

·信号与信息处理·

舰船电磁计程仪传感器的微弱信号检测

王鹏飞¹, 罗君²

(1. 海军某军事代表室, 上海 200129; 2. 中国电子科技集团公司第三十二研究所, 上海 200233)

摘要: 设计了电磁计程仪测速传感器微弱信号的检测电路, 利用频谱分析、互相关运算等方法对信号进行了处理, 与现有传感器信号处理方法相比, 具有精度高、抑制噪声能力强、检测电路体积小、携带方便的优点。为检测传感器工作状态提供了有力的帮助。

关键词: 电磁传感器; 微弱信号; 互相关

中图分类号: TP212.4; TN701

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-02-0059-03

Weak Signal Inspection of Electromagnetic Log Sensor on Ship

WANG Peng-fei¹, LUO Jun²

(1. Military Representative Bureau of Naval, Shanghai 200129, China; 2. China Electronic Technology Group Corporation No.32 Research Institute, Shanghai 200233, China)

Abstract: Inspection circuits of electromagnetic log velocity measurement sensor for weak signals are designed. The signals are processed by spectrum analysis and cross correlation operation method. Comparing with the present methods of sensor signal process, the method has the characteristics of high accuracy, good noise suppression, small inspection circuits and easy to carry. It is helpful to inspect the operation states of sensors.

Key words: electromagnetic sensor; weak signal; cross correlation

计程仪是舰船最基本的导航装备之一, 它测量舰船运动的速度并累计其航程, 传感器作为计程仪的速度敏感器件, 其工作性能决定了计程仪能否正常指示航速航程。电磁传感器的输出感应电势很微弱, 且电极常年与海水接触, 海水的腐蚀加上生物附着生长会对其输出造成影响, 舰船上其他设备产生的电磁干扰等也能影响其输出等, 这些都使得微弱信号淹没在噪声之中。利用现代数字信号处理方法可以有效地抑制噪声, 检测出微弱信号, 从而判断传感器的工作状态。

1 传感器信号的互相关处理

由于信号和噪声是相互独立的过程, 根据互相关函数的定义, 信号与噪声不相关, 利用参考信号与

输入的有用信号具有相关性, 而参考信号与噪声互不相关, 可以达到抑制噪声的目的^[1]。

设 $x(t)$ 是伴有噪声的待测信号, 即

$$x(t) = s(t) + n(t) = A \sin(\omega_c t + \phi) + n(t) \quad (1)$$

其中, $s(t)$ 为有用信号, 其幅度为 A , 角频率为 ω_c , 初相角为 ϕ ; $n(t)$ 为噪声信号。正弦型参考信号为 $y(t) = B \sin \omega_c t$, 则二者的互相关函数为

$$R_{xy} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T B \sin \omega_c(t + \tau) [A \sin(\omega_c t + \phi) + n(t)] dt = \frac{A \cdot B}{2} \cos(\omega_c \tau - \phi) + R_{ny}(\tau) \quad (2)$$

理论上, 若 T 无限长, 则有 $R_{ny}(\tau) = 0$, 因此有

$$R_{xy}(\tau) = \frac{AB}{2} \cos(\omega_c \tau - \phi) \quad (3)$$

式(3)说明, $R_{xy}(\tau)$ 正比于有用信号的幅值, 若取 $\omega_c \tau - \phi = 0$, 即 $y(t)$ 与 $s(t)$ 同相, 则 $R_{xy}(\tau)$ 取最大值。

收稿日期: 2013-03-06

作者简介: 王鹏飞(1971-), 男, 浙江富阳人, 硕士, 主要研究方向为信号处理; 罗君(1981-), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事计算机专业的研究。

2 检测电路设计

2.1 电路结构

为了克服极化效应,传感器都采用交流激磁^[2],若输入 $i_m \sin(\omega t + \varphi)$,则传感器在信号电极间将产生一个交变磁场,可表示为 $B_m \sin(\omega t + \varphi)$,设两电极间距离为 L ,且两电极连线安装与舰艇艏艉线相垂直,则感应电势 $e(t) = B_m L v (\sin \omega t + \varphi)$,由于噪声的影响, $e(t) = B_m L v (\sin \omega t + \varphi) + n(t)$ 。激磁电流幅值和频率均会有微小变动,输出也会随之线性变化,由于采用相关处理的方法,这些不会影响输出结果^[3]。

将输入电流 $i(t)$ 作为检测仪的参考输入信号,参考信号通道包含 $0 \sim 180^\circ$ 移相器^[4]。 $e(t)$ 作为输入信号。图1为检测系统框图, $e(t)$ 经过前置放大滤波,与参考信号 $i(t)$ 同时经过 A/D 转换,数据送入 DSP 中先进行频谱分析,由滤波器滤除无用频段,再将参考信号与输入信号进行互相关运算,由于信号频率、相

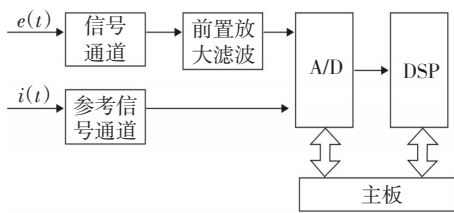


图1 检测系统框图

位与参考信号频率、相位均一致,得到的互相关输出噪声很低,互相关函数保留了输入信号的振幅等信息,由此可以检测出微弱的电压信号,后续处理及控制由主板来完成^[5]。

2.2 前置放大滤波电路

传感器输出阻抗较高,且其值随环境条件而变化,因此前置放大电路采用了高输入阻抗的高精度仪表放大器 AD524^[6]。其输入阻抗高达 $10^9 \Omega$,低噪声,线性度较好,低失调电压,低漂移且具有高共模抑制比^[7]。为了方便改变放大倍数,在 AD524 输出端串联一块可编程增益放大器 AD526,可通过主板编程进行增益的控制^[8]。

滤波器采用 max267 构成的 4 阶契比雪夫带通滤波器来实现。max267 是一种应用非常广泛的 4 阶开关电容滤波器,中心频率与 Q 值均可通过芯片引脚方便地选择。芯片有外部时钟的输入引脚,可精确地设定滤波器的中心频率与时钟频率的比值。其中心频率范围 $0.4 \text{ Hz} \sim 40 \text{ kHz}$,时钟频率范围 $40 \text{ Hz} \sim 4 \text{ MHz}$ 。max267 内部有 2 个二阶滤波器,每个滤波器均由开关电容网络组成,性能相同,参数也相同,可以级联成 4 阶、6 阶或 8 阶等更高级的滤波器使用。由于激励源采用 50 Hz 交流电,故滤波器中心频率 f_0 取 50 Hz ,带宽 $BW = f_2 - f_1 = 80 - 31.25 = 48.75 \text{ Hz}$ 。电路原理图如图 2 所示。

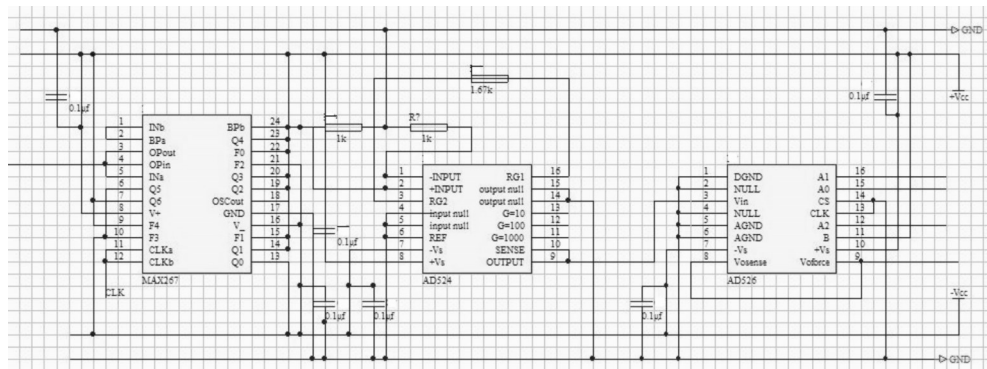


图2 电路原理图

3 仿真分析

根据检测原理设计仿真。由于传感器激磁信号频率为 50 Hz ,输出信号也为 50 Hz ,输出感应电势大小约 $350 \mu\text{V}$,放大倍数为 200 倍。模拟仿真输入信号为

$x(t) = 0.1 \sin(100\pi t + \varphi_0) + 0.1 \sin(100\pi t + \varphi_0 + 90) + n(t)$ V ^[9],其中第二项为传感器的 90° 干扰, $n(t)$ 为模拟的高斯噪声,均值为 0 V ,方差为 1。设参考信号为 $y(t) = 2 \sin(100\pi t + \varphi) \text{ V}$ 。设置采样频率为 1000 Hz ,采样点数为 N ,对输入信号和参考信号进行采样,按

照算法进行FFT运算,经过滤波处理后做互相关运算。调节 φ 的值,当 $\varphi=\varphi_0$ 时互相关函数取最大值,这样就得到了输入信号幅值和相位的信息。图3是模拟的含噪声波形。可以看出,信号完全被噪声淹没。图4为仿真结果。从图4可以看出,当增大采样

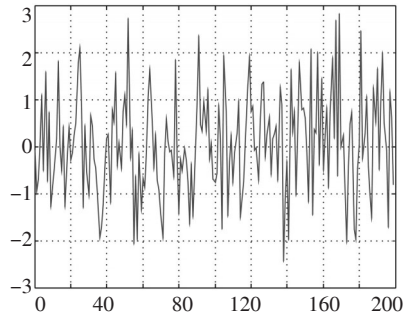
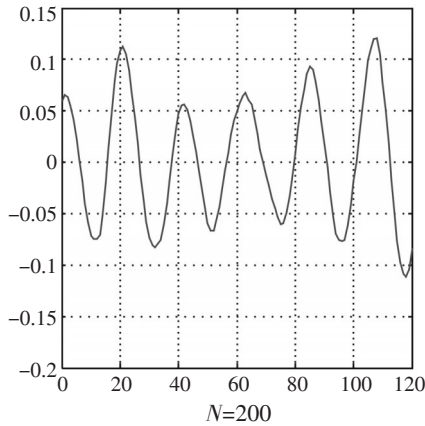
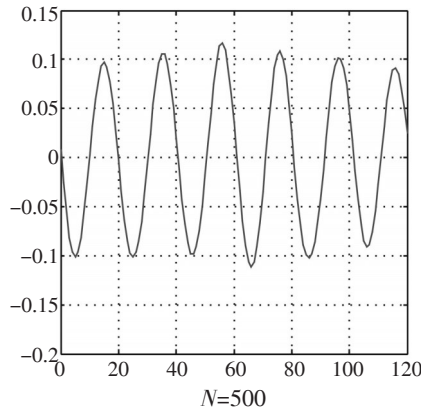


图3 含噪声信号波形



$N=200$



$N=500$

图4 仿真结果

点数时,得到的曲线更加光滑,互相关结果也更接近真值。由于参考信号与输入信号同频同相,所以不仅噪声受到抑制,且传感器的 90° 干扰信号也受到了抑制。

4 结 语

设计了电磁传感器的检测电路,并通过仿真分析提取出了微弱信号的幅值信息。由仿真分析可以看出,即使经过互相关处理,输出波形仍然包含噪声,其幅值信息含有少量噪声信息,故仍需进一步处理,得到更高精度的输入信号信息,例如可以使用小波分析、混沌理论对信号进行预处理。

科技的迅速发展,各种学科相互交叉,提供了很多判断传感器工作状态的方法,例如利用导体在海水中的电化学性质对传感器进行检测,对电磁传感器动态特性进行建模等,这些都将是以后研究的要点。

参考文献

- [1] 聂春燕,石要武.基于互相关检测和混沌理论的微弱信号检测方法研究[J].仪器仪表学报,2001,22(1).
- [2] 徐科军.传感器动态特性的实用研究方法[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1999:28-62.
- [3] 戴逸松.微弱信号检测方法及仪器[M].北京:国防工业出版社,1994.
- [4] 张三慧.大学物理学(第三册)电磁学[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [5] 曾庆勇.微弱信号检测[M].杭州:浙江大学出版社,1994.
- [6] 刘红丽,李昌禧.一种测量微弱信号的锁定放大电路设计[J].武汉理工大学学报,2002,26(5):619-621.
- [7] 韩磊,宋诗哲.基于虚拟仪器的便携式腐蚀电化学测试装置[J].仪器仪表学报,2008,29(5).
- [8] 陈佳圭.微弱信号检测[M].北京:中央广播电视大学出版社,1987.
- [9] 张华,次英,谢值.传感器动态建模的一种辨识法[J].传感器技术,2004,23(2).