

各向异性磁阻传感器在车辆探测中的应用

李希胜¹⁾ 于广华²⁾

1) 北京科技大学信息工程学院, 北京 100083 2) 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083

摘要 研制了一种基于各向异性磁阻(AMR)传感器的车辆探测器. 该车辆探测器由三维 AMR 传感器及相应的信号处理电路组成. 当车辆驶过探测器上方时, 车辆的存在将会引起周围磁场的变化, 三维 AMR 传感器输出将发生相应的变化, 根据 AMR 传感器的输出可判断周围空间内车辆的存在与否. 对该探测器的特性进行了实验研究. 实验结果表明: 当车辆分别沿南北向、东西向通过 AMR 传感器上方时, 传感器输出变化规律不同; 该探测器可实现车辆探测.

关键词 各向异性磁阻传感器; 车辆探测器; 磁阻; 地磁场

分类号 TP 211.13

近年来, 随着经济的发展, 机动车辆数量持续快速增加. 城市及其郊区的公路交通设施受到日益增加的压力, 堵车现象变得司空见惯. 为了缓解这方面的压力, 一方面要修建更多的布局合理的道路, 另一方面应实施有效的交通管理监控. 公路交通监控的目的是通过合理地调整交通流量以提高道路的输送能力^[1-2].

车辆探测器是交通运输管理系统中最基本的要素之一, 它通过道路上移动的车辆来搜集诸如交通流量、道路占用率和汽车速度之类的交通信息. 传统的车辆探测是通过在路面上铺设感应线圈传感器. 这种方法有以下缺点: (1) 线圈在安装或维护时必须直接埋入车道, 这样交通会受到阻碍; (2) 埋置线圈的切缝软化了路面, 容易使路面受损; (3) 工程施工时, 出于无意或因施工需要切断线圈的情况也会发生, 结果常常使线圈无法正常使用; (4) 感应线圈易受到冰冻、盐碱或繁忙交通的影响; (5) 感应线圈寿命短, 一般为 2 a, 之后要破坏路面, 重新铺设等. 其他传感器如超声波传感器容易受环境的影响, 当风速 6 级以上时, 反射波产生漂移而无法正常工作; 探头下方通过的人或物也会产生反射波, 造成误检; 红外传感器工作现场的灰尘、冰雾会影响系统的正常工作. 近年来, 国外开展了基于磁阻传感器的地磁场探测器在车辆探测中的应用研究^[1, 3]. 这种探测器以磁阻传感器作为敏感元件, 车辆从传感器附近驶

过时, 可以感知由于车辆的存在所引起的周围局部空间地磁场的变化, 然后输出一个车辆运动情况的指示. 用磁阻传感器制成的车辆探测器外形小巧且不易变形, 这使安装变得简单, 而且维修起来也很方便. Kang 等人采用单轴 AMR 传感器进行车辆探测的实验研究, 实验过程中车辆从 AMR 传感器的上方通过^[1]. 因为实验过程中仅使用单轴 AMR 传感器, 提供信息量有限, 不利于实验研究的开展. 另外 Kang 等人也未对车辆沿不同方向行驶时的影响加以研究. Honeywell 公司的 Caruso 等人采用三轴及单轴 AMR 传感器进行车辆探测的实验研究, 实验过程中车辆从 AMR 传感器的侧面通过^[3]. 这种方式的优点是安装、维护方便, 传感器可直接安装在路边. 但当多个车道同时有车辆通过时, 因信号混杂在一起, 无法区分, 将出现漏检. 另外距传感器较远的车道上通过的大型车辆和距传感器较近的车道上的小型车辆所引起的传感器输出变化相当, 不利于进一步开展车辆分类研究.

本文对采用三轴 AMR 传感器的地磁场探测器在车辆探测中的应用进行了研究. 为了实现多车道车辆探测, 避免各车道之间的相互影响, 选择了车辆从 AMR 传感器的上方通过的方式. 为了获取车辆通过 AMR 传感器上方时地磁场畸变的更加详尽的信息, 采用三轴 AMR 传感器进行车辆探测. 另外, 考虑到车辆行驶方向的影响, 对车辆沿南北向和东西向通过 AMR 传感器上方的情况分别进行了测试. 采用铁磁材质的小车模拟车辆, 对该探测器的特性进行了实验研究. 实验结

收稿日期: 2005-09-26 修回日期: 2006-03-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 60574090)

作者简介: 李希胜(1969-), 男, 副教授, 博士

果表明,该探测器可实现车辆探测.当车辆分别沿南北向、东西向通过 AMR 传感器上方时,传感器输出变化规律不同.

1 AMR 传感器及车辆探测

AMR 传感器是利用铁磁材料坡莫合金的各向异性磁电阻效应制作的,能够测量沿传感器敏感轴方向的磁场的大小.这种传感器具有体积小、功耗低、灵敏度高、可靠性高、温度稳定性好、耐恶劣环境能力强、工作频带宽、易于与后续处理电路匹配以及便于安装等优点^[4-5].

用于弱磁场测量的磁阻传感器的内部结构是一个惠斯通电桥,如图 1 所示.外部磁场强度(矢量)的变化会引起四个桥臂的阻值发生相应的变化,电桥的差动输出也随之发生变化.在一定范围内,电桥的差动输出与外部的磁场强度变化近似成线性关系.

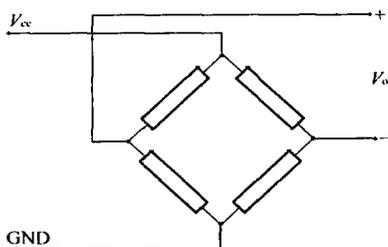


图 1 各向异性磁阻传感器的内部结构
Fig-1 Internal structure of AMR sensor

在一个不太大的范围内,地磁场基本上是均匀的,大约为 $0.5 \times 10^{-4} \sim 0.6 \times 10^{-4}$ T. 大的铁磁物体的磁扰动,如一辆汽车,可看作多个双极性磁铁组成的模型.这些双极性磁铁的综合影响是对地球磁场磁力线的扭曲和畸变.利用磁传感器检测由于车辆干扰所引起的地磁场的变化,就可以实现车辆探测^[1,3].

2 AMR 材料制备及实验装置

本实验所用 AMR 材料的制备是在磁控溅射仪中实现的.首先将单晶硅基片用有机化学溶剂和去离子水超声清洗,然后装入溅射室样品基座上.基片用循环水冷却,平行于基片方向加有 $0.015 \sim 0.025$ T 的磁场.溅射室本底真空 3×10^{-5} Pa,在溅射时氩气(纯度为 99.99%)压力为 0.5 Pa 条件下依次沉积 Ta(6 nm)/Ni₈₁Fe₁₉(30 nm)/Ta(6 nm); 然后通过一般的半导体加工工艺将薄

膜加工成线宽为 30 μm 的磁电阻传感元件.将上述元件进行封装、引线处理,即可得到 AMR 传感器芯片.实验装置由被测车辆、车辆探测器和计算机等几部分组成.

实验用车辆探测器由三轴 AMR 传感器、AMR 传感器置位/复位控制电路、信号调理电路及微处理器等几个部分组成,如图 2 所示.其中,三轴 AMR 传感器采用北京科技大学自行研制的 AMR 传感器芯片.

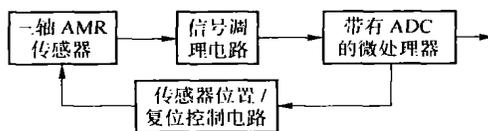


图 2 三轴磁传感器电路框图

Fig-2 Block diagram of 3-axis magnetic sensor circuit

磁阻传感器在使用过程中,其精度、灵敏度会受到外部磁场影响.如果外部磁场强度超出一定范围,会导致磁阻传感器的灵敏度下降.为了解决上述问题,新型的磁阻传感器芯片内部设有专用的电流带,采用置位/复位功能来恢复磁阻传感器性能.AMR 传感器置位/复位控制电路通过产生脉冲电流,使传感器内部磁畴复位,从而恢复传感器灵敏度.另外,采用置位/复位功能还可以解决传感器桥路失调及其漂移.

信号调理电路主要由放大电路和同步积分电路组成.在测量过程中,磁阻传感器输出信号近于直流.若不经变换处理,此类信号的检测必须采用直流放大器.采用直流放大器时,漂移及 1/f 噪声将是影响测量精度的重要因素.在直流背景信号和漂移信号较强的情况下,采用直流放大器无法完成检测任务.在这种情况下,就需要首先通过斩波调制将直流信号变换为交流信号,再进行交流放大和处理,以此来消除直流背景信号和漂移信号的影响^[6-8].针对本文的具体情况,采用合适频率的传感器置位/复位信号将磁阻传感器的输出信号变换为交流信号.后续的信号调理电路则配以交流放大和同步积分电路.通过以上技术措施,保证了信号调理电路具有较强的干扰抑制能力,解决了外来电磁干扰和电路中寄生热电势问题.

微处理器采用了 TI 公司的带有 8 通道 24 位模数转换器的微处理器芯片 MSC1210,并以此为核心组成相关数字信号处理电路.在软件配合下,该部分电路完成对经过信号调理的三轴 AMR 传感器输出信号进行采样、转换、处理、存储,并能

通过 RS232 接口接收来自上位机的命令和向上位机发送数据. 实验中, 采用铁磁材质的小车来模拟被测车辆. 该小车为安装有 4 个车轮的钢板, 钢板尺寸为 $500\text{ mm} \times 340\text{ mm} \times 10\text{ mm}$, 钢板底面距地面高度 125 mm .

3 AMR 传感器的实验测试分析

图 3 所示的是当一个铁磁材质的小车通过三轴 AMR 传感器上方时传感器输出的变化. 放置

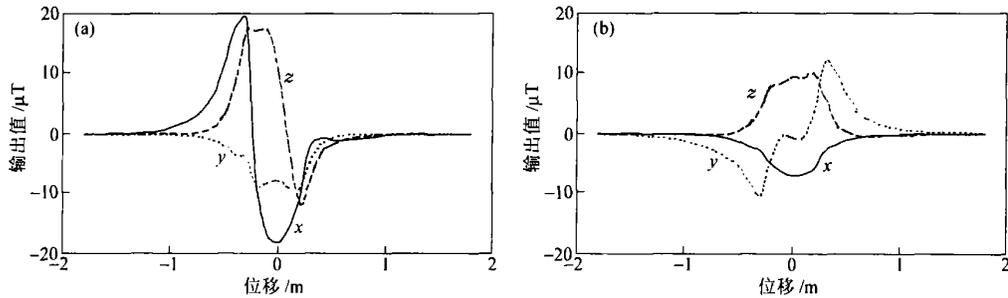


图 3 当铁磁材质小车通过 AMR 传感器上方时传感器输出变化. (a) 南北向; (b) 东西向

Fig. 3 Output changes of AMR sensor while a ferrous dolly moves over the sensor in different directions: (a) south-north; (b) east-west

在图 3(a)中, 规定小车处于传感器南侧时位移 d 为负, 当处于传感器正上方时位移 d 为零, 当处于传感器北侧时位移 d 为正. 从图中可以看出, 当小车沿三维 AMR 传感器的 x 敏感轴方向移动时, 如果小车和 AMR 传感器之间距离较大 ($|d| > 1\text{ m}$), 小车的存在对 AMR 传感器输出影响不大. 小车在上述区域由南往北或由北往南移动时, AMR 传感器的输出均无明显变化. 当小车靠近 AMR 传感器 ($|d| < 1\text{ m}$) 时, 传感器输出变化明显. 当小车由南往北逐渐靠近 AMR 传感器时, 传感器 x 敏感轴输出先是增大, 在位移约为 -0.3 m 处达到最大值, 在无小车干扰时的输出值基础上增加约 $1.9 \times 10^{-5}\text{ T}$; 随后快速减小, 在位移约为 -0.2 m 处减小到无小车干扰时的输出水平后继续减小, 一直减小到在位移约为 0 m 处达到最小值, 在无小车干扰时的输出值的基础上减小约 $1.8 \times 10^{-5}\text{ T}$; 然后增大, 随着小车远离 AMR 传感器, 传感器输出逐步增大在位移约为 0.5 m 处基本恢复到无小车干扰时的水平. 当小车由南往北逐渐靠近 AMR 传感器时, 传感器 y 敏感轴输出逐步减小, 在传感器附近 ($|d| < 0.2\text{ m}$) 时达到相对平稳的低值区域, 在无小车干扰时的输出值基础上减小约 $0.8 \times 10^{-5} \sim 0.9 \times 10^{-5}\text{ T}$; 通过传感器后输出逐步增大并在位移约为 0.5 m 处基本恢复到无小车干扰时的水平. 当

三维 AMR 传感器时 x 敏感轴沿南北方向, y 敏感轴沿东西方向, z 敏感轴沿竖直方向. 其中, 图 3(a)为小车沿 x 敏感轴方向运动时的情况, 图 3(b)为小车沿 y 敏感轴方向运动时的情况. 图中横轴为小车位移, 纵轴为三维 AMR 传感器的相对输出, 即假定在没有小车干扰时输出为零. 从图 3 可以看出, 当钢铁材质的小车靠近三维 AMR 传感器时, 传感器输出均发生较为明显的变化.

小车由南往北逐渐靠近 AMR 传感器时, 传感器 z 敏感轴输出与 x 敏感轴输出变化规律类似. 即首先增大, 在位移处于 $-0.3 \sim -0.1\text{ m}$ 之间时达到最大值, 在无小车干扰时的输出值基础上增加约 $1.7 \times 10^{-5}\text{ T}$; 随后快速减小, 在位移为 0.2 m 处达到最小值, 在无小车干扰时的输出值基础上减小约 $1.2 \times 10^{-5}\text{ T}$; 然后逐渐增大, 在位移约为 0.6 m 处基本恢复到无小车干扰时水平, 随着小车远离 AMR 传感器, 小车的的影响越来越小. 当小车由北往南运动时, 在距传感器相同位置处, 传感器输出与由南往北时相同.

在图 3(b)中, 规定小车处于传感器东侧时位移 d 为负, 当处于传感器正上方时位移 d 为零, 当处于传感器西侧时位移 d 为正. 从图中可以看出, 当小车沿三维 AMR 传感器的 y 敏感轴方向移动时, 如果小车和 AMR 传感器之间距离较大 ($|d| > 1\text{ m}$), 小车的存在对 AMR 传感器输出影响不大. 小车在上述区域由东往西或由西往东移动时, AMR 传感器的输出均无明显变化. 当小车靠近 AMR 传感器时, 传感器输出变化明显. 当小车由东往西逐渐靠近 AMR 传感器时, 在位移 $d < -0.7\text{ m}$ 时, 传感器 x 敏感轴基本保持不变. 此后随着小车靠近传感器, 传感器 x 敏感轴输出逐步减小, 在传感器附近 ($-0.2 \sim 0.2\text{ m}$) 时达到相对平稳的低值区域 (约为 $-0.6 \times 10^{-5}\text{ T}$); 通过传

感器后逐步增大并在位移 $d > 0.6$ m 时恢复到无小车干扰时的输出水平. 当小车由东往西逐渐靠近 AMR 传感器时, 传感器 y 敏感轴输出先是减小, 在位移约为 -0.3 m 处时达到最小值 (约为 -1.0×10^{-5} T); 随后快速增大, 在小车处于 AMR 传感器上方 (位移在 $-0.1 \sim 0.1$ m 间) 时基本恢复到无小车干扰时的输出水平; 在此之后继续增大, 在位移约为 0.3 m 处增大到最大值 (约为 1.2×10^{-5} T); 然后减小, 随着小车远离 AMR 传感器, 在位移 $d > 1$ m 时传感器输出逐步恢复到无小车干扰时的水平. 当小车由东往西逐渐靠近 AMR 传感器时, 传感器 z 敏感轴输出与 x 敏感轴输出变化规律基本相反. 即在此过程中, 传感器 z 敏感轴输出首先增大, 在小车处于 AMR 传感器上方 (位移在 $-0.2 \sim 0.2$ m 间) 时具有较大值 (约为 0.9×10^{-5} T), 然后随着小车远离 AMR 传感器, 在位移 $d > 0.6$ m 时传感器输出逐步减小并恢复到无小车干扰时的水平. 当小车由西往东运动时, 在距传感器相同位置处, 传感器输出与由东往西时相同.

从实验结果可以看出, 当铁磁材质的车辆通过 AMR 传感器上方时, 传感器输出发生明显变化, 但沿着不同的敏感轴方向传感器输出变化的情况不尽相同. 另外, 当车辆分别沿南北向、东西向通过 AMR 传感器上方时, 传感器输出变化规律也不同, 这种现象与文献[5]中车辆从传感器侧面通过时的结果不同. 多次实验表明, 当铁磁材质小车通过传感器上方时均能正确识别.

4 结论

研制了一种基于各向异性磁阻 (AMR) 传感器的车辆探测器原型. 车辆探测器由三维 AMR 传感器及相应的信号处理电路组成. 当车辆驶过探测器时, 三维 AMR 传感器输出将检测到由于车辆的存在所将引起的周围磁场分布的变化, 根据这一变化可判断周围空间内车辆的存在与否. 对该探测器的特性进行的测试结果表明, 当车辆通过探测器上方时输出发生明显变化, 利用该探测器可实现铁磁材质车辆的探测. 当车辆分别沿南北向、东西向通过 AMR 传感器上方时, 传感器输出变化规律不同.

参 考 文 献

- [1] Kang M H, Choi B W, Koh K C, et al. Experimental study of a vehicle detector with an AMR sensor. *Sens Actuators A*, 2005, 118(2): 278
- [2] 谢小军, 张绍阳. 机动车辆磁像识别技术在交通控制中的应用. *现代电子技术*, 2003(3): 86
- [3] Caruso M J, Withanawasam L S. Vehicle detection and compass applications using AMR magnetic sensors. *Sens Expo Proc*, 1999: 477
- [4] Platil A, Kubik J, Vopalensky M, et al. Precise AMR magnetometer for compass. *Proc IEEE Sens*, 2003, 1: 472
- [5] Caruso M J, Bratland T, Smith C H, et al. A new perspective on magnetic sensing. *Sensors (USA)*, 1998, 15(12): 34
- [6] Li X, Wang S. Improvement of boxcar integrator and its application to low resistance measurement of inductive coil. *J Univ Sci Technol Beijing*, 1998, 5(3): 180
- [7] Li X, Nakamura K, Ueha S. Reflectivity and illuminating power compensation for optical fibre vibrometer. *Meas Sci Technol*, 2004, 15(9): 1773
- [8] 金基灿, 王绍纯. 采用单片机的同步外差相敏检波器. *北京科技大学学报*, 1994, 16(5): 469

Application of AMR sensors to vehicle detection

LI Xisheng¹⁾, YU Guanghua²⁾

1) Information Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) Materials Science and Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT A vehicle detector with an anisotropic magnetoresistive (AMR) sensor was developed. The vehicle detector consisted of a three-axis AMR sensor and related signal processing circuit. When a vehicle was moving over the detector, the surrounding magnetic field changed due to vehicle disturbance, and the output of the three-axis AMR sensor changed accordingly. Whether a vehicle was present or not could be judged based on the AMR sensor's output. The detector's characteristic was tested. When the vehicle being detected was moving over the detector along different directions (south-north, east-west), the output changes were different. The results show that this detector can realize the function of vehicle detection.

KEY WORDS AMR sensor; vehicle detection; magnetic resistance; geomagnetic field