

• 光电技术与应用 •

便携式双波长激光治疗仪控制系统的设计

代媛媛^{1,2}, 宋丽民^{1,2}, 钟海文^{1,3}, 刘 磊^{1,2}, 曹军胜¹, 高志坚¹¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;²中国科学技术大学, 合肥 230026;³中国科学院大学, 北京 100049

摘 要: 根据双波长激光治疗仪的功能需求和便于携带的特点, 完成了双波长激光治疗仪控制系统的设计, 包括硬件设计和软件设计。硬件部分主要完成了电源模块、主控制器模块、激光器驱动模块和 TEC 温控模块等设计。软件部分主要完成 APP 人机交互模块的设计和程序的编写。采用基于 ARM Cortex-M3 内核的 STM32F103RCT6 芯片作为主控芯片, 以锂电池组作为供电系统的核心模块, 采用恒流方式驱动激光器, 并以智能手机作为人机交互的载体, 通过开发应用程序 APP 完成治疗仪的参数设置。对相关模块进行了测试, 结果表明, 激光器驱动模块的输出电流稳定性在 1% 以下, 实际输出脉宽与目标脉宽的最大偏差率在 1% 以下, 实际输出功率与目标功率的最大偏差率在 5% 以下。

关键词: 激光治疗仪; 双波长; 控制系统; ARM

中图分类号: TN248 文献标识码: A doi: 10.14016/j.cnki.jgzz.2020.11.144

Design of control system of portable dual-wavelength laser therapeutic instrument

DAI Yuanyuan^{1,2}, SONG Limin^{1,2}, ZHONG Haiwen^{1,3}, LIU Lei^{1,2}, CAO Junsheng¹, GAO Zhijian¹¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;²University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;³University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China

Abstract: According to the functional requirements and portable features of dual-wavelength laser therapeutic instrument, the control system of dual-wavelength laser therapeutic instrument is designed, including hardware design and software design. In hardware part, the power module, the main controller module, the laser driver module and the TEC temperature control module are designed. In software part, the human-computer interaction module and the control program are designed. The STM32F103RCT6 chip based on ARM Cortex-M3 core is used as the main control chip, the lithium battery group is used as the core module of the power supply system, the constant current mode is used to drive the lasers, the smart phone is used as the carrier of human-computer interaction, and the parameter setting of the therapeutic instrument is completed through the development of application APP. The results show that the output current stability of the laser driver module is less than 1%, the maximum deviation rate between the actual output pulse width and the target pulse width is less than 1%, and the maximum deviation rate between the actual output power and the target power is less than 5%.

Key words: laser therapeutic instrument; dual-wavelength; control system; ARM

1 引言

随着经济水平和物质生活的发展, 口腔疾病变得越来越常见, 人们越来越关注口腔健康。激光作为 20 世纪最重要的发明之一, 目前已经广泛应用于医学领域, 而半导体激光更是因其具有体积小、重量轻、功耗低、使用寿命长等优势^[1-4], 广泛应用于临床口腔科。

收稿日期: 2020-03-21

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(No.20190304120YY)

作者简介: 代媛媛(1994-) , 女, 硕士研究生, 主要从事电路与系统方面的研究。E-mail: uste0620@mail.ustc.edu.cn

通讯作者: 曹军胜(1978-) , 男, 博士, 硕士生导师, 主要从事电路与系统方面的研究。E-mail: caoj@s@jlu.edu.cn

[http : //www.laserjournal.cn](http://www.laserjournal.cn)

但目前口腔科所使用的半导体激光治疗仪普遍存在工作波长比较单一、设备本身体积较大等不足,导致单台设备的临床治疗适用面较窄且不利于携带,因此,设计出一款体积小、功能全的便携式双波长激光治疗仪具有重要实际应用价值,而研制出稳定且实用的控制系统十分有必要。

依据半导体激光的生物效应和临床应用数据,808 nm 激光照射生物组织可以产生镇痛消炎的疗效,980 nm 激光已经证实对治疗牙本质过敏症、中度牙周炎症等具有很好的治疗效果^[5-6],同时产生消肿凝血的疗效。当 2 种波长同时作用时,可以产生多种治疗效果,因此,主要设计了 808 nm+980 nm 2 种波长激光治疗仪的控制系统,包括软硬件设计和相关模块的测试。

2 控制系统的整体结构设计

为了保证双波长激光治疗仪输出稳定的光功率,所设计的控制系统整体结构如图 1 所示,完成了系统电源模块、STM32 主控制器模块、激光器驱动模块、温控模块以及移动终端的人机交互模块等部分的设计。其中系统电源为整个控制系统进行供电,保证系统可以正常工作;STM32 主控制器是系统的控制核心,实现对其他各个模块的控制作用;采用压控恒流源的方式对激光器进行驱动;采用无水冷却散热方式对激光器进行温度的监测和调节;人机交互模块采用智能手机作为载体,设计了 APP 人机界面进行治疗仪的治疗参数设置。脚踏开关的设计是为了便于操作人员在设备使用过程中控制激光的输出^[7]。

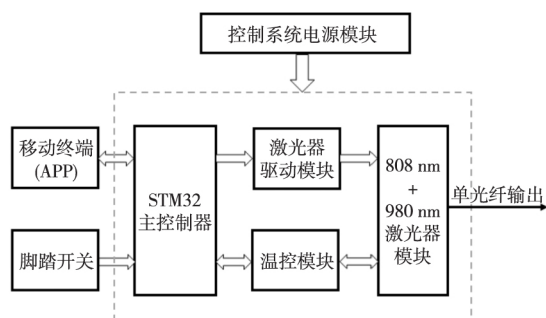


图 1 控制系统的整体结构框图

3 系统的软硬件设计

3.1 主控制器模块设计

本设计中控制系统需要完成参数设置、波长选择、温度监测、功率调节、报警提醒等功能^[8],这些数据的传输和处理都需要主控制器来完成,因此,主控制器必须具备足够的定时器和丰富的 GPIO 端口,同时运行速度要快,成本要低。基于以上分析,本系统选用意法半导体公司的基于 ARM Cortex-M3 内核的 MCU——STM32F103RCT6 芯片作为主控芯片。

主控制器模块完成了主控芯片的电源电路、时钟电路、复位电路、串口通信电路等设计,电源电路中采用 LDO 芯片 AMS1084-3.3 将 5V 电压转换成 3.3V 为主控芯片供电,串口通信电路中采用电平转换芯片 MAX3232 将 RS232 电平转换成 TTL 电平。

3.2 激光器驱动模块设计

由于注入电流的波动会对激光器的输出功率造成影响,采用恒流的方式对激光器进行驱动,压控恒流源的控制框图如图 2 所示。数模转换器 DAC 产生的控制电压通过模拟开关控制恒流源电路的输出电流大小,从而决定激光器的输出功率大小,同时脉冲控制端的脉宽通过模拟开关控制恒流源电路的输出电流脉宽,从而决定激光器输出光的脉宽。

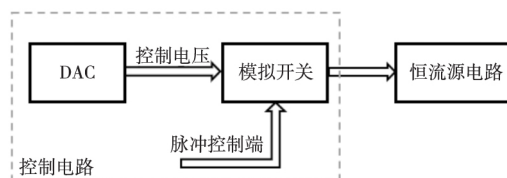


图 2 压控恒流源控制框图

具体的激光器驱动电路图如图 3 所示。DAC 芯片产生控制电压后,经过模拟开关 MAX313 进入集成运放 LM358,两级反相放大后,输出信号再通过一个图腾柱电路从三极管的公共发射极输出,此时的信号作为 NMOS 管 IRF540 的栅极输入,从而驱动 NMOS 管导通工作。为了确保输出电流的稳定性,在 NMOS 管的漏极输出端加入了采样电阻构成电压反馈电路,采样电阻的一端接地,另外一端由反馈电路将电压返回到第二个运放的输入端,与已经放大的输出信号进行叠加,从而稳定输出电流。

3.3 TEC 温控模块设计

激光器的温度变化会对其输出功率、输出波长以及阈值电流等参数产生一定的影响,从而影响激光器的工作性能^[9-11]。采用“TEC+热沉+散热风扇”的散热结构,通过独立的温度控制器完成对激光器温度的实时监测和控制。散热模块的结构示意图如图 4 所示。将 TEC 的冷端与半导体激光器连接,TEC 的热端表面涂上一层导热硅脂后与热沉连接,再在热沉的另一端安装风扇进行散热,温度传感器放在靠近激光器和热沉连接的地方。这种模块化的设计体积小、结构紧凑、安装简便,散热效果也十分显著。

3.4 电源模块设计

系统的电源模块是保证控制系统稳定运行的必备基础,供电系统以储能锂电池组模块为核心电源,设计框图如图 5 所示。锂电池组模块设计了 3 路输出,第一路输出为主控制板供电,锂电池组模块输出的 24 V 直流电作为控制板中 DC-DC 模块的输入,DC-DC 模块输出 12 V、-12 V、5 V 3 种电压分别给控

制板中的各个芯片供电,每路电压输出功率均为 2 W。第二路输出为压控恒流源供电,锂电池组模块输出 24 V 直流电作为 VICOR DC-DC 模块的输入,两路激光器驱动电路的 VICOR DC-DC 模块分别输出 6 V 和 4 V 的电压给 808 nm 激光器驱动电路和 980 nm

激光器驱动电路供电。第三路输出给温控器、散热风扇等模块供电,该部分由锂电池组输出的 24 V 直流电直接供电。系统的移动终端和锂电池组模块均由 220 V 交流电的通过适配器直接充电。

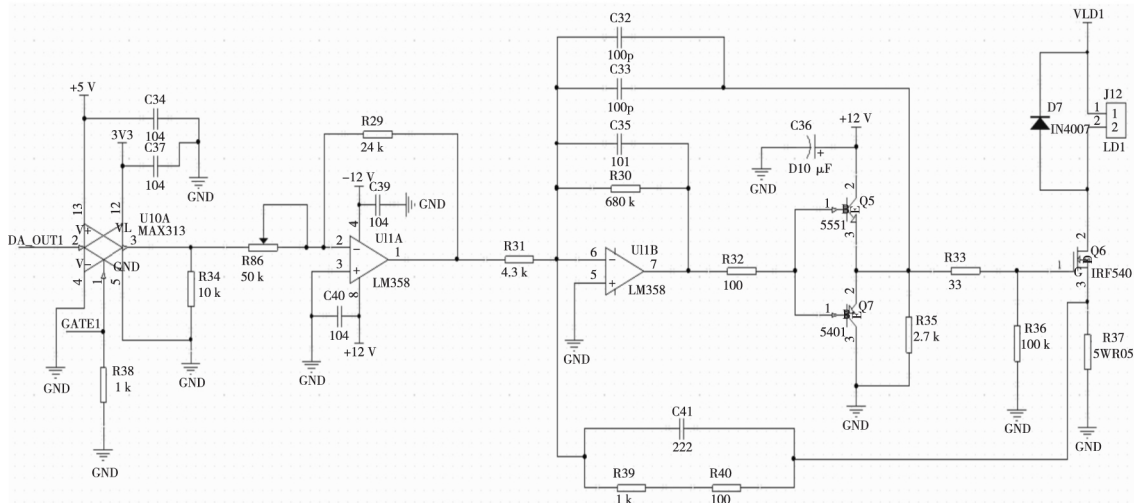


图 3 激光器驱动电路图

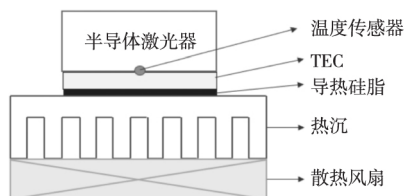


图 4 散热模块结构示意图

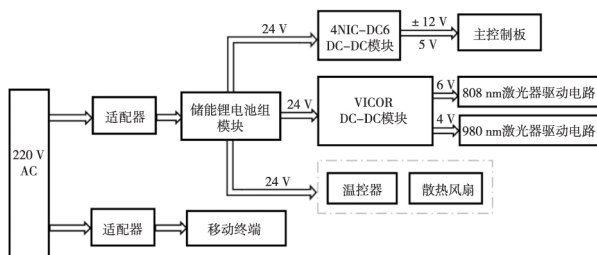


图 5 供电系统设计框图

3.5 APP 人机交互模块设计

本系统选用小米公司开发的红米 Note 7 系列智能手机作为移动终端,智能手机应用程序下载便利,自带蓝牙功能成熟,可操作性强,满足设备体积小、便于操作等功能需求。应用程序 APP 基于 Android Studio 开发平台进行设计,采用 Java 语言编写。APP 界面主要设计了欢迎界面、蓝牙扫描和连接界面、波长选择界面以及参数设置界面等,部分人机界面的设计图如图 6 所示。在参数设置界面中,主要包含了工作模式、输出功率、脉冲宽度、脉冲周期以及治疗时间的设置。主控制器部分采用 HC-08 蓝牙模块与智能手机的蓝牙建立连接,APP 通过串口将数据发送给主控制器,主控制器对其进行解码,完成对激光器输出的

控制,从而实现移动终端与主控制器中间的数据交互^[12-13]。

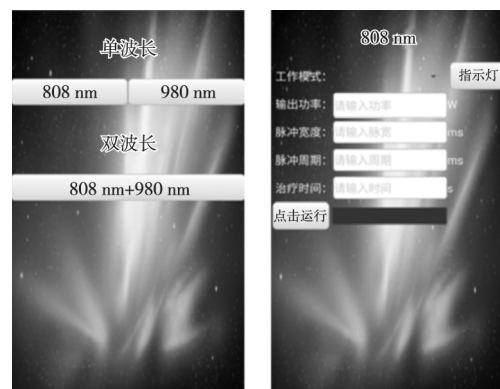


图 6 APP 人机界面设计图

3.6 系统软件设计

选择 Keil μ Vision 5 作为系统软件的开发平台,根据激光治疗仪的工作流程和功能需要设计了相应的软件程序。系统主程序的工作流程图如图 7 所示。首先进行系统的初始化,主要包含串口初始化、定时器初始化、GPIO 初始化等;再开启温控系统,对激光器温度进行监测和调节,直到激光器温度稳定;然后打开智能手机的 APP,使之与控制板建立蓝牙连接,成功连接后,在 APP 页面选择治疗波长,然后进行参数设置,包括工作模式、脉冲宽度、脉冲周期以及输出功率,并设定治疗时间;参数设置完毕,可以通过按下 APP 界面上的“运行”键或者踩下脚踏开关,使系统输出激光,当设定的治疗时间到达,系统便停止出光。

4 系统的测试与结果

4.1 激光器输出电流稳定度测试

由于注入电流的波动会对激光器的输出性能造成影响,所以系统采用恒流方式驱动半导体激光器,通过测试驱动电路输出电流的稳定度可以判断所设计的驱动电路的可靠性^[14-15]。电流稳定度能够反映驱动电路在一定工作时间内的电流波动情况,在一定时间内通过多次测量经过负载的电流并记录数据,再通过数学公式进行计算,即可得到驱动电路输出电流稳定度的大小。电流稳定度的计算公式可用式(1)表示:

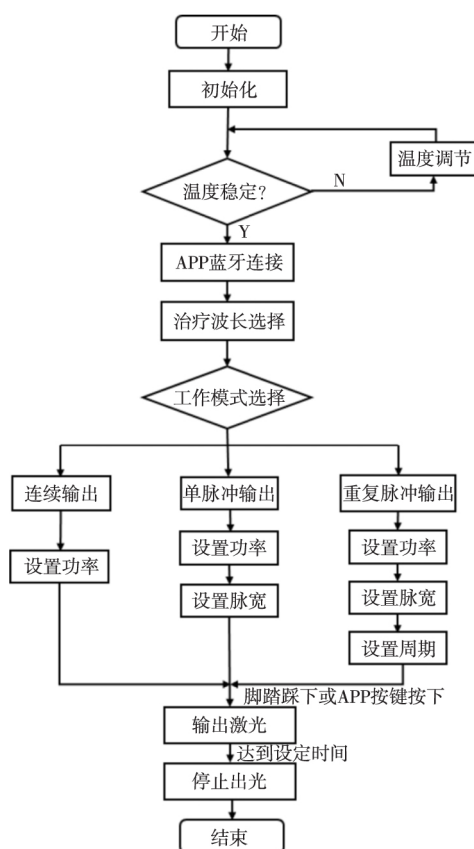


图7 主程序工作流程图

$$\text{电流稳定度} = \frac{\text{标准差}}{\text{平均值}} \times 100\% \quad (1)$$

本实验中设置驱动电路输出额定电流,其中808 nm 激光器额定电流为 6.1 A,980 nm 激光器额定电流为 13.7 A,每隔 1 小时记录一次数据,共测量 8 组数据,具体的测量数据如表 1 所示。

根据表 1 中记录的测量数据,经过式(1)计算可得:808 nm 激光器的输出电流稳定度为 0.06%,980 nm 激光器的输出电流稳定度为 0.02%,表明所设计的激光器驱动电路能够保证输出电流的稳定度在 1% 以下。

表 1 激光器驱动电路输出电流测量数据

时间/h	电流/A	808 nm 激光器 驱动电路	980 nm 激光器 驱动电路
1		6.093	13.693
2		6.102	13.698
3		6.095	13.702
4		6.097	13.695
5		6.104	13.696
6		6.096	13.698
7		6.095	13.701
8		6.098	13.699

4.2 激光器输出脉宽精度测试

实际应用中,激光输出脉宽的大小会对治疗效果产生一定的影响,所以确保激光器实际输出脉宽的精度十分重要。本实验中以 808 nm 激光器的驱动电路为例,在移动终端的 APP 中分别设置激光器的工作模式为单脉冲输出,并设置相应的目标脉宽,采用 Tektronix 公司研制的型号为 MSO4104B 的示波器对激光器的输出信号进行捕捉,记录实验数据并计算出偏差率,保存波形图,测试数据和波形图分别如表 2 和图 8 所示。

表 2 单脉冲输出脉宽精度的测试数据

目标脉宽/ms	实际脉宽/ms	偏差率/%
10	10.05	0.50
20	20.10	0.50
30	30.16	0.53
40	40.21	0.53
50	50.25	0.50
60	60.32	0.53
70	70.36	0.51
80	80.42	0.53
90	90.47	0.52
100	100.50	0.50

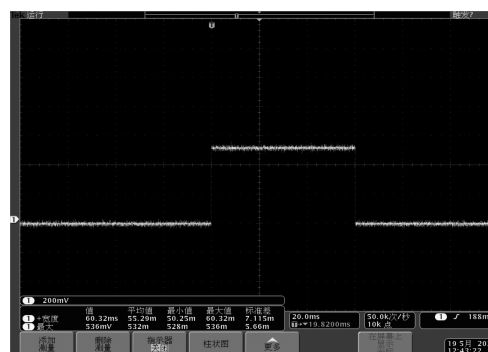


图8 输出脉宽为 60 ms 的波形图

根据表中的数据可知,单脉冲输出模式下,808 nm 激光器输出脉宽的最大偏差百分比为

0.53% ,不超过 1% ,表明所设计的驱动电路能够保证激光器输出比较精确的脉冲宽度。

4.3 激光器输出功率测试

在临床治疗中 ,激光治疗仪输出不同的光功率可能会产生不同的治疗效果 ,因此 ,保证激光器输出功率的稳定性十分重要。本实验采用 OPHIR 公司研制的光功率计测量激光器的实际输出功率 ,将激光器的工作模式设置为连续输出 ,激光治疗仪的功率调节范围为 0~10 W ,目标功率从 0.5 W 开始输出 ,调节步长设置为 0.5 W ,记录实际出光功率并计算出偏差率 ,测试数据如表 3 所示。

表 3 激光器输出功率稳定性测试数据

目标功率/W	808 nm 激光器		980 nm 激光器	
	实际功率/W	偏差率/%	实际功率/W	偏差率/%
0.5	0.484	3.20	0.482	3.60
1	0.976	2.40	0.960	4.00
1.5	1.476	1.60	1.448	3.50
2	1.974	1.30	1.946	2.70
2.5	2.452	1.92	2.446	2.16
3	2.938	2.07	2.928	2.40
3.5	3.438	1.77	3.456	1.26
4	3.942	1.45	3.910	2.25
4.5	4.450	1.11	4.440	1.33
5	4.960	0.80	4.864	2.72
5.5	5.414	1.56	5.374	2.29
6	5.888	1.87	5.866	2.23
6.5	6.436	0.98	6.360	2.15
7	6.88	1.71	6.812	2.69
7.5	7.398	1.36	7.432	0.91
8	7.876	1.55	7.872	1.60
8.5	8.362	1.62	8.358	1.67
9	8.908	1.02	8.872	1.42
9.5	9.408	0.97	9.334	1.75
10	9.884	1.16	9.844	1.56

根据表中测试的数据可知 ,激光器实际的输出功率和设定的目标功率之间存在偏差 ,两种激光器的输出功率最大偏差百分比分别为 3.2%、4.0% ,均在 5% 以内 ,因此 ,本论文所研制的控制系统能够保证激光治疗仪输出稳定的光功率。

5 结论

根据双波长激光治疗仪的功能需求和指标需求 ,对控制系统的硬件和软件进行了设计 ,主要包括主控制器模块、激光器驱动电路、TEC 温控模块、供电电源模块、APP 人机交互模块等部分。对系统相关模块的测试结果表明: 两路激光器驱动电路的输出电流稳定

度均低于 1%; 单脉冲模式下激光器实际输出脉宽与目标脉宽的最大偏差率低于 1%; 808 nm 激光器和 980 nm 激光器的实际输出功率与设定的目标功率之间存在偏差 ,最大偏差率均低于 5%。整个控制系统的设计能够满足双波长激光治疗仪的基本需求 ,准确完成激光参数的设置 ,输出稳定的激光功率 ,且体积小便于携带。

参考文献

- [1] 王立军, 宁永强, 秦莉, 等. 大功率半导体激光器研究进展[J]. 发光学报, 2015, 36(1): 1-19.
- [2] 孟冬冬, 张鸿博, 李明山, 等. 定向红外对抗系统中的激光器技术[J]. 红外与激光工程, 2018, 47(11): 150-159.
- [3] 赵越, 张锦川, 刘传威, 等. 中远红外量子级联激光器研究进展(特邀)[J]. 红外与激光工程, 2018, 47(10): 8-17.
- [4] 任伟, 李静. 光电化学生物传感器研究[J]. 发光学报, 2019, 40(1): 58-66.
- [5] UMANA M, HEYSSELAER D, TIELEMANS M, et al. Dentinal tubules sealing by means of diode lasers(810nm and 980nm): A preliminary in vitro study[J]. Photomed Laser Surg, 2013, 31(7): 307-314.
- [6] DUKIC W, BAGO I, AURER A, et al. Clinical effectiveness of diode laser therapy as an adjunct to non-surgical periodontal treatment: A Randomized Clinical Study[J]. J Periodontol, 2013, 84(8): 1111-1117.
- [7] 黎阳成. 基于 C8051F330 的无线脚踏开关低功耗设计[J]. 企业科技与发展, 2018, (08): 92-93.
- [8] 董宁宁, 崔锦江, 徐建根, 等. 1470 nm 大功率半导体激光溶脂仪控制系统设计[J]. 光学精密工程, 2018, 26(08): 1896-1903.
- [9] 刘熙明, 魏旭, 窦立刚. 激光系统中半导体激光器温度稳定系统研究与设计[J]. 强激光与粒子束, 2019, 31(02): 21-28.
- [10] 李江澜, 石云波, 赵鹏飞, 等. TEC 的高精度半导体激光器温控设计[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(06): 1745-1749.
- [11] 孙森, 申利梅, 陈焕新, 等. 热电冷却半导体激光器的性能分析与优化[J]. 制冷与空调, 2017, 17(10): 29-33.
- [12] 王骥, 郭海亮, 任肖丽. 基于蓝牙低功耗技术的智能健康监测手表系统[J]. 生物医学工程学杂志, 2017, 34(04): 557-564.
- [13] 石盼, 金豪祎, 孙京文. 具有蓝牙低能耗特性的无线心率检测器[J]. 科技世界, 2017(1): 195-196.
- [14] 耿建平, 黄菁. 基于 STM32 的半导体激光光源驱动器设计与实现[J]. 电子世界, 2013(19): 112-113.
- [15] 吕焱, 高军燕, 蒋艺杰. 大功率红外激光器高效驱动电源设计[J]. 激光与红外, 2019, 49(03): 309-314.