

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2017.03.009

基于 FFT 照明线路探测的研究及 STM32 实现

张喜红, 王玉香

(亳州职业技术学院 电子与电气工程系, 安徽 亳州 236800)

摘要: 为了实现对不同负载类型照明暗线的探测, 减少盲目施工的触电隐患, 设计了一款照明线路探测仪。该探测仪基于电磁感应原理, 以巨磁电阻为基本探测元件, 设计合理地放大、滤波电路采集拾取信号, 以 STM32 为运算处理单元, 对采集的信号执行 FFT 变换, 并通过频谱分析实现不同负载类型照明暗线区分。经多次整体实验测试, 所得结果均证实所设计的照明线路探测仪能在 3~4 cm 的间距内准确地实现有无通电线路及线路负载为白炽灯还是节能灯的区别。

关键词: FFT 变换; 巨磁电阻; 照明线路

中图分类号: TM938.8

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2017)03-0053-05

A Research on Light Circuit Detectors Based on FFT and STM32

ZHANG Xihong, WANG Yuxiang

(Department of Electrical and Electronic Engineering, Bozhou Vocational and Technical College,
Bozhou Anhui 236800, China)

Abstract: A lighting circuit detector has been designed, with an aim to detect different load types of lighting wiring, and reduce the potential risk of electric shock accidents from random construction. The detector, based on the principle of electromagnetic induction, incorporates the giant magneto-resistance as the basic detection device, and improves the circuit of amplifier and filter to realize the collection of the signal. With STM32 its processing units, the detector has undergone an FFT transformation for the collection of signals, followed by a spectrum analysis to realize lighting wiring between different load types. After repeated experiments, the obtained results show that the designed circuit can make a distinction between the efficient light-bulbs and the filament lamps within the scope of 3~4 cm and identify the presence or absence of the circuit load.

Keywords: FFT transformation; giant magneto-resistance; lighting circuit

0 引言

房屋室内装修时, 为了提高美观度, 通常采用暗线布设照明线缆。当装修后的房屋需进行其它电气设备安装施工时, 如安装空调需对墙体进行打孔时, 若盲目施工有可能对原有照明线缆造成破坏, 甚至发生

触电危险。所以打孔时首先要确定打孔位置的墙体内是否存在照明电缆, 以便做到精准施工。然而, 当前市场上用于照明暗线非接触式定位的设备少之又少, 且价格昂贵, 便携性较差。

基于上述背景, 2013 年全国大学生电子设计竞

收稿日期: 2016-12-20

基金项目: 安徽省教育厅教学研究基金资助重点项目 (2015jyxm535), 亳州职业技术学院教学研究基金资助项目 (2015bzjyxm01)

作者简介: 张喜红 (1983-), 男, 山西朔州人, 亳州职业技术学院讲师, 硕士, 山东大学访问学者, 主要研究方向为生物医学工程, E-mail: zhangxihong1983@163.com

赛以此类设备的设计制作作为命题之一，期望借助高校电类专业大学生的创新创造能力来弥补当前市场上此类设备空缺的现状。在该题目中，不仅要求参赛者的设计能有效识别照明线路，还要求能区分白炽灯线路与节能灯线路。基于此，本文拟以 STM32 为主运算处理单元，以巨磁电阻为敏感元件，采用快速傅里叶变换（fast Fourier transform, FFT）信号频谱分析方法，设计一款照明线路探测仪，并对所设计的探测仪进行整体测试，以验证设计的合理性。以期为实现照明暗线的有效探测，减少盲目施工的触电隐患提供一定的理论参考。

1 关键电路设计

1.1 系统整体结构简介

所设计的照明线路探测仪主要由感应探头、信号预处理电路、STM32F103ZET6 微控器、LCD 液晶显示器、按键、蜂鸣器等电路组成，其总体系统结构如图 1 所示。

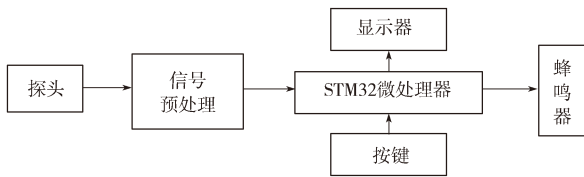


图 1 照明线路探测仪系统框图

Fig. 1 Block diagram of the detector system

照明线路探测仪中的感应探头采用巨磁电阻实现。在扫线探测时，感应探头贴墙扫动，当墙内存在通电线路时，探头先将线路产生的微弱磁场信号转化为电压信号；接着，信号预处理单元电路对其进行放大、滤波处理；最后，送入 STM32 微处理器内嵌的 A/D 转换通道进行数据采集。STM32 将采集的信号通过频谱分析，实现通电照明线路的有无判别以及负载为节能灯还是白炽灯的区别，并将负载类型显示在显示器上，同时驱动蜂鸣器报警提示。

1.2 探头电路

照明线路探测仪的探头选用型号为 AA002 的巨磁电阻，其内部电路原理如图 2 所示。

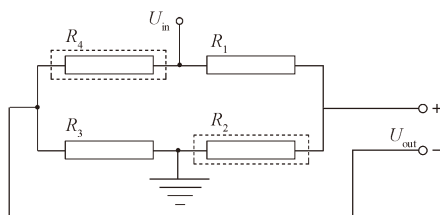


图 2 AA002 巨磁电阻原理图

Fig. 2 Schematic diagram of AA002

由图 2 可知，探头的内部由 $R_1 \sim R_4$ 4 个相同的电

阻构成全桥电路。其中 R_2 和 R_4 在结构上采用了磁屏蔽措施，阻值不受测试环境磁场变化的影响，阻值恒为 R_0 ； R_1 和 R_3 的阻值将随外界磁场强度的变化而变化。依据物理学电磁理论可知，无限长直导线周围的磁场强度为 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ ，其中 I 为导线电流， d 为场点到导线的距离^[1]。

由上述分析可知，照明线路接负载时，其周围会产生磁场变化，而巨磁电阻电桥中的磁敏电阻 R_1 和 R_3 因没有磁屏而将会产生阻值变化，进而引起电桥失衡，输出电压信号。当扫线距离 d 确定时，巨磁电阻电桥的输出与导线电流相关，而导线中的电流又与负载相关，因此，分析电桥输出的电压信号便可实现线路的识别。

1.3 信号预处理电路

在扫线工作过程中，需将照明线路的磁信号通过 AA002 电桥转化为差动电压信号，该信号为弱信号，幅度仅为几毫伏，且包含有周边环境磁场的干扰信号。因此，在进行 A/D 采样前，需先进行信号放大与滤波预处理。在简化硬件电路设计工作的同时，为了提高前端放大模块的抗干扰能力，本设计选用集成精密仪表放大芯片 AD620^[2] 与集成运放 LM324，搭建如图 3 所示信号预处理电路。

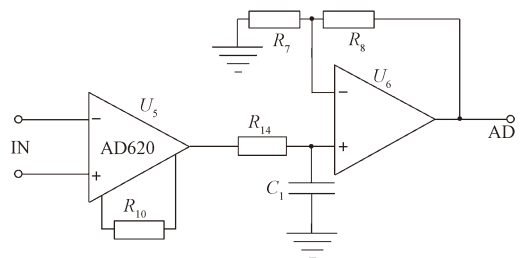


图 3 信号预处理电路原理图

Fig. 3 Schematic diagram of the signal processing circuit

图 3 所示信号预处理电路中，选用集成精密仪表放大芯片 AD620 作为前端放大模块，其放大增益调节十分方便，只需改变 R_{10} 的大小便可实现，放大增益为 $G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_{10}} + 1$ ，经实验调试，前端放大增益设置为 50 倍左右。由 R_7 、 R_8 、 R_{14} 、 C_1 、 U_6 构成低通滤波器，对 150 Hz 以上的信号进行滤除，并且再次将信号放大 80 倍左右后，送入 STM32 内置的 A/D 采样端口。

2 软件系统设计

2.1 FFT 理论分析

根据设计要求可知，照明线路探测仪不仅要能识

别有无通电路, 还要求能区分出是白炽灯线路还是节能灯线路。从时域角度分析信号幅值仅能实现有无通电路的区分, 而对于区分线路接入的是白炽灯还是节能灯很难实现。

依据文献 [3] 可以得知, 白炽灯为纯阻性负载, 接入线路时不会引起线路电流频谱特性发生变化; 而节能灯是感性、容性负载的综合体, 接入照明线路时将会引起线路电流信号频谱特性发生变化。因此, 可通过信号频域分析的方法实现白炽灯与节能灯照明线路的区分。傅里叶变换是信号频域分析的经典方法, 综合考虑设备的便携性与处理器的运算能力, 最终决定选用 FFT 变换对信号做频谱分析。FFT 是傅里叶变换的一种快速算法^[4-7], 便于在运算能力相对有限的嵌入式系统中实现, 其数学表达如式 (1) 所示:

$$U(t) = a_0 + \sum_{n=1}^N (a_n \cos \omega t + b_n \sin \omega t) \quad (1)$$

式中: a_0 为信号的直流分量, 表示一个周期内的平均值;

a_n 、 b_n 分别为 FFT 变换后所得频域复数的实部与虚部。

假设采样频率为 f_s , 采样点数为 N , 采样到的时域离散数据集为 $\{f_k\}$ ($k=0, 1, \dots, N$); 则经 FFT 变换后, 可得频域序列 $\{f_n\}$ ($n=0, 1, \dots, N$), 其为 N 个复数; 每一点对应的频率为 $f_n = (n-1)f_s/N$, 频率分辨率为 f_s/N ; 各频点对应的幅度为 $A_n = 2\sqrt{a_n^2 + b_n^2}/N$ 。

因市电的基础频率为 50 Hz, 节能灯线路的信号频率主要分布在 50~150 Hz 之间^[8], 依据采样定理, 兼顾 STM32 处理器的运算能力, 拟定采样点数取 256 点, 采样频率取 512 Hz。

2.2 算法的仿真分析

选用前面设计的信号采集装置, 以厚度为 3 cm, 质地为木质的挡板模拟墙面, 并在木板的一面布设照明电线。设计的照明线路探测仪采集装置紧贴木板的另一面, 位于线路的正上方, 设置信号预处理电路的前端放大增益为 50 倍左右, 后端滤波放大增益为 80 倍左右, 以 512 Hz 的采样频率, 采样点数为 256 点, 分别对 60 W 白炽灯、15 W 节能灯单独存在与两者混合存在时的情况进行数据采集, 并将采样数据通过串口上传到 PC 机分别保存。

将以上 3 种情况下采集到的实验数据, 借助于 Matlab 2010 软件的 FFT 工具箱, 进行 FFT 变换并且进行信号频谱分析, 所得到的对应幅频特征曲线图分别如图 4~6 所示。

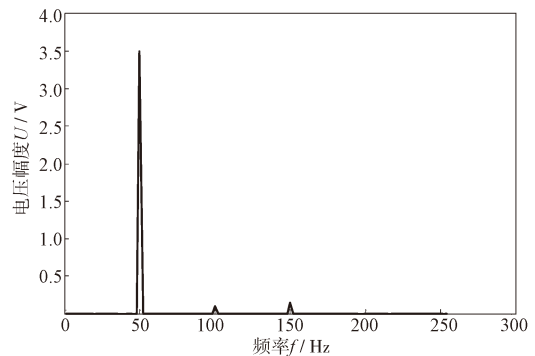


图 4 仅有白炽灯频谱分析

Fig. 4 Frequency spectrum of incandescent lamps

由图 4 所示幅频特征曲线可以得知, 白炽灯在 50 Hz 频点处幅度值最大, 而其它频点的幅度极其微弱, 经过多次实验测试得知, 50 Hz 频点处的幅度值均分布在 2.88~3.50 V; 而其它频点的幅度值均小于 0.5 V, 多次实验测试均得到这一结果, 且该结果与白炽灯为纯阻性负载特性相对应。

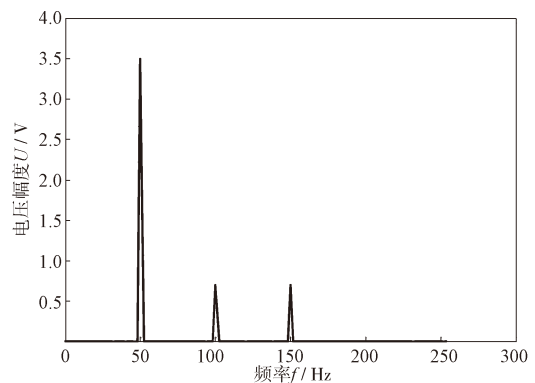


图 5 仅有节能灯频谱分析

Fig. 5 Frequency spectrum of energy-saving lights

由图 5 所示幅频特征曲线可以得知, 节能灯的频点能量主要分布在 50, 100, 150 Hz 处, 且经过多次实验测试得知, 其 50 Hz 的幅度值分布在 2.88~3.50 V, 100, 150 Hz 的幅度值均大于 0.63 V, 多次实验测试均得到这一结果。

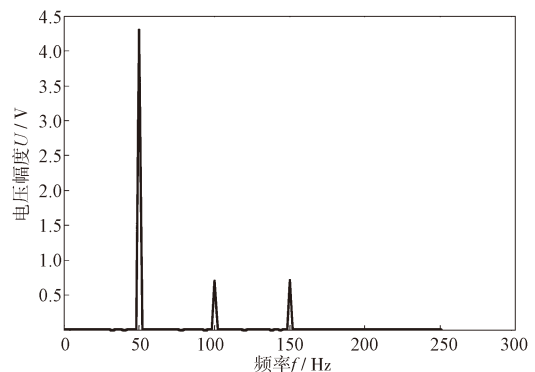


图 6 节能灯与白炽灯共存频谱分析

Fig. 6 Frequency spectrum of mixed signals

由图6所示幅频特征曲线可以得知,当白炽灯、节能灯混合存在时,50 Hz频点的幅度值大于3.5 V,且100, 150 Hz频点对应的幅度值均大于0.6 V,多次实验测试均得到这一结果。

依据以上仿真实验分析结果,设计如下所述照明线路探测仪的线路识别方法:

1) 若50 Hz频点的幅度值大于2.88 V,且100, 150 Hz频点对应的幅度值均小于0.5 V,则认为仅有白炽灯照明线路存在;

2) 若50 Hz频点的幅度值大于2.88 V,且100, 150 Hz频点对应的幅度值均大于0.6 V时,则认为仅有节能灯照明线路存在;

3) 若50 Hz频点的幅度值大于3.5 V,且100, 150 Hz频点对应的幅度值均大于0.6 V时,认为白炽灯照明线路与节能灯照明线路共同存在。

2.3 算法的STM32实现

所设计照明线路探测仪系统的大致工作流程是采样→滤波→FFT变换→求解50, 100, 150 Hz 3个频点的幅值→与设定的阈值比对→得出线路识别结果。考虑到STM32F103ZET6的运算能力及系统的实时性要求,A/D采样设定为DMA数据存取方式,因而在DMA数据存取过程中,CPU可进行其它数据处理运算。在数据采样时,为了进一步抑制噪声信号的影响,加入了数字滤波算法。考虑到所采集的信号为慢变周期信号,且易受外界的随机干扰而导致采样失真,并鉴于中值滤波算法运算简单、运算量较小,且对随机干扰有较好的抑制能力,因此,选用中值滤波算法作为本线路探测仪系统的滤波算法^[9-12]。

为了简化FFT算法移植过程中的编程工作,本研究采用STM32官方DSP(digital signal processing)库进行算法移植。查看使用文档可以得知,当主频为72 MHz时,64点FFT变换的时间约为0.078 ms,1 024点FFT变换仅需2.138 ms,由此可见,变换时间能满足系统的设计要求。由2.1节可以得知,照明线路探测仪的系统为256点的FFT变换,因此分析时只需将官方库中stm32_dsp.h、table_fft.h以及cr4_fft_256_stm32.s 3个文件添加到工程的源文件中。进行FFT变换时只需调用库函数cr4_fft_256_stm32(FFTOUT, DATEIN, T)便可实现,其中DATEIN为输入数据的数组指针,T为变换数据的点数,FFTOUT为输出数据的数组指针,该数组中每个元素的数据格式为:高16位存储虚部,低16位存储实部。变换结果数据FFTOUT^[1]、FFTOUT^[2]、FFTOUT^[3]分别与50, 100, 150 Hz 3个频点对应,将每位数据的高16、低16位拆分为每个频点对应复数的虚部与实部,按

2.1节中的幅度求解方法计算出50, 100, 150 Hz 3个频点的幅度值,并与2.2节中所设定的阈值进行比对,最终得出线路类型。

3 整体测试结果分析

按照上述方法将系统进行软件、硬件整合后,以厚度为3 cm,质地为木质的挡板模拟墙面,在木板的一面布设照明电线,巨磁电阻扫线探头起初紧贴木板的另一面,线缆位于探头中心的正下方,且以1 cm为基本步长,逐步加大探头与线缆的中心之间的距离。分别对仅有60 W白炽灯、仅有15 W节能灯单独存在及两者混合存在时的情况下,进行扫线测试实验,所得测试结果如表1所示。

表1 照明线路测试结果

Table1 Test results of the lighting circuit

d_1 / cm	扫描 次数	测到 次数	d_2 / cm	扫描 次数	测到 次数	d_3 / cm	扫描 次数	测到 次数
3	10	10	3	10	10	3	10	10
4	10	10	4	10	5	4	10	10
5	10	3	5	10	0	5	10	8
6	10	0	6	10	0	6	10	0

注:为简化表格,以 d_1 代表60 W线路中心距离; d_2 代表15 W线路中心距离; d_3 代表混合线路中心距离。

分析表1中的数据可知,仅有60 W白炽灯线路存在时,在3~4 cm的间距内,照明线路探测仪的识别正确率为100%。仅有15 W节能灯线路存在时,要想达到识别正确率为100%,距离需控制在3 cm以内。二者混合存在时,在3~4 cm的间距内,识别正确率也为100%;且在5 cm间距时,识别正确率仍可高达80%。测试实验证实局部范围中所存在的线路,所接负载的功率越大越容易识别。总之,本文基于FFT频谱分析所设计的照明线路探测仪能在3~4 cm的间距内准确地实现有无通电线路及线路负载为白炽灯还是节能灯的区分,为照明线路探测仪的设计提供了参考方案。

4 结论

为了实现照明暗线的探测,减少盲目施工的触电隐患。以巨磁电阻为基本探测元件,基于FFT变换,借助Matlab软件对照明线路产生的磁场信号进行了频域分析,仿真结果显示,节能灯与白炽灯线路的信号频谱存在明显的差异,依据这一差异,通过对50, 100, 150 Hz 3个频点的幅值设置合理的区分阈值区间,可实现节能灯与白炽灯通电线路的识别区分。最后,将其移植到STM32 STM32F103ZET6中进行整体测试,多次实验结果均证实本文所设计的照明线

路探测仪能在 3~4 cm 的间距内准确地实现有无通电线路及线路负载为白炽灯还是节能灯的区别, 为照明线路探测仪的设计提供了参考方案。

后续研究需从传感器探头的灵敏度以及识别距离方面进行改进。

参考文献:

- [1] 权晓红. 基于巨磁电阻的照明线路探测装置 [J]. 自动化与仪器仪表, 2014(2): 66-67, 69.
QUAN Xiaohong. The Detection Device of GMR Based on Lighting Circuit[J]. Automation & Instrumentation, 2014(2): 66-67, 69.
- [2] 杨建强, 廖丹. 高精度差动放大器 AD620 构成的四频差动激光陀螺数字稳频系统 [J]. 电光与控制, 2009, 16(7): 62-64.
YANG Jianqiang, LIAO Dan. A Digital Frequency Stabilizing System Consisting of High Precision Differential Amplifier AD620 for Four Frequency Differential Laser Gyro[J]. Electronics Optics & Control, 2009, 16(7): 62-64.
- [3] 吕德深, 梁承权. 基于双单片机的简易照明线路探测仪 [J]. 电子世界, 2016, 28(7): 127-129.
LÜ Deshen, LIANG Chengquan. Design of Lighting Line Detector Based on Double MCU[J]. Electronics World, 2016, 28(7): 127-129.
- [4] 房国志, 杨超, 赵洪. 基于 FFT 和小波包变换的电力系统谐波检测方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 75-79.
FANG Guozhi, YANG Chao, ZHAO Hong. Detection of Harmonic in Power System Based on FFT and Wavelet Packet[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(5): 75-79.
- [5] 牟龙华, 邢锦磊. 基于傅里叶变换的精确频率测量算法 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(23): 67-70, 94.
MU Longhua, XING Jinlei. An Accurate Frequency Measuring Algorithm for Power Systems Based on Fourier Transform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(23): 67-70, 94.
- [6] 张同尊, 邵俊松, 方勇杰. 一种基于离散傅里叶变换的频率测量算法 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(22): 70-72.
ZHANG Tongzun, SHAO Junsong, FANG Yongjie. An Algorithm for Frequency Measurement Based on DFT[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(22): 70-72.
- [7] 江亚群, 何怡刚. 基于自适应短时傅立叶变换的电频率跟踪测量算法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2006, 20(2): 10-15.
JIANG Yaqun, HE Yigang. New Digital Algorithm for Measuring Electric Frequency Based on Adaptive Short-Time Fourier Transform[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2006, 20(2): 10-15.
- [8] 张明洋. 基于 DSP 的照明线路探测仪设计 [J]. 长春大学学报, 2015, 25(10): 21-26.
ZHANG Mingyang. Design of Lighting Circuit Detector Based on DSP[J]. Journal of Changchun University, 2015, 25(10): 21-26.
- [9] 王晓凯, 李锋. 改进的自适应中值滤波 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(3): 175-176.
WANG Xiaokai, LI Feng. Improved Adaptive Median Filtering[J]. Computer Engineering Application, 2010, 46(3): 175-176.
- [10] LEE Y H, KASSAM S A. Generalized Median Filtering and Related Nonlinear Filtering Techniques[J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, 1985, 33(3): 672-683
- [11] LIN H, WILLSON A N J. Median Filter with Adaptive Length[J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems, 1988, 35(6): 675-690.
- [12] HWANG H, HADDAD R A. Adaptive Median Filters: New Algorithms and Results[J]. IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society, 1995, 4(4): 499-502.

(责任编辑: 廖友媛)