来，并可以定量地记录下来。为了保证测量的可信度，我们把长铜线从 6.4 m 改为 9.4 m，重复进行了测量。

实验仪器的照片见图 2。

图的右边是函数发生器，RIGOL (厂家)，DG4162 (型号)，160 MHz 500 MSa/s；图的左边是数值示波器，Agilent Technologies (厂家)，DSO-X-3034A (型号)，350 MHz 4 GSa/s。

实验中的铜导线采用直径是 1 mm 的漆包线。

3. 实验数据和初步分析

在实验过程中，我们首先交换两个示波器通道，表明交变信号无变化，这说明示波器的二个通道性能一致。

我们实验研究的是 1~10 MHz 的交变电场。在这个频区，我们选取了大约 30 个不同频率的信号作试验。这里我们给出图 3~6 作为代表。图中的红线代表通过 0.4 m 导线的信号，蓝线代表通过 6.4 m 导线的信号。

从理论计算，可得 0.4 m 导线的分布电感为 530 nH，对于 5 MHz 信号的阻抗大小为 17 Ω ；6.4 m 导线的分布电感为 11,200 nH，6.4 m 导线的分布电感为 17,200 nH，对于 5 MHz 的信号阻抗大小为 352 Ω 。而示波器选择的输入阻抗的 1 M Ω ，无论是 17 Ω 还是 352 Ω ，相对于 1 M Ω 的输入阻抗而言，均可以忽略不计。

我们的数据表明，在信号频率超过 5 MHz 以后，通过 6.4 m 导线的信号(蓝线)会出现一定的幅度改变。而红线信号出现此现象较晚，也就是说要在更高的频率时才会出现此现象。这一现象很有可能是外部导线的电感与示波器内部的电容和电感相互作用导致的。与此同时，示波器显示的相位也出现明显的位移。所以我们认为，在我们的低频交变电场时间延迟实验中，1~5 MHz 是最佳频区。

实验中采用示波器内部获取两列交变信号时间差程序得到数据，示波器内部是采用“过零定位”，

因为正弦波在过零处的斜率是最大的，此处电位对时间是最敏感的。在本实验中，时间延迟测量的精度不超过 1.0 ns。

4. 交流电场时间延迟实验结果的讨论

根据速度的定义，金属导线中的电场速度等于导线长度差除以时间差。实验结果得到的电场速度都超过光速 4 倍。具体地说，从图 3，导线长度是 6.0 m，信号频率是 5.0 MHz，时间延迟量为 1.0 ± 0.5 ns，计算得到的电场速度是光速的 13 倍以上。从图 4，信号频率是 2.0 MHz，从时间延迟量计算得到的电场速度是光速的 20 倍到无限大。从图 5，导线长度是 9.0 m，信号频率是 5.0 MHz，时间延迟量为 7.0 ± 0.5 ns，计算得到电场速度是光速的 4 倍以上。从图 6，信号频率是 2.0 MHz，从时间延迟量计算得到的电场速度是光速的 30 倍到无限大。

从我们的多次测量，对于频率在 3.0 MHz 以下的低频信号，纵向电场的速度超过光速 20 倍以上。这是与库仑定律推论出的静电场环路定理相符合的。

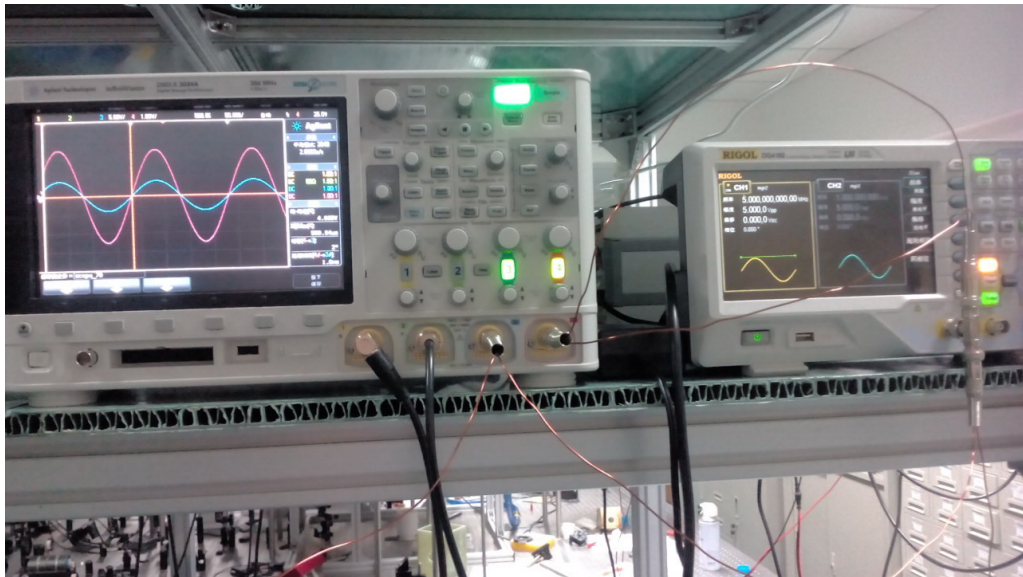


Figure 2. Instruments in the time delay test
图 2. 时间延迟实验的仪器

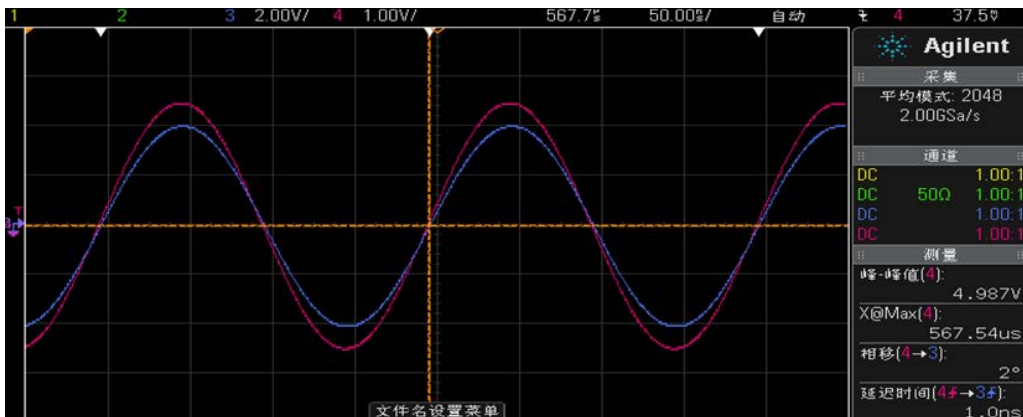


Figure 3. Display of time delay, 6.0 m, 5.0 MHz
图 3. 时间延迟的显示，6.0 m 线，5.0 MHz

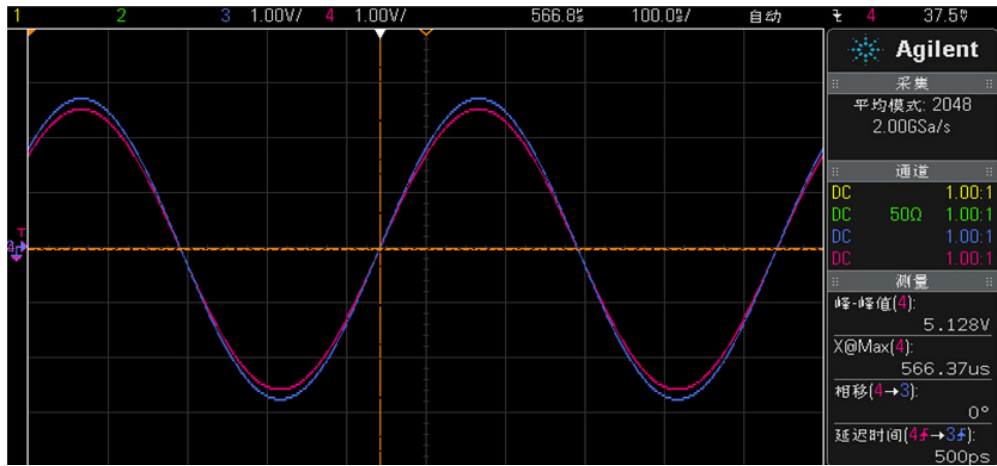


Figure 4. Display of time delay, 6.0 m, 2.0 MHz
图 4. 时间延迟的显示, 6.0 m 线, 2.0 MHz

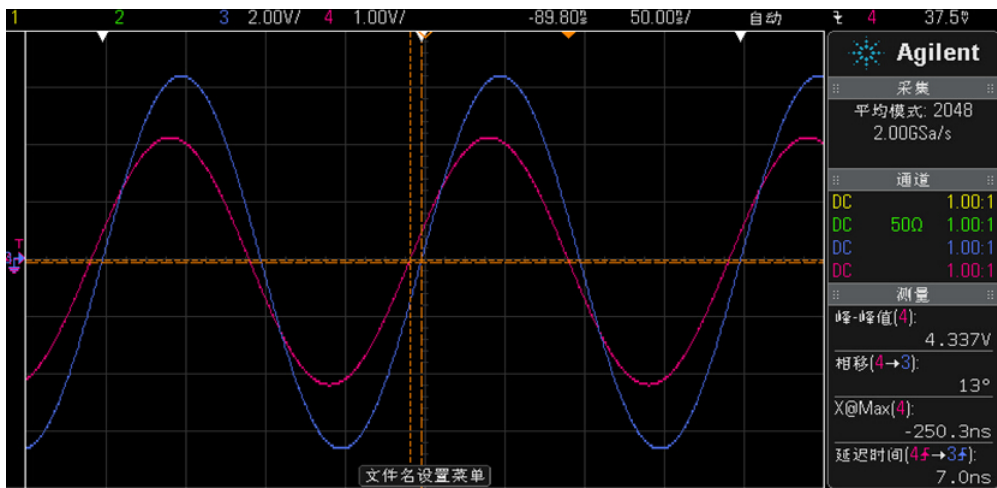


Figure 5. Display of time delay, 9.0 m, 5.0 MHz
图 5. 时间延迟的显示, 9.0 m 线, 5.0 MHz

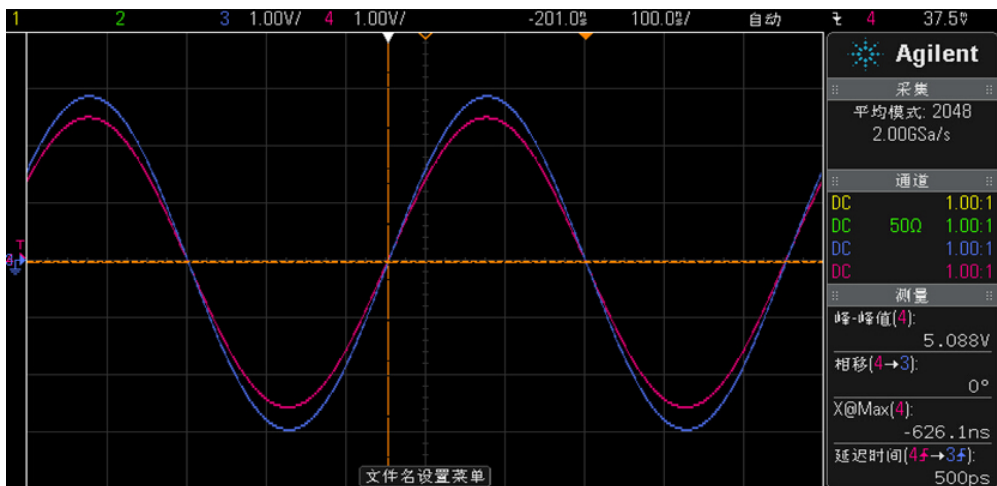


Figure 6. Display of time delay, 6.0 m, 2.0 MHz
图 6. 时间延迟的显示, 9.0 m 线, 2.0 MHz

我们需要强调出, 本文讨论的金属导体中的纵向电场速度不能与电磁波在金属导体中的传播混为一谈。电磁波是横波, 低频电磁波在金属导体中的传播速度是非常小的, 比如 400 Hz 时只有约 10 米/秒 [7]。然而, 电源产生的交变电动势是瞬时的、非定域地作用在电路中导体的各个部分。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 E 方向有定向的飘移, 产生了电流, 从而使得纵向电场沿导线有个重新分布。也由于金属导线自身分布电感与长度有关, 所以纵向电场的时间延迟与频率以及导线长度有关。在我们的实验中, 从时间延迟计算得到的纵向电场速度代表电场的信号速度, 或者是导体内的能流速度; 它与电磁波的相速度无关。

因为导体内得到低频纵向电场速度远远超过了电磁波在真空中传播的速度, 这个实验证明了: 低频交流电能完全是在金属导线内部传输的。也就是说, 几乎没有电磁能流从导线外部传输到导线内部 [6] [8]。

关于与本文有关的超光速研究, 可参见文献 [9]-[13]。

本文的实验研究还是初步的, 我们将进行更多的条件试验, 以及更详细的理论分析。

致 谢

本文作者感谢褚君浩教授的有益讨论。

参考文献 (References)

- [1] Jackson, J.D. (1962) Classical electrodynamics. John Wiley & Sons Ltd., New York.
- [2] 蔡圣善, 朱耘 (1985) 经典电动力学. 复旦大学出版社, 上海.
- [3] 赵凯华, 陈熙谋 (2011) 电磁学. 第 3 版, 高等教育出版社, 北京.
- [4] Budko, N.V. (2009) Observation of locally negative velocity of the electromagnetic field in free space. *Physical Review Letters*, **102**, Article ID: 020401.
- [5] 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.
- [6] 张操, 樊京 (2014) 纵向电场和超光速研究. *现代物理*, **5**, 107-112.
- [7] 张梦心, 何久安 (1984) 关于导体中电磁波实验. *上海师范学院学报(自然科学版)*, **1**, 50-54.
- [8] 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.
- [9] Chodos, A., Hauser, A.I. and Kostelecky, V.A. (1985) The neutrino as a tachyon. *Physics Letters B*, **150**, 431-435.
- [10] 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.
- [11] Chang, T. (1986) Does a free tachyon exist? *Proceedings of the Sir Arthur Eddington Centenary Symposium*, Vol. 3, *Gravitational Radiation and Relativity*, 431-436.
- [12] Chang, T. and Ni, G-J. (2002) An explanation of negative mass-square of neutrinos. *Fizika*, **B11**, 49.
- [13] 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.

汉斯出版社为全球科研工作者搭建开放的网络学术中文交流平台。自2011年创办以来，汉斯一直保持着稳健快速发展。随着国内外知名高校学者的陆续加入，汉斯电子期刊已被450多所大中华地区高校图书馆的电子资源采用，并被中国知网全文收录，被学术界广为认同。

汉斯出版社是国内开源（Open Access）电子期刊模式的先行者，其创办的所有期刊全部开放阅读，即读者可以通过互联网免费获取期刊内容，在非商业性使用的前提下，读者不支付任何费用就可引用、复制、传播期刊的部分或全部内容。

