

Interaction of the Symmetric Excitation Magnetic and Its Character Research

Meiquan Liu, Bin Lang, Tianchen Huang

Shijiazhuang Campus of Army Engineering University, Shijiazhuang Hebei
Email: liumqyh@163.com

Received: Feb. 20th, 2019; accepted: Mar. 5th, 2019; published: Mar. 12th, 2019

Abstract

The phenomenon of Excitation Magnetic Impulse Wave (EMIW) is a new physical phenomenon discovered in the procedure of the magnetization of the Magnetic Flux leakage Test. In this paper a pilot study is carried out to explore the physical essence of the phenomenon, which can be described as the impact of two homopolar magnetic fields. Moreover, effective excitation and receiving device are successfully designed in experiments, and we realize the primary analyses and study on its velocity, the characteristic of the induced electromagnetic and propagation characteristic in medium. The results show that EMIW is extremely suitable to apply to the fields of information communication and object detection, so it is most essential to spend more time on the EMIW research.

Keywords

Electromagnetic Wave, Wave Velocity, Magnetic Impulse

对称激变磁场相互作用及其特性研究

刘美全, 郎 宾, 黄天辰

陆军工程大学石家庄校区, 河北 石家庄
Email: liumqyh@163.com

收稿日期: 2019年2月20日; 录用日期: 2019年3月5日; 发布日期: 2019年3月12日

摘 要

在漏磁检测磁化实验中发现同向强磁场相互作用会产生一种新的物理现象——激磁脉冲波现象。激磁脉冲波是一种同极性磁场相互作用, 在相互作用过程中, 极大的磁场梯度使磁场能向磁场梯度小的区域移

动传播而形成的磁性脉冲波。本文深入研究了激磁脉冲波现象的物理本质，并将其描述为两个同极性磁场的撞击过程。在此基础上，设计了有效的激发和接收装置，并对激磁脉冲波的波速、介质中的传播特性和感生电磁波的特性进行了实验研究。结果表明激磁脉冲波非常适宜应用于信息通讯和目标探测，因此，进一步研究激磁脉冲波具有非常重要的意义。

关键词

电磁波，波速，磁脉冲

Copyright © 2019 by author(s) 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

1. 引言

在国家自然科学基金资助项目《大型复杂设备金属基复合材料结构缺陷检测与诊断原理研究》(编号50475053)研究中，对检测工件进行对称磁化时，磁传感器除了检测到缺陷信号外，还从被测件感受到一个极强的信号。这个信号有时不明原因出现，也有时不明原因消失，因此当作干扰来处理。在离磁化现场 20 m 处采用 JLY-1B 智能微磁裂纹检测仪进行检测也接收到强烈的异常信号，检测信号如图 1 所示。

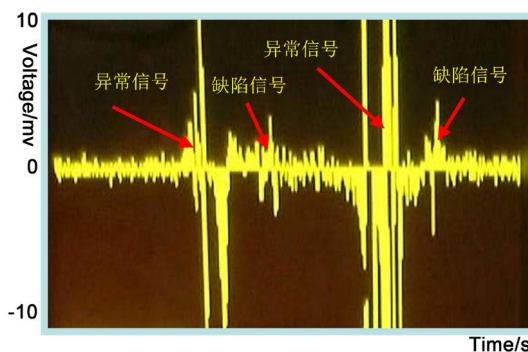


Figure 1. Waveform of signals in impulse magnetization experiment

图 1. 脉冲磁化实验中的信号波形

根据电磁理论，在屏蔽室内磁化脉冲电流产生的电磁信号不可能穿透屏蔽铜网传输这样远的距离。经分析认为，这种信号有可能是磁化时，各向磁化场的某一分量方向相向，当脉冲电流的前沿极陡时，且磁场建立同步，相向分量产生的磁斥力使磁通高度压缩。当电流到达峰值时，在相向磁场分量间的极小空间内，磁通密度极大，极大的磁场梯度使磁能向梯度小的区域激射，磁场的急剧变化引起磁场能的移动传播，形成一种磁性脉冲波，我们称之为激磁脉冲波[1] [2]。本文就这种信号的主要特点进行了实验研究。

2. 激磁脉冲波产生与接收实验

为加强同极性磁场撞击强度，采用如图 2(a)所示的对称线圈施加强电流脉冲激励来实现，其中 y 方向为激磁脉冲传播方向。在此基础上做成如图 2(b)所示的专门激发装置(专利号：200510134811.1)。线圈为单匝铜材线圈，内径 10 mm，外径 35 mm，高 25 mm，两线圈中心在 Z 轴上，平均间距 4 mm，激励

电流脉冲幅值 $I_1 = I_2 = 100 \text{ kA} \sim 300 \text{ kA}$ ，上升沿时间 $t = 3.2 - 0.2 \mu\text{s}$ ，电流峰值同步时间小于 20 ns 。当 $I_1 = I_2 = 300 \text{ kA}$ 时，线圈表面产生的磁感应强度为 20 T ，此装置激发出的信号比前述信号强得多。经过多次反复进行激发实验，发现脉冲电流前沿宽度越小，同步时间越短，激发的磁脉冲能量越强。同极性磁场撞击所激发的信号采用磁传感器可接收到，因此是磁性波。这种激磁脉冲波持续时间极短，要求传感器的时间响应小于 5 ns 。经过实验比较，采用 AAH002-02 巨磁阻传感器较好。但这种传感器只能检测小于 6 高斯的磁场。为此采用磁衰减检测方法[3]，扩展到 4000 高斯。

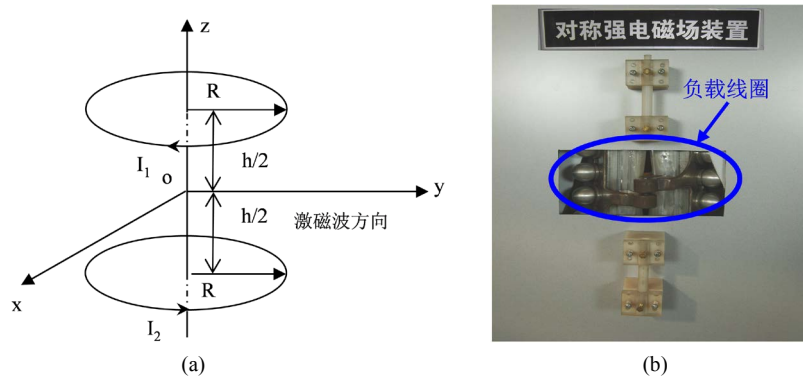


Figure 2. Symmetrical load coil
图 2. 对称负载线圈

为了分析激磁脉冲波的空间分布特性，将 16 个巨磁阻传感器分布在 $1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ 的板上构成阵列接收检测装置，如图 3 所示。

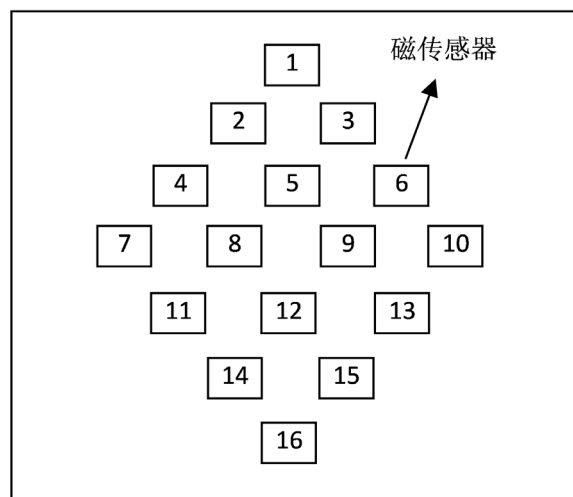


Figure 3. Received array for excitation magnetic impulse wave
图 3. 激磁脉冲接收阵列

将 16 路检测信号分别接入 PCI8008 同步采集卡的 16 路模拟输入信号端 AI0-AI15。其中一路信号经过放大、滤波处理后的波形如图 4(a) 所示。由图可见，检测激磁脉冲信号幅值大于 16 V ，相当于磁感应强度大于 3000 高斯。对图 4(a) 信号进行频谱分析，可得其频谱图，如图 4(b) 所示。在 100 kHz 以内的谱峰 11.58 ，在 1 MHz 处谱峰 3.259 ，在 60 MHz 处谱峰 4.87 ，在其它更高频率点上仍然存在谱峰。通过对比 16 路信号对应频谱下的幅值，可描绘出激磁脉冲波的空间分布。

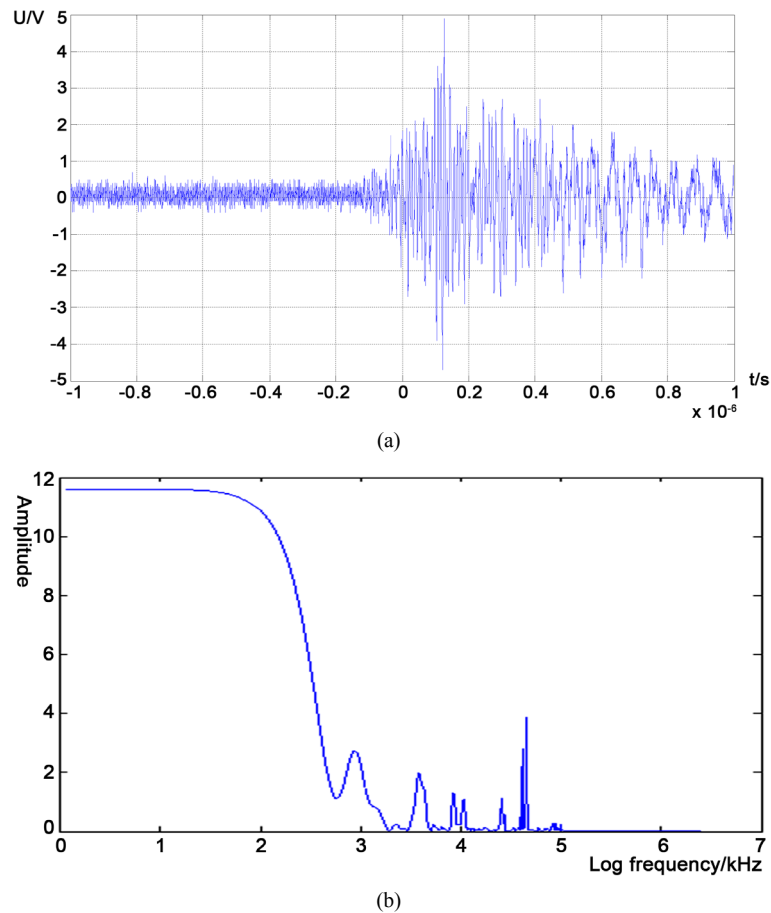


Figure 4. Signals and spectrum of excitation magnetic impulse wave
图 4. 激磁脉冲信号及其频谱

3. 激磁脉冲波穿透介质实验

由于目前所发现的材料的绝大多数都是导磁的，因此都可传导磁性波[4]，同时激磁脉冲大部分能量集中在低频区，因此穿透力强。在离激发装置距离 L 处安装检测车，车前设置厚度为 D 的介质，在激磁脉冲波穿过介质前后设置检测传感装置，分别测得介质前后的激磁脉冲信号，将其进行比较，强度衰减率为 η 。对复合材料板、钢板、钢箱、钢筋混凝土墙几种实验材料进行穿透实验，实验情况如表 1 所示。在实验中，非导磁金属材料穿透实验结果与复合材料情况相同。几种材料实验结果比较，铁磁材料的衰减较大。由实验可见，激磁脉冲波有极强的穿透介质能力。

Table 1. Penetrating medium experiment
表 1. 激磁脉冲穿透介质实验

介质	介质厚度 D (mm)	距离 L (m)	衰减率 η (%)
复合材料	40	15	0.27
钢板	2.2	15	4.8
钢箱	2.2	15	6.38
钢筋混凝土墙	1200	20	50.8

4. 激磁脉冲波波速

通常所谓波速测量,就是计算波在指定介质中穿过一定距离所需时间。在距激发装置 1 m(参考通道信号)和 10 m 处(移动通道信号)各设置相同的检测传感装置,采用两通道存储示波器(TDS 3052B)在同一脉冲触发控制检测采样,由于信号是由多频信号构成,而各个频率的信号相位不同,且速度有差异。为此,对信号进行分解,提取单频信号,分析其波速。图 5 是从 1 m 和 10 m 处检测到信号中提取的 5 MHz~6 MHz 信号。在激磁波波速测量中,分别采用互相关时延估计、相位谱时延估计和基于高阶谱时延估计的方法对其波速进行测量[5] [6] [7],测得激磁脉冲波的波速为 6×10^6 m/s,这比普通电磁波波速低得多,因此激磁脉冲波不同于电磁波[8] [9]。为进一步测量激磁脉冲波波速,在湖上 4 Km 范围内开展波速测量实验,测得的结果与实验室测量结果在数量级上基本一致。

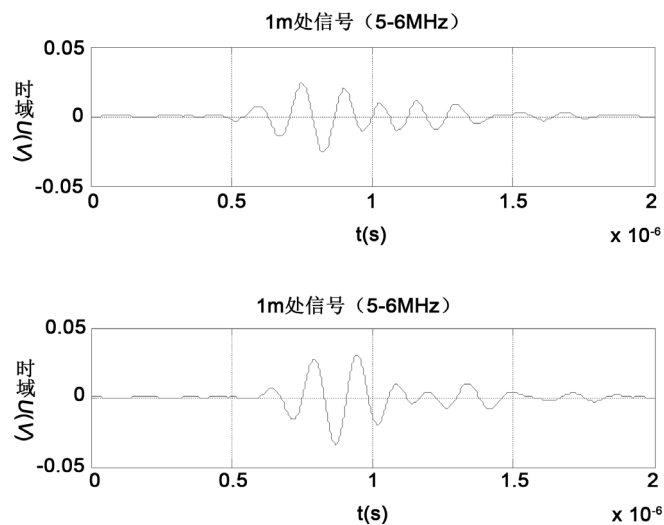


Figure 5. Signals of wave velocity measurement
图 5. 激磁脉冲波波速测量信号

5. 激磁脉冲波感生波检测

对激磁脉冲波是磁性波,变化的磁场会感生电磁波,应用 ZN30505E 对数周期天线在离激发装置 13 m 处可检测到这种电磁信号。图 6 所示为检测到的磁脉冲感生电磁波,最大幅度大于 120 V。由检测发现,在激磁脉冲波传播方向,激磁脉冲波不能到达的地方,不存在感生电磁波;在与激磁脉冲波传播垂直方向,即使激磁脉冲波不能到达,依然存在感生电磁波。

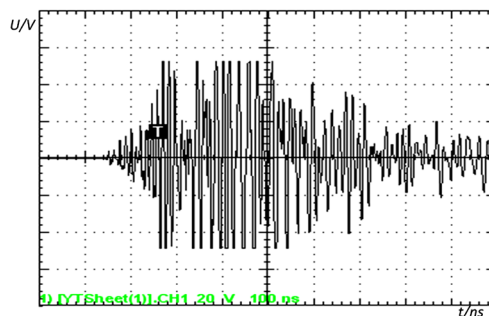


Figure 6. Signals by ZN30505E log-periodic antenna
图 6. ZN30505E 对数周期天线接收到的激磁脉冲波信号

6. 结论

由上述实验研究可见, 激磁脉冲波是同极性磁场撞击时激发的一种新的高能磁性波, 它可在各种介质中传播, 且衰减小, 传输距离远, 因此可用于目标探测、通信等方面。但激磁脉冲波是一个全新的概念, 对其本质的研究和认识, 需要逐步深入。目前我们正在研制一种磁化电流脉冲上升前沿为纳秒级的高功率的磁脉冲激发装置, 以便深入研究激磁脉冲波的激发机理、波形结构、频谱成分、在介质中的传输规律等问题, 特别是激磁脉冲爆发时的连锁反应机理和外部激发条件, 感生电磁波频谱变化规律、旋转特性、信息调制与解调的研究, 对磁脉冲的实际应用具有重要价值。因此深入研究磁脉冲这种物理现象, 具有重要的理论意义和实际意义。

基金项目

本项目得到国家自然科学基金资助项目(50475053)、国防 973 项目(615613)的资助。

参考文献

- [1] 薛强, 于海平, 李春峰. 铜粉螺线管线圈磁脉冲致密试验研究[J]. 锻压技术, 2006, 31(1): 76-79.
- [2] 宋保明, 吴为麟. 基于磁脉冲压缩技术的电除尘器供电电源[J]. 高电压技术, 2006, 32(2): 60-62.
- [3] Misyura, A.A. and Onufriyenko, V.M. (2003) Calculation of the Magnetic Wave Attenuation in a Rectangular Waveguide with Fractal Walls. *Telecommunications and Radio Engineering*, **59**, 25-30.
<https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v59.i1012.40>
- [4] Grinchik, N.N. and Nogotov, E.F. (2004) On the Problem of Magnetic Wave Propagation and Absorption with Regard Forrelaxation Processes. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, **77**, 412-420.
<https://doi.org/10.1023/B:JOEP.0000028523.81081.55>
- [5] 王立明, 李庆春. 选择相关法提高转换波速度分析精度[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1213-1220.
- [6] Larner, K. and Celis, V. (2007) Selective Correlation Velocity Analysis. *Geophysics*, **72**, 11-19.
<https://doi.org/10.1190/1.2435702>
- [7] 宋延杰, 何英伟, 石颖, 等. 慢度-时间相关法与遗传算法结合提取阵列声波时差[J]. 测井技术, 2006, 30(2): 122-125.
- [8] Lucas, G.P. and Jin, N.D. (2001) A New Kinematic Wave Model for Interpreting Cross Correlation Velocity Measurements in Vertically upward, Bubbly Oil-in-Water Flows. *Measurement Science & Technology*, **12**, 1538-1545.
<https://doi.org/10.1088/0957-0233/12/9/321>
- [9] 刘和来, 曾宗泳, 刘文清. 光学信号互相关法烟气流速测量的研究[J]. 光学技术, 2006, 32(2): 920-922.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: app@hanspub.org