

基于 ARM 微控制器的旋转电极电刺激仪

唐成方

(深圳市艾尔曼医疗电子仪器有限公司, 广东 深圳 518055)

摘要: 神经肌肉电刺激仪基于传统中医学针灸原理, 是中医学经络理论与现代电子技术相结合的产物。电刺激仪产生的电刺激信号功效类似中医的针灸按摩手法, 作用于患者表面神经肌肉, 可促进患者康复。基于 ARM 微控制器设计一种电刺激仪, 采用旋转电极, 利用光电 MOS 固态继电器驱动电极实现旋转功能。经实验验证, 旋转电极电刺激仪相对于固定电极电刺激仪, 治疗效果更佳。

关键词: 电极; ARM 微控制器; 光电 MOS 固态继电器; 电刺激

中图分类号: TP368.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2021)03-0009-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2021.03.009

0 引言

随着科学技术的不断进步, 电子医疗仪器在人们日常医疗保健中应用越来越普及。神经肌肉电刺激仪因能提高神经肌肉疼痛疗效而得到广泛应用^[1]。神经肌肉电刺激仪一般采用固定电极, 存在如下问题: 固定电极通过中心位置的导电扣与主机相连, 因电极具有一定电阻, 电极面积稍大时, 周边治疗强度明显弱于中心点。本文设计一种基于 ARM 微控制器的旋转电极电刺激仪(以下简称电刺激仪), 将主机输出分别切换至 6 个圆形分布的小电极上, 以减少电流在电极上的损耗, 使电极与患者电性均匀接触, 提高治疗效果。

1 电刺激仪硬件设计

电刺激仪硬件原理框图如图 1 所示, 主要包括降压转换电路、调压电路、ARM 微控制器 M058LDN、信号调制电路、开关电源、LCD 触摸屏、电极 A 和电极 B 等, 其中前 4 个部分构成电刺激仪主控板。

1.1 开关电源

开关电源为电刺激仪直流供电, 其设计从安全性、可靠性和满足 EMC 认证等方面考虑。开关电源输入电压为交流 220 V, 输出电压为直流 12 V; 12 V 直流电压通过降压转换电路转换为 5 V 和 6V 给相关电路

供电。同时 12 V 直流电压为调压电路提供电压输入。

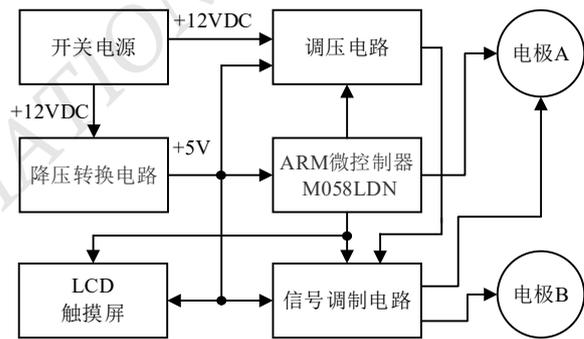


图 1 电刺激仪硬件原理框图

1.2 调压电路

调压电路产生变压器初级所需的调制信号即调幅电压 VDC^[2], 该电压经变压器放大后得到电刺激仪所需的波形幅度。调压电路主芯片 EUP3453 是一款采用电流模式脉宽调制架构的降压型 DC-DC 变换器, 可提供高达 3 A 的负载电流, 在 4.75 V~40 V 宽输入电压范围内稳定工作, 通过外部分压电阻调节实现 0.92 V~15 V 的输出电压, 具有较好的线性调整率和负载调整率^[3]。调压电路原理图如图 2 所示。

PWM 信号来自 M058LDN, 频率为 100 kHz。EUP3453 输入电压为直流 12 V, 通过调节 PWM 的占空比, 可得到不同的输出电压 VDC, 供给变压器的初级输入端。VDC 经变压器放大后可得到最大幅度

为 90 V 的电极输出信号。

管脚 FB 的反馈阈值电压为 0.92 V，根据基尔霍夫电流定律^[4]，可得

$$(VDC-0.92)/R_1 = 0.92/R_2 + (0.92-V_{op})/R_3$$

取 $R_1 = 62 \text{ k}\Omega$ ， $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ， $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$

$$VDC = (0.92/10 + (0.92-V_{op})/15) \times 62 + 0.92$$

V_{op} 变化范围为 0 V ~2.5 V，故 VDC 变化范围为 0.09 V (≈ 0) ~10.43 V。

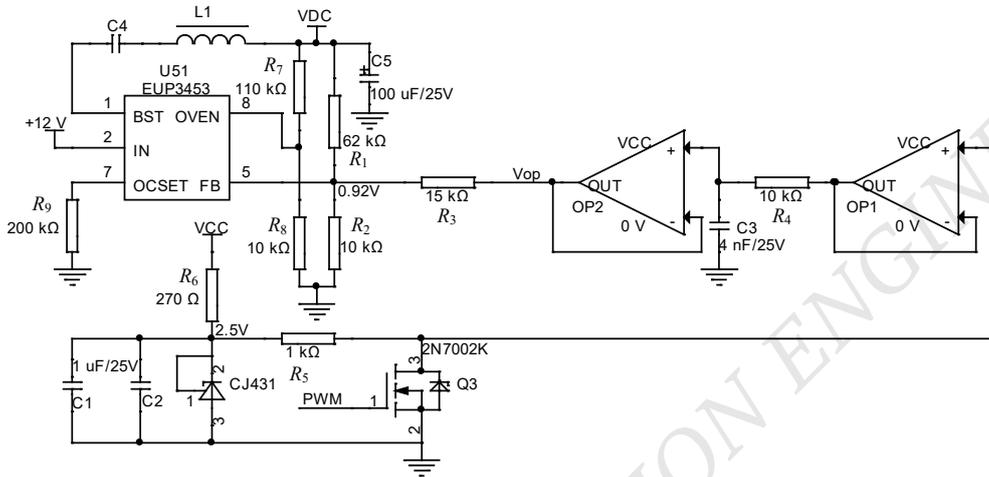


图 2 调压电路原理图

1.3 降压转换电路

降压转换电路主要由 EUP3453 和 5 V 电压输出稳压器 LN6214P502PR 构成，可将 12 VDC 转换为 5 VDC 和 6VDC。其中 5 VDC 用于整个系统逻辑控制电路的供电；6 VDC 用于信号调制电路 PNP 三极管的发射极供电。

1.4 ARM 微控制器

电刺激仪的 ARM 微控制器采用 M058LDN 和 MINI54FDE，它们均是以 ARM Cortex -M0 为内核的 32 位微控制器，MINI54FDE 在资源配置方面稍弱于 M058LDN^[5,6-7]。M058LDN 用于主控板，实现系统主体功能控制；MINI54FDE 用于旋转电极 A，控制电极的旋转切换。

1.5 信号调制电路

调压电路的输出电压 VDC 用于调制信号，其电压幅度变化较缓慢，最大频率为 100 Hz。载波信号由微控制器 M058LDN 产生，是一对互补的 PWM 方波信号即 PWMA 和 PWMB，频率为 80 kHz。调制信号对

载波信号进行调制，将这 2 种信号分别加载至信号调制电路可得到想要的波形^[2]。信号调制电路由推挽控制电路和变压器组成，如图 3 所示。其中推挽控制电路和变压器初级对信号进行调制，变压器对调制后的波形进行放大。

1.6 LCD 触摸屏

LCD 触摸屏是电刺激仪的人机接口，可输入工作时间、模式、波形强度、波形频率等参数。由于波形强度和波形频率的档位较多，为使用户有较好的体验感，参数设置采用滑动方式。

1.7 电极 A 和电极 B

电极 A 是旋转电极，治疗时放在治疗区域。它利用微控制器 MINI54FDE 控制 6 个较小电极依次轮流工作，6 个电极在物理位置上按顺时针排成圆形。电极轮流切换工作时像在顺时针旋转，使人体感觉类似机器手或人手在按摩。这种用电子驱动代替传统机械的方式，可避免机械马达长期工作而出现故障，更加安全可靠。旋转电极电路如图 4 所示。

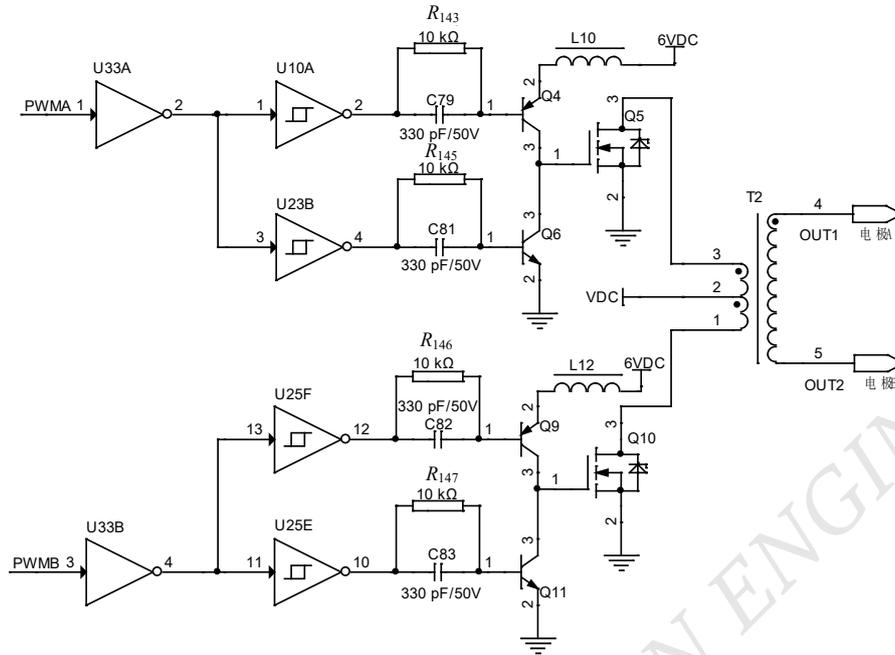


图 3 信号调制电路原理图

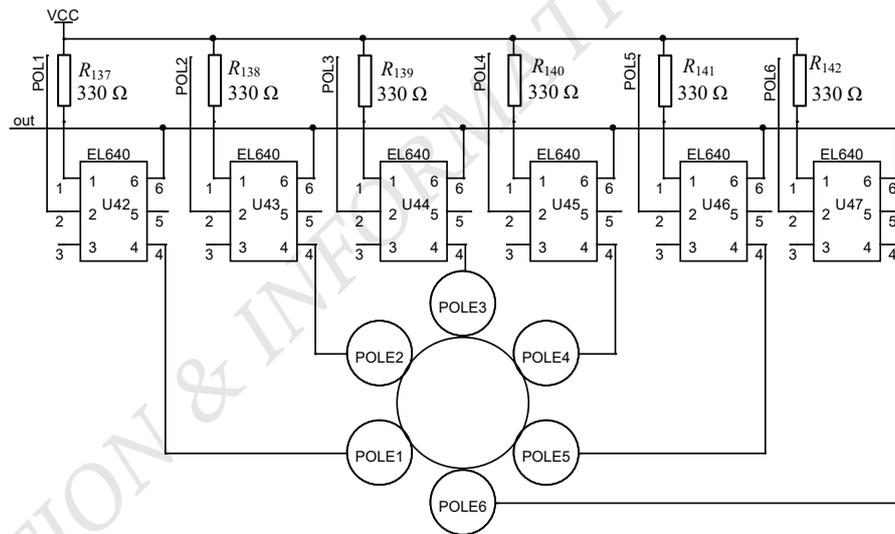


图 4 旋转电极电路原理图

电刺激仪利用光电 MOS 固态继电器 EL640 切换电极，可克服普通器件带来的转换干扰。EL640 输入侧（发光侧）含有 AlGaAs 红外光 LED，输出侧包括 1 个光电二极管阵列和 2 个串接的高压 MOS 管。输入侧红外光 LED 导通后，其光耦合到输出侧光电二极管阵列，使输出侧高压 MOS 管导通。

电极 A 由在物理位置上围成一个圆的 6 个小电极组成，电极信号 out 来自主控板上的变压器输出端

子 4，即图 3 中的 OUT1，控制 6 个小电极的信号（POL1~ POL6）来自 MINI54FDE。MINI54FDE 受控于主控板上的 M058LDN，后者发出相应的启动命令和时序同步信号，使电极 A 上的 6 个小电极停止或依次按顺时针轮流工作。电极控制信号 POL1~POL6 中的某个信号为低电平时，对应的 EL640 输出侧 MOS 管导通，POLE1~ POLE6 中相对应的电极会接收来自 OUT1 的变压器输出信号。

电极 B 作为参考端，治疗时贴在治疗区域以外的地方。其由单个较大的普通导电自粘电极片组成，并和主控板上的变压器输出端子 5，即图 3 中的 OUT2 直接相连。

2 电刺激仪软件设计

电刺激仪软件主要由主控板 M058LDN 主程序、定时器 1 中断服务程序、电极 A 控制程序组成，软件流程框图分别如图 5(a)、图 5(b)、图 5(c)所示。

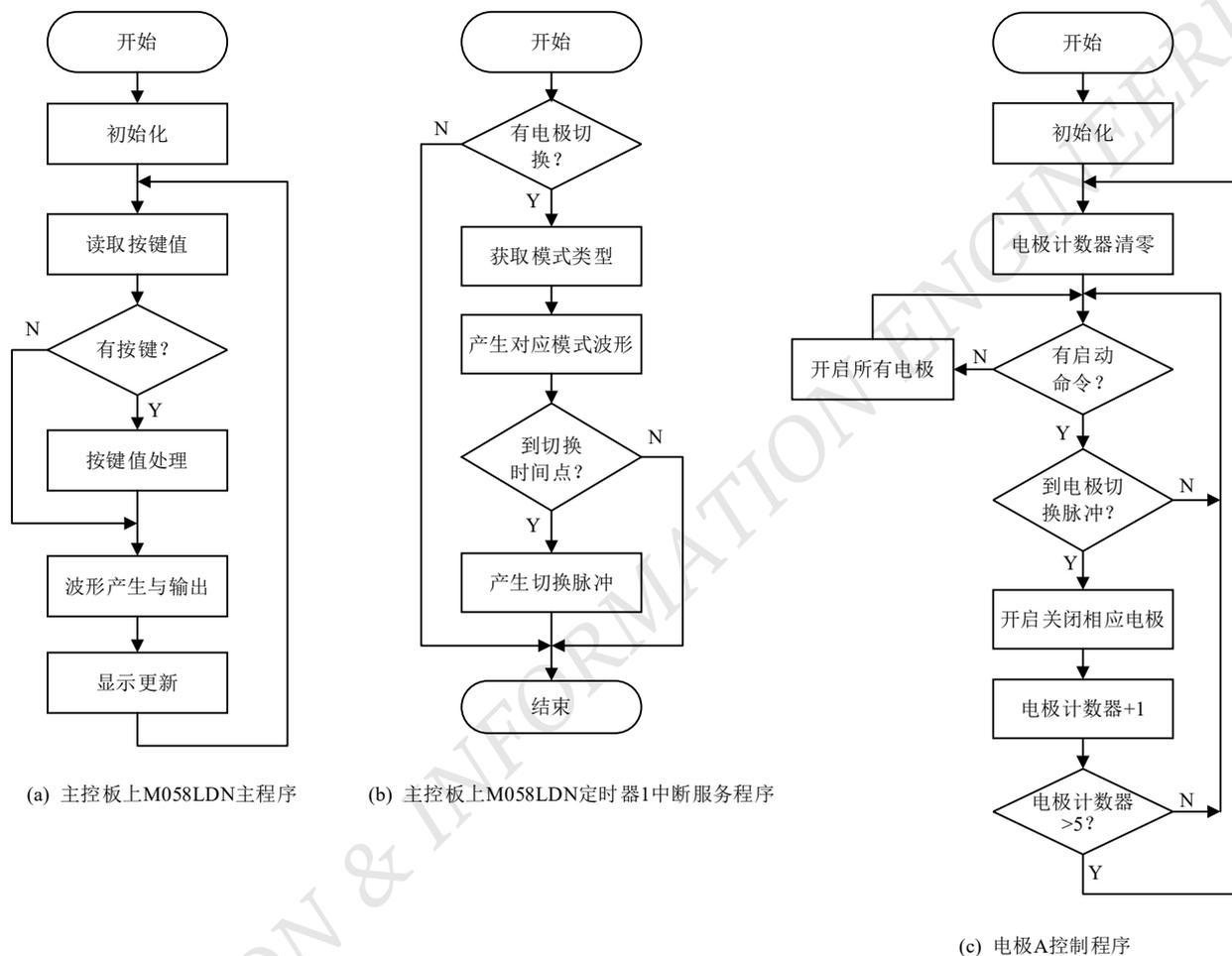


图 5 软件设计流程框图

2.1 主控板 M058LDN 主程序

1) 初始化 M058LDN 系统时钟和 I/O 端口配置，产生一对互补的 PWM 载波和调节电压 VDC 的 PWM；同时初始化中断定时器、LCD 屏控制器、蜂鸣器等参数的默认值。

2) 按键值读取及判断处理，通过按键对电刺激仪进行参数设定、启动或停止。电刺激仪共有 5 个模式，模式 1~模式 5。除模式 1 所有电极同时工作无需

切换外，其余 4 个模式都需要切换电极，6 个小电极依次轮流工作，形成旋转效果。为此，电刺激仪启动后置 $P02 = 1$ ，再置 1 个电极切换标识 `Electrode_Switched_Flag`。定时器中断服务程序根据该标识及时间序列判断轮到哪个电极切换，并从 P03 发送 1 个 3 ms 脉冲告知电极 A 切换电极；电极 A 控制程序从 P02 端口获取启动命令，从 P03 获取脉冲信号切换电极。

3) 产生波形输出并更新 LCD 屏显示。

2.2 定时器中断服务程序

中断定时器每 1 ms 产生 1 次中断, 中断服务程序根据 Electrode_Switched_Flag 标识判断是否有电极切换; 若有, 获取模式种类产生相应波形; 端口 P03 发送 1 个 3 ms 脉冲信号给电极 A 完成电极切换。

2.3 电极 A 控制程序

初始化完成后, 判断是否有启动命令; 若有, 判断是否有电极切换脉冲; 若有, 则切换电极; 若没有, 即在模式 1 状态, 所有电极同时开启。电极切换就是关闭当前工作的电极, 打开下一个要工作的电极。

2.4 波形算法

电刺激仪模式 1 的波形频率为 5 Hz~11 Hz, 波形输出无需电极切换, 此种模式波形实现较容易, 由主控板主程序产生即可。其余 4 种模式的波形在 M058LDN 定时器中断服务程序产生, 为固定频率, 波形输出需电极切换, 有较高的相似性。

图 3 中, 载波的频率和幅度固定不变, 改变 VDC 即可得到不同的变压器输出波形, 对此波形进行不同时刻的切换可得到 5 模式的波形。电刺激仪使用的波形是调节 VDC 电压幅度产生周期性的菱形波, 具体算法: 上半周调节 PWM 使其占空比逐渐增大, 从而使 VDC 电压幅度从最小值 0 逐渐增大到最大值; 下半周调节 PWM 使其占空比逐渐减小, 从而使 VDC 电压幅度逐渐从最大值减小到最小值, 由此在变压器输出端产生上下左右都对称的菱形波。

3 实验验证

取 60 位患有背部神经肌肉疼痛的患者为实验对象, 患者主要因坐姿不正确或久坐不动引起肌肉损伤和劳损; 年龄分布: 25 至 34 岁 20 人, 35 至 44 岁 20 人, 45 至 54 岁 20 人。将 3 个年龄段的人平均分为参照组和研究组, 每组各 30 人。参照组使用固定电极电刺激仪, 研究组使用本文设计的旋转电极电刺激仪进行对比治疗。治疗时间: 每日 1 次, 每次 30 min, 一个疗程 30 次。实验数据如表 1 所示。

表 1 两组患者治疗效果比较

组别	总数	治愈	显效	无效	有效率
参照组	30	10	13	7	77%
研究组	30	14	15	1	97%

由表 1 可知: 研究组总治疗有效率高于参照组。相比于固定电极电刺激仪, 本文设计的旋转电极电刺激仪对背部神经肌肉疼痛患者的治疗效果更佳。

4 结论

本文设计一种基于 ARM 微控制器的旋转电极电刺激仪。通过 LCD 触摸屏输入电刺激信号的强度和工作模式等参数; 通过微控制器程序得到相应的电脉冲波形, 再经变压器升压处理生成电刺激信号。该电刺激仪对背部神经肌肉疼痛的患者进行理疗试验, 治疗效果明显高于固定电极电刺激仪。该治疗仪架构简单, 符合 YY 0607-2007 标准^[8], 已经通过广东省药品监督管理局的注册检验并进行小批量试产。

参考文献

- [1] 兰翠. 针灸联合低频治疗仪治疗面神经麻痹的效果观察[J]. 临床和实验医学杂志, 2013, 12(23): 1909-1911.
- [2] 燕铁斌, 姜贵云, 吴军, 等. 物理治疗学[M]. 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2019.
- [3] Eutech Microelectronics Inc. EUP3453 Datasheet [EB/OL]. (2012-09-01)[2021-03-14]. http://www.eutechmicro.com/index.php?a=products_list&cid=38.
- [4] 邱关源, 罗先觉. 电路[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [5] 温子祺, 刘志峰, 冼安胜, 等. ARM Cortex-M0 微控制器原理与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
- [6] Nuvoton Technology Corporation. M051DN/DE 系列规格书 [EB/OL]. (2019-11-01)[2021-03-14]. https://www.nuvoton.com.cn/export/resource-files/DS_M051%28DN_DE%29_Series_SC_Rev1.00.pdf.
- [7] Nuvoton Technology Corporation. Mini51 DE Series Datasheet [EB/OL]. (2019-11-01)[2021-03-14]. https://www.nuvoton.com.cn/export/resource-files/DS_Mini51DE_Series_EN_Rev1.04.pdf.
- [8] 国家食品药品监督管理局. YY 0607-2007/IEC 60601-2-10:1987, Medical electrical equipment-Part 2: -Particular requirements for the safety of nerve and muscle stimulators [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

Rotating Electrode Electrical Stimulator Based on ARM Microcontroller

Tang Chengfang

(Shenzhen Elmmedicare Medical Electronic Instrument Co. Ltd, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Neuromuscular electrical stimulator is based on the principle of acupuncture and moxibustion in traditional Chinese medicine. It is the combination of meridian theory of traditional Chinese medicine and modern electronic technology. The effect of electrical stimulation signal produced by electrical stimulator is similar to that of acupuncture and massage in traditional Chinese medicine. It acts on the surface nerves and muscles of patients and can promote the rehabilitation of patients. An electrical stimulator based on ARM microcontroller is designed. The rotating electrode is used and the photoelectric MOS solid-state relay is used to drive the electrode to realize the rotating function. Experimental results show that the treatment effect of rotating electrode electrical stimulator is better than that of fixed electrode electrical stimulator.

Key words: electrode; ARM microcontroller; photoelectric MOS solid state relay; electrical stimulation

作者简介:

唐成方, 男, 1963 年 5 月生, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 嵌入式系统应用。E-mail: cilsa@126.com

~~~~~

(上接第 43 页)

### 参考文献

- [1] BENGIO Y. Learning deep architectures for AI [J]. Foundations and Trends® in Machine Learning(now publishers Inc), 2009, 2(1):1-127.
- [2] 候媛彬,杜京义,汪梅.神经网络[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007.
- [3] 姜万录,王振威,朱勇,等.基于 VMD 消噪处理的滚动轴承早期故障识别[J].液压与气动,2017(5):13-20.

## Application of Deep Learning in Diagnosis and Detection of Low Noise Household Appliances

Cheng Weiwei<sup>1</sup> Liu Zhiting<sup>2</sup> Wang Yuhua<sup>1</sup>

(1.Foshan University, Foshan 528000, China 2.Guangzhou Ceprei Tengrui Information Technology Co. Ltd, Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** The unsupervised eigenvalue extraction of vibration measurement signal of external unit of household air conditioner is carried out by using stacked automatic encoder neural network; The gradient descent algorithm is used for supervised learning of neural network; The measurement signal is classified by Softmax classifier; The number of layers and nodes of the hidden layer are determined by experiments, and the influence of the learning rate, attenuation factor, L2 regularization, Dropout factor and the number of batch samples of the neural network is analyzed experimentally, which provides experimental basis for the automatic vibration diagnosis and detection of the external unit of household air conditioner.

**Key words:** fault diagnosis; deep learning; auto-encoder

### 作者简介:

程炜为, 男, 1987 年生, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向: 测绘测试及信号分析处理。E-mail: 794661261@qq.com

刘芝庭(通信作者), 男, 1994 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 故障检测。E-mail: 810560852@qq.com

王宇华, 女, 1960 年生, 博士研究生, 教授, 主要研究方向: 测试计量技术及仪器。